



วารสาร

ISSN 3027-8287 (Online)

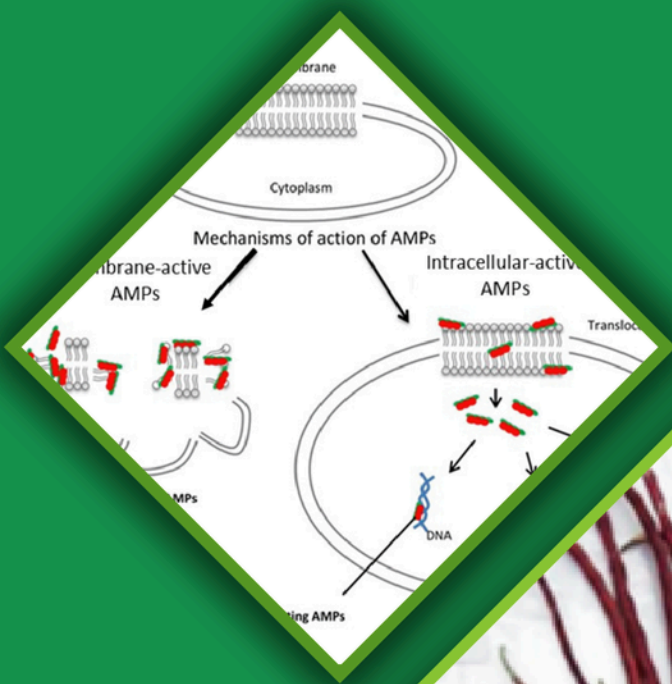
เกษตรพระจอมเกล้า

KING MONGKUT'S AGRICULTURAL JOURNAL

ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - เมษายน 2567 VOLUME 42 NUMBER 1 (2024) JANUARY - APRIL 2024



Approved by TCI during 2021 - 2024



วารสารเกษตรพระจอมเกล้า

ขอบเขตการตีพิมพ์

วารสารฯ เผยแพร่บทความวิจัย และบทความวิชาการ ทางด้านเกษตรศาสตร์ เช่น พืชศาสตร์ ปฐพีศาสตร์ สัตวศาสตร์ วิทยาศาสตร์การประมง อารักขาพืช เทคโนโลยีหลังเก็บเกี่ยว วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร (เนื้อสัตว์) เศรษฐศาสตร์เกษตร และธุรกิจเกษตร การทำฟาร์มอัจฉริยะ (Smart Farm) ส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร นิเทศศาสตร์เกษตร และสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ความก้าวหน้าของวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร
2. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือและแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดเห็นระหว่างผู้เกี่ยวข้องในการเกษตรหรือสถาบันต่างๆ

สำนักงาน

งานวารสารเกษตรพระจอมเกล้า
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์/โทรสาร : 0-2329-8524
E-mail : ajournal@kmitl.ac.th
www.tc-thaijo.org/index.php/agritechjournal/index

กำหนดการตีพิมพ์ : วารสารเกษตร

พระจอมเกล้า กำหนดตีพิมพ์ปีละ 3 ฉบับ

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

ที่ปรึกษา

คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร
รองคณบดี
ผู้ช่วยคณบดี
รศ. ดร.จำรูญ เล้าสินวัฒนา
(บรรณาธิการ พ.ศ. 2555-2558)
รศ. ดร.คำรณวิทย์ ทัพย์มณี
(บรรณาธิการ พ.ศ. 2558-2561)
ผศ. ดร.สุกัญญา แยมประชา
(บรรณาธิการ พ.ศ. 2561-2564)
รศ. ดร.คำรณวิทย์ ทัพย์มณี
(รักษาการบรรณาธิการ พ.ศ. 2564)

บรรณาธิการ

รศ. ดร.ปัญญา ห่มนึ่ง

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รศ. ดร.รุ่งตะวัน ยมหล้า
ดร.เอกพล ทองแก้ว

ผู้ดูแลระบบ

นายปิยวัฒน์ ศรีสวัสดิ์

กองบรรณาธิการ

ศ. ดร.บัญชา สมบูรณ์สุข
ศ. ดร.สุฤติ ประเทืองวงศ์
ศ. ดร.อังคณา จันทราปัติย์
ศ. ดร.ฉลอง วชิราภากร
ศ. ดร.ยุพา หารบุญทรง
ศ. ดร.เนาวนิตย สงคราม
ศ. ดร.อนุชิตา มุ่งงาม
ศ. ดร.วรเดช จันทสร
รศ. ดร.กานต์ สุขสุแพทย์
รศ. ดร.กำจร หลุยยะพงศ์
รศ. ดร.จินดา ขลิบทอง
รศ. ดร.จุฑารัตน์ เศรษฐกุล
รศ. ดร.ฑูกริ หะยีสามา
รศ. ดร.ไกรเลิศ ทวีกุล
รศ. ดร.ปรเมศ บันเทิง
รศ. ดร.วราห์ เทพาคู
รศ. ดร.ศิริชัย กัลยาณรัตน์
รศ. ดร.สนธิชัย จันทเปรม
ผศ. ดร.จักรมาส เลหาณวิช
ผศ. ดร.พิสสวรรณ เจริญสมบัติ
ผศ. ดร.เยาวรัตน์ ศรีวานันท์
ผศ. ดร.วัชรวิ จินตโกวิท
ผศ. ดร.วีระณีย์ ทองศรี
ผศ. ดร.เสาวคนธ์ เหมวงษ์
คุณอัญชลี สุวจิตตานนท์
ผศ. ดร.อนัญญา เจริญพรนิพัทธ์
ศ. ดร.มยุรา สุนยวิระ
ผศ. ดร.นุกูล ถวิลถิ่ง
รศ. ดร.คำรณวิทย์ ทัพย์มณี
รศ. ดร.พรหมมาศ คุณาภาญจน์
รศ. ดร.สุณิพร สุวรรณมณีพงศ์
รศ. ดร.กัญญา แซ่เตียว
รศ. ดร.ศุภลักษณ์ สรภักดี
ผศ. ดร.อัจริ เรืองเดช
ผศ. ดร.ลำแพน ขวัญพูล
ผศ. ดร.ดวงกมล ปานรศทิพ ธรรมาธิวัฒน์
ผศ. ดร.ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล
ผศ. ดร.จำลอง มิตรขาวไทย
ผศ. ดร.มัลลิกา กิลลาโส
ดร.ธนัท สมณคุปต์
ดร.ปัทมา นิตโรสง

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านเมืองทองธานี)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านสุขุมวิท 81)
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านชลลดา-สุวรรณภูมิ)
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านตำบลคลองเกลือ)
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยนครพนม
กรมส่งเสริมการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขานุการและงานทะเบียน

นางสาวกุลธิดา ทรัพย์น้อย

ติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ที่

กองบรรณาธิการวารสารเกษตรพระจอมเกล้า
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 7146
E-mail : ajournal@kmitl.ac.th

สำนักพิมพ์ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

ข้อความและบทความในวารสารนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนโดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหาและข้อคิดเห็นนั้น ๆ แต่อย่างใด

บรรณาธิการแถลง (Editor's Note)

วารสารเกษตรพระจอมเกล้า ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม-เมษายน 2567 ฉบับนี้ มีเนื้อหาจำนวน 15 บทความ ประกอบด้วยบทความวิชาการ จำนวน 1 เรื่อง คือ การประยุกต์ใช้ Antimicrobial Peptides ในการควบคุมโรคพืช และบทความวิจัย จำนวน 14 เรื่อง ประกอบด้วยสาขาพืชสวน 4 เรื่อง พืชไร่ 1 เรื่อง ปฐพีศาสตร์ 1 เรื่อง สัตวศาสตร์ 3 เรื่อง วิทยาศาสตร์การประมง 2 เรื่อง ส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร 2 เรื่อง และเศรษฐศาสตร์เกษตรและบริหารธุรกิจ 1 เรื่อง

บทความทุกเรื่องนอกจากมีความน่าสนใจในเนื้อหาให้ได้เรียนรู้และต่อยอดต่อไปแล้ว ยังได้ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในแต่ละสาขาที่เกี่ยวข้อง (peer review) ทั้งที่มาจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย เพื่อยกระดับคุณภาพของงานวิจัยและมีมาตรฐานทางวิชา โดยได้ผลิตและเผยแพร่แบบสื่่ออิเล็กทรอนิกส์ (E-journal) เพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าถึง สืบค้นข้อมูลจากฐานข้อมูลออนไลน์และดาวน์โหลดมาอ่านได้ตลอดเวลา เป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากงานวิจัยได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น

กองบรรณาธิการ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ช่วยกลั่นกรองและให้ข้อเสนอแนะเพื่อความสมบูรณ์ของบทความ ขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความเข้ามาขอรับการตีพิมพ์ในวารสารเกษตรพระจอมเกล้า และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความในวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับ นิสิต นักศึกษา นักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป เพื่อใช้ประกอบการศึกษาและเพิ่มพูนความรู้ ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์และสร้างความเข้มแข็งในแวดวงวิชาการต่อไป สำหรับผู้ที่สนใจจะส่งบทความวิจัยหรือบทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal> หรือติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่อีเมล ajournal@kmitl.ac.th

รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา หมั่นเก็บ
บรรณาธิการวารสารเกษตรพระจอมเกล้า

สารบัญ

	หน้า
การประยุกต์ใช้ Antimicrobial peptides ในการควบคุมโรคพืช ฐิติพร ดิควนนท์ สิทธิรักษ์ รอยตระกูล และนงลักษณ์ เกรินทวงศ์	1
การบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเบนเฟิก เรด ปนเปื้อนโดยใช้สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก <i>Nannochloropsis oculata</i> ที่ตรึงในอัลจิเนต ปวีณ์พร จงยิ่งเจริญยศ บุปผา จงพัฒน์ และสุนิรัตน์ เรืองสมบูรณ์	10
ผลของการให้อาหารหยาบแห้งต่อสมรรถภาพการผลิต และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ของแกะลูกผสม อาทิตย์ ปัญญาศักดิ์ กิตติวรา รองสวัสดิ์ รณพรรค ดีโส ทศนันท์ หงสะพัก สุนรินทร์ ทองสน ลักษณะ เพี้ยซ้าย และสุภาลักษณ์ คำพูน	20
สภาพการผลิตและตลาดโคเนื้อของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดลำพูน ฐิติพร ไชยมงคล วรินทร์ มณีรัตน์ และมณฑิลา พุทชาคำ	31
ผลของการเสริมไบโกระท่อมผงในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ เจษฎา รัตนวุฒิ บดี คำสีเขียว คาร์ติเคยาน เวณคาตาชาลัม และ อารีรัตน์ ทศดี	38
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกรจังหวัดนครนายก กันตวัฒน์ ไชยวุฒิ พัทธราวี ศรีบุญเรือง และชลลธร จูเจริญ	44
ผลของไบโอชาร์ต่อการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินร่วนปนทรายและดินเหนียว ในสภาพโรงเรือน ชัชชนพร เกื้อหนู และสายน้ำ อุดพัย	52
ผลของขนาดเมล็ดที่มีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วพริ้ว (<i>Canavalia ensiformis</i> (L.)) ชื่นจิต แก้วกัญญา ณิชารีย์ วีระสิงห์ และ สุกานดา อุ่นชัย	61
การบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมโรดามีน บี ปนเปื้อนโดยใช้สาหร่าย <i>Spirulina platensis</i> ที่ตรึงในอัลจิเนต วิลาสินี ศรีพุทธะ บุปผา จงพัฒน์ และสุนิรัตน์ เรืองสมบูรณ์	70
อิทธิพลของไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตต่อ การเจริญเติบโตของถั่วลิสง พันธุ์ไทนาน 9 จิราภรณ์ อินทสาร และ ฉัตรปวีณ์ เดชจิรัตน์ศิริ	79

ศักยภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงพันธุ์ใหม่ภายใต้สภาพอินทรีย์แบบแปลงเปิดเปรียบเทียบกับ การปลูกภายใต้ระบบการให้ปุ๋ยเคมีในโรงเรือนพลาสติก นอกร งามสุข สุพจน์ บุญแรง และ พวงเพชร พิมพ์จันทร์	86
ผลของเมทิลจัสโมเนตต่อคุณภาพ และปริมาณสารพฤกษเคมีในผลหม่อนพันธุ์กำแพงแสน 42 ภายหลังการเก็บเกี่ยว ลัดดาวลย์ คำมะปะนา	97
การส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมชุมชน โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในประเทศไทย ธัญวากร คำวงศ์ สุวารีย์ ศรีบุญะ ผมหอม เชิดโกทา ประภาพร ชูลีลัง บุญวณิช บุญวณิชนันท์ ทศพร สอนบุตร	106
ผลของการกระตุ้นจากสภาวะปราศจากออกซิเจนระยะสั้นต่อการสูญเสียน้ำหนักและแรงกดตัวของมะเฟืองพันธุ์สีทอง ประกายดาว ยิ่งสง่า สุพรรณษา คงภักดี ชัยรัตน์ เตชะภูมิพร ทันวลี ศรีนนท์ ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์ และลดา มัทธูรศ	116
กลยุทธ์การพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์ตำบลลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ เกศสุดา สิทธิสันติกุล จริวรรณ จันทร์คง บัญจรัตน์ โจลนันท์ มั่นนยา นันทสาร และ นัยนา โพธิ์วางค์	125

การประยุกต์ใช้ Antimicrobial peptides ในการควบคุมโรคพืช Application of Antimicrobial peptides in Plant-Disease Control

ฐิติพร ดิศวนนท์^{1*} สิทธิรักษ์ รอยตระกูล² และนงลักษณ์ เกรินทวงศ์³

Thitiporn Ditsawanon ^{1*}, Sittiruk Roytrakul ² and Nonglak Parinthawong ³

Received date: 28 ม.ค. 66 Revised date: 25 พ.ค. 66 Accepted date: 30 พ.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.002>

บทคัดย่อ

เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคพืชเป็นปัญหาสำคัญและเร่งด่วนโดยเฉพาะในประเทศเกษตรกรรม การควบคุมโรคด้วยวิธีทางเคมีและยาปฏิชีวนะอาจทำให้เกิดผลเสียตามมาในวงกว้างโดยเฉพาะการดื้อยาและสารตกค้างในพืชผักสดและวัตถุดิบทางการเกษตร ส่งผลถึงความไม่มั่นคงทางอาหารในระดับชาติ AMPs หรือ Antimicrobial peptides เป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว เนื่องจากมีคุณสมบัติโดดเด่นในการยับยั้งการเจริญหรือกำจัดเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดโดยเฉพาะแบคทีเรียและราที่เป็นสาเหตุหลักในการก่อโรค AMPs พบได้ในสิ่งมีชีวิตทั่วไปทั้งโปรคาริโอตและยูคาริโอต นับเป็นเกราะป้องกันทางธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต AMPs แต่ละชนิดมีความสามารถในการยับยั้งหรือกำจัดจุลินทรีย์ได้ต่างชนิดกัน ด้วยกลไกที่แตกต่างกัน AMPs หลายชนิดสามารถกำจัดจุลินทรีย์ได้ภายในระยะเวลาเพียงไม่กี่วินาทีหลังจากเริ่มสัมผัสเชื้อ บางชนิดมีฤทธิ์กระตุ้นการทำงานของยาปฏิชีวนะ และมีหลายชนิดมีประสิทธิภาพมากกว่ายาปฏิชีวนะ โดยการทำงานของ AMPs มี 2 กลไกหลัก คือการเข้าทำลายบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ และการแทรกเข้าเยื่อหุ้มเซลล์โดยไม่ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เสียหาย แต่เข้าไปยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์สารสำคัญในการดำรงชีวิตของเซลล์จุลินทรีย์ เช่น ดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ โปรตีน ทั้งนี้ผลการศึกษา AMPs ในปัจจุบันส่วนใหญ่ให้ผลดีในระดับห้องปฏิบัติการ ดังนั้นแนวทางการนำไปใช้ขั้นต่อไป คือการนำไปศึกษาต่อในสภาพแวดล้อมจริงนอกห้องปฏิบัติการและสภาพแวดล้อมที่มีการระบาดของโรค

คำสำคัญ: เปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ การควบคุมโรคพืช จุลินทรีย์ก่อโรคพืช ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์

Abstract

Plant pathogens are a significant and urgent issue mainly in agricultural countries. Disease control using chemicals and antibiotics can cause widespread negative impacts, particularly on fresh vegetables and agricultural raw materials. These could affect national food insecurity. Antimicrobial peptides (AMPs) are one of the effective solutions because of their remarkable antimicrobial action mostly on bacteria and fungi, the primary causes of plant-infected diseases. AMPs are present in common living things, both in prokaryotes and eukaryotes, these are the natural defenses in organisms. Each type of AMPs exhibits distinct microbial targets

¹ สาขาวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

² ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีโปรตีนโมเลกุลเชิงหน้าที่ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ จังหวัดปทุมธานี 12120

³ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

¹ Applied Biology Program, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Rajanagarindra University, Chachoengsao 24000

² Functional Proteomics Technology Laboratory, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, National Science and Technology Development Agency, Pathumthani 12120

³ Department of Plant Production Technology, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

*Corresponding author: thitiporn.boo@gmail.com

through various mechanisms. Some AMPs kill microbes in a few seconds after contact with target cells, some AMPs stimulate the antibiotic effects, while some AMPs exhibit superior results than antibiotics. AMPs work by two different mechanisms: the direct bactericidal mechanism that involves interaction with the bacterial membrane and results in cell lysis, and the indirect bactericidal mechanism that involves penetration without causing cell lysis but inhibiting the synthesis of DNA, RNA, and proteins. Current AMPs research reveals promising outcomes at the laboratory level. Further studies will focus on the actual environment and the outbreak area respectively.

Keywords: antimicrobial peptides, plant disease control, plant pathogens, antimicrobial activity

คำนำ

ปัญหาโรคพืชที่มีสาเหตุจากเชื้อจุลินทรีย์ เป็นปัญหาที่ควรตระหนักถึงอย่างมากในประเทศไทยเนื่องจากเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีประชากรจำนวนมากครั้งในประเทศประกอบอาชีพเกษตรกร และตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยเริ่มมีความตื่นตัวในเรื่องความไม่มั่นคงทางอาหาร (food insecurity) เนื่องจากอาหารมีผลให้เกิดการเจ็บป่วย เสียชีวิต และใช้งบประมาณทางสาธารณสุขจำนวนมาก (Sreenonchai & Arunrat, 2023) หากโรคพืชไม่ได้ถูกควบคุมอย่างถูกวิธี อาจเกิดปัญหาต่อเนื่องตามมาหลายประการ เช่น ปัญหาผลผลิตทั้งในดิน น้ำ และอากาศ ส่งผลถึงปัญหาสุขภาพของผู้บริโภคที่ได้รับจากสารตกค้างในอาหารทั้งทางตรงจากการบริโภคพืชผักสด และทางอ้อมจากการบริโภคอาหารที่มีวัตถุดิบทางเกษตร

แนวทางในการควบคุมโรคที่ปลอดภัยต่อทั้งเกษตรกรและผู้บริโภคแนวทางหนึ่ง คือการใช้เปปไทด์ต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial peptides หรือ AMPs) มีงานวิจัยจำนวนมากสนับสนุนแนวคิดนี้ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ผลการศึกษาและทดสอบระบุว่า AMPs หลายชนิดมีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือสูงกว่าสารเคมีหรือยาปฏิชีวนะและไม่มีสารพิษตกค้างในธรรมชาติ ทำให้ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมตามมาภายหลัง (Li et al., 2021) ซึ่ง AMPs ส่วนใหญ่มีกลไกแบบไม่เฉพาะเจาะจง จึงยากที่เชื้อก่อโรคจะพัฒนาความสามารถในการดื้อยา (Goyal & Mattoo, 2014) ดังนั้น ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับ AMPs และการประยุกต์ใช้ในงานด้านโรคพืช จึงเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์และควรเผยแพร่ให้นักวิชาการที่เกี่ยวข้อง เกษตรกร และประชาชนทั่วไปได้ศึกษา

ทำความรู้จักกับ AMPs

AMPs หรือ antimicrobial peptides เป็น oligopeptides หรือเปปไทด์สายสั้นมีขนาดตั้งแต่ 5 ถึงมากกว่า 100 กรดอะมิโน มีคุณสมบัติเด่นในการยับยั้งการเจริญหรือกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในวงกว้าง ได้แก่ แบคทีเรีย รา ไวรัส และปรสิตในกลุ่มโปรโตซัวและหนอนตัวกลม โมเลกุล AMPs บางชนิดเข้ากำจัดเชื้อจุลินทรีย์เพียงชนิดเดียวโดยอาจเป็นแบคทีเรียหรือรา (Hancock & Scott, 2000) บางชนิดเข้าทำลายจุลินทรีย์ได้มากกว่าหนึ่งชนิดด้วยกลไกที่ต่างกัน (Subbalakshmi & Sitaram, 1998) AMPs พบได้ทั้งในสิ่งมีชีวิตประเภทโปรคาริโอตและยูคาริโอต (Leippe, 1999; Peters et al., 2010; Radek & Gallo, 2007) ในปี ค.ศ. 2013 มีรายงานการค้นพบและสังเคราะห์ AMPs แล้วกว่า 5,000 ชนิด (Zhao et al., 2013) เปปไทด์ที่มีคุณสมบัติพิเศษเหล่านี้ นับเป็นเกราะป้องกันตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากมีบทบาทในการยับยั้งหรือยุติกระบวนการติดเชื้อก่อนที่จะก่อให้เกิดอาการของโรค (Zasloff, 2002)

AMPs หลายชนิดมีความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็วโดยใช้เวลาเพียงไม่กี่วินาทีหลังจากเริ่มสัมผัสกับเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อเป้าหมาย (Loeffler et al., 2001) บางชนิดมีฤทธิ์กระตุ้นหรือเสริมการทำงานของยาปฏิชีวนะ (synergistic effect) เช่น เปปไทด์ nisin Z มีคุณสมบัติเสริมการทำงานของยาปฏิชีวนะ penicillin ในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas fluorescens* โดยใช้ความเข้มข้นน้อยกว่าการใช้ยาปฏิชีวนะ penicillin เพียงชนิดเดียวถึง 155 เท่า (Naghmouchi et al., 2012) และเนื่องจาก AMPs เป็นเปปไทด์สายสั้น จึงสังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีทางเคมีได้ง่ายและสามารถปรับแต่งโครงสร้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและจับกับพื้นผิวของสิ่งมีชีวิตเป้าหมาย (Costa et al., 2011; Wade et al., 2012) นอกจากนี้ยังพบว่า

การปรับโครงสร้างเพียงเล็กน้อยของ AMPs สามารถเปลี่ยนเชื้อจุลินทรีย์เป้าหมายและมีผลต่อความคงตัวเมื่อพบเจอเอนไซม์ protease ที่ทำหน้าที่กำจัดโปรตีน (Papo et al., 2002)

โครงสร้างและหลักการทำงานของ AMPs

โปรตีนโดยทั่วไปมักพบในโครงสร้างทุติยภูมิแบบแผ่นเบต้า (β -sheet) และเกลียวแอลฟา (α -helix) (Figure 1) โดย AMPs ที่มีการนำมาศึกษาส่วนใหญ่มีโครงสร้างแบบเกลียวแอลฟา ตัวอย่างเปปไทด์แบบเกลียวแอลฟาที่เป็นที่รู้จัก ได้แก่ protegrin, magainin และ indolicin (Huang et al., 2010) นอกจากนี้ยังพบ AMPs หลายชนิดที่มีโครงสร้างทั้งสองรูปแบบ (Uteng et al., 2003) และมีหลายชนิดที่ฟอร์มโครงสร้างเฉพาะขณะที่มีการทำปฏิกิริยากับเยื่อหุ้มเซลล์หรือสารพันธุกรรมของเซลล์เป้าหมายเท่านั้น (Hsu et al., 2005; Rozek et al., 2000) นอกจากโครงสร้างทุติยภูมิแล้ว เปปไทด์ยังมีโครงสร้างที่เหมาะสมบางประการที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานหรือกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ดีขึ้น นั่นก็คือ คุณสมบัติของขนาด ประจุ และความสามารถในการละลายน้ำ

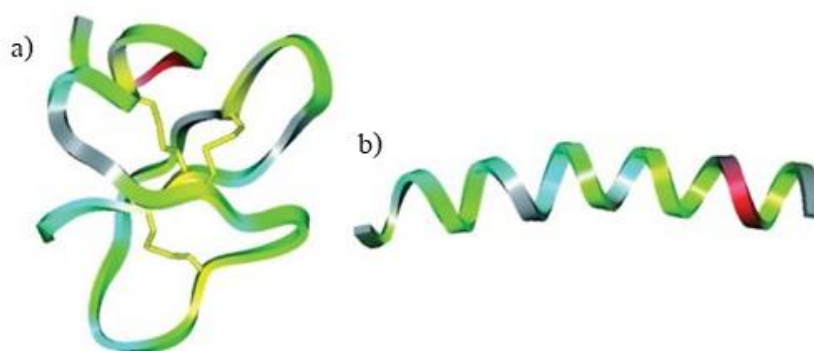


Figure 1 Structure of AMPs. A) β -sheet AMPs and b) α -helical AMPs

ขนาดของ AMPs ที่เหมาะสมต่อการทำงานควรมีขนาดไม่ต่ำกว่า 7-8 กรดอะมิโนเพื่อให้สามารถสร้างโครงสร้างแบบ amphipathic หรือส่วนที่มีประจุและส่วนที่ไม่มีประจุอยู่ในโครงสร้างเดียวกันได้ (Bahar & Ren, 2013) นอกจากขนาดแล้ว ประจุสุทธิเป็นอีกคุณสมบัติที่สำคัญในการเข้าทำลายเซลล์จุลินทรีย์ โดยมีการทดลองเพิ่มประจุสุทธิ (net charge) ของเปปไทด์ชนิด V13K จาก +8 เป็น +9 พบว่ามีผลทำให้เซลล์เป้าหมายแตกได้มากขึ้น ในขณะที่หากมีการลดประจุสุทธิจะทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเซลล์แบคทีเรีย *P. aeruginosa* ลดต่ำลง (Jiang et al., 2008) และหากพิจารณาเฉพาะส่วนที่ไม่มีประจุ (hydrophobicity) และส่วนที่มีประจุภายในโครงสร้างของเปปไทด์แต่ละเส้น พบว่ามีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการทำงานเช่นกัน ในปี 2010 นักวิจัยได้ทำการทดลองเพิ่มส่วนที่ไม่มีประจุไปยังด้านที่เป็นประจุบวกของเปปไทด์ พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ดีขึ้น (Huang et al., 2010) ในขณะที่การทดลองเพื่อปรับลดส่วนที่ไม่มีประจุ ส่งผลให้ความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ลดลง (Lee et al., 2002) ทั้งนี้โครงสร้างโดยรวมยังต้องการทั้งส่วนที่ไม่มีประจุและส่วนที่มีประจุ (amphipathicity) เพื่อให้ทำงานได้ตั้งแต่ต้นจนจบ (Fernandez-Vidal et al., 2007) และอีกคุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึง คือ ความสามารถในการละลายน้ำ (solubility) เนื่องจากหากเปปไทด์ผ่านเข้าไปในเซลล์แล้วเกิดการตกตะกอน จะมีผลทำให้เปปไทด์ไม่สามารถทำงานได้ (Chen et al., 2005)

ประเภทของ AMPs จำแนกตามจุลินทรีย์เป้าหมาย

AMPs มีฤทธิ์กับจุลินทรีย์ในวงกว้าง ซึ่งทำให้สามารถแบ่งประเภทของ AMPs ได้ตามจุลินทรีย์เป้าหมาย ได้แก่ เปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านไวรัส เปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านรา เปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย และเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านปรสิต

เปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านไวรัส (Antiviral peptides)

เปปไทด์ชนิดนี้สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเปลือกหุ้มไวรัส (viral envelope) ทำให้เปลือกหุ้มดังกล่าวไม่เสถียร ลดโอกาสในการเกาะติดกับเซลล์เจ้าบ้าน ส่งผลให้เซลล์เจ้าบ้านไม่ติดเชื้อไวรัสดังกล่าว ยกตัวอย่างเช่น เปปไทด์ defensin สามารถเข้าจับกับไกลโคโปรตีนบริเวณเปลือกหุ้มไวรัสของ herpes simplex viruses (HSV) ทำให้ไวรัสไม่สามารถเข้าจับกับผิวของเซลล์เจ้า

บ้านได้ (Belaid et al., 2002; Yasin et al., 2004) เปปไทด์บางชนิดเข้ายึดครองตำแหน่งรับ (receptor) ของเซลล์เจ้าบ้านก่อนที่ไวรัสจะเข้าจับ (Andersen et al., 2004) เปปไทด์บางชนิดสามารถแทรกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เจ้าบ้านเข้าไปสะสมอยู่ในไซโตพลาสมาหรือออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ภายในเซลล์ มีผลยับยั้งการแสดงออกของยีนในไวรัส (Sinha et al., 2003) หลังจากมีการระบาดของไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่หรือ COVID-19 การศึกษาเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านไวรัสเป็นที่สนใจอย่างมาก โดยในปี ค.ศ. 2021 ได้มีการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านไวรัสที่เข้าทำลายระบบทางเดินหายใจ พบว่ามีเปปไทด์หลายชนิดที่มีประสิทธิภาพยับยั้งและฆ่าเชื้อไวรัสดังกล่าวโดยมีระดับความเข้มข้นและกลไกการเข้าทำลายไวรัสแตกต่างกัน เช่น เข้าจับกับตำแหน่งรับ (receptor) ของไวรัส เข้าจับกับเอนไซม์บางชนิดที่มีความสำคัญต่อการดำรงอยู่ของไวรัส ยับยั้งการจำลองตัวเอง หรือเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับบางชิ้นส่วนของไวรัส (Heydari et al., 2021; Madadlou, 2020; Zhao et al., 2020)

งานวิจัยเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านไวรัสในงานด้านโรคพืชได้แก่ การศึกษาเปปไทด์ Btdef ซึ่งเป็นเปปไทด์ประเภท defensin-like ที่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียไวรัสสาเหตุของอาการใบหงิกเหลืองที่มีแมลงหริ่งขาว (whitefly) เป็นพาหะ โดย AMPs ดังกล่าวเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับโปรตีนของไวรัสที่สร้างในระยะต่าง ๆ ในเซลล์เจ้าบ้าน (Wang et al., 2016)

เปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านรา (Antifungal peptides)

เปปไทด์กลุ่มนี้สามารถฆ่าเชื้อราได้ทั้งวิธีการทำให้เซลล์แตกและทำลายองค์ประกอบภายในเซลล์ โดยองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์รา ได้แก่ ไคติน (chitin) ดังนั้น เปปไทด์กลุ่มนี้จึงมีคุณสมบัติจับกับไคตินได้ (Pushpanathan et al., 2012) ตัวอย่างเปปไทด์ที่โดดเด่นในด้านการต้านเชื้อราได้แก่ defensin (Def) โดย defensin เป็นกลุ่ม AMPs ที่มี cysteine สูง มีขนาดประมาณ 45 – 54 กรดอะมิโน มีความหลากหลายและมีโครงสร้างที่เป็นบริเวณอนุรักษคือ กลีเยวแอลฟา 1 กลีเยว และแผ่นเบต้า 3 แผ่น ซึ่งทำให้เกิดพันธะ disulfide ได้ 4 พันธะส่งผลให้มีความเสถียรสูง (De Coninck et al., 2013; Francisco and Georgina, 2017)

เปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย (Antibacterial peptides)

เปปไทด์กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่ได้รับการพูดถึงมากที่สุดในปัจจุบัน ส่วนใหญ่มีประจุบวก (cationic AMPs) จึงสามารถจับกับประจุลบบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียและทำให้โครงสร้างไขมันบริเวณดังกล่าวเสียหายได้ง่าย (Shai, 2002) และยังพบว่าส่วนใหญ่เปปไทด์ประเภทนี้มีคุณสมบัติ amphipathic หมายถึงมีทั้งส่วนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ทำให้สามารถจับได้กับไขมันและหมู่ฟอสเฟตบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียเป้าหมาย (Jenssen et al., 2006) นอกจากนี้เปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบางชนิดยังสามารถแทรกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรียโดยไม่ทำให้เซลล์แตก และเข้าไปยับยั้งกระบวนการจำลองดีเอ็นเอและการสังเคราะห์โปรตีนภายในเซลล์เป้าหมายได้ (Brogden, 2005) ตัวอย่างของ AMPs ที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียได้แก่ defensin แม้ว่าโดยส่วนใหญ่แล้ว defensin จะมีฤทธิ์กำจัดเชื้อรา แต่มีบางรายงานระบุว่า defensin บางชนิดมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ได้แก่ Cp-thionin II จากถั่วพู (Franco et al., 2006) และ ZmESR-6 จากข้าวโพด (Balandin et al., 2005)

เปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านปรสิต (Antiparasite peptides)

เปปไทด์ในกลุ่มนี้มีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับสามกลุ่มข้างต้น ตัวอย่างเช่น magainin เป็นเปปไทด์ชนิดแรกที่พบว่า มีฤทธิ์ฆ่าพารามีเซียม *Paramecium caudatum* (Zaslhoff, 1987) เปปไทด์ cathelicidin มีฤทธิ์ฆ่า *Caernohabditis elegans* โดยการทำให้เกิดรูบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (Park et al., 2004) เป็นต้น

กลไกการทำงานของ AMPs

จากที่กล่าวแล้ว AMPs บางชนิดสามารถทำลายเซลล์จุลินทรีย์ได้โดยทำให้เกิดรูบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ หรือแทรกเข้าเยื่อหุ้มเซลล์โดยไม่ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เสียหาย เพื่อเข้ายับยั้งกระบวนการสังเคราะห์สารต่าง ๆ ในเซลล์ เช่น ดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ โปรตีน ในปี ค.ศ. 2009 มีรายงานว่า หนึ่งในสามของโปรตีนทั้งหมดของเซลล์แบคทีเรียเกี่ยวข้องกับการสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ และโปรตีนเหล่านี้มีหน้าที่สำคัญในการขนส่งสารอาหาร การหายใจ การสร้างพลังงาน และการสื่อสารภายในเซลล์ (Zhang & Rock, 2009) เมื่อโปรตีนเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับ AMPs จะมีผลให้ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ดังนั้น AMPs จึงมีประสิทธิภาพในการทำลายเซลล์เป้าหมายได้อย่างรวดเร็วแม้ในกรณีที่ไม่มีการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์หรือทำให้เซลล์แตก ดังนั้น หากแบ่ง AMPs ตามกลไกการทำงาน

จึงแบ่งได้เป็นกลุ่มที่ทำงานบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane-active AMPs) และกลุ่มที่ทำงานภายในเซลล์ (Intracellular active AMPs) (Bahar & Ren, 2013) (Figure 2)

เปปไทด์ในกลุ่มที่ทำงานบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์มักมีคุณสมบัติเป็น amphipathic หมายถึง มีทั้งส่วนที่เป็นประจุบวกและส่วนที่ไม่มีประจุ ส่วนที่เป็นประจุบวกจะสามารถจับกับประจุลบบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ และส่วนที่ไม่มีประจุจะช่วยให้ AMPs แทรกซึมเข้าไปยังเยื่อหุ้มเซลล์ด้านใน (Madani et al., 2011) รายละเอียดของกลไกการทำงานของเปปไทด์กลุ่มนี้มีความแตกต่างกันแล้วแต่กรณี ยกตัวอย่างเช่น กลไก carpet like (deter-like) model เปปไทด์จะเข้าสัมผัสกับเยื่อหุ้มเซลล์เป้าหมายและแทรกเข้าไปในชั้นไขมันเพื่อสร้างรูบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (Bechinger, 2005) สำหรับกลไก membrane thing model เปปไทด์จะแทรกตัวเข้าไปอยู่ในชั้นหนึ่งของเยื่อหุ้มเซลล์ที่ประกอบด้วยไขมันสองชั้นเพื่อสร้างรูเล็ก ๆ ระหว่างโมเลกุลของไขมัน รูดังกล่าวจะสร้างแรงดึงไขมันโมเลกุลถัดไปมาปิดรูที่เกิดขึ้น ทำให้ไม่เกิดรูหลังจากแทรกตัว (Mecke et al., 2005) ส่วนกลไก aggregate model เปปไทด์จะติดขนานไปกับเยื่อหุ้มเซลล์ด้านนอก จากนั้นเปปไทด์จะสร้างโครงสร้างใหม่และแทรกตัวเองเข้าไปในเยื่อหุ้มเซลล์ในแนวตั้งและสร้างโครงสร้างใหม่ภายในเซลล์เป้าหมายเป็นรูปทรงกลม (Wu et al., 1999) เป็นต้น

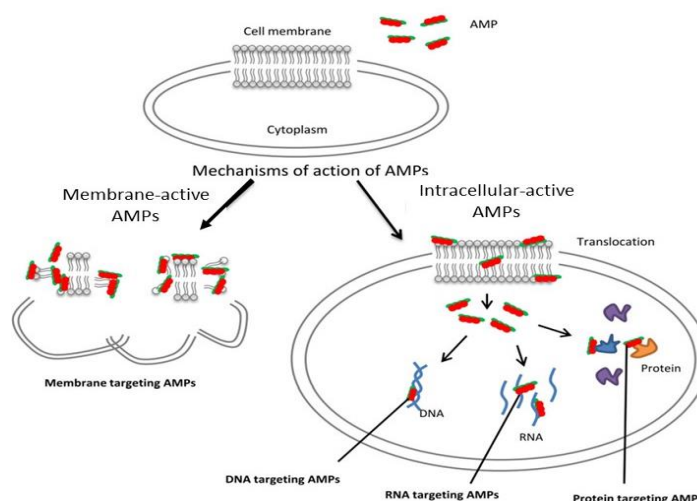


Figure 2 Overview of mechanism of action of AMPs, AMPs target on cell membrane and AMPs target on different macromolecules specially DNA, RNA and proteins

ในขณะที่เปปไทด์กลุ่มที่ทำงานบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ต้องใช้เปปไทด์จำนวนมากในการเข้ายึดเกาะกับเยื่อหุ้มเซลล์เพื่อทำให้เกิดรูหรือช่องโหว่บริเวณผิวเซลล์จำนวนมากเพียงพอที่จะทำให้เซลล์ตาย เปปไทด์กลุ่มที่ทำงานภายในเซลล์สามารถเข้าทำลายเซลล์เป้าหมายได้โดยใช้ความเข้มข้นต่ำกว่าค่า MICs (ความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์) ของเปปไทด์กลุ่มแรก โดยเป้าหมายหลักคือเข้าทำปฏิกิริยากับสิ่งต่าง ๆ ภายในเซลล์ (Otvos, 2005) ยกตัวอย่างเช่น indolicin จะไม่ทำให้เซลล์แตกโดยตรง แต่จะแทรกตัวเข้าไปยังไซโทพลาสซึมและฆ่าแบคทีเรียด้วยการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ (Nicolas, 2009) apidaecin เป็น เปปไทด์ที่เข้ายับยั้งการสังเคราะห์โปรตีนโดยไม่ทำให้เกิดรูบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์เช่นกัน โดย apidaecin จะเข้าทำลายเฉพาะแบคทีเรียแกรมลบ (Castle et al., 1999) นอกจากนี้ยังพบว่าเปปไทด์บางชนิดสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ protease ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์เป้าหมายได้ด้วย เช่น เปปไทด์ histatin 5 ยับยั้งเอนไซม์ protease จากเชื้อแบคทีเรีย *Bacterioides gingivalis* ได้ (Couto et al., 1993)

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ AMPs ในงานด้านโรคพืช

แนวทางการวิจัยการประยุกต์ใช้ AMPs ในงานด้านโรคพืชมักเริ่มจากการศึกษาโปรตีนและเปปไทด์ในสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ และนำมาทดสอบคุณสมบัติการฆ่าหรือยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคพืช มีการรวบรวมโครงสร้างและการทำงานของ AMPs ที่พบในพืช เรียกว่าฐานข้อมูล PhytAMP ในฐานข้อมูลดังกล่าวระบุว่ามี AMPs ถึงร้อยละ 51 ที่มีฤทธิ์ยับยั้งรา ร้อยละ 33 มี

ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย และร้อยละ 10 มีฤทธิ์ยับยั้งไวรัส (Hammami et al., 2009) ในจำนวนนี้มีหลายชนิดที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคพืช

ในปี ค.ศ. 2001 มีรายงานการศึกษาโครงสร้างและกลไกด้านการติดเชื้อของเปปไทด์ magainin ที่พบในผิวหนังกบ โดยพบว่า magainin สามารถยับยั้งการเจริญของสปอร์ของสิ่งมีชีวิตคล้ายรา (oomycete) เชื้อราสีน้ำตาล *Peronospora tabacina* (Adam) ในระดับห้องปฏิบัติการ และยังสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* (Jones) ซึ่งก่อให้เกิดโรคเน่าและได้อีกด้วย สำหรับ cecropin เป็น AMPs ที่มีโครงสร้างเกลียวแอลฟาและสกัดได้จากหนอนผีเสื้อ *Hyalophora cecropia* สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคพืชสกุล *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Pectobacterium*, *Agrobacterium* และ *Dickeya* ได้ ด้วยความเข้มข้นในระดับไมโครโมลาร์ (Alan & Earle, 2002; Li & Gray, 2003)

ในปี ค.ศ. 2016 คณะนักวิจัยจากประเทศจีนได้ทำการศึกษากลไกยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคขอบใบแห้งในข้าว *X. oryzae* pv. *oryzae* (Xoo) ของเปปไทด์ melittin ที่แยกได้จากพิษของผึ้ง *Apis mellifera* พบว่า melittin สามารถฆ่าแบคทีเรีย Xoo ด้วยความเข้มข้นเพียง 10 ไมโครโมลาร์ เมื่อตรวจสอบปริมาณสารพันธุกรรมภายในเซลล์แบคทีเรียโดยใช้สารเรืองแสงฟลูออเรสเซนส์ พบว่า แบคทีเรียที่ได้รับเปปไทด์ melittin ที่ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์มีผลทำให้ปริมาณสารพันธุกรรมลดน้อยลงกว่าเซลล์ที่ไม่ได้รับเปปไทด์ นอกจากนี้เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าผนังเซลล์ของแบคทีเรีย Xoo ที่ได้รับเปปไทด์ melittin มีลักษณะย่นและมีการไหลออกของไซโทพลาสซึม ซึ่งแสดงว่าเปปไทด์ดังกล่าวมีผลทำให้เกิดรูบริเวณผนังเซลล์ทำให้สารภายในเซลล์รั่วไหลและตายในที่สุด (Shi et al., 2016)

Defensin เป็น AMPs กลุ่มใหญ่ที่มีการศึกษาในงานด้านโรคพืชกันอย่างกว้างขวางตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยการศึกษาที่ได้รับการอ้างอิงถึงในหลายงานวิจัย ได้แก่ เปปไทด์ Psd1 จาก *Pisum sativum* เปปไทด์ NaD1 จาก *Nicotiana glauca* เปปไทด์ TPP3 จาก *Solanum lycopersicum* เปปไทด์ NsD7 จาก *N. suaveolens* และเปปไทด์ MtDef5 จาก *Medicago truncatula* โดยมีการรายงานว่าเปปไทด์กลุ่มดังกล่าวทำปฏิกิริยากับพลาสมาเมมเบรนและทำให้เซลล์ร่ายในที่สุด (Aerts et al., 2008) ในปี ค.ศ. 2016 คณะนักวิจัยชาวไทยได้ศึกษาการแสดงออกของยีนที่เป็นรหัสของเปปไทด์ defensin และ defensin-like โดยพบว่า ยีน *OsDEF7* และ *OsDEF8* มีการแสดงออกร่วมกัน (coexpression) ในการยับยั้งการเจริญของ Xoo, *X. oryzae* pv. *oryzicola* สาเหตุโรคใบขีดโปร่งแสงในข้าว และ *E. carotovora* subsp. *atroseptica* สาเหตุโรคเน่าและในมันฝรั่ง ด้วยค่า MIC 0.6 – 63 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (Tantong et al., 2016) หลังจากนั้น 3 ปี คณะนักวิจัยจากประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่า core motif ของ defensin ที่แยกได้จาก *Medicago truncatula* หรือที่เรียกว่า MtDef สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคทั้งในมนุษย์และในพืช (*E. coli*, *P. syringae* pv. *syringae*, *X. alfalfa* subsp. *alfalfa*, *Sinorhizobium meliloti*) ในระดับห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ยังรายงานว่ามี defensin ในขนาดความยาวปกติ (full length defensin) ให้ผลการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดีกว่าเปปไทด์ที่มีเพียง core motif (Sathoff et al., 2019) และในปี ค.ศ. 2020 มีรายงานพบว่าเปปไทด์ epsilon-poly-L-lysine หรือ EPL มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคพืช *Agrobacterium tumefaciens*, *Ralstonia solanacearum*, *X. citri* subsp. *citri* (*X. citri*), และ *X. euvesicatoria* โดยพบว่าค่า MIC ของเปปไทด์ EPL เท่ากับ 80 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรในเชื้อ *X. citri* และเท่ากับ 600 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรสำหรับเชื้อ *R. solanacearum* และ *X. euvesicatoria* โดยหลังจากให้เชื้อสัมผัสกับเปปไทด์ที่ค่า MIC ดังกล่าวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีผลให้แบคทีเรียก่อโรคพืชตายเนื่องจากเซลล์แตก นอกจากนี้ยังรายงานว่ามีสารละลายเปปไทด์ EPL กับต้นมะเขือเทศที่มีการติดเชื้อ *X. euvesicatoria* สาเหตุโรคใบจุดมะเขือเทศ พบว่าสามารถลดความรุนแรงของโรคได้ (Rodrigues et al., 2020) ในปี ค.ศ. 2022 มีการศึกษาเปปไทด์ที่สกัดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและทดสอบคุณสมบัติการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคพืช พบว่า AMPs ที่ได้จากขนอ้อยมีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคพืชบางชนิด และเมื่อศึกษาต่อด้วยการทำให้บริสุทธิ์และศึกษาการทำงานของเปปไทด์ด้วยเทคนิคโปรตีโอมิกส์ พบว่า เปปไทด์ PQLAVF (Pro-Gln-Leu-Ala-Val-Phe) และเปปไทด์ MDRFL (Met-Asp-Arg-Phe-Leu) เป็นเปปไทด์ที่ทำงานบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane-active AMPs) มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของ Xoo ในขณะที่เปปไทด์ VQLMNSL (Val-Gln-Leu-Met-Asn-Ser-Leu) เป็นเปปไทด์ที่ทำงานภายในเซลล์ (intracellular-active AMPs) มีผลต่อกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์แบคทีเรียก่อโรคชนิด *Pectobacterium*

carotovorum สาเหตุโรคน้ำ และ *Agrobacterium rhizogenes* สาเหตุโรครากจำนวนมากผิดปกติ โดยส่งผลกระทบต่อโปรตีนในแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารจำเป็นต่าง ๆ ภายในเซลล์ ทั้งดีเอ็นเอ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน รวมทั้งมีผลต่อโปรตีนในกระบวนการถอดรหัสและแปลรหัส การซ่อมแซมดีเอ็นเอ และการส่งสัญญาณภายในเซลล์ นอกจากนี้ยังพบว่ากลไกการทำงานดังกล่าวยังมีลักษณะเฉพาะตัว แตกต่างจากกลไกของยาปฏิชีวนะ ampicillin และ kanamycin ในการยับยั้งเซลล์เป้าหมายอีกด้วย (Ditsawanon et al., 2022)

ทั้งนี้ การศึกษากลไกการทำงานระหว่าง AMPs และเชื้อก่อโรคในพืชยังมีไม่มากนัก และจากรายงานบางส่วน พบว่ากลไกของ AMPs ส่งผลกระทบต่อโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับโปรตีนของเชื้อก่อโรคในหลายระบบ จึงไม่สามารถระบุได้ว่า AMPs จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับโปรตีนประเภท PR-protein, phytoalexin หรือ phyto-anticipin กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งได้

แนวทางการนำ AMPs ไปใช้ในการควบคุมโรคและข้อจำกัด

จากรายงานวิจัยที่รวบรวมมาในหัวข้อข้างต้น พบว่าการทดสอบการยับยั้งเชื้อก่อโรคในพืชโดยใช้ AMPs ให้ผลดีในระดับห้องปฏิบัติการ โดยส่งผลกระทบต่อระบบต่าง ๆ ในเชื้อก่อโรคหลายชนิด อย่างไรก็ตาม สภาพแวดล้อมจริงในพื้นที่ปลูกยังคงเป็นปัจจัยสำคัญในการระบาดและการควบคุมโรค ดังนั้น การนำ AMPs ที่ให้ผลดีในห้องปฏิบัติการไปศึกษาต่อในสภาพแวดล้อมจริง และดัดแปลงโครงสร้างบางส่วนของ AMPs เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานและเพิ่มความเสถียรจึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยีระดับนาโน เช่น พอลิเมอร์ (polymers) อนุภาคนาโน (nanoparticles) ไมเซลล์ (micelles) เข้ามามีส่วนช่วยในการนำพา AMPs เข้าไปทำหน้าที่ในเซลล์พืชเป้าหมาย ยังมีส่วนช่วยลดข้อจำกัดในเรื่องความเสถียรในประสิทธิภาพการทำงาน และลดความเสี่ยงในการถูกทำลายจากเอนไซม์โปรติเอส (protease) ได้ (Martin-Serrano et al., 2019)

สรุป

AMPs เป็นสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์หลายชนิด ทั้งไวรัส รา แบคทีเรีย และปรสิต จึงมีประโยชน์อย่างมากในการควบคุมโรคพืช เปปไทด์เหล่านี้ได้มาจากการสกัดจากธรรมชาติและสังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการ ซึ่งให้ผลประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคพืชที่น่าพอใจดังรายงานต่าง ๆ ที่กล่าวไว้ข้างต้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ศึกษา AMPs ในโรคพืชส่วนใหญ่ในปัจจุบัน เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ คาดว่าแนวโน้มการศึกษาในอนาคตอันใกล้จะมีการนำ AMPs ไปประยุกต์ใช้ในโรงเรือนหรือทดสอบคุณสมบัติการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคพืชในพื้นที่จริงทางการเกษตร แม้ว่าในปัจจุบันมีการศึกษาถึงกลไกการทำงานของ AMPs ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมโรคพืชไม่มากนัก และยังใช้ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับยาปฏิชีวนะที่มีในปัจจุบัน และมีข้อจำกัดในการใช้งานบางประการ แต่หากมีการศึกษาที่ใช้เทคโนโลยีแก้ปัญหาดังกล่าวได้ และสามารถผลิตใช้ได้ในวงกว้างได้สำเร็จ จะเป็นประโยชน์อย่างมากกับเกษตรกรทั้งในและต่างประเทศในแง่ของความมั่นคงทางอาหาร ความยั่งยืนของเกษตรกรรม รวมทั้งความปลอดภัยของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ทางเกษตรด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Aerts, A. M., Francois, I. E. J. A., Cammue, B. P. A., & Thevissen, K. (2008). The mode of antifungal action of plant, insect and human defensins. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 65, 2069-2079.
- Alan, A. R., & Earle, E. D. (2002). Sensitivity of bacterial and fungal plant pathogens to the lytic peptides, MSI-99, magainin II, and cecropin B. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 15, 701-708.
- Andersen, J. H., Jenssen, H., Sandvik, K., & Gutteberg, T. J. (2004). Anti-hsv activity of lactoferrin and lactoferricin is dependent on the presence of heparan sulphate at the cell surface. *Journal of Medical Virology*, 74, 262-271.
- Bahar, A. A., & Ren, D. (2013). Antimicrobial peptides. *Pharmaceuticals*, 6, 1543-1575.
- Balandin, M., Royo, J., Gomez, E., Muniz, L. M., Molina, A., & Hueros, G. (2005). A protective role for the embryo surrounding region of the maize endosperm, as evidenced by the characterization of ZmESR-6, a defensin gene specifically expressed in this region. *Plant Molecular Biology*, 58, 269-282.
- Bechinger, B. (2005). Detergent-like properties of magainin antibiotic peptides: A 31p solid-state nmr spectroscopy study. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1712, 101-108.
- Belaid, A., Aouni, M., Khelifa, R., Trabelsi, A., Jemmali, M., & Hani, K. (2002). In vitro antiviral activity of dermaseptins against herpes simplex virus type 1. *Journal of Medical Virology*, 66, 229-234.
- Brogden, K. A. (2005). Antimicrobial peptides: Pore formers or metabolic inhibitors in bacteria. *Nature Reviews Microbiology*, 3, 238-250.

- Castle, M., Nazarian, A., Yi, S. S., & Tempst, P. (1999). Lethal effects of apidaecin on *Escherichia coli* involve sequential molecular interactions with diverse targets. **Journal of Biological Chemistry**, 274, 32555–32564.
- Chen, Y., Mant, C. T., Farmer, S. W., Hancock, R. E. W., Vasil, M. L., & Hodges, R. S. (2005). Rational design of alpha-helical antimicrobial peptides with enhanced activities and specificity/therapeutic index. **Journal of Biological Chemistry**, 280, 12316–12329.
- Costa, F., Carvalho, I. F., Montelaro, R. C., Gomes, P., & Martins, M. C. (2011). Covalent immobilization of antimicrobial peptides (AMPs) onto biomaterial surfaces. **Acta Biomaterialia**, 7, 1431–1440.
- Couto, M. A., Harwig, S. S., & Lehrer, R. I. (1993). Selective inhibition of microbial serine protease by anap-2, an antimicrobial peptide from equine neutrophils. **Infection and Immunity**, 61, 2991–2994.
- De Coninck, B., Cammue, B. P. A., & Thevissen, K. (2013). Modes of antifungal action and in planta functions of plant defensins and defensin-like peptides. **Fungal Biology Reviews**, 26, 109–120.
- Ditsawanon, T., Roytrakul, S., Phaonakrob, N., Charoenlappanit, S., Thaisakun, S., & Parinthawong, N. (2022). Antibacterial efficiency and mechanisms of small synthetic peptides derived from agricultural wastes that act against plant pathogens but not plant growth-promoting rhizobacteria. **Agronomy**, 12, 1841.
- Dösler, S. (2017). Antimicrobial peptides: Coming to the end of antibiotic era, the most promising agents. **Istanbul Journal of Pharmacy**, 47(2), 72–76.
- Fernandez-Vidal, M., Jayasinghe, S., Ladokhin, A. S., & White, S. H. (2007). Folding amphipathic helices into membranes: Amphiphilicity trumps hydrophobicity. **Journal of Molecular Biology**, 370, 459–470.
- Francisco, G. C., & Georgina, E. (2017). Structural motifs in class I and class II plant defensins for phospholipid interactions: Intriguing role of ligand binding and modes of action. **Journal of Plant Physiology**, 5, 1.
- Franco, O. L. Murad, A. M. Leite, J. R., Mendes, P. A. M. Prates, M. V., & Bloch, C. (2006). Identification of a cowpea gamma-thionin with bactericidal activity. **The FEBS Journal**, 273, 3489–3497.
- Goyal, R. K., & Mattoo, A. K. (2014). Multitasking antimicrobial peptides in plant development and host defense against biotic/abiotic stress. **Plant Science**, 228, 135–149.
- Hammami, R., Ben H. J., Vergoten, G., & Flis, I. (2009). PhytAMP: a database dedicated to antimicrobial plant peptides. **Nucleic Acids Research**, 37, D963–D968.
- Hancock, R. E., & Scott, M. G. (2000). The role of antimicrobial peptides in animal defenses. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 97, 8856–8861.
- Heydari, H., Golmohammadi, R., Mirnejad, R., Tebyanian, H., Fasihi-Ramandi, M., & Moghaddam, M. M. (2021). Antiviral peptides against Coronaviridae family: A review. **Peptides**, 139, 170526.
- Hsu, C. H., Chen, C., Jou, M. L., Lee, A. Y., Lin, Y. C., Yu, Y. P., Huang, W. T., & Wu, S. H. (2005). Structural and DNA-binding studies on the bovine antimicrobial peptide, indolicidin: Evidence for multiple conformations involved in binding to membranes and DNA. **Nucleic Acids Research**, 33, 4053–4064.
- Huang, Y. B., Huang, J. F., & Chen, Y. X. (2010). Alpha-helical cationic antimicrobial peptides: Relationships of structure and function. **Protein & Cell**, 1, 143–152.
- Jenssen, H., Hamill, P., & Hancock, R. E. W. (2006). Peptide antimicrobial agents. **Clinical Microbiology Reviews**, 19, 491–511.
- Jiang, Z., Vasil, A. I., Hale, J. D., Hancock, R. E., Vasil, M. L., & Hodges, R. S. (2008). Effects of net charge and the number of positively charged residues on the biological activity of amphipathic alpha-helical cationic antimicrobial peptides. **Biopolymers**, 90, 369–383.
- Lee, D. G., Kim, H. N., Park, Y. K., Kim, H. K., Choi, B. H., Choi, C. H., & Hahm, K. S. (2002). Design of novel analogue peptides with potent antibiotic activity based on the antimicrobial peptide, hp (2–20), derived from n-terminus of *Helicobacter pylori* ribosomal protein L1. **Biochimica et Biophysica Acta**, 1598, 185–194.
- Leippe, M. (1999). Antimicrobial and cytolytic polypeptides of amoeboid protozoa—Effector molecules of primitive phagocytes. **Developmental & Comparative Immunology**, 23, 267–279.
- Li, J., Hu, S., Jian, W., Xie, C., & Yang, X. (2021) Plant antimicrobial peptides: structures, functions, and applications. **Botanical Studies**, 62, 5.
- Li, Z. T., & Gray D. J. (2003). Effect of five antimicrobial peptides on the growth of *Agrobacterium tumefaciens*, *Escherichia coli* and *Xylella fastidiosa*. **Vitis**, 42 (2), 95–97.
- Loeffler, J. M., Nelson, D., & Fischetti, V. A. (2001). Rapid killing of *Streptococcus pneumoniae* with a bacteriophage cell wall hydrolase. **Science**, 294, 2170–2172.
- Madani, F., Lindberg, S., Langel, U., Futaki, S., & Graslund, A. (2011). Mechanisms of cellular uptake of cell-penetrating peptides. **Journal of Biophysics**. <http://doi.org/10.1155/2011/414729>
- Madadlou, A. (2020). Food proteins are a potential resource for mining cathepsin L inhibitory drugs to combat SARS-CoV-2. **European Journal of Pharmacology**. <http://doi.org/10.1016/j.ejphar.2020.173499>
- Martin -Serrano, A., Gómez, R., Ortega, P., & de la Mata, J. (2019). Nanosystems as Vehicles for the Delivery of Antimicrobial Peptides (AMPs). **Pharmaceutics**, 11, 448.
- Mecke, A., Lee, D. K., Ramamoorthy, A., Orr, B. G., & Holl, M. M. B. (2005). Membrane thinning due to antimicrobial peptide binding: An atomic force microscopy study of msi-78 in lipid bilayers. **Biophysical Journal**, 89, 4043–4050.
- Naghmouchi, K., le Lay, C., Baah, J., & Drider, D. (2012). Antibiotic and antimicrobial peptide combinations: Synergistic inhibition of *Pseudomonas fluorescens* and antibiotic-resistant variants. **Research in Microbiology**, 163, 101–108.

- Nicolas, P. (2009). Multifunctional host defense peptides: Intracellular-targeting antimicrobial peptides. **The FEBS Journal**, 276, 6483–6496.
- Otvos, L. (2005). Antibacterial peptides and proteins with multiple cellular targets. **Journal of Peptide Science**, 11, 697–706.
- Papo, N., Oren, Z., Pag, U., Sahl, H. G., & Shai, Y. (2002). The consequence of sequence alteration of an amphipathic alpha-helical antimicrobial peptide and its diastereomers. **Journal of Biological Chemistry**, 277, 33913–33921.
- Park, Y., Jang, S. H., Lee, D. G., & Hahm, K. S. (2004). Antinematodal effect of antimicrobial peptide, pmap-23, isolated from porcine myeloid against *Caenorhabditis elegans*. **Journal of Peptide Science**, 10, 304–311.
- Peters, B. M., Shirliff, M. E., & Jabra-Rizk, M. A. (2010). Antimicrobial peptides: Primeval molecules or future drugs. **PLoS Pathogens**, 6, e1001067.
- Pushpanathan, M., Rajendhran, J., Jayashree, S., Sundarakrishnan, B., Jayachandran, S., & Gunasekaran, P. (2012). Identification of a novel antifungal peptide with chitin-binding property from marine metagenome. **Protein & Peptide Letters**, 19, 1289–1296.
- Radek, K., & Gallo, R. (2007). Antimicrobial peptides: Natural effectors of the innate immune system. **Semin. Immunopathology**, 29, 27–43.
- Rodrigues, B., Morais, T. P., Zaini, P. A., Campos, C. S., Almeida-Souza, H. O., Dandekar, A. M., Nascimento, R., & Goulart, L. R. (2020). Antimicrobial activity of Epsilon-Poly-L-lysine against phytopathogenic bacteria. **Scientific Reports**, 10, 11324.
- Rozek, A., Friedrich, C. L., & Hancock, R. E. (2000). Structure of the bovine antimicrobial peptide indolicidin bound to dodecylphosphocholine and sodium dodecyl sulfate micelles. **Biochemistry**, 39, 15765–15774.
- Sathoff, A. E., Velivelli, S., Shah, D. M., & Samac, D. A. (2019). Plant defensin peptides have antifungal and antibacterial activity against human and plant pathogens. **Phytopathology**, 109, 402–408.
- Sereenonchai S., & Arunrat, N. (2022). Urban Agriculture in Thailand: Adoption Factors and Communication Guidelines to Promote Long-Term Practice. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 20(1), 1.
- Shai, Y. (2002). Mode of action of membrane active antimicrobial peptides. **Biopolymers**, 66, 236–248.
- Shah, P., Hsiao, F. S. H., Ho, Y. H., & Chen, C. S. (2016). The proteome targets of intracellular targeting antimicrobial peptides. **Proteomics**, 16, 1225–1237.
- Shi, W., Li, C., Li, M., Zong, X., Han, D., & Chen, Y. (2016). Antimicrobial peptide melittin against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*, the bacterial leaf blight pathogen in rice. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 100, 5059–5067.
- Sinha, S., Cheshenko, N., Lehrer, R. I., & Herold, B. C. (2003). Np-1, a rabbit alpha-defensin, prevents the entry and intercellular spread of herpes simplex virus type 2. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, 47, 494–500.
- Subbalakshmi, C., & Sitaram, N. (1998). Mechanism of antimicrobial action of indolicidin. **FEMS Microbiology Letters**, 160, 91–96.
- Tantong, S., Pringsulaka, O., Weerawanich, K., Meeprasert, A., Rungrotmongkol, T., Sarnthima, R., Roytrakul, S., & Sirikantaramas, S. (2016). Two novel antimicrobial defensins from rice identified by genecoexpression network analyses. **Peptides**, 84, 7–16.
- Uteng, M., Hauge, H. H., Markwick, P. R., Fimland, G., Mantzilas, D., Nissen-Meyer, J., & Muhle-Goll, C. (2003). Three-dimensional structure in lipid micelles of the pediocin-like antimicrobial peptide sakacin p and a sakacin p variant that is structurally stabilized by an inserted c-terminal disulfide bridge. **Biochemistry**, 42, 11417–11426.
- Wang, Z., Bing, X., Liu, S., & Chen, X. (2016). RNA interference of an antimicrobial peptide, Btdef, reduces Tomato yellow leaf curl China virus accumulation in the whitefly *Bemisia tabaci*. **Pest Management Science**, 73(7), 1421–1427.
- Wade, J. D., Lin, F., Hossain, M. A., & Dawson, R. M. (2012). Chemical synthesis and biological evaluation of an antimicrobial peptide gonococcal growth inhibitor. **Amino Acids**, 43, 2279–2283.
- Wu, M., Maier, E., Benz, R., & Hancock, R. E. (1999). Mechanism of interaction of different classes of cationic antimicrobial peptides with planar bilayers and with the cytoplasmic membrane of *Escherichia coli*. **Biochemistry**, 38, 7235–7242.
- Yasin, B., Wang, W., Pang, M., Cheshenko, N., Hong, T., Waring, A. J., Herold, B. C., Wagar, E. A., & Lehrer, R. I. (2004). Defensins protect cells from infection by herpes simplex virus by inhibiting viral adhesion and entry. **Journal of Virology**, 78, 5147–5156.
- Zasloff, M. (2002). Antimicrobial peptides of multicellular organisms. **Nature**, 415, 389–395.
- Zasloff, M. (1987). Magainins, a class of antimicrobial peptides from *Xenopus* skin: Isolation, characterization of two active forms, and partial cDNA sequence of a precursor. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 84, 5449–5453.
- Zhang, Y. M., & Rock, C. O. (2009). Transcriptional regulation in bacterial membrane lipid synthesis. **Journal of Lipid Research**, 50, S115–S119.
- Zhao, H., To, K. K. W., Sze, K. H., Yung, T. T., Bian, Lam, M. H., Yeung, Li, M. L. C. Chu, H., & Yuen, K. Y. (2020). A broad-spectrum virus- and host-targeting peptide against respiratory viruses including influenza virus and SARS-CoV-2. **Nature Communications**, 11, 4252.
- Zhao, X., Wu, H., Lu, H., Li, G., & Huang, Q. (2013). Lamp: A database linking antimicrobial peptides. **PLoS One**, 8(6), e66557.

การบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเบเนฟิก เรด ปนเปื้อนโดยใช้สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Nannochloropsis oculata* ที่ตรึงในอัลจิเนต

Bioremoval of Contaminated in Wastewater by Using Alginate Immobilized Cell of Green Microalga *Nannochloropsis oculata*

ปวีณ์พร จงยิ่งเจริญยศ^{1*}, บุปผา จงพัฒน์¹ และสุนีรัตน์ เรืองสมบุญ¹

Paweeporn Jongyingjaroenyod^{1*}, Buppha jongput¹ and Suneerat Ruangsomboon¹

Received date: 16 ธ.ค. 65 Revised date: 26 พ.ค. 66 Accepted date: 29 พ.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.001>

บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและจลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อมเบเนฟิก เรด โดยสาหร่าย *Nannochloropsis oculata* ที่ตรึงเซลล์ในอัลจิเนต พบว่าสาหร่ายดูดซับสีย้อมได้ดีที่พีเอช 2 มีการดูดซับสูงสุด คือ 0.90 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับคือ 2 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับ 1.80 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณของสาหร่ายที่เหมาะสมคือ 2 กรัมต่อลิตร โดยดูดซับสีย้อมได้ 3.98 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยปริมาณการดูดซับ (q_{eq}) สีย้อมจะลดลงเมื่อปริมาณสาหร่ายเพิ่มขึ้น ไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมนั้นสอดคล้องกับสมการของ Langmuir โดยมีค่าการดูดซับสีย้อมสูงสุด (Q_{max}) เท่ากับ 106.58 ± 20.22 มิลลิกรัมต่อกรัม และการดูดซับสีย้อมเป็นปฏิกิริยาอันดับปฏิกิริยาหนึ่งเสมือน (pseudo first-order) และมีขึ้นกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับคือการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มและการแพร่เข้าภายในเซลล์ชั้นที่สอง จากผลการศึกษาแสดงว่าสาหร่าย *N. oculata* ที่ตรึงในอัลจิเนตเป็นตัวเลือกที่มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้กำจัดสีย้อมเบเนฟิก เรด ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียได้

คำสำคัญ: สาหร่ายขนาดเล็ก การบำบัดน้ำเสีย สีย้อมรีแอคทีฟ นาโนคลอโรพซิส

Abstract

The optimum conditions and adsorption kinetic for bioremoval of benefix red by immobilized cell of *Nannochloropsis oculata* were studied. The results showed that the optimum pH for bioremoval of dye was at 2 with the highest adsorption capacity of 0.90 ± 0.01 mg/g. The equilibrium time of adsorption was 2 h with adsorption capacity of 1.80 ± 0.02 mg/g. The optimum biomass was 2 g/l with adsorption capacity of 3.98 ± 0.02 mg/g. The adsorption capacity (q_{eq}) decreased when the algal biomass increased. The adsorption characteristics fitted well with the Langmuir adsorption isotherm with maximum adsorption capacity (Q_{max}) of 106.58 ± 20.22 mg/g. Dye removal correlated with pseudo first-order, while the adsorption rate was limited by film and intraparticle diffusion at secondary step. It can be concluded that alginate immobilized cell of *N. oculata* may be used as an alternative for removal of benefix red contaminated in wastewater.

Keyword: microalgae, wastewater treatment, reactive dye, *Nannochloropsis oculata*

¹ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

¹Program in Fisheries Science. Division of Animal Production Technology and Fishery, School of Agricultural Technology.

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. 10520

*Corresponding author, E-mail: 62040339@kmitl.ac.th

คำนำ

กิจกรรมอุตสาหกรรมการผลิตต่าง ๆ เช่น การผลิตพลาสติก เครื่องสำอาง กระดาษ หนังสือ สิ่งทอ ฯลฯ มีการใช้สีสังเคราะห์ในขั้นตอนการผลิตปริมาณมาก เนื่องจากสีสังเคราะห์ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีสีชัดเจน สวยงาม ไม่จืดจาง สีย้อมมีสีที่หลากหลายจึงเป็นที่นิยมในการนำมาพอกย้อมโดยเฉพาะอุตสาหกรรมสิ่งทอ (Kumar et al., 2019) สีย้อมรีแอคทีฟเป็นสีอีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับการนิยมในการนำมาใช้เป็นอย่างมากสำหรับการย้อมสิ่งทอ เนื่องจากโครงสร้างของสีนั้นมีความสามารถในการจับตัวผ่านพันธะโควาเลนต์กับเส้นใยสิ่งทอ มีคุณลักษณะที่ดีมีสีสดใส สดสวย น้ำได้ดี และมีวิธีใช้ที่ง่าย ในการใช้สีย้อมนั้นพบว่าประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ของสีย้อมจะสูญเสียไปกับน้ำชะล้างระหว่างที่อยู่ในกระบวนการย้อมสิ่งทอ (Celekli et al., 2012) ซึ่งแน่นอนว่าน้ำชะล้างที่มีสีปนเปื้อนเหล่านี้ย่อมถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำทิ้ง ดังนั้นหากไม่มีการบำบัดน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือแหล่งรับน้ำ สีย้อมย่อมมีการสะสมปริมาณมากขึ้นและส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำเกิดมลพิษทางน้ำได้ โดยอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ เช่น สัตว์น้ำ พืชน้ำ รวมถึงประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงแหล่งน้ำอาจจะได้รับผลกระทบจากทางอื่น เช่น กลิ่นเหม็นของน้ำเสีย และ ทัศนียภาพที่ไม่น่ามอง เนื่องจากเราสามารถมองเห็นความเปลี่ยนแปลงของสีน้ำได้อย่างชัดเจนไม่เพียงเท่านั้นแต่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ด้วยหากมนุษย์สัมผัสกับน้ำที่เกิดมลพิษเหล่านั้น นอกจากนี้สีย้อมที่ปะปนกับน้ำแล้วยังเป็นผลเสียต่อกิจกรรมการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำหรือสาหร่ายเนื่องจากความโปร่งใสของน้ำลดลงแสงส่องลงน้ำได้น้อยลงส่งผลให้สิ่งมีชีวิตที่ต้องการการแสงสังเคราะห์แสงไม่ได้และตายในที่สุดความเป็นพิษของสีย้อมที่เข้มข้นสูงจะมีการสะสมในร่างกายสัตว์น้ำและอาจส่งผลให้สัตว์น้ำมีการตายเพิ่มขึ้นก็จะเป็นการเพิ่มของเสียในแหล่งน้ำ

เนื่องจากสีย้อมรีแอคทีฟมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีโดยมีโครงสร้างของสีย้อม (Figure 1) รวมถึงมีความต้านทานในการซีดจางที่ติดมากจึงทำให้มีการสลายตัวที่ยากดังนั้นการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมรีแอคทีฟก่อนระบายสู่แหล่งน้ำนั้นจึงเป็นเรื่องที่ควรทำ โดยการบำบัดนั้นมีมากมายหลายวิธีโดยมีตั้งแต่กระบวนการทางกายภาพ เคมี และฟิสิกส์ แต่ด้วยวิธีการเหล่านี้มักมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการค่อนข้างมาก อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงอื่นและมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ (Celekli et al., 2012; Sani et al., 2021) ด้วยข้อจำกัดข้างต้นจึงมีการศึกษากระบวนการทางชีวภาพเป็นการนำตัวดูดซับทางชีวภาพมาบำบัด เช่น ใช้แบคทีเรีย เชื้อรา พืชบก พืชน้ำ โคโคซาน และสาหร่าย ซึ่งในกลุ่มตัวดูดซับทางชีวภาพเหล่านี้สาหร่ายขนาดเล็กจัดว่าเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมได้ดี เนื่องจากมีอยู่มากมายตามธรรมชาติ สามารถหาได้ง่าย มีราคาถูกเป็นการลดต้นทุนในการผลิตไปด้วยและอีกปัจจัยหนึ่งคือ สาหร่ายขนาดเล็ก มีศักยภาพในการดูดซับได้สูง ด้วยคุณสมบัติของพื้นผิวบนเซลล์สาหร่ายนั้นเป็นประจุบวกเมื่อเจอกับสีย้อมรีแอคทีฟที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะให้ประจุลบจะเกิดแรงดึงดูดจึงทำให้จับกันได้อย่างเสถียร โดยมีการศึกษาในการนำสาหร่ายขนาดเล็กมาบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเอซิด เรด 66 ปนเปื้อน โดยสาหร่าย *Acutodesmus obliquus* (Sarwa et al., 2014) ซึ่งพบว่ามีความสามารถในการกำจัดสีย้อมได้ดีนอกจากนี้ยังพบการกำจัดสีย้อม Orange-G ด้วยสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella vulgaris* (Kumar et al., 2019) ซึ่งเป็นสาหร่ายที่มีความสามารถในการกำจัดสีย้อมได้ดีเช่นเดียวกันและพบรายงานว่าสาหร่าย *Nannochloropsis* sp. มีความสามารถในการกำจัดสีย้อมกลุ่มแอซิด กลุ่มเอโซ (สีย้อมเมทิล ออเรนจ์) ได้ดี (Buhani et al., 2021a) โดยพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมของสาหร่ายในแต่ละชนิดหรือสายพันธุ์นั้นก็อาจจะแตกต่างกันไปตามของประเภทของสีย้อมและสภาวะแวดล้อมโดยรวมด้วย

สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กชนิด *Nannochloropsis oculata* เป็นสาหร่ายน้ำเค็มที่มีการนำมาใช้ประโยชน์หลากหลาย ทั้งด้านอาหารเสริม อาหารสัตว์น้ำ ใช้ดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้บำบัดน้ำเสีย เป็นต้น โดยได้มีการใช้สาหร่ายชนิดนี้ในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงไฟฟ้า โดยการปล่อยแก๊สที่ระบายจากโรงไฟฟ้าลงบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายพบว่าสาหร่ายมีประสิทธิภาพการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงและมีผลผลิตสาหร่ายเพิ่มขึ้นปริมาณมาก (Ruangsomboon & Chonudomkul, 2022) จึงได้มีการหาแนวทางในการนำสาหร่ายดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ

การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่าย *N. oculata* ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงของโรงไฟฟ้าในการดูดซับสีย้อมเบนฟิก เรด ซึ่งเป็นสีรีแอคทีฟ (reactive dye) ซึ่งเป็นกลุ่มสีย้อมที่ได้รับความนิยมในการใช้มาก แต่เนื่องจากสาหร่ายชนิดนี้มีขนาดเล็กจึงยากต่อการแยกสาหร่ายออกจากน้ำเสียหลังการดูดซับสีย้อม จึงประยุกต์ใช้โดยการตรึง

สาหร่ายในอัลจินเตเพื่อเพิ่มขนาดของตัวดูดซับทำให้ง่ายต่อการกำจัดหลังการดูดซับสีย้อมโดยทำการศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ค่าพีเอชของสารละลาย ระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างสารละลายสีย้อมและสาหร่าย ปริมาณของสาหร่ายที่เหมาะสมและความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม รวมถึงทำการหาไอโซเทอร์มและจลนพลศาสตร์ของสาหร่ายต่อการดูดซับ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการกำจัดสีย้อมโดยสาหร่าย *N. oculata* ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

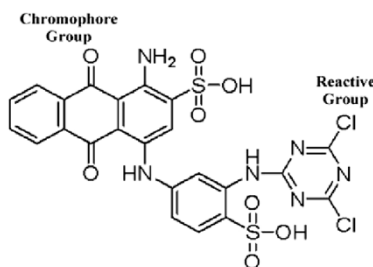


Figure 1 Structure of reactive dye

วิธีการศึกษา

การเตรียมสาหร่าย

นำเซลล์สาหร่าย *N. oculata* แห้งตรึงในเม็ดอัลจินเตซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลมโดยผสมสาหร่ายลงในโซเดียมอัลจินเตที่ละลายน้ำเรียบร้อยแล้ว 1 กรัม/100 มิลลิลิตร คนให้เป็นเนื้อเดียวกันเมื่อเป็นเนื้อเดียวกันเรียบร้อยแล้ว นำหลอดฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร ทำการดูดอัลจินเตและหยดในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม/100 มิลลิลิตร และทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาจึงนำสาหร่ายที่ตรึงในเม็ดอัลจินเตเรียบร้อยแล้วไปล้างน้ำให้สะอาดและนำไปทดลองดูดซับสีย้อมในขั้นตอนต่อไป ซึ่งสีย้อมที่ใช้ในการทดลองคือ สีย้อมเบนฟิก เรด

การศึกษาพีเอช ระยะเวลาและปริมาณของสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

ในการทดลองศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับนั้นทำการทดลองในช่วงพีเอช 2-8 (ปรับระดับพีเอช โดย HNO_3 0.1 โมลต่อลิตร และ NaOH 0.1 โมลต่อลิตร) และเมื่อได้ผลของค่าพีเอชที่ดีที่สุดจึงนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมหรือเวลาเข้าสู่สมดุลโดยศึกษาในช่วงระยะเวลา 0-360 นาที จากนั้นนำผลระยะเวลาเข้าสู่สมดุลไปใช้ในการทดลอง ขั้นต่อไป การศึกษาปริมาณของสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการดูดซับนั้นจะทำการศึกษาในช่วง 2-10 กรัมต่อลิตร โดยการเตรียมสีย้อมทำโดยละลายสีย้อมเบนฟิก เรด ในน้ำ Milli-q ให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ

วิธีการศึกษาการดูดซับคือนำเม็ดอัลจินเตที่ตรึงสาหร่ายไว้ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุสีย้อมที่ระดับพีเอชและความเข้มข้นที่ต้องการ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าที่เครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 180 นาที (สำหรับการศึกษาเรื่องพีเอช) และที่ระยะเวลา 120 นาที (สำหรับการศึกษาปริมาณของสาหร่ายซึ่งเป็นผลของการหาระยะเวลาที่เหมาะสม) เมื่อครบเวลาแล้วทำการแยกเม็ดอัลจินเตออกจากสารละลายสีย้อมและนำไปวัดหาปริมาณสีย้อมที่เหลือด้วยเครื่อง spectrophotometer

คำนวณปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับต่อปริมาณสาหร่าย (adsorption capacity), (q มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม)

$$\text{ตั้งสมการ } q = V (C_0 - C_{eq}) / M$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของสารละลายสีย้อม (ลิตร)

C_0 คือ ความเข้มข้นตั้งต้นของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_{eq} คือ ความเข้มข้นสุดท้ายของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)

M คือ ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (กรัม)

คำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซับ (% removal) ดังสมการ $R (\%) = (C_0 - C_t) / C_0 \times 100$

โดย C_0 คือ ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำเสียที่จุดเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_t คือ ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำเสียที่ระยะเวลาต่าง ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

การหาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม

ใส่สารย้อมที่ตรึงในเม็ดอัลจินตปริมาณ 2 กรัมต่อลิตร ในสารละลายสีย้อม 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นสีย้อม 20-100 มิลลิกรัมต่อลิตร และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสีย้อมที่เหลือที่จุดสมดุลและหาค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับ โดยการหาค่าไอโซเทอร์มการดูดซับทำได้โดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ดังนี้

$$\text{สมการ Langmuir } 1/q_{eq} = (1/(K_d Q_{max})) (1/C_{eq}) + (1/Q_{max})$$

เมื่อ q_{eq} คือ ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัมสำหรับ)

Q_{max} คือ ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับได้สูงที่สุดโดยสำหรับ (มิลลิกรัมต่อกรัมสำหรับ)

K_d คือ ค่าคงที่ในการดูดซับสีย้อมของสำหรับซึ่งสัมพันธ์ระหว่างความชอบ (สัมพรรคของแรธาตุ)

ระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

C_{eq} คือ ปริมาณสีย้อมที่เหลือในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$$\text{ส่วนสมการของ Freundlich มีรูปสมการคือ } q_{eq} = K_f C_{eq}^{1/n}$$

เมื่อ K_f และ $1/n$ เป็นค่าคงที่ของการดูดซับ ซึ่งค่า K_f และ $1/n$ เป็นดัชนีของประสิทธิภาพในการดูดซับ (adsorption capacity index) และความหนาแน่นในการดูดซับ (adsorption intensity) ตามลำดับ

การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับทำได้โดยนำสารย้อมที่ตรึงในเม็ดอัลจินตปริมาณ 2 กรัมต่อลิตร ใส่ในสารละลายสีย้อม 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้น 20-100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการวิเคราะห์หาปริมาณสีย้อมที่เหลือ จะวิเคราะห์ที่ระยะเวลา 0-120 นาที จากนั้นทำการหาอันดับของปฏิกิริยา (order of reaction) โดยจะใช้ดังสมการดังต่อไปนี้สำหรับคำนวณปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งเสมือน (pseudo first-order)

$$\log (q_e - q_t) = \log (q_e) - (k_1 / 2.303) t$$

โดยที่ q_e คือ ปริมาณสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับบนเซลล์สำหรับที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

q_t คือ ปริมาณสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับบนเซลล์สำหรับที่เวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

k_1 คือ ค่าคงที่ของการดูดซับแบบ pseudo first-order (ลิตรต่อนาที)

ส่วนสำหรับการคำนวณหาอันดับปฏิกิริยาสองเสมือน (pseudo second-order) หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$t/q_t = (1/k_2 q_e^2) + (1/q_e) t$$

โดยที่ q_e คือ ปริมาณสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับบนเซลล์สำหรับที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

q_t คือ ปริมาณสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับบนเซลล์สำหรับที่เวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

k_2 คือ ค่าคงที่ของการดูดซับแบบ pseudo second-order (กรัมต่อมิลลิกรัมต่อนาที)

และขั้นกำหนดอัตราเร็วของปฏิกิริยา (rate limiting step) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$q = k_1 t^{0.5}$$

โดย q คือ ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของสำหรับที่เวลาใด ๆ

t คือ เวลาในการดูดซับที่เวลาใด ๆ

การวัดปริมาณสีย้อมและการวิเคราะห์ข้อมูล

วัดปริมาณสีย้อมด้วยเครื่อง spectrophotometer (Genesys 20 Thermo Spectronic, Thailand) ทำการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) โดยในทุกชุดการทดลองทำการทดลอง 4 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของชุดทดลองแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิเคราะห์ข้อมูลโดย Turkey's Honestly Significant

Different (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับคอมพิวเตอร์ SPSS For Windows 16.0 (IBM SPSS Statistics, 2023)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีย้อม

ระดับพีเอชของสารละลายที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมเบนฟิก เรด โดยสาหร่าย *N. oculata* ที่ตรึงในเม็ดอัลจิเนต โดยพบว่า สาหร่ายดูดซับสีย้อมได้สูงที่สุดที่ระดับพีเอช 2 โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับ (removal) เท่ากับ 89.60 ± 0.64 เปอร์เซ็นต์ และมี ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับต่อปริมาณสาหร่าย (adsorption capacity) 0.90 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย โดยมีความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับพีเอช (Table 1) ซึ่งมีรายงานการศึกษาลักษณะคล้ายคลึงกันในการใช้สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella vulgaris* เป็นตัวดูดซับทางชีวภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ (Akzu & Tezer, 2005) เนื่องจากสีย้อมเบนฟิก เรด นั้นจัดเป็นสีที่อยู่ในกลุ่มรีแอคทีฟ เมื่อละลายในน้ำจึงให้ประจุลบจึงจับกับหมู่ฟังก์ชันที่เป็นประจุบวก เช่น คาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล กรดอะมิโน (Schiewer & Volesky, 2000) บนพื้นผิวของเซลล์สาหร่าย นอกจากนี้ที่พีเอชต่ำสีย้อมสามารถแตกตัวได้ดีส่งผลให้เกิดปฏิสัมพันธ์กันระหว่างประจุบวกที่อยู่บนพื้นผิวของเซลล์สาหร่ายกับประจุลบของสีย้อมกลุ่มรีแอคทีฟได้มาก เมื่อค่าพีเอช เริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงพีเอชเท่ากับ 8 นั้น จะมีปริมาณของประจุลบที่เพิ่มขึ้น (OH^-) ซึ่งประจุลบนี้สามารถ แย่งจับกับประจุบวก บนผิวเซลล์สาหร่ายทำให้ปริมาณประจุบวกที่อยู่บนพื้นผิวของเซลล์สาหร่ายที่จะจับกับสีย้อมนั้นน้อยลงส่งผลให้การดูดซับสีย้อม ลดลงเมื่อพีเอชสูงขึ้น (Neag & Roman, 2017; Sarwa et al., 2014)

Table 1 Effect of pH on benfix red removal by alginate immobilized cell of *Nannochloropsis oculata* (algae 10 g/L, exposure time 180 min, initial dye concentration 10 mg/L, n=4)

Initial pH	Removal (%)	Adsorption capacity (mg/g)	Final pH
2	89.60 ± 0.64^d	0.90 ± 0.01^e	3.40 ± 0.01
3	40.22 ± 1.52^{bc}	0.40 ± 0.02^{bcd}	5.51 ± 0.02
4	32.30 ± 4.70^{ab}	0.32 ± 0.05^{ab}	5.97 ± 0.05
5	45.19 ± 0.68^c	0.45 ± 0.01^d	6.11 ± 0.02
6	40.60 ± 0.60^{bc}	0.41 ± 0.01^{cd}	6.17 ± 0.01
7	35.69 ± 0.69^b	0.36 ± 0.01^{bc}	6.26 ± 0.02
8	27.42 ± 0.57^a	0.27 ± 0.01^a	6.36 ± 0.06

The different superscript letters (a,b,...) in each column are significantly different ($p < 0.05$).

ผลพบว่า ที่พีเอชเริ่มต้น 2-6 เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าพีเอชของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นนั้นเป็นเพราะค่าพีเอชนั้นมี ความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่สารละลายพีเอชต่ำคือมีปริมาณของ H^+ อยู่เป็นจำนวนมากซึ่งผิวเซลล์ ของสาหร่ายที่เป็นประจุลบสามารถจับกับ H^+ ของสารละลายจึงทำให้พีเอชเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นไปได้ว่าประจุลบของ สีย้อม จับกับ H^+ ในสารละลายจึงยังทำให้พีเอชเพิ่มขึ้นและยังมีรายงานว่าจากการศึกษาการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ แบล็ค 5 บนผงถ่านกัม มันต์ พบว่าที่ค่าพีเอชต่ำนั้นจะเป็นผลให้มีการดูดซับที่แรงมากขึ้นจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Vojnovic et al., 2022) และจากผล การศึกษาค้นคว้าพบว่าในส่วนที่พีเอช 7-8 สารละลายหลังการดูดซับสีย้อมมีค่าลดลงซึ่งอาจเป็นเพราะ OH^- บางส่วนในสารละลาย จับกับประจุบวกที่ผนังเซลล์สาหร่าย (ที่พีเอชต่ำอาจมีการจับเช่นเดียวกันแต่เนื่องจาก OH^- มีปริมาณน้อยจึงไม่แสดงผลชัดเจน)

ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีย้อม

ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมระหว่างสาหร่ายและสารละลายสีย้อมที่ระดับพีเอชที่เหมาะสม (ผลจากข้อ 1) นั้นพบว่าในช่วงแรกหลังจากที่สาหร่าย *N. oculata* สัมผัสกับสารละลายสีย้อมสามารถดูดซับสีย้อมได้อย่างรวดเร็ว จนเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่ามีค่าปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับต่อปริมาณสาหร่ายเท่ากับ 1.74 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย และที่เวลา 2 ชั่วโมง สาหร่ายสามารถดูดซับสีย้อมได้สูงที่สุดถึง 1.80 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่ายและหลังจากเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง การดูดซับค่อนข้างจะคงที่จนครบเวลา 6 ชั่วโมง ดังนั้นที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับสีย้อมเบนฟิก เรด (Figure 2)

จะเห็นได้ว่าระยะเวลาสัมผัสในช่วงแรกมีการดูดซับอย่างรวดเร็วนั้นเป็นเพราะตำแหน่งบนพื้นผิวเซลล์ของสาหร่ายนั้นยังคงว่างอยู่จึงทำให้มีการดูดซับสีย้อมได้อย่างรวดเร็วจนถึงระยะเวลาสัมผัสที่ 2 ชั่วโมง มีปริมาณการดูดซับที่สูงที่สุดและหลังจาก 2 ชั่วโมง เป็นต้นมานั้นจะพบได้ว่าการดูดซับของสีย้อมเริ่มคงที่เพราะว่าตำแหน่งที่ว่างบนพื้นผิวของเซลล์สาหร่ายนั้นน้อยลง จนสีย้อมเข้าจับเต็มทุกตำแหน่งของพื้นผิวเซลล์สาหร่ายนั้นจนหมดจึงทำให้ไม่มีการดูดซับเพิ่มขึ้นอีกหรือถึงจุดสมดุลนั่นเอง (Buhani et al., 2021a; Sarwa et al., 2014)

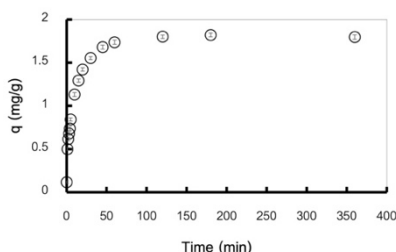


Figure 2 Effect of contact time on benfix red removal by immobilized cell of *Nannochloropsis oculata* (algae 10 g/L, pH 2, initial dye concentration 10 mg/L, n=4)

ผลของปริมาณสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีย้อม

การดูดซับสีย้อมเบนฟิก เรด โดยสาหร่าย *N. oculata* ที่ตรึงในเม็ดอัลจิเนตนั้นพบว่าปริมาณของสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการดูดซับนั้นเท่ากับ 2 กรัมต่อลิตร โดยมีค่าปริมาณการดูดซับสูงที่สุดเท่ากับ 3.98 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกชุดการทดลองที่เหลือ (Table 2) และพบว่าเมื่อปริมาณเซลล์สาหร่ายเพิ่มขึ้นจาก 2 กรัมต่อลิตร ไปจนถึง 10 กรัมต่อลิตร นั้นค่าปริมาณการดูดซับลดลงจาก 3.98 ± 0.02 เป็น 0.85 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย เนื่องจากเมื่อมีจำนวนสาหร่ายที่บรรจุในเม็ดอัลจิเนตเป็นปริมาณที่มากขึ้นก็จะส่งผลให้มีการรวมกลุ่มกัน อาจเป็นเพราะระยะห่างระหว่างเซลล์สาหร่ายนั้นน้อยลงจึงทำให้ที่บริเวณผิวเซลล์ของสาหร่ายสัมผัสกับสีย้อมได้อย่างไม่ทั่วถึงจึงทำให้ค่าปริมาณการดูดซับของสีย้อมเบนฟิก เรด นั้นลดลงตามปริมาณของเซลล์สาหร่ายที่เพิ่มขึ้น (Buhani et al., 2021a)

Table 2 Effect of biomass concentration on benfix red removal by alginate immobilized cell of *Nannochloropsis oculata* (pH 2, exposure time 120 min, initial dye concentration 10 mg/L, n=4)

Biomass (g/L)	Removal (%)	Adsorption capacity (mg/g)
2	79.61 $\pm$ 0.34 ^a	3.98 $\pm$ 0.02 ^e
4	86.17 $\pm$ 0.35 ^b	2.15 $\pm$ 0.01 ^d
6	84.40 $\pm$ 1.45 ^b	1.41 $\pm$ 0.02 ^c
8	85.28 $\pm$ 0.61 ^b	1.07 $\pm$ 0.01 ^b
10	85.28 $\pm$ 0.84 ^b	0.85 $\pm$ 0.01 ^a

The different superscript letters (a,b,...) in each column are significantly different ($p < 0.05$).

ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

จากการทดลองผันแปรความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมที่ 20–100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีย้อมเบนฟิก เรด โดยพบว่ามีค่าปริมาณการดูดซับเท่ากับ 36.82 ± 0.54 มิลลิกรัมต่อกรัมสำหรับ ซึ่งเป็นค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกชุดการทดลองที่เหลือ (Table 3) ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมที่เพิ่มขึ้นจาก 20 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร นั้นพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีการดูดซับสีย้อมต่อกรัมของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดแรงผลัก (repulsive force) ที่เกิดจากความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมที่มากจึงทำให้สีย้อมมีแรงผลักกันเองและทำให้สีย้อมเข้าใกล้สาหร่ายได้มากขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มการดูดซับสีย้อมทำให้สาหร่ายสามารถดูดซับสีย้อมจากสารละลายได้ดี (Sarwa et al., 2014)

Table 3 Effect of initial concentration on benfix red removal by immobilized cell of *Nannochloropsis oculata* (algae 2 g/L, pH 2, exposure time 120 min, n=4)

Initial concentration (mg/L)	Removal (%)	Adsorption capacity (mg/g)
20	77.01 ± 0.41^b	7.70 ± 0.04^a
40	73.60 ± 0.50^a	14.72 ± 0.10^b
60	72.97 ± 0.59^a	21.89 ± 0.18^c
80	71.70 ± 0.79^a	28.68 ± 0.31^d
100	73.63 ± 1.09^a	36.82 ± 0.54^e

The different superscript letters (a,b,...) in each column are significantly different ($p < 0.05$).

ไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อม

การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมเบนฟิก เรด ของสาหร่าย *N. oculata* ที่ผ่านการตรึงในเม็ดอัลจินเตนนั้นพบว่า ค่า r^2 จากสมการของ Langmuir (0.9925) นั้นมีค่าสูงกว่าค่า r^2 จากสมการของ Freundlich (0.9900) (Table 4) ดังนั้นจึงสามารถสันนิษฐานได้ว่าการดูดซับน่าจะสอดคล้องกับสมการการดูดซับของ Langmuir คือมีลักษณะการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว (monomolecular layer) และพื้นที่ผิวในการดูดซับนั้นมีตำแหน่งและกลไก การดูดซับเหมือนกัน (homogeneous surface) รวมถึงพลังงานและตำแหน่งในการดูดซับนั้นจะเหมือนกันทุกตำแหน่งของพื้นที่ผิวสัมผัส ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของ Langmuir และมีค่าการดูดซับสูงสุด (Q_{max}) ที่ 106.58 ± 20.22 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยมีรายงานที่คล้ายคลึงกันในการนำ *Spirogyra majuscula* มาบำบัดสีย้อมรีแอคทีฟ เรด 120 และ รีแอคทีฟ เยลโล่ 81 พบว่าการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ เรด 120 และ รีแอคทีฟ เยลโล่ 81 นั้นสอดคล้องกับสมการของ Langmuir เช่นเดียวกัน โดยมีค่า Q_{max} เท่ากับ 251.94 และ 254.77 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Celekli et al., 2012) ส่วนการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ของสาหร่าย *Nannochloropsis* sp. พบว่าตามรูปแบบสมการของ Langmuir นั้นมีค่า Q_{max} เท่ากับ 76.48 มิลลิกรัมต่อกรัม (Aldegs et al., 2008; Buhani et al., 2021a) นอกจากนี้ยังพบการศึกษาที่เกี่ยวกับการใช้สาหร่าย *Chlorella vulgaris* ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟที่ปนเปื้อนในน้ำเสียพบว่ามีค่า Q_{max} เท่ากับ 50.89 ± 0.46 (Radwan et al., 2020)

Table 4 Langmuir and Freundlich isotherm parameters for the adsorption of benefix red by immobilized cell of *Nannochloropsis oculata* (algae 2 g/L, pH 2, exposure time 120 min, Temp 25 °C, n=4)

Langmuir			Freundlich		
Q_{max} (mg/g)	K_a (L/mg)	R^2	K_f	n	R^2
106.58±20.22	0.02±0.00	0.9925±0.00	4.851±0.40	1.15±0.03	0.9900±0.00

จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม

จลนพลศาสตร์การดูดซับนั้นเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่อหนึ่งหน่วยเวลาหรืออัตราการเกิดปฏิกิริยา (reaction rate) ด้วยการหาอันดับของปฏิกิริยา (order of reaction) ขึ้นกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับและค่าคงที่ของอัตราเร็วของการดูดซับ สำหรับจลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อมเบนฟิก เรด จะพิจารณาจากค่าความสัมพันธ์ (r^2) ว่าสาหร่ายนั้นมีอันดับของปฏิกิริยาเป็นแบบใด จากผลการศึกษาจะพบว่าเมื่อพิจารณาจากค่าความสัมพันธ์ (r^2) แล้วนั้นพบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อมเบนฟิกเรด โดยสาหร่าย *N. oculata* ที่ตรึงในเม็ดอัลจินเตนั้นเป็นแบบ pseudo first-order (Table 5) ซึ่งมีการศึกษาการนำสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กดูดซับสีย้อม naphthol green-B เมื่อทำการวิเคราะห์ทางจลนพลศาสตร์แล้วนั้นพบว่าเป็นแบบ pseudo first-order (Celekli et al., 2012; Gunasundari et al., 2020; Ozer et al., 2005) แสดงว่าในการนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริงการเพิ่มปริมาณสาหร่ายสามารถเพิ่มความเร็วในการดูดซับได้เท่ากับปริมาณสาหร่ายที่เพิ่มขึ้น แต่สำหรับการศึกษาในการนำสาหร่ายสีเขียว *Nannochloropsis* sp. ที่ผ่านการดัดแปลงมาเป็นตัวดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูและไอออนบวกของ Cu(II) นั้นพบว่าจลนพลศาสตร์เป็นแบบ second order (Buhani et al., 2021b)

ขึ้นกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับคือการควบคุมอัตราเร็วของขบวนการดูดซับของขบวนการทั้งหมดและจากการทดลองนี้พบว่าขึ้นกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับนั้นเป็นทั้งขั้นการแพร่ผ่านของชั้นฟิล์ม (film diffusion) นั่นคือชั้นน้ำ คือชั้นตอนที่สีย้อมเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์มน้ำที่เคลือบอยู่บนเม็ดอัลจินเตและเคลื่อนที่ผ่านเม็ดอัลจินเตเข้าไปยังเซลล์สาหร่าย และขั้นการแพร่เข้าสู่รูพรุน (Intraparticle diffusion) คือเมื่อสีย้อมสัมผัสเซลล์สาหร่ายแล้วได้แพร่เข้าสู่รูพรุนที่อยู่บนเซลล์สาหร่ายและเกิดการจับกับ binding site ภายในรูพรุน และเมื่อพิจารณาจากสมการขึ้นกำหนดอัตราเร็วในขั้นนี้คือการดูดซับช่วงที่สอง (secondary rate) เนื่องจากมีค่าความเร็วในการดูดซับน้อยกว่าของ initial rate โดยการพิจารณาว่าขั้นใดคือขั้นกำหนดอัตราเร็ว พิจารณาจากขั้นที่มีความเร็วในการดูดซับช้าที่สุดนั่นเอง (Table 6)

Table 5 The order of reaction of benefix red adsorption by immobilized cell of *Nannochloropsis oculata* (algae 2 g/L, pH 2, exposure time 120 min, Temp 25 °C, n=4)

Dye Concentration (mg/L)	Pseudo first-order		Pseudo second-order	
	k (min ⁻¹)	r^2	k (g/mg min)	r^2
20	0.029	0.9940	0.0064	0.9830
40	0.026	0.9896	0.0038	0.9737
60	0.026	0.9907	0.0023	0.9722
80	0.025	0.9900	0.1801	0.9710
100	0.025	0.9910	0.0013	0.9707

ดังนั้นในการนำไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียจริงต้องมีการเพิ่มการหมุนเวียนของน้ำหรือเพิ่มการตีน้ำเพื่อเพิ่มความเร็วในการดูดซับขั้น film diffusion และก่อนการตรึงเซลล์สาหร่ายในอัลจินเตควรทำการปรับปรุงเซลล์สาหร่ายเพื่อเพิ่มรูพรุนให้มากขึ้น

เช่น การอบลมร้อน การเข้าหม้อนึ่งความดัน การแช่กรด เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความเร็วในการดูดซับขั้น secondary rate ของ intraparticle diffusion ได้

Table 6 Film diffusion and intraparticle diffusion rate of benefix red adsorption by immobilized cell of *Nannochloropsis oculata*

Dye Concentration (mg/L)	Film diffusion		Intraparticle diffusion			
	Initial rate (min ⁻¹)	-r	Initial rate		Secondary rate	
			(mg/g biomass/min ^{0.5})	-r	(mg/g biomass/min ^{0.5})	r
20	0.0147	0.9267	0.9009	0.9918	0.8084	0.9977
40	0.0131	0.9006	1.6177	0.9982	1.4557	0.9989
60	0.013	0.9102	2.2734	0.9939	2.1881	0.9986
80	0.0126	0.9112	3.0194	0.9991	2.8773	0.9987
100	0.0129	0.9134	4.0410	0.9982	3.7357	0.9991

สรุปผลการศึกษา

สาหร่าย *N. oculata* ที่ผ่านการตรึงเซลล์ในเม็ดอัลจิเนตมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมเบนเพิก เรด ได้ดีที่สารละลายสีย้อมพีเอช 2 และมีระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 120 นาที ปริมาณสาหร่ายที่เหมาะสมคือ 2 กรัมต่อลิตร และพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเพิ่มขึ้น สาหร่ายจะมีค่าปริมาณการดูดซับสีย้อมที่เพิ่มขึ้นและการดูดซับสีย้อมสอดคล้องกับไอโซเทอรั่มการดูดซับของ Langmuir โดยมีอันดับปฏิกิริยาการดูดซับเป็นแบบที่หนึ่งเหมือน (pseudo first-order) และมีขึ้นกำหนดอัตราเร็วคือการแพร่เข้าผ่านชั้นฟิล์มและการแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์ชั้นที่สองซึ่งแสดงให้เห็นว่าสาหร่าย *N. oculata* เป็นตัวดูดซับทางชีวภาพตัวเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมปนเปื้อนได้

เอกสารอ้างอิง

- Akzu, Z., & Tezer, S. (2005). Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris*. **Process Biochemistry**, 40(3-4), 1347-1361. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.06.007>
- Aldegs, Y., Elbarghouthi, M., Elsheikh, A., & Walker, G. (2008). Effect of solution pH, ionic strength, and temperature on adsorption behavior of reactive dyes on activated carbon. **Dyes and Pigments**, 77(1), 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2007.03.001>
- Buhani, Suharso, Miftahza, N., Permatasari, D., & Sumadi. (2021a). Improved adsorption capacity of *Nannochloropsis* sp. through modification with cetyltrimethylammonium bromide on the removal of methyl orange in solution. **Adsorption Science & Technology**, 2021(9), 1-14. <https://doi.org/10.1155/2021/1641074>
- Buhani, Wijayanti, T. A., Suharso, Sumadi, & Ansori, M. (2021b). Application of modified green algae *Nannochloropsis* sp. as adsorbent in the simultaneous adsorption of methylene blue and Cu(II) cations in solution. **Sustainable Environment Research**, 31(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s42834-021-00090-y>
- Celekil, A., Yavuzatmaca, M., & Bozkurt, H. (2012). Binary adsorption of reactive red 120 and yellow 81 on *Spirogyra majuscula*. **Middle East Journal of Scientific Research**, 1(2), 29-36. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2013.13.6.2316>
- Gunasundari, E., Kumar, P. S., Rajamohan, N., & Vellaichamy, P. (2020). Feasibility of naphthol green-B dye adsorption using microalgae: thermodynamic and kinetic analysis. **Desalination and Water Treatment**, 192(2020), 358-370. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25777>
- IBM SPSS Statistics. (2023). **KMITL SPSS Version29**. Retrieved from: https://drive.google.com/file/d/1FDY_FmOy1PgWB3lTARGBA-6XJy84kcBW/view?usp=sharing.
- Kumar, S., Ahluwalia, A. S., & Charaya, M. U. (2019). Adsorption of orange-g dye by the dried powdered biomass of *Chlorella vulgaris* Beijerinck. **Current Science**, 116(4), 604-611. <https://doi.org/10.18520/cs/v116/i4/604-611>
- Neag, E. & Roman, C. (2017). Applications of microalgae in wastewater treatment experimental and equilibrium studies. In **Proceedings of 2017 International Conference on Hydraulics and Pneumatics – HERVEX**, pp.318-324. Institute for Analytical Instrumentation Russian Academy of Sciences.
- Ozer, A., Ozer, D., & Eklz, H. I. (2005). The Equilibrium and Kinetic Modelling of the Biosorption of Copper(II) Ions on *Cladophora crispata*. **Adsorption**, 10(4), 317-326. <https://doi.org/10.1007/s10450-005-4817-y>
- Radwan, E. K., Abdel-Aty, A. M., El-Wakeel, S. T., & Abdel Ghafar, H. H. (2020). Bioremediation of potentially toxic metal and reactive dye-contaminated water by pristine and modified *Chlorella vulgaris*. **Environmental Science and Pollution Research**, 27(17), 21777-21789. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08550-5>
- Ruangsomboon, S., & Chonudomkul, D. (2022). Effect of CO₂ concentration on growth, CO₂ fixation, and biochemical composition of the microalga *Nannochloropsis oculata*. **Chiang Mai Journal of Science**, 49(2), 325-338. <https://doi.org/10.12982/CMJS.2022.035>
- Sani, Z. M., Dalhatu, A. S., Adam, B. S., Mohammed, K., Muhammad, Y. Y., & Ibrahim, S. (2021). Bioremediation of some reactive dyes commonly used in Fabric re-dyeing by *Chlorella vulgaris*. **Asian Journal of Environment & Ecology**, 15(4), 10-19.
- Sarwa, P., Vijayakumar, R., & Verma, S. K. (2014). Adsorption of acid red 66 dye from aqueous solution by green microalgae *Acutodesmus obliquus* strain PSV2 isolated from an industrial polluted site. **Open Access Library Journal**, 1(3), 1-8. <https://doi.org/10.4236/oalib.1100712>
- Schiewer, S., & Volesky, B. (2000). Biosorption Processes for Heavy Metal Removal. In Lovley, D.R. (Ed.) **Environmental Microbe-Metal Interactions**, pp.329-362. American Society for Microbiology.
- Vojnovic, B., Cetina, M., Franjkovic, P., & Sutlovic, A. (2022). Influence of initial pH value on the adsorption of reactive black 5 dye on powdered activated carbon: kinetics, mechanisms, and thermodynamic. **Molecules**, 27(4), 1-12. <https://doi.org/10.3390/molecules27041349>
- Yemendzhiev, H., Alexieva, Z., & Krastanov, A. (2014). Decolorization of Synthetic Dye Reactive Blue 4 by Mycelial Culture of White - Rot Fungi *Trametes Versicolor* 1. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, 23(3), 1337-1339.

ผลของการให้อาหารหยาบแห้งต่อสมรรถภาพการผลิต และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ของแกะลูกผสม

Effect of Feeding Roughage Hay on Production Efficiency and Economic Return in Crossbred Sheep

อาทิตย์ ปัญญาศักดิ์^{1*} กิตติวรา รongswat¹ รณพรดี ดีโส¹ ทศนันท์ หงสะพัก¹ สุนิรันท ทองสน¹ ลักษณะ เพี้ยชัย¹ และสุภากริช คำพุ่ม²
Arthit Panyasak^{1*}, Kittiwara Rongsawat¹, Ronnapat Deeso¹, Tassanan Hongsapak¹, Sunirun Tongson¹, Lak Piasai¹
and Suparak Khumput²

Received date: 20 มิ.ย. 65 Revised date: 11 พ.ค. 66 Accepted date: 6 มิ.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.003>

บทคัดย่อ

การทดลองนี้ศึกษาผลของการให้อาหารหยาบแห้งต่อสมรรถภาพการผลิต และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของแกะลูกผสม โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ใช้แกะลูกผสมสายพันธุ์ซานตาอินเนส แบ่งสัตว์ทดลองออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 4 ตัว น้ำหนักเริ่มต้น 16.87 ± 0.97 กิโลกรัม และน้ำหนักสิ้นสุด 23.25 ± 1.07 กิโลกรัม ใช้เวลาทดลอง 60 วัน โดยแกะได้รับแหล่งอาหารหยาบดังนี้ 1) กลุ่มหญ้าขนสด 3.5 กิโลกรัม/ตัว/วัน 2) กลุ่มหญ้าขนแห้ง 1.5 กิโลกรัม/ตัว/วัน 3) กลุ่มหญ้ารูซี่แห้ง 1.5 กิโลกรัม/ตัว/วัน 4) กลุ่มหญ้าแพงโกลาแห้ง 1.5 กิโลกรัม/ตัว/วัน โดยแกะทุกตัวรับการเสริมอาหารชั้นที่มีระดับโปรตีน 14% จำนวน 0.2 กิโลกรัม/ตัว/วัน จากการศึกษา พบว่า ทั้ง 4 กลุ่ม มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ปริมาณการกินได้ทั้งหมดในกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) มีค่าเท่ากับ 2.86 ± 0.08 , 1.28 ± 0.09 , 1.27 ± 0.09 และ 1.34 ± 0.08 กิโลกรัมวัตถุดิบ/ตัว/วัน ตามลำดับ ในส่วนของปริมาณการกินได้ของโปรตีน พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) มีค่าเท่ากับ 0.09 ± 0.01 , 0.07 ± 0.01 , 0.08 ± 0.01 และ 0.10 ± 0.01 กิโลกรัมวัตถุดิบ/ตัว/วัน ตามลำดับ โดยกลุ่มที่ได้รับหญ้าขนสดและเสริมอาหารชั้น มีปริมาณการกินได้น้ำหนักตัว เท่ากับ 16.99 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัว ซึ่งมีค่าสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) นอกจากนั้นยังพบว่า ค่ากลูโคสในเลือดอยู่ในช่วง 63.94-70.04 mg/dl และยูเรียไนโตรเจนในเลือดอยู่ในช่วง 13.44-17.13 mg/dl ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงปกติ ($P > 0.05$) พบว่าต้นทุนการผลิตทั้งหมดต่อตัวของทั้ง 4 กลุ่ม เท่ากับ 224.78 ± 3.72 , 240.42 ± 3.73 , 240.13 ± 3.73 และ 245.71 ± 3.72 บาท/ตัว ($P < 0.01$) และต้นทุนการผลิตทั้งหมดต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวของ เท่ากับ 38.78 ± 7.90 , 37.93 ± 7.92 , 38.85 ± 7.92 และ 48.79 ± 7.90 บาท/ตัว

คำสำคัญ: อาหารหยาบแห้ง สมรรถภาพการผลิต ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ แกะลูกผสม

Abstract

This study aimed to investigate the effect of feeding roughage hay on production efficiency and economic return in crossbred sheep. A completely randomized design was employed on Santa Ines crossbred sheep from 16 animals and divided into 4 groups. The average initial body weights of all animals were 16.87 ± 0.97 kilograms and the average final weight were 23.25 ± 1.07 kilograms under 60 days feeding period. Four groups were fed with fresh grass (para grass) at 3.5 kg/head/day (T1; Control group), para grass hay at 1.5 kg/head/day (T2), ruzi grass hay at 1.5 kg/head/day (T3), and pangola grass hay at 1.5 kg/head/day (T4). All animals received concentrate with 14 %CP 0.2 kg/head/day throughout the period of the study. The results showed that animals in the 4 groups

¹ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

² คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

² Faculty of animal science and technology, Maejo University, Chiang Mai, 50290

*Corresponding author: boy_agri@hotmail.com

had no difference in weight gain and average daily gain ($P>0.05$). Total dry matter intakes of groups 1-4 were found to be 2.86 ± 0.08 , 1.28 ± 0.09 , 1.27 ± 0.09 and 1.34 ± 0.08 kgDM/head/day ($P<0.01$), respectively. Total dry matter intakes of protein were 0.09 ± 0.01 , 0.07 ± 0.01 , 0.08 ± 0.01 and 0.10 ± 0.01 kgDM/head/day, respectively ($P<0.01$). Total dry matter intake per body weight of group 1 was 16.99% of body weight, which was significantly higher than other groups ($P<0.01$). Blood metabolites such as blood glucose in range 63.94-70.04 mg/dl, and blood urea nitrogen in the range 13.44-17.13 mg/dl were found to be in the normal range ($P>0.05$). The total production costs per head of the four groups averaged 224.78 ± 3.72 , 240.42 ± 3.73 , 240.13 ± 3.73 and 245.71 ± 3.72 baht/head ($P<0.01$) and total production costs per weight gain were found to be 38.78 ± 7.90 , 37.93 ± 7.92 , 38.85 ± 7.92 and 48.79 ± 7.90 baht/head, respectively.

Keywords: roughage hay, production efficiency, economic return, crossbred sheep

คำนำ

อาชีพการเลี้ยงแกะได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันซึ่งมีการพัฒนาและการปรับปรุงในด้านต่างๆ อย่างต่อเนื่อง เช่น สายพันธุ์ การเลี้ยงดู และอาหาร เพื่อให้ได้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นอย่างเพียงพอสำหรับการจัดจำหน่ายภายในประเทศรวมถึงการส่งออกประเทศตะวันออกกลาง ทั้งรูปแบบเนื้อ นม และขน จึงเกิดการรวมกลุ่มของเกษตรกรผู้เลี้ยงแกะขึ้นมีตั้งแต่ฟาร์มขนาดเล็กไปจนถึงฟาร์มขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังมีการจัดการดูแลง่าย ลงทุนต่ำ ทนทานต่อโรคและแมลงพาหะ อีกทั้งยังเป็นมีขนาดตัวที่เล็กเมื่อเทียบกับโคและกระบือจึงทำให้กินอาหารในปริมาณที่น้อยกว่า การเลี้ยงแกะแบ่งออกเป็นหลายระยะโดยเฉพาะระยะแกะรุ่นจะได้รับผลกระทบหากเลือกใช้อาหารหยาบที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากเกษตรกรประสบปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบที่มีคุณภาพดี และไม่ค่อยเห็นความสำคัญมากนัก หากปล่อยให้แกะได้รับอาหารแบบดังกล่าวในระยะยาวจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความสมบูรณ์พันธุ์ได้ ทั้งนี้เกษตรกรควรมีความรู้ความเข้าใจในการจัดการอาหารอย่างสมดุลและถูกต้องตามหลักวิชาการ เพื่อให้ได้แกะที่มีสมรรถภาพการผลิตที่ดีตามเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนในการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้อีกในอนาคต (Campbell et al., 2019; Wang et al., 2020) ฉะนั้นการหาแหล่งไว้ใช้จึงเป็นการช่วยลดต้นทุนดังกล่าว และยังเป็นการเก็บถนอมพืชอาหารสัตว์ไว้ใช้ในเวลาที่ขาดแคลน สามารถเก็บไว้ใช้ได้นานอีกด้วย (Tadsri, 2004; Panyasak & Tumwasorn, 2015) การเลือกใช้หญ้าขนหรือหญ้าแพงโกลาในการเลี้ยงสัตว์นั้นถือว่าเป็นอาหารหยาบที่มีคุณภาพดี (Zemene et al., 2020) หากทำการตัดตามอายุที่กำหนด จะมีโปรตีน 5-14% มีส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณของอาหารหยาบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเจริญเติบโตได้ (Tikam et al., 2013) วัตถุประสงค์ของการทดลองครั้งนี้เพื่อศึกษาคุณภาพของอาหารหยาบแห้ง ในด้านองค์ประกอบของโภชนาและคุณภาพประสิทธิภาพการผลิต และต้นทุนทางเศรษฐกิจ ในการเลี้ยงแกะลูกผสม

วิธีการศึกษา

การจัดการเลี้ยงดูสัตว์ทดลอง

การเตรียมสัตว์ทดลองแบ่งออกเป็นระยะต่างๆ ดังนี้ ระยะปรับอาหาร เพื่อให้สัตว์ปรับตัวคุ้นเคยกับอาหารแต่ละชนิดในการทดลอง โดยให้แต่ละกลุ่มได้รับอาหารแต่ละชนิดเป็นเวลา 14 วัน ระยะการทดลอง เป็นระยะที่เก็บตัวอย่างทดลองจริงโดยให้ปริมาณอาหารตามสมดุลพลังงานและโปรตีนเพื่อใช้ในการดำรงชีพและการให้ผลผลิต ระยะนี้ใช้เวลาในการทดลองที่ 60 วัน

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) โดยมีกลุ่มทดลองที่แตกต่างกัน 4 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 (ควบคุม) ได้รับหญ้าขนสด 3.5 กิโลกรัม/ตัว/วัน และเสริมอาหารชั้น 0.2 กิโลกรัม/ตัว/วัน (PaF)

กลุ่มที่ 2 หญ้าขนแห้ง 1.5 กิโลกรัม/ตัว/วัน และเสริมอาหารชั้น 0.2 กิโลกรัม/ตัว/วัน (PaH)

กลุ่มที่ 3 หญ้ารูซี่แห้ง 1.5 กิโลกรัม/ตัว/วัน และเสริมอาหารชั้น 0.2 กิโลกรัม/ตัว/วัน (RuH)

กลุ่มที่ 4 หญ้าแพงโกลาแห้ง 1.5 กิโลกรัม/ตัว/วัน และเสริมอาหารชั้น 0.2 กิโลกรัม/ตัว/วัน (PanH)

การศึกษาครั้งนี้ใช้แกะลูกผสมขนตาอินเนส เพศผู้ 8 ตัว และเพศเมีย 8 ตัว รวมจำนวน 16 ตัว มีอายุเฉลี่ย 3 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 16 ± 0.23 กิโลกรัม โดยทุกตัวได้รับการถ่ายพยาธิ และฉีดวัคซีนป้องกันโรคปากและเท้าเปื่อยเรียบร้อยแล้วทุกกลุ่มทดลอง แกะจำนวน 16 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 4 ตัว เลี้ยงในคอกแบบขังเดี่ยวขนาด 1.2×2.0 เมตร ซึ่งมีถ้ำน้ำและรางอาหารอยู่แต่ละคอกทุกคอกมีแร่ธาตุก้อนและน้ำให้กินตลอดเวลา แกะได้รับอาหารทดลองตามกลุ่มที่กำหนด โดยให้อาหารที่ 3.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก วันละ 2 ครั้ง คือ เวลา 08.00 น. และเวลา 15.00 น. ซึ่งให้อาหารแบบแยกจ่าย ระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้นเชิงการค้า (14% โปรตีน) ใช้ระยะเวลาทดลองการทดลอง 60 วัน ณ ฟาร์มแพะแกะ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งปริมาณอาหารในแต่ละกลุ่มคิดตามปริมาณพลังงานและโปรตีนที่แกะรุ่นควรได้รับเพื่อให้ใกล้เคียงกับความต้องการในการดำรงชีพ (NRC, 2001)

ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลอง หย้าขนสด หย้าขนแห้ง หย้ารูชี้แห้ง หย้าแพงโกลาแห้ง อาหารข้นสูตรโปรตีน 14% ก่อนให้สัตว์ทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์หา วัตถุแห้ง โปรตีนรวม และเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral Detergent Fiber; NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Acid Detergent Fiber; ADF) และ ลิกนิน (Acid Detergent Lignin; ADL) ตามวิธีของ Goering & Van Soest (1970); Van Keulen & Young (1977) โดยการทดลองครั้งนี้ได้ผ่านการรับรองการอนุมัติให้ดำเนินการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่อนุมัติ ACKU64-AGK-026

การประเมินประสิทธิภาพการผลิต

นำผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาของอาหารที่ใช้ในการทดลอง จากนั้นบันทึกปริมาณการกินอาหารของแกะ โดยการชั่งน้ำหนักปริมาณอาหารที่ให้และปริมาณอาหารที่เหลือในช่วงเช้าของวันถัดไปทุกๆ วัน เพื่อวัดปริมาณการกิน (Feed Intake) คำนวณปริมาณวัตถุแห้งที่ได้รับต่อตัวต่อวัน ปริมาณวัตถุแห้งที่ได้รับโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว และคำนวณโปรตีนที่ได้รับ ในแกะทดลองทั้ง 4 กลุ่ม จำนวน 16 ตัว และดำเนินการชั่งน้ำหนักแกะทดลองทุกตัวในวันแรกและวันสุดท้ายของการทดลองที่ 60 วัน เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (Average Daily Gain; ADG) ของแกะตลอดการทดลอง ตามวิธีของ NRC (2001) โดยผู้วิจัยคนเดียวเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลแล้วบันทึกผลตามแบบฟอร์ม

การเก็บตัวอย่างเลือด

เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 60 วัน เก็บตัวอย่างเลือดของแกะทุกตัว โดยเก็บตัวอย่างเลือดบริเวณเส้นเลือดดำใหญ่บริเวณคอ (Jugular vein) ทำการเก็บครั้งเดียวในช่วงวันสุดท้ายตอนสิ้นสุดการทดลอง ที่ 60 วัน ซึ่งเช้าวันสุดท้ายของการทดลองจะงดให้อาหารก่อนการเจาะเลือด (ทำการเก็บในชั่วโมงที่ 0 ก่อนให้อาหาร) หลังจากนั้นจึงให้อาหารตามกลุ่มทดลอง และทำการเจาะเลือดอีกครั้งหลังจากแกะกินอาหารไปแล้ว (ทำการเก็บในชั่วโมงที่ 4 หลังให้อาหาร) ตัวละ 4 มิลลิลิตร โดยแยกใส่หลอดเก็บตัวอย่างเลือดที่เคลือบด้วยโซเดียมฟลูออไรด์ ปริมาณ 4 มิลลิลิตร เพื่อเก็บพลาสมาสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสในเลือด (blood glucose, BG) ตามวิธีของ Tiffany et al. (1972) และแยกเก็บส่วนซีรั่ม สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือด (blood urea nitrogen, BUN) ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี Urea-Berthelot (Henry et al., 1974; Schmid and Forstner, 1986)

ต้นทุนทางเศรษฐกิจ

การคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ราคาของวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่างๆ ไปในท้องตลาดที่เปลี่ยนแปลงนั้นมีผลโดยตรงต่อต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการผลิต จึงจำเป็นต้องพิจารณาต้นทุนอาหารสัตว์จากกลุ่มอาหารทดลองที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาคำนวณต้นทุนการผลิต และวิเคราะห์ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงแกะ (Yaemkong, 2016) โดยมีรายละเอียดดังนี้ ค่าใช้จ่ายต่างๆ ได้แก่ ค่าอุปกรณ์ ค่ายาและเวชภัณฑ์ ค่าอาหารข้น และอาหารหยาบ ต้นทุนการผลิตทั้งหมดต่อตัว ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก และต้นทุนการผลิตทั้งหมดต่อการเพิ่มน้ำหนัก

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของกลุ่มทดลองด้วยวิธีการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ซึ่งการทดลองพบว่าน้ำหนักเริ่มต้นของแกะมีผลต่อลักษณะที่ศึกษาจึงใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (analysis of covariance) โดยมีน้ำหนักเริ่มต้นของแกะทดลองเป็นตัวแปรร่วม ประเมินค่าเฉลี่ยแบบลีสสแควร์ (LSMeans) ของแต่ละกลุ่มทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า LSMeans ในการปรับสำหรับการเปรียบเทียบหลายค่าด้วย Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Steel & Torrie, 1980)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

คุณค่าทางโภชนาของอาหารที่ใช้ในการทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าขนสด มีวัตถุดิบแห้ง 31.74% อินทรีย์วัตถุ 96.81% โปรตีนรวม 2.23% เถ้า 3.19% NDF 24.13% ADF 15.51% และ ADL 2.89% (Table 1) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและเยื่อใยต่ำ ใกล้เคียงกับ Bharathidhasan et al. (2013) พบว่า หญ้าขนที่ปลูก มีโปรตีน 3-4% เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ ไม่ได้ให้ปุ๋ยเคมี จึงอาจส่งผลต่อการสะสมโปรตีน และมีอายุการตัดก่อนกำหนด

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าขนแห้ง มีวัตถุดิบแห้ง 91.22% อินทรีย์วัตถุ 91.75% โปรตีน 4.05% เถ้า 8.25% NDF 73.85% ADF 46.01% และ ADL 7.59% (Table 1) Zemene et al. (2020) รายงานว่า หญ้าขนที่ทำการตัดตามอายุที่กำหนด จะมีส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณของอาหารหยาบได้ ซึ่งถือว่าเหมาะสมกับคุณภาพอาหารหยาบ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าสุ่มแห้ง มีวัตถุดิบแห้ง 85.95% อินทรีย์วัตถุ 89.73% โปรตีน 4.97% เถ้า 10.27% NDF 64.34% ADF 43.52% และ ADL 6.52% (Table 1) ซึ่งใกล้เคียงกับ Shuaibu et al. (2018) มีโปรตีน 5.21-7.38% และจะเพิ่มขึ้นหากได้ใส่ปุ๋ยตามกำหนด

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าแพงโกลาแห้ง มีวัตถุดิบแห้ง 90.71% อินทรีย์วัตถุ 90.65% โปรตีน 6.01% เถ้า 9.35% NDF 70.19% ADF 40.73% และ ADL 6.94% (Table 1) Tikam et al. (2013) รายงานว่า หญ้าแพงโกลา มีโปรตีน 5-14% ซึ่งเป็นหญ้าอาหารสัตว์คุณภาพดีสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตได้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นเชิงการค้า มีวัตถุดิบแห้ง 89.86% อินทรีย์วัตถุ 92.60% โปรตีนรวม 14.68% เถ้า 7.40% NDF 36.47% ADF 26.33% และ ADL 5.08% ดังแสดงใน Table 1 โดยในการทดลองได้ใช้อาหารข้นที่ระดับโปรตีน 14% ตลอดการทดลอง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับระดับโปรตีนในอาหารของแกะรุ่น (NRC, 2001)

Table 1 The chemical composition of diets used in the experiment (%DM)

Chemical composition	Concentrate	Para grass fresh	Para grass hay	Ruzi grass hay	Pangola grass hay
Dry matter (DM)	89.86	31.74	91.22	85.95	90.71
-----%DM basis-----					
Organic matter (OM)	92.60	96.81	91.75	89.73	90.65
Crude protein (CP)	14.68	2.23	4.05	4.97	6.01
Ash	7.40	3.19	8.25	10.27	9.35
Neutral detergent fiber (NDF)	36.47	24.13	73.85	64.34	70.19
Acid detergent fiber (ADF)	26.33	15.51	46.01	43.52	40.73
Acid detergent lignin (ADL)	5.08	2.89	7.59	6.52	6.94

ประสิทธิภาพการผลิต

จากการศึกษาแกะลูกผสมที่ได้รับอาหารในแต่ละกลุ่ม พบว่าแกะลูกผสมที่ได้รับอาหารในแต่ละกลุ่ม พบว่ากลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 มีปริมาณการกินได้จากอาหารหยาบ เท่ากับ 2.67 ± 0.08 , 1.08 ± 0.09 , 1.07 ± 0.09 และ 1.14 ± 0.08 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน ตามลำดับ ($P < 0.01$) มีปริมาณการกินได้ทั้งหมด พบว่ากลุ่มที่ 1 มีค่าสูงที่สุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.86 ± 0.08 , 1.28 ± 0.09 , 1.27 ± 0.09 และ 1.34 ± 0.08 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน ตามลำดับ และมีปริมาณการกินได้น้ำหนักตัว เท่ากับ 16.99 ± 0.42 , 7.55 ± 0.43 , 7.66 ± 0.43 และ 8.02 ± 0.42 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ตามลำดับ สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงใน Table 2 ซึ่งการที่กลุ่มที่ 1 มีค่าสูงกว่าทั้งสามกลุ่มเนื่องจากได้รับอาหารหยาบในปริมาณที่มากกว่าจึงส่งผลให้เมื่อคิดเป็นปริมาณการกินได้วัตถุแห้งทั้งหมดที่สูงตามไปด้วย (Da Silva et al., 2012) ซึ่งพบว่ามีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ โดยทั่วไปที่มีปริมาณการกินได้เฉลี่ย 2.50-3.50 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ขึ้นกับเยื่อใยและคุณภาพอาหารหยาบ (NRC, 2001; Tsegahun et al., 2006) ปริมาณการกินได้ของโปรตีนทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าเท่ากับ 0.09 ± 0.01 , 0.07 ± 0.01 , 0.08 ± 0.01 และ 0.10 ± 0.01 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน ซึ่งพบว่ามีค่าสูงสุดในกลุ่มที่ 4 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) แต่อย่างไรก็ตามระดับโปรตีนที่ได้รับจากอาหารแต่ละกลุ่มมีปริมาณใกล้เคียงกับ AFFRCS (1999); Roberts (2022) การที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนใกล้เคียงกันจะมีความสมดุลในโตรเจนไม่ต่างกัน ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์เพื่อใช้ดำรงชีพและการให้ผลผลิต (Fanchone et al., 2010)

แกะที่นำมาใช้ทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีน้ำหนักตัวเริ่มต้น และน้ำหนักตัวสิ้นสุด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว มีค่าเท่ากับ 6.13 ± 1.07 , 6.98 ± 1.08 , 6.64 ± 1.08 และ 5.74 ± 1.07 กิโลกรัม/ตัว ตามลำดับ ($P > 0.05$) ดังแสดงใน Table 2 การที่ได้รับอาหารที่เหมาะสมกับการดำรงชีพและให้ผลผลิตจึงทำให้ค่าน้ำหนักตัวใกล้เคียงกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวจะมีความสัมพันธ์กับระดับฮอร์โมนที่จะกระตุ้นการหมุนเวียนของโปรตีน แต่หากมีในระดับสูงเกินไปจะกระตุ้นการสลายโปรตีนมากกว่าการสร้างและการสะสม เมื่อมีการสลายโปรตีนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สัตว์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (Intraksa, 1995) แต่ก็จะพิจารณาถึงปริมาณเยื่อใยร่วมด้วยเพื่อช่วยในการพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของสัตว์ที่ชัดเจนขึ้น เพราะปริมาณเยื่อใยที่ต่ำจะทำให้ย่อยได้ง่าย และการใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น เพราะเอนไซม์จากจุลินทรีย์สามารถย่อยโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตได้ง่ายขึ้น (Wanapat, 1986)

ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว มีค่าเท่ากับ 0.46 ± 0.04 , 0.16 ± 0.04 , 0.17 ± 0.04 และ 0.23 ± 0.04 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน ตามลำดับ มีปริมาณการกินได้ทั้งหมดต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ของกลุ่มที่ 1 เท่ากับ 0.49 ± 0.04 สูงกว่ากลุ่มที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 0.20 ± 0.05 , 0.21 ± 0.05 และ 0.27 ± 0.04 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) พบว่าการที่กลุ่มที่ 1 มีค่าสูงกว่าทุกกลุ่ม จะแสดงว่ามีการใช้อาหารในปริมาณที่มากขึ้นเพื่อการเปลี่ยนน้ำหนักต่อกิโลกรัม การที่สัตว์ได้รับอาหารหยาบสดจะกระตุ้นความน่ากินที่เพิ่มขึ้น และยังมีจุลินทรีย์ในอาหารที่ช่วยในกระบวนการหมักย่อยร่วมกับจุลินทรีย์ภายในกระเพาะย่อยเพื่อได้เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (Matar et al., 2020; Mudron et al., 2005) ซึ่งการที่สัตว์ได้รับอาหารในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะเพิ่มการใช้ประโยชน์จากพลังงานและโปรตีนในอาหารที่ได้รับได้อย่างมีประสิทธิภาพจะส่งผลต่อการเพิ่มระดับน้ำตาลและระดับยูเรียในโตรเจนในเลือดที่เพิ่มขึ้น (Hammond et al., 1994; Higginbotham et al., 1989) สอดคล้องกับการให้อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย เท่ากับ 102.20 ± 18.04 , 116.43 ± 18.07 , 110.65 ± 18.07 และ 95.72 ± 18.04 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ($P > 0.05$) ดังแสดงใน Table 2

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเลือด

จากการศึกษาปริมาณกลูโคสในเลือดของแกะทั้ง 4 กลุ่ม ก่อนการให้อาหารที่ 0 ชั่วโมงและหลังการให้อาหารที่ 4 ชั่วโมง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 63.94-70.04 mg/dl ($P > 0.05$) ดังแสดงใน Table 3 โดยปกติความเข้มข้นของกลูโคสในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีค่าประมาณ 45-80 mg/dl (Chaiyabutr, 1990; Frandson et al., 2009) แต่โดยทั่วไปสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีความต้องการกลูโคสใน

เลือดเพื่อการดำรงชีพที่ระดับ 40-60 mg/dl ซึ่งผลที่ได้ของแกะลูกผสมทั้ง 4 กลุ่มก็อยู่ในช่วงที่เพียงพอ แสดงว่าแกะสามารถใช้ประโยชน์จากพลังงานในอาหารที่ได้รับได้อย่างมีประสิทธิภาพส่งผลทำให้เนื้อเยื่อต่างๆ ทำงานได้ตามปกติ สัตว์จะใช้กลูโคสเป็นแหล่งของพลังงานโดยตรง และถูกควบคุมโดยฮอร์โมนอินซูลินและกลูคากอนที่สร้างจากตับอ่อน ซึ่งจะส่งผลให้ระดับของน้ำตาลกลูโคสในเลือดอยู่ในระดับที่ปกติ (Wanapat, 1986) ความเข้มข้นของปริมาณกลูโคสในเลือดขึ้นอยู่กับสภาวะร่างกายของสัตว์และชนิดของอาหารที่สัตว์ได้รับ โดยเฉพาะพืชอาหารสัตว์ที่มีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะไหลผ่านเข้าสู่กระเพาะรูเมน โดยถูกจุลินทรีย์ภายในกระเพาะย่อยสลายได้เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก และถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด โดยผ่านทาง hepatic portal vein โดยเฉพาะกรดโพรพิโอนิกจะถูกเปลี่ยนเป็นปริมาณกลูโคสในเลือดที่ต่ำประมาณ 19-60 เปอร์เซ็นต์ (Mudron et al., 2005) ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดโคเป็นตัวที่บ่งบอกถึงความสมดุลของพลังงานในร่างกาย โดยการสร้างกลูโคสจะขึ้นอยู่กับสภาวะของสัตว์และชนิดของอาหารที่กิน (Moss, 1992)

ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดของแกะทั้ง 4 กลุ่ม ก่อนการให้อาหารที่ 0 ชั่วโมง และหลังการให้อาหารที่ 4 ชั่วโมง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 13.44-17.13 mg/dl ($P>0.05$) ดังแสดงใน Table 3 โดยปกติปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะอยู่ที่ระหว่าง 6.3-12.5 mg/dl (Singh et al., 2002) แสดงให้เห็นว่าปริมาณยูเรียไนโตรเจนของแกะลูกผสมทั้ง 4 กลุ่มมีค่าอยู่ในช่วงปกติ ซึ่งเป็นผลมาจากสัตว์ได้รับปริมาณโปรตีนจากอาหารที่เพียงพอต่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโต สอดคล้องกับ Hammond et al. (1994) รายงานว่าปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดจะขึ้นอยู่กับปริมาณ และความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารที่สัตว์ได้รับ ซึ่งปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือด เป็นตัวชี้วัดถึงการใช้ประโยชน์ของโปรตีนในอาหาร (Higginbotham et al., 1989) โดยหลังจากกินอาหารเข้าไปแล้วปริมาณแอมโมเนียในกระเพาะหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และสูงขึ้นภายในเวลา 1-2 ชั่วโมง หลังจากนั้นแอมโมเนียส่วนเกินจะเข้าสู่ระบบเลือด และหลังกินอาหารช่วง 3-4 ชั่วโมง ปริมาณยูเรียในเลือดจะเพิ่มขึ้นสูงสุด (Wanapat, 1986) ซึ่งปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดของแกะลูกผสมทั้ง 4 กลุ่ม มีแนวโน้มสูงขึ้นหลังการให้อาหารไปแล้ว 4 ชั่วโมง

Table 2 Least squares means and standard error of production efficiency in crossbred sheep with receiving different feed treatment

Items	T1 (PaF)	T2 (PaH)	T3 (RuH)	T4 (PanH)	P-Value
Number of animals (head)	4	4	4	4	
Time period of experiment (day)	60	60	60	60	
Initial body weight (kg/head)	17.00±0.97	16.62±0.97	17.13±0.97	16.75±0.97	0.4982
Final body weight (kg/head)	23.01±1.07	23.86±1.08	23.51±1.08	22.62±1.07	0.3855
weight gain (kg/head)	6.13±1.07	6.98±1.08	6.64±1.08	5.74±1.07	0.3855
Average daily gain (g/head/day)	102.20±18.04	116.43±18.07	110.65±18.07	95.72±18.04	0.2854
Dry matter intake (kgDM/head/day)					
– Concentrate	0.20±0.01	0.20±0.01	0.20±0.01	0.20±0.01	<.0001
– Roughage	2.67±0.08 ^a	1.08±0.09 ^b	1.07±0.09 ^b	1.14±0.08 ^b	<.0001
Total dry matter intake (kgDM/head/day)	2.86±0.08 ^a	1.28±0.09 ^b	1.27±0.09 ^b	1.34±0.08 ^b	<.0001
Total dry matter intake (% body weight)	16.99±0.42 ^a	7.55±0.43 ^b	7.66±0.43 ^b	8.02±0.42 ^b	<.0001
Total dry matter intake (% body weight ^{0.75})	226.57±5.63 ^a	100.60±5.65 ^b	102.20±5.65 ^b	106.97±5.64 ^b	<.0001
Organic matter intake (kgDM/head/day)	0.93±0.03 ^b	1.06±0.04 ^{ab}	0.98±0.04 ^{ab}	1.09±0.03 ^a	0.0302
Protein intake (kgDM/head/day)	0.09±0.01 ^{ab}	0.07±0.01 ^c	0.08±0.01 ^{bc}	0.10±0.01 ^a	0.0027
Neutral detergent fiber intake (kgDM/head/day)	0.71±0.03 ^b	0.86±0.03 ^a	0.77±0.03 ^{ab}	0.87±0.03 ^a	0.0096
Acid detergent fiber intake (kgDM/head/day)	0.47±0.01	0.55±0.01	0.52±0.01	0.51±0.01	0.0777
Acid detergent lignin intake (kgDM/head/day)	0.08±0.01	0.09±0.01	0.08±0.01	0.09±0.01	0.1292
Dry matter intake per weight gain					
– Concentrate	0.04±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01	0.04±0.01	0.3851
– Roughage	0.46±0.04 ^a	0.16±0.04 ^b	0.17±0.04 ^b	0.23±0.04 ^b	0.0016
Total dry matter intake per weight gain	0.49±0.04 ^a	0.20±0.05 ^b	0.21±0.05 ^b	0.27±0.04 ^b	0.0049

^{a,b,c} Least squares means in the same row with different superscripts significantly differ (P<0.01)

Table 3 Least squares means and standard error of blood metabolites in crossbred sheep with receiving different feed treatment

Items	T1 (PaF)	T2 (PaH)	T3 (RuH)	T4 (PanH)	P-Value
Blood glucose (mg/dl)					
– 0 h-post feeding	64.60±2.28	70.04±2.29	64.21±2.29	67.65±2.28	0.2862
– 4 h-post feeding	65.59±2.54	68.06±2.55	63.94±2.55	67.41±2.54	0.3671
Blood urea nitrogen (mg/dl)					
– 0 h-post feeding	17.03±1.74	15.52±1.75	14.77±1.75	13.44±1.74	0.2551
– 4 h-post feeding	17.13±2.19	15.98±2.20	17.12±2.20	15.52±2.19	0.4935

Least squares means±standard error

T1 (Control) Para grass fresh received 3.5 kg/head/day and concentrate with 14 %CP 0.2 kg/head/day (PaF)

T2 Para grass hay received 1.5 kg/head/day and concentrate with 14 %CP 0.2 kg/head/day (PaH)

T3 Ruzi grass hay received 1.5 kg/head/day and concentrate with 14 %CP 0.2 kg/head/day (RuH)

T4 Pangola grass hay received 1.5 kg/head/day and concentrate with 14 %CP 0.2 kg/head/day (PanH)

ต้นทุนทางเศรษฐกิจ

จากการวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐกิจของการเลี้ยงแกะลูกผสมที่ได้รับอาหารกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 ตลอดการทดลอง (Table 4) พบว่ามีต้นทุนค่าอาหาร เท่ากับ 212.01 ± 3.77 , 228.69 ± 3.78 , 229.48 ± 3.78 และ 234.46 ± 3.77 บาท/ตัว ($P < 0.01$) จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่ 4 มีต้นทุนค่าอาหารที่สูงที่สุด เนื่องจากกลุ่มที่ 4 มีต้นทุนค่าอาหารหยาบที่สูงกว่าซึ่งมีค่าเท่ากับ 102.46 ± 3.76 บาท/ตัว ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 มีค่าเท่ากับ 80.02 ± 3.76 , 98.70 ± 3.78 และ 97.47 ± 3.78 บาท/ตัว ตามลำดับ ($P < 0.01$) และมีต้นทุนการผลิตทั้งหมดต่อตัว ของทั้ง 4 กลุ่ม เท่ากับ 224.78 ± 3.72 , 240.42 ± 3.73 , 240.13 ± 3.73 และ 245.71 ± 3.72 บาท/ตัว ตามลำดับ ($P < 0.01$) ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้นทุนค่าอาหารสัตว์เป็นต้นทุนที่สูงสุด จึงส่งผลให้กลุ่มที่ 4 มีต้นทุนการผลิตทั้งหมดต่อตัวสูงกว่าทั้งสามกลุ่ม ส่งผลให้กลุ่มที่ 4 มีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว เท่ากับ 46.49 ± 7.47 บาท/ตัว ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ที่มีค่าเท่ากับ 36.55 ± 7.47 , 36.07 ± 7.49 และ 37.12 ± 7.49 บาท/ตัว ตามลำดับ ($P > 0.05$) ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตทั้งหมดต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว ของกลุ่มที่ 4 มีค่าเท่ากับ 48.79 ± 7.90 บาท/ตัว ซึ่งมีแนวโน้มที่สูงกว่าทุกกลุ่ม

Table 4 Least squares means and standard error of production cost and economic return in crossbred sheep with receiving different feed treatment during the experimental period (baht/head)

Items	T1 (PaF)	T2 (PaH)	T3 (RuH)	T4 (PanH)	P-Value
Medicine and the medical supplies cost	12.76±0.72	11.72±0.73	10.65±0.73	11.25±0.72	0.2683
Concentrate cost	132.00±0.01	132.00±0.01	132.00±0.01	132.00±0.01	0.0001
Roughage cost	80.02±3.76 ^b	98.70±3.78 ^{ab}	97.47±3.78 ^a	102.46±3.76 ^a	0.0077
Feed costs	212.01±3.77 ^b	228.69±3.78 ^{ab}	229.48±3.78 ^a	234.46±3.77 ^a	0.0077
Total production costs per head	224.78±3.72 ^b	240.42±3.73 ^{ab}	240.13±3.73 ^{ab}	245.71±3.72 ^a	0.0121
Feed costs per weight gain	36.55±7.47	36.07±7.49	37.12±7.49	46.49±7.47	0.4726
Total production costs per weight gain	38.78±7.90	37.93±7.92	38.85±7.92	48.79±7.90	0.4739

^{a,b} Least squares means in the same row with different superscripts significantly differ (P<0.01)

T1 (Control) Para grass fresh received 3.5 kg/head/day and concentrate with 14 %CP 0.2 kg/head/day (PaF)

T2 Para grass hay received 1.5 kg/head/day and concentrate with 14 %CP 0.2 kg/head/day (PaH)

T3 Ruzi grass hay received 1.5 kg/head/day and concentrate with 14 %CP 0.2 kg/head/day (RuH)

T4 Pangola grass hay received 1.5 kg/head/day and concentrate with 14 %CP 0.2 kg/head/day (PanH)

สรุปผลการศึกษา

การให้อาหารหยาบแห้งต่อสมรรถภาพการผลิตของแกะลูกผสม พบว่าแกะที่ได้รับหญ้าแห้งและเสริมอาหารชั้น มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย ที่มีแนวโน้มสูงกว่าทุกกลุ่ม ถึงแม้จะมีปริมาณการกินได้น้ำหนักตัวต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ และยังมีปริมาณการกินได้ของโปรตีนที่ต่ำกว่าก็ตาม อาจเพราะหญ้าแห้งมีเยื่อใยที่ใช้ประโยชน์ที่มากกว่า ทำให้การย่อยได้ของโภชนะและการนำไปใช้ประโยชน์ได้มากตามไปด้วย การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเลือดของทุกกลุ่ม มีค่าอยู่ในช่วงปกติไม่แตกต่างกัน ส่วนต้นทุนทางเศรษฐกิจ แกะที่ได้รับหญ้าแห้งและเสริมอาหารชั้น มีค่าต้นทุนการผลิตทั้งหมดต่อการเพิ่มน้ำหนักต่ำกว่าทุกกลุ่ม ดังนั้นในการเลี้ยงแกะลูกผสมด้วยหญ้าแห้งและเสริมอาหารชั้นจึงเป็นทางเลือกหนึ่งให้กับเกษตรกรในการเลือกใช้เป็นอาหารหยาบแห้งแทนอาหารหยาบสดในช่วงขาดแคลนได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทดลอง และฟาร์มแพะแกะ ภาควิชาสัตวบาลฯ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่และสัตว์ทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Agriculture Forestry and Fisheries Research Council Secretariat (AFFRCS). (1999). **Japanese Feeding Standard for Dairy Cattle**. Tokyo: Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries: Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17th ed. MD, Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists.
- Bharathidhasan, A., Viswanathan, K. & Balakrishnan, V. (2013). Total phenolics, non-tannin phenolics and total tannin content of commonly available forages for ruminants in Tamil Nadu. **Range Management and Agroforestry Journals**, 34(2), 205-208.
- Campbell, B., Relling, A., & Little, C. (2019). **Do Sheep Really Need Hay**. Retrieved from: <https://u.osu.edu/sheep/2019/11/05/do-sheep-really-need-hay/>.
- Chaiyabutr, N. (1990). **Urinary system physiology (Veterinary)**. Prachachon Company Limited. (in Thai).
- Da Silva, L. S. A., Fraga, A. B., da Silva, F. D. L., Beelen, P. M. G., Silva, R. M. D. O., Tonhati, H., & Barros, C. D. C. (2012). Growth curve in Santa Ines sheep. **Small Ruminant Research**, 105, 182-185.
- Fanchone, A., Archimede, H., Baumont, R., & Boval, M. (2010). Intake and digestibility of fresh grass fed to sheep indoors or at pasture, at two herbage allowances. **Animal Feed Science and Technology**, 157, 151-158.
- Frandsen, R. D., Willke, W. L., & Fails, A. D. (2009). **Anatomy and Physiology of Farm Animals**. 7th ed. Wiley-Blackwell.
- Goering, H. K., & Van Soest, P. J. (1970). **Forage Fiber Analyses (Apparatus, Reagents, Procedures and Some Application)**. No. 379 USDA Handbook Agricultural Research Service.
- Hammond, A. C., Bowers, E. J., Kunkle, W. E., Genho, P. C., Moore, S. A., Crosby, C. E., & Ramsay, K. H. (1994). Use of blood urea nitrogen concentration to determine time and level of protein supplementation in wintering cows. **The Professional Animal Scientist**, 10, 24-31.
- Henry, R. J., Donald, C. C., & James, W. W. (1974). **Clinical Chemistry: Principle and Techniques**. 2nd ed. Harper and Row Inc.
- Higginbotham, G. E., Torabi, M., & Huber, J. T. (1989). Influence of dietary protein concentration and degradability on performance of lactating cows during hot environmental temperatures. **Journal of Dairy Science**, 72, 2554-2564.
- Intraraksa, Y. (1995). **Endocrine and Reproductive Physiology**. Department of Physiology, Faculty of Veterinary Medicine, Kasetsart University. (in Thai).
- Matar, A. M., Abdelrahman, M. M., Alhidary, I. A., Ayadi, M. A., Alobre, M. M., & Aljumaah, R. S. (2020). Effects of roughage quality and particle size on rumen parameters and fatty acid profiles of longissimus dorsi fat of lambs fed complete. **Feed Animals**, 10, 2182. <https://doi.org/10.3390/ani10112182>.
- Moss, R. (1992). **Livestock Health and Welfare**. Longman scientific and technical.
- Mudron, P., Rehage, J., Sallmann, H. P., Holtershinken, M., & Scholz, H. (2005). Stress response in dairy cows related to blood glucose. **Acta Veterinaria Brno**, 74, 37-42.
- National Research Council (NRC). (2001). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 7th rev. ed. National Academy Press.
- Panyasak, A., & Tumwasorn, S. (2015). Effect of moisture content and storage time on sweet corn waste silage quality. **Walailak Journal of Science and Technology**, 12(3), 237-243.
- Roberts, D. (2022). **Supplementary Feeding and Feed Budgeting for Sheep**. Retrieved from: <https://www.agric.wa.gov.au/feeding-nutrition/supplementary-feeding-and-feed-budgeting-sheep/>.
- Schmid, M., & Forstner, V. (1986). **Laboratory Testing in Veterinary Medicine Diagnosis and Clinical Monitoring**. 3rd ed. Boehringer Mannheim.
- Shuaibu, A. Y., Fasae, O. A., Adeleye, O. O., Wheto, M., & Oluwatosin, B. O. (2018). Biomass yield and hay quality of irrigated *Brachiaria ruziziensis* fertilized with goat manure as dry season forage. **Thai Journal of Agricultural Science**, 51(3), 146-155.
- Singh, A. S., Pal, D. T., Mandal, B. C., Singh, P., & Pathak, N. N. (2002). Studies on changes in some of blood constituents of adult crossbred cattle fed different levels of extracted rice bran. **Pakistan Journal of Nutrition**, 1(2), 95-98.
- Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1980). **Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach**. 2nd ed. McGraw-Hill.

- Tadsri, S. (2004). **Tropical Forage**. Kasetsart University. (in Thai).
- Tiffany, T. O., Jansen, J. M., Burtis, C. A., Overton, J. B., & Scott, C. D. (1972). Enzymatic kinetic rate and end point analyses of substrate by the use of a GeMSAEC fast analyzer. **Clinical Chemistry**, 18(8), 829-840.
- Tikam, K., Phatsara, C., Mikled, C., Vearasilp, T., Phunphiphat, W., Chobtang, J., Cherdthong, A., & Südekum, K. H., (2013). Pangola grass as forage for ruminant animals: a review. **Springer Plus a Springer Open Journal**, 2, 1-6.
<https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-604>
- Tsegahun, A., Chairatanayuth, P., Vijchulata, P., & Tadsri, S. (2006). The effect of dry season supplementation of *lotus corniculatus* hay on body and fleece weights of three sheep breeds grazing natural pasture under Ethiopian conditions. **Kasetsart Journal (Natural Science)**, 40(4), 978-986.
- Van Keulen, J., & Young, B. A. (1977). Evaluation of acid insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. **Journal of Animal Science**, 44, 282-287.
- Wanapat, M. (1986). **Ruminant Nutrition**. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University. (in Thai).
- Wang, C., Zhang, C., Yan, T., Chang, S., Zhu, W., Wanapat, M., & Hou, F. (2020). Increasing roughage quality by using alfalfa hay as a substitute for concentrate mitigates CH₄ emissions and urinary N and ammonia excretion from dry ewes. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, 104, 22-31.
- Yaemkong, S. (2016). Beef production cost and returns of farmers in Wat Bot and Phrom Phiram district, Phitsanulok province. **Journal of Agriculture**, 32(3), 401-407.
- Zemene, M., Mekuriaw, Y., & Asmare, B. (2020) Effect of plant spacing and harvesting age on plant characteristics, yield and chemical composition of Para grass (*Brachiaria mutica*) at Bahir Dar, Ethiopia. **Animal Science and Biotechnologies**, 53(2), 137-145.

สภาพการผลิตและตลาดโคเนื้อของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดลำพูน

Beef Cattle Production and Market of Beef Cattle Farmer in Lamphun Province

ฐิติพร ไชยมงคล¹ วรินทร์ มณีรัตน์^{2*} และมณฑิชา พุทษาคำ²Thitiporn Chaimongkol¹, Warinthorn Maneerat^{2*} and Monticha Putsakum²

Received date: 19 มิ.ย. 65 Revised date: 11 พ.ค. 66 Accepted date: 6 มิ.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.004>

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) การผลิตโคเนื้อของเกษตรกร 2) ตลาดโคเนื้อในจังหวัดลำพูน และ 3) ปัญหาและข้อเสนอแนะการผลิตโคเนื้อในจังหวัดลำพูน กลุ่มตัวอย่างมี 2 กลุ่ม ได้แก่ การวิจัยเชิงปริมาณ กลุ่มตัวอย่าง คือ เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อจำนวน 21 ตัวขึ้นไปในจังหวัดลำพูน จำนวน 210 ราย เก็บข้อมูลโดยแบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิจัยเชิงคุณภาพ กลุ่มผู้ให้ข้อมูล ได้แก่ เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อ และผู้เกี่ยวข้องในการผลิตโคเนื้อในจังหวัดลำพูน จำนวน 13 ราย เก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์แบบเจาะลึกและวิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัย พบว่า 1) เกษตรกรร้อยละ 93.33 เป็นเพศชาย อายุเฉลี่ย 42 ± 34.58 ปี เกษตรกรร้อยละ 43.81 มีระดับการศึกษาประถมศึกษาและมีประสบการณ์เลี้ยงโคเนื้อเฉลี่ย 35 ± 26.15 ปี การผลิตโคเนื้อในจังหวัดลำพูนมี 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบอิสระร้อยละ 95.24 และแบบสมาชิกวิสาหกิจชุมชนร้อยละ 4.76 โดยเกษตรกรเลี้ยงโคเนื้อประเภทพ่อแม่พันธุ์เพื่อผลิตลูกโคจำหน่าย เลี้ยงโคขุนทั่วไป เลี้ยงโคมัน และเลี้ยงโคขุนคุณภาพ ร้อยละ 50.71, 31.44, 13.31 และ 4.54 ตามลำดับ 2) ตลาดโคเนื้อในจังหวัดลำพูนประกอบด้วย ตลาดโคเนื้อมีชีวิตและตลาดเนื้อโค ตลาดโคเนื้อมีชีวิต ได้แก่ การซื้อขายหน้าฟาร์ม ตลาดนัดโคกระบือ และตลาดโคเนื้อขุน ขณะที่ตลาดเนื้อโค ได้แก่ ตลาดสดในพื้นที่ และ 3) ปัญหาการผลิตโคเนื้อ ได้แก่ ด้านพันธุ์โค อาหาร และการจัดการฟาร์ม โดยมีข้อเสนอแนะ คือ เกษตรกรควรรวมกลุ่มเพื่อผลิตโคเนื้อขุนคุณภาพ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรให้คำแนะนำและช่วยเหลือด้านการผลิตโคเนื้อขุนคุณภาพในระดับฟาร์ม โรงฆ่าสัตว์ที่ได้มาตรฐาน และแหล่งจำหน่ายเนื้อโค

คำสำคัญ: การผลิตโคเนื้อ ตลาดโคเนื้อ โคเนื้อขุน

Abstract

The objectives of this research were to study: 1) beef cattle production of farmers, 2) beef cattle markets in Lamphun province, and 3) problems and recommendations on beef cattle production in Lamphun province. The research samples consisted of two groups. Group 1, for quantitative research, were 210 beef cattle farmers in Lamphun province who had more than 21 head of beef cattle each. The data were collected using questionnaires and analyzed by descriptive statistics as percentage, mean, maximum, minimum and standard deviation. Group 2, for qualitative research, were 13 key informants who were representatives of beef cattle farmers and stakeholders in beef cattle production and market in Lamphun province. The data were collected by in-depth interview and analyzed by content analysis. The results showed that: 1) Most of farmer were male (about 93.33 %) with average ages of 42 ± 34.58 years. Approximately 43.81 % were educated at primary level and had 35 ± 26.15 years of experience in beef cattle production. Lamphun province had two types of beef

¹ กองส่งเสริมและพัฒนาการปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

² สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี 11120

¹ Division of Livestock Extension and Development, Department of Livestock Development, Ratchathew, Bangkok 10400

² School of Agriculture and Cooperatives, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi 11120

* Corresponding author: warinmanee@gmail.com

cattle production which were 95.24% independent beef cattle farmers and 4.76% beef cattle community enterprise members. Farmers raised 4 types of beef cattle which were purebred beef cattle (50.71%), fattening beef cattle (31.44%), culled beef cattle (13.31%) and fattening quality beef cattle (4.54%). 2) Beef cattle markets in Lamphun province included beef cattle markets and beef markets. Beef cattle were sold at the farms, at beef cattle and buffalo markets and beef cattle fattening market, while butchered beef was sold through local markets in Lamphun province. And 3) the problems in beef cattle production were in beef cattle breeds, feed and farm management. The recommendations for beef cattle production were that beef cattle farmers should establish collaborative groups to develop beef cattle fattening quality production, and relevant agencies should advise and help farmers in farm management, implementing standard slaughterhouse and sources for selling beef cattle.

Keywords: beef cattle production, beef cattle market, beef cattle fattening

คำนำ

ปัจจุบันรูปแบบการเลี้ยงโคเนื้อได้มีการเปลี่ยนแปลงมาเป็นการเลี้ยงเพื่อจำหน่ายเป็นโคเนื้อสำหรับผลิตเนื้อโค รวมทั้งการผลิตโคเนื้อขุนและโคเนื้อขุนคุณภาพ โดยมีการจัดการฟาร์มที่เป็นระบบ มีมาตรฐานการผลิต และการจัดการเลี้ยงที่ให้ความสำคัญกับการจัดการปัจจัยการผลิตต่าง ๆ มากขึ้น เพื่อผลิตเนื้อโคที่มีคุณภาพและปริมาณให้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้น ทั้งจากความต้องการของประชากรในประเทศและนักท่องเที่ยวจากต่างประเทศ ตลอดจนความต้องการของตลาดต่างประเทศด้วย ข้อมูลจาก Information and communication technology center (2020) ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2554-2563) พบว่า ช่วง พ.ศ. 2556-2560 ปริมาณการผลิตโคเนื้อของประเทศไทยมีปริมาณลดลงมากจากประมาณ 6.58 ล้านตัวในพ.ศ. 2554 เป็น 4.87 ล้านตัวในพ.ศ. 2560 และจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อของประเทศไทยมีปริมาณลดลงจากประมาณ 1.035 ล้านรายในพ.ศ. 2556 เป็น 768,834 ราย เนื่องจากเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อประสบปัญหาหลายอย่าง เช่น การขาดความรู้ในการจัดการเลี้ยงโคเนื้อ การขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ การปรับปรุงพันธุ์โคเนื้อยังไม่ทั่วถึง และปัญหาโรคระบาดสัตว์ เป็นต้น ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ ส่งผลทำให้ปริมาณการผลิตโคเนื้อลดลงและผลผลิตโคเนื้อไม่เพียงพอต่อความต้องการบริโภคภายในประเทศ โดยเฉพาะโคเนื้อคุณภาพสูง แต่ภายหลังตั้งแต่ พ.ศ.2561- 2563 ปริมาณการผลิตโคเนื้อและจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อของประเทศไทยกลับมีปริมาณเพิ่มขึ้น เพราะภาครัฐให้การสนับสนุนและส่งเสริมให้เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อเป็นอาชีพหลัก เกษตรกรมีความรู้และนำเทคโนโลยีมาใช้ในการผลิตโคเนื้อมากขึ้น รวมถึงมีการปรับปรุงพันธุ์โคเนื้อที่ดี การจัดการด้านอาหารและการจัดการเลี้ยงดูโคเนื้อที่ดี ทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อสามารถผลิตโคเนื้อได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นและผลผลิตมีคุณภาพที่ดีขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยยังคงมีเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อกระจายอยู่ในทุกภูมิภาคของประเทศ โดยมีทั้งเกษตรกรรายย่อย ฟาร์มขนาดเล็ก ฟาร์มขนาดกลาง ฟาร์มขนาดใหญ่ กลุ่มสหกรณ์ รวมถึงวิสาหกิจชุมชนต่างๆ

ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ประกอบด้วย จังหวัดเชียงใหม่ ลำปาง ลำพูน แม่ฮ่องสอน พะเยา เชียงราย แพร่ และน่าน ซึ่งนับว่าเป็นเขตปศุสัตว์ที่มีจำนวนโคเนื้อและจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อมากเป็นอันดับ 5 ของเขตปศุสัตว์ทั้ง 9 เขตของประเทศไทย จากแผนยุทธศาสตร์โคเนื้อภาคเหนือตอนบน พ.ศ.2560 – 2564 โดย Office of regional livestock 5 (2020) ได้วิเคราะห์จุดแข็งและโอกาสของการเลี้ยงโคเนื้อในพื้นที่ พบว่า ภาคเหนือตอนบนมีสภาพภูมิอากาศที่เย็นเหมาะสำหรับการเลี้ยงโคสายพันธุ์ต่างประเทศหรือสายพันธุ์ลูกผสมต่างประเทศ มีหน่วยงานที่ให้การสนับสนุนการผลิตโคเนื้อหลายหน่วยงาน เช่น หน่วยงานกรมปศุสัตว์ในพื้นที่ ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชอาหารสัตว์ และมหาวิทยาลัยต่างๆ เป็นต้น รวมถึงมีระบบการเลี้ยงโคเนื้อขุนเชิงธุรกิจ การเลี้ยงโคเนื้อเพื่อผลิตลูกและฟาร์มที่ผ่านการรับรองมาตรฐานฟาร์มโคเนื้อที่สามารถพัฒนาให้มีระบบที่ครบวงจรตั้งแต่ ต้นน้ำ กลางน้ำ จนถึงปลายน้ำได้ อีกทั้งยังมีศักยภาพในการผลิตโคเนื้อเพื่อจำหน่ายภายในประเทศและจำหน่ายไปยังประเทศเพื่อนบ้านและประเทศจีนได้ เนื่องจากมีเขตติดต่อกับประเทศเพื่อนบ้านทำให้เอื้อต่อการ

ขยายตลาดโคเนื้อ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาการผลิตโคเนื้ออาจเป็นการยากสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อรายย่อย เนื่องจากต้องมีการปรับปรุงรูปแบบการเลี้ยงและลงทุนในด้านการผลิตต่างๆ สำหรับการเลี้ยงโคเนื้อในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย จากข้อมูล Information and communication technology center (2020) พบว่า ฟาร์มโคเนื้อขนาดใหญ่ที่เลี้ยงโคเนื้อจำนวนมากกว่า 201 ตัวขึ้นไปในภาคเหนือตอนบนมีจำนวน 9 ฟาร์ม โดยกระจายอยู่ในพื้นที่จังหวัดลำพูน จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดพะเยา ซึ่งฟาร์มโคเนื้อขนาดใหญ่อยู่ในพื้นที่จังหวัดลำพูนจำนวน 4 ฟาร์ม จากรายงานของ Office of regional livestock 5 (2020) พบว่า จังหวัดลำพูนมีสภาพภูมิอากาศเหมาะสม มีแหล่งอาหารหยาบที่มีความอุดมสมบูรณ์เพียงพอต่อการผลิตโคเนื้อ มีปัจจัยที่เอื้อต่อการผลิตโคเนื้อ และมีลักษณะภูมิประเทศที่สามารถเป็นเส้นทางจำหน่ายโคเนื้อไปยังภูมิภาคอื่นๆทั้งในและนอกประเทศ จึงทำให้จังหวัดลำพูนเป็นแหล่งผลิตโคเนื้อที่สำคัญของภาคเหนือตอนบน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการผลิตโคเนื้อ ตลาดโคเนื้อ รวมถึงปัญหาและข้อเสนอแนะในการผลิตโคเนื้อของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดลำพูน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตโคเนื้อให้มีประสิทธิภาพและสามารถขยายตลาดโคเนื้อของประเทศไทยได้

วิธีการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยนี้แบ่งประชากรและกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ การวิจัยเชิงปริมาณ ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อที่เลี้ยงโคเนื้อจำนวน 21 ตัวขึ้นไปในจังหวัดลำพูน จำนวน 403 ราย ตามข้อมูลจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อ ปี พ.ศ. 2563 ซึ่งอยู่ในพื้นที่ 8 อำเภอ ได้แก่ เมืองลำพูน ป่าซาง บ้านธิ แม่ทา บ้านโฮ้ง เวียงหนองล่อง ลี้ และทุ่งหัวช้าง (Information and communication technology center, 2020) กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของทาโร ยามาเน่ ที่ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05 เปอร์เซ็นต์ (Yamane, 1973) ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 210 ราย ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายสำหรับการวิจัยเชิงคุณภาพ กลุ่มผู้ให้ข้อมูล ประกอบด้วย เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดลำพูน จำนวน 5 ราย เจ้าหน้าที่ปศุสัตว์จังหวัดและเจ้าหน้าที่ปศุสัตว์อำเภอ จำนวน 2 ราย ผู้จัดการตลาดนัดโคกระบือ จำนวน 1 ราย กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้เลี้ยงโคเนื้อ จำนวน 2 ราย และพ่อค้าคนกลางรับซื้อโคเนื้อ จำนวน 3 ราย รวมจำนวนกลุ่มผู้ให้ข้อมูลทั้งหมด 13 ราย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ แบบสอบถามเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อสำหรับการวิจัยเชิงปริมาณและแบบสัมภาษณ์แบบเจาะลึกกลุ่มผู้ให้ข้อมูลสำหรับการวิจัยเชิงคุณภาพ สำหรับแบบสอบถามเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อจะทำการทดสอบเครื่องมือ โดยให้นำแบบสอบถามไปทดสอบกับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดลำพูนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ราย ก่อนนำแบบสอบถามไปใช้เก็บข้อมูลจริงเพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบสอบถาม และนำผลการทดสอบมาหาความเที่ยงของแบบสอบถาม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาเท่ากับ 0.9223 หรือความเชื่อมั่นร้อยละ 92.23 แบบสอบถามเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อประกอบด้วยคำถามปลายปิดและคำถามปลายเปิด แบ่งออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 สภาพการผลิตโคเนื้อของเกษตรกร ตอนที่ 2 ตลาดโคเนื้อ และตอนที่ 3 ปัญหาและข้อเสนอแนะการผลิตโคเนื้อของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อ แบบสอบถามสำหรับปัญหาในการผลิตโคเนื้อเป็นคำถามแบบให้เลือก ตอบตามระดับความคิดเห็น จำนวน 23 ข้อ 5 ประเด็น ได้แก่ ด้านการจัดการพันธุ์โคเนื้อ ด้านการจัดการอาหารโคเนื้อ ด้านการจัดการฟาร์มโคเนื้อ ด้านการจัดการสุขภาพและสิ่งแวดล้อม และด้านการจำหน่ายโคเนื้อ โดยเป็นการวัดแบบลิเคิร์ต (Likert scale) ที่แบ่งคะแนนระดับของปัญหาออกเป็น 5 ระดับ (Srisa-ard, 2002) ได้แก่ ระดับ 5 คะแนน มีปัญหาในระดับมากที่สุด ระดับ 4 คะแนน มีปัญหาในระดับมาก ระดับ 3 คะแนน มีปัญหาในระดับปานกลาง ระดับ 2 คะแนน มีปัญหาในระดับน้อย และระดับ 1 คะแนน มีปัญหาในระดับน้อยที่สุด (ไม่มีปัญหา) และข้อเสนอแนะในการผลิตโคเนื้อในจังหวัดลำพูนประกอบด้วยคำถามแบบปลายเปิด ได้แก่ ด้านการจัดการผลิตโคเนื้อ ด้านการจำหน่ายโคเนื้อ และด้านการได้รับสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แบบสัมภาษณ์แบบเจาะลึกสำหรับการวิจัยเชิงคุณภาพประกอบด้วยคำถามแบบปลายเปิด โดยสัมภาษณ์จากกลุ่มผู้ให้ข้อมูลใน

ประเด็นสำคัญเกี่ยวกับการจัดการผลิตโคเนื้อในจังหวัดลำพูน บทบาทหน้าที่ รวมถึงความเกี่ยวข้องในการจัดการผลิตโคเนื้อและตลาดโคเนื้อ ปัญหาและข้อเสนอแนะในการผลิตโคเนื้อในจังหวัดลำพูน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ สำหรับข้อมูลระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาในการจัดการผลิตโคเนื้อของเกษตรกรในจังหวัดลำพูน ใช้สูตรเกณฑ์การให้คะแนนระดับความคิดเห็น (แปลผล) จากการคำนวณอัตราภาคชั้น 5 ระดับ ได้แก่ คะแนน 4.21 - 5.00 มีปัญหาในระดับมากที่สุด คะแนน 3.41 - 4.20 มีปัญหาในระดับมาก คะแนน 2.61 - 3.40 มีปัญหาในระดับปานกลาง คะแนน 1.81 - 2.60 มีปัญหาในระดับน้อย และคะแนน 1.00 - 1.80 มีปัญหาในระดับน้อยที่สุด (ไม่มีปัญหา) สำหรับข้อมูลการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก ใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การผลิตโคเนื้อของเกษตรกรในจังหวัดลำพูน

จากผลการวิจัย พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ เป็นเพศชาย (ร้อยละ 93.33) และมีช่วงอายุ 51-60 ปี (อายุเฉลี่ย 42 ± 34.58 ปี) ส่วนใหญ่ได้รับการศึกษาในระดับประถมศึกษา (ร้อยละ 43.81) และมีประสบการณ์ในการเลี้ยงโคเนื้อ 6-10 ปี (เฉลี่ย 35 ± 26.15 ปี) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Duangsingtham et al. (2020) พบว่า เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อที่มีอายุเฉลี่ย 52.59 ปี มีการศึกษาระดับประถมศึกษา มีสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 4.85 คน เกษตรกรมีประสบการณ์ในการเลี้ยงโคเนื้อเฉลี่ย 12.72 ปี โดยมีวัตถุประสงค์การเลี้ยงโคเนื้อเพื่อเป็นอาชีพเสริม ซึ่งเพศ อายุ และประสบการณ์มีผลต่อการเลี้ยงโคเนื้อของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อ เนื่องจากมีผลในการทำงาน และพร้อมที่จะเรียนรู้การเลี้ยงโคเนื้อให้พัฒนาเพื่อนำมาปรับปรุงการดำเนินการจัดการฟาร์มให้มีมาตรฐาน

การผลิตโคเนื้อของเกษตรกรในจังหวัดลำพูนมี 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบอิสระ (ร้อยละ 95.24) และแบบสมาชิกวิสาหกิจชุมชน (ร้อยละ 4.76) ซึ่งทั้งหมดเป็นสมาชิกของวิสาหกิจชุมชน (เวียงหนองล่อง) ในด้านการจัดการพันธุ์โคเนื้อ พบว่า เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดลำพูนจะใช้โคเนื้อพันธุ์แท็บราห์มัน พันธุ์ลูกผสมบราห์มัน และลูกผสมชาร์โลเลส์ เนื่องจากเป็นพันธุ์โคเนื้อที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศของประเทศไทย สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารหยาบในพื้นที่ได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีภายใต้สภาพการเลี้ยงในประเทศไทย รวมทั้งโคเนื้อสายพันธุ์ชาร์โลเลส์จะเหมาะสำหรับการนำมาเป็นสายพันธุ์โคเนื้อขุน เพราะมีอัตราการแลกเนื้อ คุณภาพเนื้อ และคุณภาพซากที่ดีด้วย อย่างไรก็ตาม สำหรับการเลี้ยงโคเนื้อในภาคเหนือ จากรายงานของ Saengwong et al. (2020) พบว่า เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อคุณภาพในจังหวัดแพร่ส่วนใหญ่ที่มีวัตถุประสงค์ในการเลี้ยงเพื่อผลิตลูกขาย และเลี้ยงโคเนื้อพ่อแม่พันธุ์ขุนชายจะใช้โคเนื้อพันธุ์ลูกผสมพื้นเมืองบราห์มัน รองลงมาเป็นลูกผสมพื้นเมืองแอ่งก๊ส และลูกผสมพื้นเมืองชาร์โลเลส์ตามลำดับ เช่นเดียวกับรายงานของ Sonsiri et al. (2020) พบว่า เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อขุนคุณภาพในจังหวัดพะเยาและจังหวัดแพร่ มีการขุนโคโดยใช้พันธุ์โคลูกผสมชาร์โลเลส์ และโคลูกผสมแอ่งก๊ส ทั้งนี้ แหล่งที่มาของโคเนื้อที่เกษตรกรนำมาเลี้ยงในฟาร์มได้มาจาก 4 แหล่งหลักๆ ได้แก่ กลุ่มเกษตรกรทั่วไป/กลุ่มวิสาหกิจชุมชน การขยายพันธุ์ภายในฟาร์มตนเอง ตลาดนัดโค-กระบือ และได้รับการสนับสนุนจากกรมปศุสัตว์ โดยเกษตรกรจะทำการคัดเลือกโคเนื้อเข้ามาเลี้ยงในฟาร์มโดยพิจารณาจากลักษณะภายนอก (ร้อยละ 26.72) อายุโค (ร้อยละ 22.59) น้ำหนักโค (ร้อยละ 18.45) ประวัติพ่อแม่พันธุ์ (ร้อยละ 18.10) และสายพันธุ์ของโค (ร้อยละ 14.14) ซึ่งเป็นไปตามหลักการพิจารณาคัดเลือกเนื้อเพื่อนำมาเลี้ยงและเพื่อการขุน

ตลาดโคเนื้อในจังหวัดลำพูน

ตลาดโคเนื้อในจังหวัดลำพูน ประกอบด้วย ตลาดโคเนื้อมีชีวิตและตลาดเนื้อโค โดยแต่ละตลาดมีผู้เกี่ยวข้องในตลาดโคเนื้อ ได้แก่ ผู้เลี้ยงโคเนื้อ พ่อค้าคนกลาง ตลาดนัดโคกระบือ และโรงฆ่า/โรงเชือด ทั้งนี้ ตลาดโคเนื้อมีชีวิต แบ่งออกเป็นตลาดโคเนื้อมีชีวิตในพื้นที่ และตลาดโคเนื้อนอกพื้นที่ โดยตลาดโคเนื้อมีชีวิตในพื้นที่เป็นตลาดนัดโคกระบือที่อยู่ในพื้นที่จังหวัดลำพูน เมื่อพ่อค้า

คนกลาง เกษตรกรทั่วไป และกลุ่มวิสาหกิจชุมชน (เวียงหนองล่อง) รับซื้อโคเนื้อมีชีวิตมา อาจนำโคเนื้อไปเลี้ยงขุนต่อ หรือหากผ่านการขุนมาเรียบร้อยแล้วจะนำโคเนื้อไปจำหน่ายต่อยังตลาดโคเนื้อที่มีชีวิตนอกประเทศต่อไป ขณะที่ตลาดโคเนื้อที่มีชีวิตนอกพื้นที่ที่เป็นตลาดโคเนื้อที่มีชีวิตนอกพื้นที่จังหวัดลำพูนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) ตลาดโคเนื้อที่มีชีวิตในจังหวัดเชียงใหม่ ตาก และเชียงราย เป็นตลาดที่มีการนำโคขุนจากจังหวัดลำพูนมาจำหน่ายในตลาดนี้และนำไปจำหน่ายต่อยังตลาดโคเนื้อที่มีชีวิตนอกประเทศต่อไป และ 2) ตลาดโคเนื้อที่มีชีวิตจังหวัดเชียงใหม่เป็นตลาดที่มีการนำโคขุนคุณภาพจากจังหวัดลำพูนที่รวบรวมโดยพ่อค้าคนกลาง และกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดลำพูนมาจำหน่ายในตลาดนี้

สำหรับตลาดเนื้อโค ประกอบด้วย ตลาดเนื้อโคในพื้นที่จังหวัดลำพูนและตลาดเนื้อโคในพื้นที่ (เชียงใหม่) โดยตลาดเนื้อโคในพื้นที่จังหวัดลำพูน ได้แก่ ตลาดสดในพื้นที่ ซึ่งเนื้อโคที่จำหน่ายเป็นเนื้อโคที่ได้จากโคมัน (โคโครง) และตลาดเนื้อโคในพื้นที่ (เชียงใหม่) ได้แก่ ร้านเนื้อพรีเมียมหรือร้านแม่กบป๋ป๋เชียงใหม่ ซึ่งเนื้อโคที่จำหน่ายเป็นเนื้อโคขุนคุณภาพที่ผ่านกระบวนการฆ่าจากโรงฆ่าที่ได้การรับรองมาตรฐาน มีกระบวนการบ่มซาก ตัดแต่งซากเป็นชิ้นส่วนย่อย รวมถึงมีการบรรจุภัณฑ์เพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภค จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า ผลผลิตโคเนื้อที่มีชีวิตที่ได้จากเกษตรกรที่เลี้ยงโคเนื้อแบบอิสระและแบบสมาชิกวิสาหกิจชุมชน (เวียงหนองล่อง) จะมีพ่อค้าคนกลางมารับซื้อที่หน้าฟาร์มของเกษตรกร โดยพ่อค้าคนกลางนับว่าเป็นผู้เกี่ยวข้องในตลาดโคเนื้อที่มีบทบาทสำคัญในการรับซื้อโคมีชีวิตจากในและนอกพื้นที่จังหวัดลำพูน เช่นเดียวกับรายงานของ Pakeechay et al. (2014) ที่ศึกษาวิธีการตลาดโคเนื้อในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง (ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี และนครศรีธรรมราช) และ Noipang & Ruangchoengchum (2015) ที่ศึกษาห่วงโซ่อุปทานการค้าโคเนื้อพื้นเมืองเพื่อการผลิตเชิงพาณิชย์ในจังหวัดศรีสะเกษ พบว่า ส่วนใหญ่ผลผลิตโคเนื้อจากฟาร์มของเกษตรกรจะมีพ่อค้าคนกลางเข้ามารับซื้อโคจากเกษตรกรในหมู่บ้าน และจากนั้นจะเข้าสู่ตลาดนัดโค-กระบือ เพื่อส่งต่อไปยังโรงฆ่าสัตว์ โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ และตลาดสด ตามลำดับ ทั้งนี้ เกษตรกรบางรายที่จำหน่ายโคขุนคุณภาพแบบโคเนื้อที่มีชีวิตให้แก่วิสาหกิจชุมชน (เวียงหนองล่อง) จะต้องดำเนินการจัดการตามข้อตกลงของการเป็นสมาชิก โดยมีการชั่งน้ำหนักโคและมีการกำหนดราคาตามเกณฑ์ ขณะที่เกษตรกรซึ่งจำหน่ายโคมีชีวิตให้แก่พ่อค้าคนกลางและเกษตรกรทั่วไปที่นำไปเลี้ยงต่อ จะจำหน่ายโคเนื้อที่มีชีวิตโดยไม่มีเกณฑ์การจำหน่ายที่ชัดเจน เช่นเดียวกับ Saengwong et al. (2020) พบว่า เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดเชียงรายที่เข้าร่วมเป็นสมาชิกกลุ่มการค้าโคเนื้อจะมีการจำหน่ายโคเนื้อโดยใช้ระบบของกลุ่ม มีระบบการชั่งน้ำหนักตามมาตรฐาน กำหนดราคาตามเกรดและคุณภาพซากของเนื้อ ส่วนเกษตรกรที่ไม่ได้เข้าร่วมเป็นสมาชิกกลุ่มการค้าโคเนื้อ ส่วนใหญ่จำหน่ายโคเนื้อโดยผ่านพ่อค้าคนกลาง ซึ่งมีการกำหนดราคาโดยใช้สายตา ทำให้ถูกกดราคาและขายโคได้ในราคาที่ต่ำ ดังนั้น จึงควรมีการส่งเสริมให้เกษตรกรมีการเลี้ยงโคเนื้อแบบรวมกลุ่มกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานผ่านการแลกเปลี่ยนความรู้ การวางแผนการผลิต และช่องทางการตลาด

ปัญหาและข้อเสนอแนะการผลิตโคเนื้อในจังหวัดลำพูน

จากผลการวิจัย พบว่า คะแนนเฉลี่ยระดับความคิดเห็นของเกษตรกรต่อปัญหาด้านการจัดการพันธุ์โคเนื้ออยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 3.00 ± 1.04 คะแนน ด้านการจัดการอาหาร พบว่า คะแนนเฉลี่ยระดับความคิดเห็นของเกษตรกรต่อปัญหาอยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 2.73 ± 1.03 คะแนน ด้านการจัดการฟาร์ม พบว่า คะแนนเฉลี่ยระดับความคิดเห็นของเกษตรกรต่อปัญหาอยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 2.72 ± 0.94 คะแนน ด้านการจัดการสุขาภิบาลและสิ่งแวดล้อม พบว่า คะแนนเฉลี่ยระดับความคิดเห็นของเกษตรกรต่อปัญหาอยู่ในระดับน้อย เท่ากับ 2.57 ± 0.95 คะแนน ด้านตลาดโคเนื้อ พบว่า คะแนนเฉลี่ยระดับความคิดเห็นของเกษตรกรต่อปัญหาด้านการจำหน่ายโคเนื้ออยู่ในระดับน้อย เท่ากับ 2.56 ± 0.91 คะแนน (Table 1) จะเห็นได้ว่า คะแนนเฉลี่ยระดับความคิดเห็นของเกษตรกรต่อปัญหาของเกษตรกร พบว่า ด้านการจัดการพันธุ์ ด้านการจัดการอาหาร และด้านการจัดการฟาร์มมีปัญหาอยู่ในระดับปานกลาง โดยปัญหาที่พบในด้านการจัดการพันธุ์ ได้แก่ ราคาพ่อ-แม่พันธุ์โคเนื้อ แหล่งจำหน่ายพ่อ-แม่พันธุ์โคเนื้อ และการจัดหาโคเข้าขุน ปัญหาที่พบในด้านการจัดการอาหาร ได้แก่ ต้นทุนค่าอาหารชั้น คุณภาพของอาหารชั้น แหล่งจำหน่ายอาหารชั้น ราคาอาหารหายาก คุณภาพของอาหารหายาก ปริมาณอาหารหายาก และแหล่งจำหน่ายอาหารหายาก สำหรับปัญหาด้านการจัดการฟาร์ม ได้แก่ การจัดการฟาร์มมาตรฐานและพื้นที่ในการเลี้ยงโคเนื้อ ขณะที่ด้านการจัดการสุขาภิบาลและสิ่งแวดล้อม และด้านการจำหน่ายโคเนื้อมีปัญหาอยู่ในระดับน้อย เช่นเดียวกับรายงานวิจัยของ Akarak & Kasorn

(2017) พบว่า เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดเชียงรายมีปัญหาด้านการจัดการพันธุ์ ด้านการจัดการจัดการฟาร์ม ด้านการจัดการสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ขณะที่รายงานวิจัยของ Mukthang et al. (2021) พบว่า ปัญหาหลักของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดสุโขทัย คือ พันธุ์โคเนื้อและอาหารชั้นที่มีราคาสูง อย่างไรก็ตาม จากผลการวิจัยในครั้งนี้ มีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการผลิตและตลาดโคเนื้อของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดลำพูน คือ เกษตรกรควรรวมกลุ่มเพื่อผลิตโคเนื้อขุนคุณภาพ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรให้คำแนะนำและช่วยเหลือด้านการจัดการโคเนื้อขุนคุณภาพในระดับฟาร์ม โรงฆ่าสัตว์ที่ได้มาตรฐาน และแหล่งจำหน่ายเนื้อโค

Table 1 Opinions of farmer on beef cattle production problem in Lamphun province

Item	$\bar{X}$	S.D. ¹	Level
Breeding management	3.00	1.04	Moderate
Feed management	2.73	1.03	Moderate
Farm management	2.72	0.94	Moderate
Health and environmental management	2.57	0.95	Low
Beef cattle market	2.56	0.91	Low

¹ Standard deviation.

สรุปผลการศึกษา

การผลิตโคเนื้อในจังหวัดลำพูนมี 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบอิสระและแบบสมาชิกวิสาหกิจชุมชน (เวียงหนองล่อง) โดยเกษตรกรจะเลี้ยงโคเนื้อประเภทพ่อแม่พันธุ์เพื่อผลิตลูกโคเนื้อจำหน่าย เลี้ยงโคขุนทั่วไป เลี้ยงโคมัน และเลี้ยงโคขุนคุณภาพ โดยมีตลาดจำหน่ายโคเนื้อทั้งตลาดโคเนื้อมีชีวิตและตลาดเนื้อโคที่อยู่ทั้งในและนอกพื้นที่จังหวัดลำพูน ปัญหาการผลิตโคเนื้อที่พบในระดับปานกลาง ได้แก่ ด้านพันธุ์โค อาหาร และการจัดการฟาร์ม ทั้งนี้ สภาพการผลิตและตลาดโคเนื้อของเกษตรกรสามารถพัฒนาได้ โดยเกษตรกรควรรวมกลุ่มเพื่อผลิตโคเนื้อขุนคุณภาพและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรให้คำแนะนำและช่วยเหลือด้านการจัดการโคเนื้อขุนคุณภาพในระดับฟาร์ม โรงฆ่าสัตว์ที่ได้มาตรฐาน รวมถึงแหล่งจำหน่ายเนื้อโค เพื่อให้เกษตรกรสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและขยายตลาดโคเนื้อต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Akarak, P., & Kasorn, K. (2017). Investment risk and problems of beef cattle farmers, mae khao tom subdistrict, mueang district, Chiang Rai province. *The Journal of Accounting Review Chiang Rai Rajabhat University*, 2(1), 63-74. (in Thai).
- Duangsingtham, S., Panuphan, P., Sreshthaputra, S., Suebpongsum, P., & Rattanachai, A. (2020). Guideline to attitude changing towards beef cattle raising of farmers in mae chaem district, Chiang Mai province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 48(1), 393-400. (in Thai).
- Information and communication technology center. (2020). *Data of Livestock Population in Thailand*. Retrieved from: <https://ict.dld.go.th/webnew/index.php/th/service-ict/report/340-report-thailand-livestock-reportservey2563> (in Thai).
- Mukthang, K., Tartrakoon, W., Incheon, T., Chueaphudi, C., Hantai, P., Tongyoy, T., Luangjino, N., Chomdang, S., Kassaruk, T., Phasinam, K., & Laorodphan N. (2021). Fattening beef production costs and returns of farmers in Sukhothai province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 49 (1), 191-197. (in Thai).
- Noipang, T., & Ruangchoengchum, P. (2015). The supply chain of native beef cattle for commercial production in Sisaket province. In *Proceeding of the National and International Conference on Business Management and Innovation*, pp. 951-957. College of Graduate Study in Management, Khon Kaen University. (in Thai).

Office of regional livestock 5. (2020). **Strategy of Beef Cattle in Upper Northern Region of Thailand 2017-2021.**

Retrieved from: <http://region5.dld.go.th/webnew/images/stories/2563/yut/yutbeefcattle.pdf> (in Thai).

Pakeechay, K., Wattanachant, C., & Angkulasearane, T. (2014). Marketing channels of beef cattle in the lower southern region of thailand. **Kasetsart Journal of Social Sciences**, 35(2), 312–325. (in Thai).

Saengwong, S., Thannithi, W., Wichaporn, J., & Intawicha, P. (2020). Producing quality beef from cattle in phrae province: an assessment of the conditions, problems, and opportunities. **King Mongkut's Agricultural Journal**, 38(2), 254-262. (in Thai).

Sonsiri, K., Intawicha, P., Seangwong, S., Phumsaranakhom, P., & Dongpaleethun, C. (2020). Raising condition and SWOT analysis for a premium grade beef production in phayao and phrae province. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 48 (1), 93-104. (in Thai).

Srisa-ard, B. (2002). **Introduction of Research**. 7th ed. Suviriyasarn Publishing. (in Thai).

Yamane, T. (1973). **Statistics: an introductory analysis**. Harper & Row.

ผลของการเสริมใบกระท่อมผงในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

Effects of *Mitragyna speciosa* Leaf Powder Supplementation in Layer Diet on Production Performance and Egg Quality

เจษฎา รัตนวุฒิ^{1*}, บดี คำสีเขียว¹, คาร์ติเคยาน เวนคาตาชาลัม¹ และ อารีรัตน์ ทอดดี²
Jessada Rattanawut ^{1*}, Bodee Khamsekhiew ¹, Karthikeyan Venkatachalam ¹ and Areerat Todsadee ²

Received date: 20 มิ.ย. 65 Revised date: 3 พ.ค. 66 Accepted date: 6 มิ.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.005>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมใบกระท่อมผงในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ ทำการทดลองในไก่ไข่สายพันธุ์ไฮเซกบราวน์ อายุ 73 สัปดาห์ จำนวน 40 ตัว โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 5 ซ้ำๆ ละ 2 ตัว ไก่ไข่จะได้รับอาหารทดลองแล้วเสริมด้วยใบกระท่อมผงที่ระดับ 0, 0.5, 1.0 และ 2.0% ของอาหาร ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยบันทึกน้ำหนักตัว ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ มวลไข่ ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ และประเมินคุณภาพไข่ในวันสุดท้ายของการทดลอง ผลการทดลองพบว่า การเสริมใบกระท่อมผงในอาหารที่ระดับ 0.5% มีผลทำให้ผลผลิตไข่ มวลไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ดีกว่ากลุ่มอื่นๆ ($P < 0.01$) การเสริมใบกระท่อมผงมีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กินลดลง ($P < 0.01$) ในด้านคุณภาพไข่ พบว่า น้ำหนักเปลือกไข่ ความแข็งแรงของเปลือกไข่ ความหนาเปลือกไข่ น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว สีไข่แดง และความสดของไข่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ข้อมูลจากการทดลองจึงแนะนำว่าควรเสริมใบกระท่อมผงในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0.5%

คำสำคัญ: ใบกระท่อม ไก่ไข่ คุณภาพไข่ อาหารไก่ไข่

Abstract

The objective of this study was to examine the effects of kratom leaf powder supplementation in layer diet on production performance and egg quality. Forty 73-week-old Hisex Brown hens were divided into 4 treatment groups with 5 replications of 2 hens each. A basal diet supplemented with kratom leaf powder at 0, 0.5, 1.0 or 2.0% of diet for 8 weeks were fed to these hens. Body weight, egg production, egg weight, egg mass, feed intake and feed conversion ratio were recorded. Egg quality was measured on the last day of the experiment. The results showed that supplementation of kratom leaf powder at 0.5% level gave better egg production, egg mass and feed conversion ratio than other groups ($P < 0.01$). In addition, the supplementation of kratom leaf powder resulted in a reduction in feed intake ($P < 0.01$). In terms of egg quality, it was found that eggshell weight, eggshell strength, eggshell thickness, yolk weight, albumen weight, yolk color and Haugh unit were not statistically different ($P > 0.05$). From these findings, it can be concluded that kratom leaf powder can be supplemented in layer diet at 0.5% level.

Keywords: kratom leaf, laying hen, egg quality, layer diet

¹ คณะนวัตกรรมการเกษตรและประมง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000

² คณะศิลปศาสตร์และวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000

¹ Faculty of Innovative Agriculture and Fishery Establishment Project, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus 84000

² Faculty of Liberal Arts and Management Sciences, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus 84000

*Corresponding author, E-mail: jassada.r@psu.ac.th

คำนำ

ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ปีกมีการใช้ยาปฏิชีวนะกันอย่างแพร่หลายเพื่อรักษาสุขภาพและปรับปรุงสมรรถนะการผลิต อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการห้ามใช้ยาปฏิชีวนะในอาหารสัตว์และความกังวลที่เพิ่มขึ้นของผู้บริโภคเกี่ยวกับความปลอดภัยทางอาหาร จึงมีความสนใจในการหาทางเลือกอื่นเพื่อแทนยาปฏิชีวนะ สมุนไพรที่มีสรรพคุณทางเภสัชวิทยาเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้สำหรับส่งเสริมสุขภาพและเพิ่มสมรรถภาพในการผลิตสัตว์ สมุนไพรหลายชนิดเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารประกอบทุติยภูมิจากพืช (plant secondary compounds) เช่น แอลคาลอยด์ (alkaloid) ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) แทนนิน (tannin) ซาโปนิน (saponin) และสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สมุนไพรถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในปศุสัตว์และมนุษย์เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ เช่น กระตุ้นการกินอาหาร เพิ่มการย่อยได้ของสารอาหาร ด้านเชื้อจุลินทรีย์ กระตุ้นภูมิคุ้มกัน ด้านการออกซิเดชัน ฯลฯ

กระท่อม (*Mitragyna speciosa* (Korth.) Havil.) เป็นพืชในวงศ์ Rubiaceae เป็นพืชที่พบในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นไม้ยืนต้น ความสูงประมาณ 15-30 เมตร ใบเดี่ยว รูปไข่แกมขอบขนาน เรียงตรงกันข้าม หูใบรูปหอกอยู่ระหว่างก้านใบ (interpetiolar stipule) ดอกเป็นชนิดสมบูรณ์เพศ ออกที่ปลายกิ่ง ช่อย่อยรูปทรงกลมคล้ายดอกกระถิน แต่ละช่อมีดอกย่อยราว 70-80 ดอก ผลมีลักษณะแคบซูล ภายในผลย่อยมีเมล็ดอัดแน่น ในตำรายาไทยใบกระท่อมใช้ระงับอาการปวดท้อง แก้บิด แก้ท้องเสีย ระงับอาการปวดเมื่อยตามร่างกาย และระงับประสาท (Wungsintaweekul, 2017) พืชกระท่อมสร้างและสะสมสารเคมีหลากหลายกลุ่ม ได้แก่ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ ไตรเทอร์ปีน สารประกอบฟีนอล เป็นต้น โดยสารกลุ่ม indole alkaloids เป็นสารกลุ่มใหญ่ที่พบในพืชกระท่อม และมีสารสำคัญหลัก คือ mitragynine ซึ่งปริมาณที่พบในใบกระท่อมของไทยมีสูงถึง 66% โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับปริมาณสารสกัดแอลคาลอยด์ทั้งหมด (Takayama, 2004) มีรายงานว่า mitragynine อยู่ในใบโดยมีปริมาณตั้งแต่ 3.9–62.1 มก./กรัม ในใบกระท่อมยังพบสารแอลคาลอยด์ตัวอื่น ๆ ได้อีก เช่น speciogynine, speciociliatine, paynantheine และ 7-hydroxy-mitragynine เป็นต้น ชนิด รูปแบบการสร้างและการสะสมแอลคาลอยด์และสารอื่น ๆ ในพืชกระท่อมมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งเพาะปลูกและฤดูกาลที่เก็บเกี่ยว (Prozialeck et al., 2020) mitragynine มีผลกระตุ้นระบบประสาท มีผลลดการหลั่งกรดในกระเพาะ (gastric secretion) ทำให้ลดการย่อยอาหาร มีผลยับยั้งการหดตัวของลำไส้เล็ก และมีการใช้ใบกระท่อมเพื่อยับยั้งอาการท้องเสีย นอกจากนี้สารสกัดจากใบกระท่อมยังมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคในลำไส้ มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ glutathione transferase โดยเอนไซม์นี้ทำหน้าที่ในการกำจัดพิษออกจากร่างกาย และยังมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วย (Parthasarathy et al., 2009) ด้วยคุณสมบัติที่ดีของใบกระท่อมจึงมีความสนใจในการนำมาใช้เสริมในอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มสมรรถภาพการผลิต งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้ใบกระท่อมในการผลิตสัตว์ยังมีอยู่อย่างจำกัด เมื่อเร็ว ๆ นี้ Chanjula et al. (2022) ได้รายงานว่า การเสริมใบกระท่อมแห้งในอาหารแพะช่วยเพิ่มการย่อยได้ของโภชนะและลดระดับของคอเลสเตอรอลในเลือด อย่างไรก็ตาม การเสริมใบกระท่อมผงในไก่ไข่ยังไม่มีรายงานการใช้ การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดสอบผลการเสริมใบกระท่อมผงในอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

วิธีการศึกษา

การศึกษาผลของการเสริมใบกระท่อมผงในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ได้ปฏิบัติตามกฎระเบียบของคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์ทดลองของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยใช้ไก่ไข่พันธุ์ไฮเซกบราวน์ อายุ 73 สัปดาห์ จำนวน 40 ตัว โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมี 5 ซ้ำ ๆ ละ 2 ตัว โดยเลี้ยงในกรงไก่ไข่นาขนาด 40 ซม. × 45 ซม. × 35 ซม. (กรงละ 2 ตัว) ไก่ไข่จะได้รับอาหารทดลองที่ปลอดสารปฏิชีวนะซึ่งประกอบสูตรตามความต้องการโภชนะของสายพันธุ์ไฮเซกบราวน์ (Table 1) กลุ่มการทดลองประกอบด้วย 1) กลุ่มควบคุมที่ไม่เสริมใบกระท่อมผง 2) กลุ่มที่เสริมด้วยใบกระท่อมผงในอาหารที่ระดับ 0.5% 3) กลุ่มที่เสริมด้วยใบกระท่อมผงในอาหารที่ระดับ 1.0% และ 4) กลุ่มที่เสริมด้วยใบกระท่อมผงในอาหารที่ระดับ 2.0% ใบกระท่อมที่ใช้ในการทดลองเป็นใบกระท่อมที่เก็บในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยนำมาอบแห้งที่ 55 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิทและบดให้ละเอียด ในระหว่าง

การทดลองไก่ไข่ได้รับอาหารแบบเต็มๆ ให้น้ำด้วยระบบนิปเปิ้ล และได้รับแสงสว่าง 16 ชั่วโมงต่อวัน ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

การวัดสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

ทำการชั่งน้ำหนักไก่ไข่เมื่อเริ่มต้นการทดลองและเมื่อสิ้นสุดการทดลองเพื่อนำไปคำนวณหาน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง สำหรับการวัดสมรรถภาพการผลิตจะใช้ข้อมูลเฉลี่ยของทั้ง 8 สัปดาห์ โดยมีการบันทึกผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ มวลไข่ (ผลผลิตไข่ $\times$ น้ำหนักไข่) ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ (ปริมาณอาหารที่กิน/มวลไข่) สำหรับการตรวจสอบคุณภาพไข่ทำในวันสุดท้ายของการทดลอง โดยสุ่มไข่จำนวน 5 ฟอง/กลุ่ม (ซ้ำละ 1 ฟอง) นำมาตรวจสอบน้ำหนักฟองไข่ ความแข็งแรงของเปลือกไข่ น้ำหนักเปลือกไข่ ความหนาเปลือกไข่ น้ำหนักไข่ขาว น้ำหนักไข่แดง สีไข่แดง และค่า Haugh unit น้ำหนักของไข่ทำการชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ความแข็งแรงของเปลือกไข่ทำการวัดด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงของเปลือกไข่ (DET6000, NABEL Co., Ltd, Kyoto, Japan) น้ำหนักของเปลือกไข่ น้ำหนักไข่ขาว และน้ำหนักไข่แดงทำการชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ความหนาของเปลือกไข่ทำการวัดด้วยเวอร์เนียไมโครมิเตอร์ โดยทำการวัด 3 จุด คือ ด้านป้าน ตรงกลาง ด้านแหลม และนำมาหาค่าเฉลี่ย สำหรับสีของไข่แดง และค่า Haugh unit ทำการวัดด้วยเครื่องวัดคุณภาพไข่อัตโนมัติ (Digital Egg Tester DET 6000, NABEL Co., Ltd, Kyoto, Japan)

ขั้นตอนและวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ มวลไข่ ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ และคุณภาพไข่ จะนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS 16.0 (SPSS Inc., 2007) ผลการทดลองแสดงในรูปค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย ค่า $P < 0.05$ จะพิจารณาว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

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
Premix 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
Available phosphorus	0.45
Lysine	0.88
Methionine	0.42

¹Premix: 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.

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการเสริมใบกระท่อมผงต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่แสดงใน Table 2 จากผลการทดลองพบว่า การเสริมใบกระท่อมผงในอาหารที่ระดับ 0.5% มีผลทำให้ผลผลิตไข่และมวลไข่สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างชัดเจน ($P < 0.01$) ในขณะที่การเสริมใบกระท่อมผงที่ระดับ 1.0 และ 2.0% มีผลผลิตไข่และมวลไข่อยู่ในระดับเดียวกับกลุ่มควบคุม การเสริมใบกระท่อมผงในอาหารมีผลช่วยปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ให้ดีขึ้น และมีค่าที่ดีที่สุดในกลุ่มที่เสริมใบกระท่อมผงในระดับ 0.5% ($P < 0.01$) สารสกัดจากใบกระท่อมมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรค เช่น *Salmonella typhi* (Parthasarathy et al., 2009) และมีผลกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (Prozialeck et al., 2020) mitragynine ที่พบมากในใบกระท่อมมีผลกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้สารสกัดจากใบกระท่อมยังมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมผ่านเอนไซม์ cytochrome P450 โดยยับยั้ง CYP2C9, CYP2D6 และ CYP3A4 (Hanapi et al., 2010) นอกจากนี้ Vicknasingam et al. (2010) ได้รายงานว่ ใบกระท่อมนิยมใช้ในประเศมาเลเซียและไทยเป็นยาแผนโบราณเพื่อรักษาอาการติดเชื้อในลำไส้ ปวดกล้ามเนื้อ อาการไอ ลดอาการท้องเสีย และเพิ่มการดูดกลับของน้ำตาลกลูโคส ดังนั้น ผลผลิตไข่ มวลไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ที่ดีขึ้นในกลุ่มที่เสริมใบกระท่อมผง 0.5% อาจจะเกี่ยวข้องกับสารออกฤทธิ์ที่มีอยู่ในใบกระท่อมซึ่งมีผลดีต่อตัวสัตว์เมื่อใช้ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งอาจมีผลช่วยเพิ่มการย่อยได้ของโภชนะและส่งเสริมสุขภาพของไก่ไข่

Table 2 Effect of kratom leaf powder supplementation on production performance of laying hens

Parameter	Supplement levels of kratom leaf powder (%)				SEM	P-value
	0	0.5	1.0	2.0		
Body weight change (g)	174.00	168.00	177.00	120.00	13.81	0.45
Egg production (%)	76.64 ^{bc}	80.14 ^a	77.20 ^b	75.20 ^c	0.50	<0.01
Egg weight (g)	63.36	63.50	63.40	63.10	0.12	0.73
Egg mass (g)	48.56 ^{bc}	50.89 ^a	48.94 ^b	47.45 ^c	0.35	<0.01
Feed intake (g/hen/day)	113.40 ^a	110.50 ^b	111.10 ^b	106.00 ^c	0.66	<0.01
FCR (g of feed consumed/g of egg mass)	2.33 ^a	2.17 ^c	2.27 ^b	2.23 ^b	0.01	<0.01

^{a,b,c}Values with different superscripts in the same row are significantly different ($P < 0.01$).

ในการทดลองครั้งนี้การเสริมใบกระท่อมผงในอาหารมีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กินของไก่ไข่ลดลง และลดลงมากที่สุดในกลุ่มที่เสริมใบกระท่อมผง 2.0% ($P < 0.01$) สำหรับน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่การเสริมใบกระท่อมผงที่ระดับ 2.0% มีผลทำให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่ากลุ่มอื่น ๆ ใบกระท่อมมีสารต้านโภชนะ เช่น mitragynine แทนนิน ซาโปนิน กรดฟีนอลิก ซึ่งอาจส่งผลต่อการย่อยอาหาร การเผาผลาญอาหาร และการดูดซึมสารอาหารของสัตว์ ใบกระท่อมมีสารออกฤทธิ์ เช่น mitragynine, total phenolics, total tannins, flavonoids, and saponins สาร mitragynine มีฤทธิ์ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะ ยับยั้งการหดตัวของลำไส้เล็ก ทำให้ลดการอยากอาหาร (Tsuchiya et al., 2002) และมีผลทำให้น้ำหนักของหนูขาวลดลง (Kumarnsit et al., 2006) นอกจากนี้ Chanjula et al. (2022) ได้รายงานว่าการเสริมใบกระท่อมแห้งในระดับสูง (6.66 กรัม/วัน) จะมีผลทำให้ปริมาณวัตถุดิบที่กินได้ของแพะลดลง และทำให้การย่อยได้ของโภชนะส่วนใหญ่ลดลง นอกจากนั้น การเสริมใบกระท่อมผงในระดับสูงอาจมีผลต่อการย่อยได้ของโภชนะตัวอื่น ๆ เนื่องจากปริมาณของเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นจากการตรวจสอบคุณภาพไข่ในการทดลองครั้งนี้ (Table 3) พบว่าการเสริมใบกระท่อมผงในอาหารไม่มีผลกระทบต่อน้ำหนักฟองไข่ น้ำหนักเปลือกไข่ น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว ความแข็งแรงของเปลือกไข่ ความหนาเปลือกไข่ และค่า Haugh unit ($P > 0.05$) Sabetghadam et al. (2013) รายงานว่า mitragynine ค่อนข้างปลอดภัยเมื่อใช้ในระดับต่ำแต่จะแสดงความเป็นพิษในปริมาณที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงควรใช้ในระดับที่เหมาะสม โดยทั่วไปปริมาณพิษที่ทำให้หนูตายหลังจากได้รับ mitragynine เพียงครั้งเดียว คือ 200 มก./กก. (Suhaimi et al., 2016) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากใบกระท่อมมีราคาแพง การใช้ในระดับที่สูงเกินไปก็อาจจะมีผลทำให้ต้นทุนค่าอาหารเพิ่มขึ้นด้วย จึงควรใช้ในระดับที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

Table 3 Effects of kratom leaf powder supplementation on egg quality traits of laying hens

Parameter	Supplement levels of kratom leaf powder (%)				SEM	P-value
	0	0.5	1.0	2.0		
Whole egg weight (g)	63.30	63.42	63.32	63.02	0.08	0.45
Shell weight (g)	7.08	7.02	7.06	6.98	0.02	0.58
Yolk weight (g)	16.46	16.58	16.38	16.36	0.03	0.12
Albumen weight (g)	39.76	39.82	39.88	39.68	0.10	0.92
Eggshell strength (kg/cm ³)	3.73	3.71	3.79	3.67	0.02	0.32
Haugh unit	86.14	86.06	87.76	86.34	0.52	0.66
Yolk color score	8.02	8.08	8.06	8.26	0.05	0.28
Shell thickness (mm)	0.368	0.370	0.366	0.374	0.002	0.79

สรุปผลการศึกษา

การเสริมใบกระท่อมผงในอาหารที่ระดับ 0.5% มีผลช่วยเพิ่มผลผลิตไข่ มวลไข่ และปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ให้ดีขึ้น การเสริมในระดับ 2.0% มีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กินลดลงอย่างชัดเจน และการเสริมใบกระท่อมผงไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพไข่

เอกสารอ้างอิง

- Chanjula, P., Wungsintaweekul, J., Chiarawipa, R., Rugkong, A., Khonkhaeng, B., Suntara, C., & Cherdthong, A. (2022). Effect of feed supplement containing dried kratom leaves on apparent digestibility, rumen fermentation, serum antioxidants, hematology, and nitrogen balance in goats. **Fermentation**, 8(3), 131.
- Hanapi, N. A., Azizi, J., Ismail, S., & Mansor, S. M. (2010). Evaluation of selected Malaysian medicinal plants on phase I drug metabolizing enzymes, CYP2C9, CYP2D6 and CYP3A4 activities in vitro. **International Journal of Pharmacology**, 6, 494-499.
- Kumarnsit, E., Keawpradub, N., & Nuankaew, W. (2006). Acute and long-term effects of alkaloid extract of *Mitragyna speciosa* on food and water intake and body weight in rats. **Fitoterapia**, 77, 339-345.
- Parthasarathy, S., Azizi, J. B., Ramanathan, S., Ismail, S., Sasidharan, S., Said, M. I. & Mansor, S. M. (2009). Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of aqueous, methanolic and alkaloid extracts from *Mitragyna speciosa* (Rubiaceae Family) leaves. **Molecular Diversity Preservation International**, 14(10), 3964-3974.
- Prozialeck, W. C., Edwards, J. R., Lamar, P. C., Plotkin, B. J., Sigar, I. M., Grundmann, O., & Veltri, C. A. (2020). Evaluation of the mitragynine content, levels of toxic metals and the presence of microbes in kratom products purchased in the western suburbs of Chicago. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 17(15), 1–13.
- Sabetghadam, A., Ramanathan, S., Sasidharan, S. & Mansor, S. M. (2013). Subchronic exposure to mitragynine, the principal alkaloid of *Mitragyna speciosa*, in rats. **Journal of Ethnopharmacology**, 146(3), 815–23.
- SPSS Inc. (2007). **SPSS for Windows, Version 16.0**. SPSS Inc.
- Suhaimi, F. W., Yusoff, N. H. M., Hassan, R., Mansor, S. M., Navaratnam, V., Muller, C. P., & Hassan, Z. (2016). Neurobiology of kratom and its main alkaloid mitragynine. **Brain Research Bulletin**, 126, 29–40.
- Takayama, H. (2004). Chemistry and pharmacology of analgesic indole alkaloids from the Rubiaceae plant, *Mitragyna speciosa*. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin**, 52, 916-928.
- Tsuchiya, S., Miyashita, S., Yamamoto, M., Horie, S., Sakai, S., Aimi, N., Takayama, H., & Watanabe, K. (2002). Effect of mitragynine, derived from Thai folk medicine, on gastric acid secretion through opioid receptor in anesthetized rats. **European Journal of Pharmacology**, 443, 185-188.
- Vicknasingam, B., Narayanan, S., Beng, G. T., & Mansor, S. M. (2010). The informal use of ketum (*Mitragyna speciosa*) for opioid withdrawal in the northern states of peninsular Malaysia and implications for drug substitution therapy. **International Journal of Drug Policy**, 21, 283–288.
- Wungsintaweekul, J. (2017). **Kratom**. Retrieved from: <https://kratom.sci.psu.ac.th/knowledge/interdisciplinary/3197/>.

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกรจังหวัดนครนายก
Factor Affecting Decision Making on Madan (*Garcinia Schomburgkiana* Pierre.)
Cultivation of Farmers in Nakhon Nayok Province

กัณตวัฒน์ ไชยวุฒิ¹, พัชราวดี ศรีบุญเรือง^{1*} และชลธาร จูเจริญ¹

Kantawat Chaivut¹, Patcharavadee Sriboonruang^{1*}, and Chalathon Choocharoen¹

Received date: 7 ต.ค. 64 Revised date: 7 มิ.ย. 66 Accepted date: 14 มิ.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.006>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ 2) การปฏิบัติเกี่ยวกับการปลูกมะดัน 3) ระดับการตัดสินใจปลูกมะดัน 4) ความแตกต่างระหว่างปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคลและปัจจัยด้านเศรษฐกิจกับการตัดสินใจปลูกมะดัน และ 5) ปัญหาและข้อเสนอแนะ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ เกษตรกรผู้ปลูกมะดันในจังหวัดนครนายก จำนวน 124 คน โดยใช้แบบสัมภาษณ์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด สำหรับการทดสอบสมมติฐานใช้ t-test, F-test ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ยเท่ากับ 59.33 ปี การศึกษาระดับต่ำกว่าประถมศึกษาและประถมศึกษา เกษตรกรส่วนใหญ่ได้รับรู้ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับมะดันมากที่สุดจากช่องทางสื่อบุคคล คือ พี่น้อง และสืบทอดจากบรรพบุรุษ การตัดสินใจปลูกมะดันของ เกษตรกร ด้านการเตรียมดินและอินทรีย์วัตถุ ด้านการเตรียมต้น และด้านการปฏิบัติบำรุงอยู่ในระดับมาก ผลการทดสอบสมมติฐาน การตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกร พบว่า เพศ จำนวนแรงงาน ปริมาณผลผลิต รายได้จากการปลูก และการขายผลผลิต แหล่งเงินทุน มีผลต่อการตัดสินใจปลูกมะดันแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และ 0.01 ปัญหาที่พบ คือ ฝนตกไม่สม่ำเสมอ ผลผลิตล้นตลาด การแปรรูปมะดันเพื่อการส่งออก และการสนับสนุนจากภาครัฐ

คำสำคัญ: เกษตรกร การตัดสินใจ มะดัน การปลูก นครนายก

Abstract

The objectives of this research were to study: 1) personal factors and economic factors, 2) practices for Madan cultivation, 3) levels of decision-making on Madan cultivation, 4) the difference between personal factors and economic factors affecting the decision-making on Madan cultivation, and 5) problems and suggestions regarding Madan cultivation. Sample sizes consisted of 124 farmers who plant Madan in Nakhon Nayok province. Data was collected using an interview record. Statistical analyses included frequency, percentage, mean, standard deviation, minimum, maximum, t-test, and F-test. The results of the research revealed that most of the farmers were female, with an average age of 59.33 years, and educated at primary school and lower primary school. These farmers received information about Madan from personal media including relatives and inherited from ancestors. The results from this research showed that decision-making of farmers on Madan cultivation depend on gender, number of laborers, productivity, sales of produce, and source of money with a significant level at 0.05, 0.01. The problems of cultivation were intermittent rain, oversupply, processing of Madan for export, and government support.

Keywords: farmers, decision, madan, cultivation, Nakhon Nayok

¹ ภาควิชาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

¹ Department of Agricultural Extension and Communication, Kasetsart University, Lat Yao District, Bangkok 10900

* Corresponding author, Email: fagrpds@ku.ac.th

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีทรัพยากรธรรมชาติอุดมสมบูรณ์มีสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน และมีลักษณะเด่นของแต่ละพื้นที่แตกต่างกันไป จึงทำให้สามารถปลูกพืชผลทางการเกษตรได้ดีในแต่ละพื้นที่ที่มีความเหมาะสมกับพืชนั้น ๆ ทั้งสภาพอากาศ ทำเลที่ตั้งของพื้นที่ สภาพพื้นที่ หรือในพื้นที่ที่มีฝนมาก รวมไปถึงโครงสร้างและองค์ประกอบของดิน และอีกหลากหลายปัจจัย ที่ล้วนแล้วแต่จะส่งผลทำให้ผลผลิตมีความโดดเด่นที่แตกต่างกับพื้นที่อื่น ๆ (Maneewan et al., 2015) โดยมีหลายจังหวัดที่มีผลไม่ขึ้นชื่อ และสร้างชื่อเสียงให้กับจังหวัด

จังหวัดนครนายก มีพื้นที่ทำเกษตรกรรมประมาณ 687,018 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 51.80 ของพื้นที่จังหวัด ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น อีกทั้ง มีพืชท้องถิ่นที่มีความสำคัญและยังเป็นแหล่งเพาะปลูกที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทย คือ “มะดัน” มีชื่อพื้นบ้านว่า มะดัน ส้มมะดัน ส้มไม่รู้ถ้อย และมะดันมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า การ์ซิเนีย สโครมเบิร์กเคียนา (*Garcinia schomburgkiana* Pierre.) (Ministry of Natural Resources and Environment, 2019) เป็นพืชท้องถิ่นของจังหวัดนครนายกที่มีการดูแลง่าย และทนต่อน้ำท่วมขังได้ดีเหมาะกับการปลูกในพื้นที่ลุ่ม ปลูกได้ในบริเวณที่อาจเกิดน้ำท่วม ต้นมะดันมีทรงพุ่มที่สวยงามและสามารถให้ผลผลิตได้ตลอดทั้งปีถ้าหากได้รับน้ำอย่างเพียงพอ มะดันเป็นไม้ยืนต้น มีความสูง 5-10 เมตร เป็นต้นไม้คู่บ้านเรือนคนไทยอีกประเภทหนึ่ง ที่มักปลูกข้างบ้าน โดยเฉพาะบ้านที่เป็นสวนท่องเที่ยวหรืออยู่ติดชายน้ำ จัดเป็นไม้ผลที่นิยมนำผลมารับประทานสด หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทั้งของหวานและของคาว รวมถึงส่วนของใบอ่อนที่ใช้สำหรับประกอบอาหาร

ในพื้นที่จังหวัดนครนายก เป็นแหล่งเพาะปลูกมะดันที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทย โดยมีพื้นที่ปลูกทั้งสิ้น 339 ไร่ และมีจำนวนเกษตรกรผู้ปลูกมะดัน 121 คน (Department of Agricultural Extension, 2017) ใน พ.ศ. 2561 มีจำนวนเกษตรกรผู้ปลูกมะดันจำนวน 181 คน และพื้นที่ปลูกเป็น 941.5 ไร่ และใน พ.ศ.2564 มีพื้นที่ปลูกเพิ่มเป็น 1,093 ไร่ และผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 1,158 ตัน มูลค่า 21 ล้านบาท (Nakorn Nayok Provincial Agricultural and Cooperatives Office, 2021) ถึงแม้มะดันจะนิยมปลูกกันมาก และมีประโยชน์หลากหลายด้าน แต่เกษตรกรก็ยังประสบปัญหาผลผลิตที่ออกมาพร้อม ๆ กันทำให้มีปริมาณผลผลิตมีมากจนเกินไป ส่งผลทำให้ผลผลิตล้นตลาดราคาของผลสดตกต่ำ จากราคาสูงสุดกิโลกรัมละ 20 บาท เหลือราคากิโลกรัมละ 3-5 บาท ทำให้เกษตรกรได้รับความเดือดร้อนจากราคาตกต่ำ

แต่ในทางกลับกัน จากข้อมูลของ Nakorn Nayok Provincial Agricultural and Cooperatives Office (2021) พบว่ามีจำนวนเกษตรกรและพื้นที่ในการปลูกมะดันเพิ่มขึ้นและทางจังหวัดนครนายกกำลังดำเนินการส่งเสริมให้มะดันเป็นพืชสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication: GI) อีกชนิดหนึ่งของจังหวัด โดยในอนาคตจะมีการประกันราคามะดันที่ส่งขายให้กับลูกค้าตามคุณภาพของผลมะดัน รวมทั้ง ยังมีการรวมกลุ่มเกษตรกรในการแปรรูป เช่น มะดันแช่อิ่ม มะดันอบแห้ง เป็นต้น พัฒนาผลิตภัณฑ์จากมะดันให้เป็นสินค้าที่มีชื่อเสียงของจังหวัดนครนายกและสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร อีกทั้ง แผนพัฒนาจังหวัดนครนายก พ.ศ. 2561-2565 ได้เตรียมความพร้อมรองรับการเปลี่ยนแปลงของอนาคตโดยการพัฒนาจังหวัดให้มีความก้าวหน้า ในด้านการเกษตร การแปรรูป การตลาด เพื่อสร้างรายได้ให้กับประชาชนเพิ่มมากขึ้น และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าและบริการเพื่อให้ได้มาตรฐาน

จากที่กล่าวมาข้างต้น แม้ว่ามะดันได้รับผลกระทบเรื่องราคาผลผลิตล้นตลาด แต่เกษตรกรยังให้ความสำคัญกับพืชอัตลักษณ์พื้นถิ่น โดยปลูกมะดันเพิ่มขึ้น และนำองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาใช้เพื่อสร้างความแตกต่าง และสร้างมูลค่าเพิ่ม ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเรื่อง ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกร จังหวัดนครนายก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ การปฏิบัติ และระดับการตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกรในจังหวัดนครนายก เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล และปัจจัยด้านเศรษฐกิจ การปฏิบัติเกี่ยวกับการปลูกมะดัน ต่อการตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกรใน จังหวัดนครนายก รวมถึงปัญหาและข้อเสนอแนะของเกษตรกรผู้ปลูกมะดันในจังหวัดนครนายก เพื่อให้หน่วยงานใช้เป็นแนวทางสำหรับการวางแผนในการส่งเสริมการปลูก การเพิ่มมูลค่า และผลักดันให้มะดันเป็นพืชที่เป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indicator: GI) ของเกษตรกรจังหวัดนครนายกต่อไป

วิธีการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ เกษตรกรผู้ปลูกมะดัน จังหวัดนครนายก ปี พ.ศ. 2561 (Nakorn Nayok Provincial Agricultural and Cooperatives Office, 2021) ซึ่งมีประชากรทั้งหมด 181 คน โดยกำหนดขนาดตัวอย่างโดยใช้การคำนวณสูตรของ Krejcie and Morgan (1970) อ้างถึงใน Niyamangkoon (2013) ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 124 คน จากนั้นผู้วิจัยสุ่มตัวอย่างจากบัญชีรายชื่อเกษตรกรผู้ปลูกมะดัน จังหวัดนครนายก เมื่อได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างแล้ว ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างจากจำนวนกลุ่มตัวอย่างแต่ละอำเภอ โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้โดยจำแนกตามอำเภอดังที่แสดงใน Table 1

Table 1 Number of the registered population of Madan cultivation and number of sample sizes classified by district

No.	District	Population	Samples
1	Muang Nakhon Nayok	132	91
2	Ban Na	41	28
3	Pak Phli	6	4
4	Ongkharak	2	1
Total		181	124

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้แบบสัมภาษณ์ (Interview Schedule) เป็นเครื่องมือในการเก็บ รวบรวมข้อมูล มีลักษณะคำถามปลายปิด (Closed-ended Questions) และคำถามปลายเปิด (Open-Ended Question) ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับการปฏิบัติเกี่ยวกับการปลูกและด้านการปฏิบัติบำรุงมะดัน ของเกษตรกร จังหวัดนครนายก ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ มาก ปานกลาง และน้อย โดยมี การกำหนดช่วงคะแนนสำหรับการแปลผลโดยพิจารณาการปฏิบัติเกี่ยวกับการปลูกมะดัน ช่วงคะแนน 0.00-0.33 มีการปฏิบัติระดับน้อย ช่วงคะแนน 0.34-0.66 มีการปฏิบัติระดับปานกลาง และช่วงคะแนน 0.67-1.00 มีการปฏิบัติระดับมาก และช่วงคะแนนระดับการตัดสินใจปลูกมะดัน ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 2.34 - 3.00 มีผลต่อการตัดสินใจมาก ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1.67 - 2.33 มีผลต่อการตัดสินใจปานกลาง และค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1.00 - 1.66 มีผลต่อการตัดสินใจน้อย

การทดสอบเครื่องมือ

ความเที่ยงตรง (Validity) ผู้วิจัยได้สร้างแบบสัมภาษณ์จากข้อมูลเกี่ยวกับมะดัน เป็นกรอบแนวคิดหลักในการวิจัย เพื่อใช้รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ จากนั้นได้นำเสนอเครื่องมือต่อโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความตรงของเนื้อหา และแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำ และทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability) เพื่อให้แบบสัมภาษณ์ที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องและสมบูรณ์ เพื่อหาข้อบกพร่องของแบบสัมภาษณ์ผู้วิจัยจึงได้นำแบบสัมภาษณ์ไปทดสอบกับเกษตรกรผู้ปลูกมะดันจังหวัดนครนายก ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย จำนวน 30 คน แล้วนำผลการ วิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่น Cronbach - Alpha ได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบสัมภาษณ์ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกร เท่ากับ 0.912 ซึ่งเป็นค่าความเชื่อมั่นที่สามารถนำไปเก็บข้อมูลจริงได้ (Niyamangkoon , 2013) การทดสอบที่ได้มาปรับปรุงแก้ไขและตรวจสอบโดยคณะกรรมการที่ปรึกษา และผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้อง เพื่อปรับปรุงแก้ไขให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์อีกครั้ง ก่อนที่จะนำไปสัมภาษณ์กับกลุ่มตัวอย่าง

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ การปฏิบัติเกี่ยวกับการปลูग्มะดัน และการตัดสินใจปลูग्มะดันของเกษตรกร ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) ประกอบด้วย ความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ค่าต่ำสุด (Minimum) และค่าสูงสุด (Maximum) และการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง ปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ กับการตัดสินใจปลูग्มะดันของเกษตรกร ใช้สถิติจำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน t-test และ F-test สำหรับค่านัยสำคัญทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลครั้งนี้กำหนดไว้ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05, 0.01 (Niyamangkoon, 2013)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคลและเศรษฐกิจ

เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีอายุเฉลี่ยเท่ากับ 59.33 ปี ส่วนใหญ่จบการศึกษาระดับต่ำกว่าประถมศึกษาและประถมศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kompramoon & Sriboonruang (2020) พบว่า เกษตรกรผู้ปลูग्มะดันส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 72.00 อายุเฉลี่ยเท่ากับ 53.89 ปี มีระดับการศึกษาระดับสูงสุดคือ ประถมศึกษา มากที่สุด ร้อยละ 44.1 รายได้จากการขายมะดัน แปรรูป พบว่า เกษตรกรมีรายได้ 300-200,000 บาท/ไร่/ปี (ร้อยละ 12.90) โดยที่รายได้ 200,000 บาท/ไร่/ปี มาจากเกษตรกรที่ประกอบธุรกิจส่วนตัวในการแปรรูปมะดัน

นอกจากนี้ อาชีพหลักส่วนใหญ่เป็นเกษตรกร อาชีพรองส่วนใหญ่เป็นอาชีพรับจ้าง ค้าขาย และลูกจ้าง มีประสบการณ์ในการปลูग्มะดันเฉลี่ย 20.75 ปี อาจเป็นเพราะมะดันเป็นพืชท้องถิ่นของจังหวัดนครนายกทำให้เกษตรกรได้รับการสืบทอดประสบการณ์ในการปลูग्มะดันมาจากบรรพบุรุษจนถึงปัจจุบัน มีพื้นที่ปลูग्มะดันเฉลี่ย 1.90 ไร่ ส่วนใหญ่มีจำนวนแรงงาน 1 คน อาจเป็นเพราะขนาดพื้นที่โดยเฉลี่ย 1.90 ไร่ ในการปลูग्มะดัน สามารถใช้แรงงานไม่มากเนื่องจากมีขั้นตอนการปลูग्ที่ไม่ยุ่งยาก ซึ่งผลการวิจัยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Anekboon et al. (2017) ศึกษาความคิดเห็นของเกษตรกรที่มีต่อการปลูग्ผักหวานป่าในตำบลหนองบัว อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี พบว่า จำนวนแรงงานครัวเรือนในการปลูग्ผักหวานป่า 2 คน (ร้อยละ 48.8) และส่วนใหญ่ไม่มีแรงงานจ้าง มีปริมาณผลผลิตเฉลี่ย 762.34 กิโลกรัม/ไร่/ปี มีรายได้จากการขายมะดันผลสดเฉลี่ย 9,396.77 บาท/ไร่/ปี ส่วนใหญ่ไม่มีรายจ่ายจากการปลูग्มะดัน เนื่องจากการดูแลส่วนมากจะปล่อยไปตามธรรมชาติ และเก็บผลผลิตขายเพียงอย่างเดียว จึงไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้ยากำจัดศัตรูพืช และปุ๋ยในการบำรุง ส่วนใหญ่ไม่มีการกู้เงินจากแหล่งเงินทุน อาจเป็นเพราะการดูแลส่วนมากจะปล่อยไปตามธรรมชาติ จึงไม่มีความจำเป็นที่จะกู้เงินเพื่อซื้อปัจจัยการผลิต แต่มีเกษตรกรบางรายที่เป็นเจ้าของธุรกิจ มีการกู้ยืมเงินเพื่อนำไปลงทุนในส่วนของการแปรรูปมะดัน

ปัจจัยช่องทางการรับรู้ข้อมูลข่าวสาร

เกษตรกรส่วนใหญ่ได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับมะดันจากสื่อบุคคลมากที่สุด ได้แก่ ญาติ พี่น้อง และสืบทอดจากบรรพบุรุษ (ร้อยละ 80.6) เพื่อนเกษตรกร (ร้อยละ 9.7) เนื่องจากมะดันเป็นพืชท้องถิ่นของจังหวัดนครนายกทำให้เกษตรกรมีการปลูग्กันมาตั้งแต่บรรพบุรุษ ทำให้สืบทอดมาจนถึงปัจจุบัน นอกนั้น คือ ผู้นำท้องถิ่น เจ้าหน้าที่ทางการเกษตร (ร้อยละ 9.7) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sawangsawai et al. (2019) ที่พบว่า เกษตรกรผู้ปลูग्ทุเรียนเปิดรับสื่อบุคคลจาก เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร และผู้นำชุมชนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 57.3 นอกจากนี้ เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ได้รับข้อมูลข่าวสารจากช่องทางสื่อมวลชน (ร้อยละ 90.4) จะมีเพียงสื่อมวลชนประเภท โทรทัศน์ (ร้อยละ 4.8) และวารสารทางการเกษตร (ร้อยละ 4.8) ที่เกษตรกรได้รับข่าวสารเกี่ยวกับมะดัน ในส่วนของสื่อกิจกรรม เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับมะดันจากช่องทางสื่อกิจกรรม (ร้อยละ 51.6) จากการประชุม (ร้อยละ 23.4) การเข้ารับการฝึกอบรม (ร้อยละ 16.9) การศึกษาดูงาน (ร้อยละ 6.5) และนิทรรศการที่จัดขึ้นในท้องถิ่น (ร้อยละ 1.6) และในส่วนของสื่อออนไลน์ เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับมะดันจากช่องทางสื่อออนไลน์ (ร้อยละ 91.9) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Samonpan et al. (2018) ที่ศึกษา ความคิดเห็นของเกษตรกรที่มีต่อการ

ปลูกส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่ในตำบลบางสะแก อำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสงคราม พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่เคยได้รับข่าวสารจากสื่อออนไลน์ ร้อยละ 82.5 ดังที่แสดงใน Table 2

Table 2 Number and percent of farmers classified by media exposure

Media exposure	Number	Percent
Personal media		
Not received	0	0.0
Received	124	100.0
Relative, sibling, inherited from an ancestor	100	80.6
Neighbor	12	9.7
Local leader, agricultural extension officer	12	9.7
Mass media		
Not received	112	90.4
Received	12	9.6
Television	6	4.8
Agricultural Journal	6	4.8
Activity media		
Not received	64	51.6
Received	60	48.4
Meeting	29	23.4
Training	21	16.9
Study visiting	8	6.5
Local exhibitions	2	1.6
Online media		
Not received	114	91.9
Received	10	8.1
Facebook	4	3.2
Line	4	3.2
YouTube	2	1.7

ภาพรวมข้อมูลการปฏิบัติเกี่ยวกับการปลูกมะดัน

เกษตรกรมีการปฏิบัติเกี่ยวกับการปลูกมะดันโดยภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 0.47) เมื่อแบ่งเป็นรายด้าน ได้แก่ ด้านการปลูก เช่น เรื่องดิน พันธุ์ น้ำ การเตรียมดิน ขนาดหลุมปลูก การเว้นระยะห่าง การขยายพันธุ์ เป็นต้น เกษตรกรมีการปฏิบัติเกี่ยวกับการปลูกมะดันด้านการปลูกอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 0.45) และด้านการปฏิบัติบำรุง เช่น การดูแลให้น้ำ การคลุมโคนต้นเศษพืช การใช้ปุ๋ย เป็นต้น เกษตรกรมีการปฏิบัติอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 0.48) เนื่องจากการควบคุมทรงพุ่มให้มีขนาดที่เหมาะสม เพื่อความสะดวกในการเก็บผลผลิต และทำให้ต้นมะดันมีความสมบูรณ์มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Supapunt & Awirothananon (2018) พบว่า การปฏิบัติตามมาตรฐานเกษตรที่ดีที่เหมาะสมของเกษตรกร ในจังหวัดเชียงใหม่ ใน

ด้านการจัดการเครื่องมือและ อุปกรณ์การเกษตร และการปฏิบัติและการควบคุม จากคะแนนการปฏิบัติแต่ละข้อพบว่า มีบางข้อที่มีคะแนนปานกลาง ดังที่แสดงใน Table 3

Table 3 Overview of Madan cultivation practicing

Madan cultivation practicing	$\bar{X}$	S.D.	Practicing level
1. Planting	0.45	0.255	Medium
2. Plant care	0.48	0.214	Medium
Overall	0.47	0.202	Medium

การตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกร

การตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกร 5 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านการเตรียมดินและอินทรีย์วัตถุ (ค่าเฉลี่ย 2.62) 2) ด้านการเตรียมต้น (ค่าเฉลี่ย 2.96) 3) ด้านการปฏิบัติบำรุง (ค่าเฉลี่ย 2.68) 4) ด้านแนวโน้มการปลูกมะดัน (ค่าเฉลี่ย 2.11) และ 5) ด้านแนวโน้มการสนับสนุนจากภาครัฐ (ค่าเฉลี่ย 2.28) แสดงให้เห็นว่า การตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกร ด้านการเตรียมดินและอินทรีย์วัตถุ ด้านการเตรียมต้น และด้านการปฏิบัติบำรุงอยู่ในระดับมาก ส่วนด้านแนวโน้มการปลูกมะดัน และด้านแนวโน้มการสนับสนุนจากภาครัฐ พบว่า อยู่ในระดับปานกลาง อาจเป็นเพราะเกษตรกรคาดหวังให้ภาครัฐเข้ามาส่งเสริมและสนับสนุนการปลูกและการแปรรูปมะดันให้เพิ่มมากขึ้น รวมถึงการผลักดันให้เป็นพืช GI

ความแตกต่างระหว่างปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล และปัจจัยพื้นฐานทางเศรษฐกิจ กับการตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกร

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคลกับการตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกร พบว่า เพศ การขายผลผลิต ส่งผลต่อการตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกรแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และจำนวนแรงงาน ปริมาณผลผลิต รายได้จากการปลูก และแหล่งเงินทุน ส่งผลต่อการตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกรแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 อาจเป็นเพราะเกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงและมีอายุมากส่งผลต่อการดูแลต้นมะดันที่ต้องใช้แรงมาก ทำให้การทำสวนมะดันได้ลำบากถ้าไม่มีแรงงานในการเก็บผลผลิต และตัดแต่งกิ่ง การได้ปริมาณผลผลิตมากส่งผลโดยตรงต่อรายได้ของเกษตรกร ซึ่งในช่วงที่ปริมาณผลผลิตในตลาดมีน้อย แต่ถ้าเกษตรกรสามารถทำให้ปริมาณผลผลิตออกได้มากจะได้ราคาสูงกว่าปกติ แต่ทั้งนี้เกษตรกรมีรายได้ไม่เท่ากันเนื่องจากปริมาณผลผลิตและราคาในการขายแตกต่างกันทำให้เกษตรกรมีการตัดสินใจปลูกแตกต่างกัน นอกจากนี้เกษตรกรมีรายได้จากการขายมะดันต่อกิโลกรัมไม่เท่ากัน ส่งผลทำให้เกษตรกรที่ขายได้ราคาน้อยกว่าที่ควร ไม่อยากเก็บผลผลิตมาขาย และเกษตรกรบางรายสามารถเข้าถึงแหล่งเงินทุนเพื่อนำมาต่อยอดจากการขายผลสดเพียงอย่างเดียว ก็หันมาลงทุนในการแปรรูปมะดันเพื่อเพิ่มมูลค่าได้ อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kompramoon & Sriboonruang (2020) ซึ่งพบว่าปัจจัยพื้นฐานทางเศรษฐกิจ ได้แก่ รายได้ มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจปลูกยางพาราของเกษตรกรในภาพรวม (P-value = 0.034) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังที่แสดงใน Table 4

Table 4 The difference between personal factors, economic factors, and decision-making on Madan (*Garcinia Schomburgkiana* Pierre.) cultivation of farmers

Factors	Farmers' decision-making towards Haew Suphan cultivation	
	t-test/F-test	P-value
1. Personal factors		
1.1 Gender	2.062*	0.041

Factors	Farmers' decision-making towards Haew Suphan cultivation	
	t-test/F-test	P-value
1.2 Age	0.857	0.427
1.3 Level of education	0.087	0.917
1.4 Career	0.535	0.659
1.5 On-farm experience	1.201	0.304
2. Economic factors		
2.1 Area for Madan cultivation	0.879	0.418
2.2 Number of labors	5.560**	0.005
2.3 Productivity	7.980**	0.001
2.4 Income	11.399**	0.000
2.5 Expense	-0.890	0.375
2.6 Sales of produce	3.278*	0.041
2.7 Source of money	12.219**	0.000

Note: * = significance level at 0.05 ** = significance level at 0.01

ปัญหาและข้อเสนอแนะของเกษตรกรที่มีต่อการตัดสินใจปลูกมะดัน จังหวัดนครนายก

จากการสัมภาษณ์เกษตรกรเกี่ยวกับการตัดสินใจปลูกมะดัน พบว่า ปัญหาของเกษตรกร คือ 1) การให้น้ำส่วนใหญ่จะรอ น้ำฝนทำให้ได้ผลผลิตไม่สม่ำเสมอและมักจะได้ผลผลิตที่พร้อมกันทำให้เกิดภาวะสินค้าล้นตลาดส่งผลให้ราคาตกต่ำลง 2) เกษตรกรส่วนใหญ่ยังมองไม่เห็นภาพของการแปรรูปมะดันเพื่อการส่งออกและการได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ ส่งผลให้เกษตรกรต้องการให้ภาครัฐเข้ามาสนับสนุนด้านการปลูกและแปรรูป รวมถึงจัดหาสถานที่ขายสินค้าแปรรูป และต้องการได้รับการประกันราคาที่แน่นอน รวมทั้ง สร้างความมั่นใจให้แก่เกษตรกรในการปลูกมะดันว่าสามารถให้รายได้ที่สม่ำเสมอและผลักดันให้เป็นพืช GI ของ จังหวัดนครนายก

สรุปผลการศึกษา

เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีอายุค่อนข้างมาก มีระดับการศึกษาไม่สูงมากนัก มีอาชีพหลัก คือ เกษตรกร มีอาชีพรอง คือ รับจ้าง ค้าขาย และลูกจ้าง และมีประสบการณ์ในการปลูกมะดันค่อนข้างมาก เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีการจ้างแรงงานในการเก็บเกี่ยว ผลผลิตมะดันเฉลี่ย 762.34 กิโลกรัม/ไร่/ปี มีรายได้จากการขายมะดันไม่มากนัก และไม่มีรายจ่ายหรือต้นทุนเงินสด เนื่องจากการดูแลมักจะปล่อยไปตามธรรมชาติ และเก็บผลผลิตขายเพียงอย่างเดียว จึงไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้ยากำจัดศัตรูพืช และปุ๋ยในการบำรุง แต่ในเกษตรกรบางรายอาจมีค่าใช้จ่ายในส่วนของการตัดแต่งกิ่ง และเก็บผลผลิต ส่วนใหญ่ไม่มีการกู้เงินมาเพื่อปลูกมะดันใช้แหล่งเงินทุนส่วนตัวเกษตรกร แต่มีเกษตรกรบางรายที่เป็นเจ้าของธุรกิจ มีการกู้ยืมเงินเพื่อนำไปลงทุนในส่วนของการแปรรูปมะดัน การรับรู้ข่าวสารของเกษตรกรส่วนใหญ่ได้รับผ่านทางสื่อบุคคลเป็นหลัก เนื่องจากมะดันเป็นพืชท้องถิ่นของจังหวัดนครนายก และปลูกกันมาตั้งแต่บรรพบุรุษ ทำให้สืบเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน นอกจากนี้ เกษตรกรยังได้รับข้อมูลข่าวสารผ่านสื่อกิจกรรม และสื่อออนไลน์ แต่ไม่มากนัก และการตัดสินใจในการปลูกมะดันคือ แนวโน้มการปลูกและการสนับสนุนจากภาครัฐ ซึ่งยังไม่ชัดเจนเรื่องราคาและรายได้ และปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจปลูกมะดันของเกษตรกร ได้แก่ เพศ จำนวนแรงงาน ปริมาณผลผลิตที่แตกต่างกัน รายได้จากการปลูก การขายผลผลิต และแหล่งเงินทุน นอกจากนี้ ปัญหาที่พบจากการปลูก

คือ ปัญหาฝนตกไม่สม่ำเสมอทำให้ผลผลิตมะดันที่ออกไม่สม่ำเสมอ เวลาผลผลิตออกมักจะออกพร้อมกัน ส่งผลให้ผลผลิตมะดันล้นตลาดส่งผลให้ราคาตกต่ำลง

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ยังมองไม่เห็นภาพของการแปรรูปมะดันเพื่อการส่งออก หากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้ามาส่งเสริมให้ความรู้ และแนวทางการทำผลิตภัณฑ์มะดันแปรรูปเพื่อการส่งออก จะช่วยให้เกษตรกรมีแนวโน้มในการปลูกมะดันมากขึ้น อีกทั้ง ยังมีเกษตรกรอีกหลายคนที่ยังเข้าไม่ถึงการสนับสนุนจากภาครัฐ ดังนั้น ภาครัฐจึงควรมีการลงพื้นที่เข้าพบกับเกษตรกรเป็นรายบุคคล ส่งเสริมให้เกิดการรวมกลุ่ม รวมทั้งพัฒนามะดันให้เป็นพืชสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication: GI) เพื่อช่วยสร้างมูลค่ามะดันให้สูงขึ้น และยังคงอนุรักษ์การปลูกมะดันให้คงอยู่กับจังหวัดนครนายกต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สาวิตรี รังสิภัทร์ อาจารย์ภาควิชาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ที่ได้กรุณาตรวจสอบความถูกต้องของแบบสัมภาษณ์และให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณสำนักงานเกษตรจังหวัดนครนายก สำนักงานเกษตรอำเภอบ้านนา สำนักงานเกษตรอำเภอปากพลี สำนักงานเกษตรอำเภอองครักษ์ และสำนักงานเกษตรอำเภอเมืองนครนายก ที่ได้ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และขอขอบพระคุณเกษตรกรผู้ปลูกมะดันทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Anekboon, N., Sriboonruang, P., & Rangsihaht, S. (2017). Opinion of Farmers toward Pak-Wanpa (Melientha suavis Pierre) Cultivation in Nongbua Sub-district, Ban Mo District, Saraburi Province. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 35(1), 125-135. (in Thai).
- Department of Agricultural Extension. (2017). *Madan Information Report*. Retrieved from: <chrome-extension://efaidnbmninnbpcjpcglclefindmkaj/http://www.agriinfo.doe.go.th/year63/plant/rortor/fruit/madun.pdf>. (in Thai).
- Kompramoon, J., & Sriboonruang, P. (2020). Factors affecting the decision making of para rubber tree plantation farmers in Khlong Sai sub-district, Tha Chang district, Surat Thani province. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 38(2), 226-234. (in Thai).
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining Sample Size for Research Activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607-610.
- Maneeewan, N., Laorpunsakulm, J., Jitjumnong, T., & Meesang, N. (2015). *State of soil and land resources of Thailand*. Office of Department of Land Development. (in Thai).
- Ministry of Natural Resources and Environment. (2019). *Medical Plant Database*. Retrieved from: <http://www.qsb.org/Database/plantdb/mdp/medicinal-specimen.asp?id=373> (in Thai).
- Nakhon Nayok Provincial Agricultural and Cooperatives Office. (2021). *Nakhon Nayok Development Plan. B.E.2018-2021*. Retrieved from: <http://www2.nakhonnayok.go.th/frontpage> (in Thai).
- Niyamangkoon, S. (2013). *Research Methodology and Statistics*. Books 2 U Publishing. (in Thai).
- Samonpan, M., Sriboonruang, P., & Rangsihaht, S. (2018). Opinion of Farmers towards Growing 'Khao Yai' Pomelo in Bang Sakae Sub-District, Bang Khonthi District, Samut Songkhram Province. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 36(2), 53-61. (in Thai).
- Sawangswai, T., Sriboonruang, P., & Thongdeelt, P. (2019). Media exposure of durian farmers in Tha Mai district, Chanthaburi province. *Agricultural Science Journal*, 50(2), 156-166. (in Thai).
- Supapunt, P., & Awirothananon, T. (2018). Knowledge, Practices, and Marketing Channels of Vegetables with Good Agricultural PracticeStandard in Chiang Mai. *Journal of Agricultural Research and Extension*, 35(2), 64-76. (in Thai).

ผลของไบโอชาร์ต่อการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินร่วนปนทรายและดินเหนียว ในสภาพโรงเรือน

Effect of Biochar on Soil Fertility Change on Sandy Loam Soil and Clay Soil Under Greenhouse Condition

ชัชชนพร เกื้อหนู^{1*} และสายน้ำ อุดพวย¹

Chattanaporn Kueanoon^{1*}, and Sainam Udupay¹

Received date: 27 ส.ค. 65 Revised date: 3 มิ.ย. 66 Accepted date: 14 มิ.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.007>

บทคัดย่อ

ไบโอชาร์ที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสามารถนำมาปรับปรุงบำรุงดิน เพื่อยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งทางด้านเคมี กายภาพและชีวภาพของดิน เพื่อให้ทราบถึงผลของไบโอชาร์ต่อการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินเหนียวและดินร่วนปนทรายในสภาพโรงเรือน ใช้แผนการทดลองแบบ 2x5 Factorial in RCB มี 4 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือ เนื้อดิน (texture) 2 ชนิด ได้แก่ 1) ดินเหนียว (clay soil-CL) 2) ดินร่วนปนทราย (sandy loam soil-SL) ปัจจัยที่ 2 คือ ไบโอชาร์ (biochar-BC) 5 ระดับ ได้แก่ 0 16 32 48 และ 64 กรัมต่อดิน 10 กิโลกรัม (0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ตันต่อไร่ โดยประมาณ) ทุกตัวรับการทดลองใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสเฟตและโพแทสเซียมตามค่าวิเคราะห์ดิน ผลการทดลองพบว่า การใช้ไบโอชาร์ในดินเหนียวทำให้ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดินและการดูดใช้ธาตุอาหารทั้งหมดในตอซังสูงกว่า ($p<0.01$) การใช้ไบโอชาร์ในดินร่วนปนทรายและส่งผลให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักรากตอซังเพิ่มขึ้น ($p<0.01$) อีกทั้งพบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าดินร่วนปนทรายที่ใส่ไบโอชาร์ ($p<0.01$) อย่างไรก็ตาม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำกว่าดินร่วนปนทราย นอกจากนี้ การใส่ไบโอชาร์ปรับปรุงดินมีผลทำให้ปริมาณการสะสมของไนเตรทในดินเหนียวและดินร่วนปนทรายเพิ่มสูงกว่าดินที่ไม่ใส่ไบโอชาร์ จากผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่าควรใช้ไบโอชาร์ในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินเหนียวมากกว่าดินร่วนปนทราย โดยใช้ในอัตรา 1.5 ตันต่อไร่

คำสำคัญ: ไบโอชาร์ ดินเหนียว ดินร่วนปนทราย เหง้ามันสำปะหลัง วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

Abstract

Biochar derived from agricultural residue can be used for soil improvement to enhance soil fertility and soil chemical, physical and biological properties. The objective of this research was to study the effects of biochar on soil fertility of sandy loam soil and clay soil in greenhouse condition. Treatments were laid out in 2x5 Factorial in RCB with four replicates. The first factor was two soil types: 1) Clay soil (CL) and 2) Sandy loam soil (SL). The second factor was five biochar (BC) rates: 0 16 32 48 and 64 g/10 kg soil (equaling to 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 ton/rai). In each treatment; nitrogen, phosphate and potash fertilizers were applied (based on soil analysis). The results showed that the addition of biochar to clay soil increased available soil nutrient and total nutrient uptake in plant higher than ($p<0.01$) sandy loam soil. Biochar application to clay soil significantly increased growth and dry matter of maize ($p<0.01$). The addition of biochar also showed a tendency to increase soil organic matter and exchangeable potassium in clay soil higher than in sandy loam soil ($p<0.01$). However, available phosphorus in clay soil was lower than sandy loam soil. Moreover, it was found that the soil-biochar application in both soils types increased nitrate

¹กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹Soil Science Group, Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture. Bangkok 10900

*Corresponding author: Email: wasak_k@hotmail.com

retention greater than the soil without biochar. The results of this study indicated that biochar can be used to increase the fertility of the clay soil at the rate of 1.5 tons/rai.

Keywords: biochar, clay soil, sandy loam soil, cassava rhizome, agricultural residue

คำนำ

พื้นที่การเกษตรของประเทศไทยส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินต่ำกว่า 1.5% เป็นพื้นที่ 97.6 ล้านไร่ (Saelim, 2016) การเพิ่มศักยภาพของดินในการผลิตพืชจึงนับว่ามีความสำคัญ โดยจัดการด้านดินและปุ๋ยซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานในระบบการผลิตพืชให้มีประสิทธิภาพต่อการให้ผลผลิตทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพให้เป็นไปตามเป้าหมาย ซึ่งการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีเป็นแนวทางที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยได้ แต่มีรายงานว่า ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในดินจะถูกย่อยสลายและสูญหายไปจากดินได้ภายใน 42 วัน (Bol et al., 2000) ซึ่งอาจทำให้พืชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการ กอปรกับปุ๋ยอินทรีย์มีราคาค่อนข้างสูง จึงมีการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและใช้ในปริมาณเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้ผลผลิตเท่าเดิมหรือมากกว่าเดิม แม้ปุ๋ยเคมีจะให้ธาตุอาหารพืชครบทุกตัวแต่การใช้ในปริมาณมากเกินไปทำให้เพิ่มต้นทุนการผลิตและก่อปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม (Arabi et al., 2018) ประเทศไทยยังต้องพึ่งพาการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศ เฉลี่ยปีละ 5.4 ล้านตัน เป็นมูลค่า 55,140 ล้านบาท (Office of Agricultural Economics, 2022) ทางเลือกหนึ่งของการเกษตรในปัจจุบันคือการนำเอาไบโอชาร์ซึ่งผลิตจากวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงบำรุงดิน ยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งทางด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพของดินและเป็นทางเลือกในยุคที่ปุ๋ยเคมีมีราคาแพง ซึ่งคาดว่าจะสามารถทำให้ลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้

ไบโอชาร์ผลิตจากการให้ความร้อนมวลชีวภาพโดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือใช้น้อยมาก ได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลายที่อุดมไปด้วยคาร์บอน (Rubin et al., 2020) CEC ความพรุนและพื้นผิวจำเพาะสูง และหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล ฟีนอลิก (Arabi et al., 2018; Liang et al., 2006; Widowati & Asnah, 2014; Xu et al., 2016) การปรับปรุงทางกายภาพของดินโดยเฉพาะความสามารถในการดูดซับน้ำและลดความหนาแน่นของดิน การดูดซับธาตุอาหารไว้ในดินที่เป็นผลของหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิล ทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) (Angmanee et al., 2017; Major et al., 2010) การปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ทั้งอัตราและชนิดที่เหมาะสมจึงส่งผลให้ได้รับผลผลิตข้าว ผักสลัดกรีนโอ๊คและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพิ่มสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (Mewong, 2014; Pornamnuaylap & Suaysom, n.d.; Wachiratanusorn, 2018) นอกจากนี้ ไบโอชาร์ยังช่วยลดการชะละลายของธาตุอาหาร NH_4^+ 19-28%, NO_3^- 16-40% และเพิ่ม N ที่เป็นประโยชน์ในดิน 20% (Borchard et al. 2019; Puttanakul et al., 2019; Xu et al., 2016) Prendergast-Millera et al. (2014) กล่าวว่า ดินที่ใส่ไบโอชาร์มี rhizosphere zone เพิ่มมากขึ้น กักเก็บไนโตรเจนในดินในรูปของ NO_3^- ไว้ได้ดีและยังปลดปล่อย P ที่เป็นประโยชน์แก่ดินและพืชและเพิ่มการกักเก็บน้ำของดินทรายปนดินร่วนอย่างชัดเจน (Yu et al., 2013) อย่างไรก็ตาม สมบัติต่างๆ เหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของมวลชีวภาพที่นำมาผลิตไบโอชาร์และชนิดของดินที่นำไปปรับปรุง ส่วนการใช้ประโยชน์ต้องคำนึงถึงอัตราที่ใช้และชนิดของไบโอชาร์ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการวิจัยให้ได้ข้อมูลการใช้ไบโอชาร์ที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงดินที่แตกต่างกัน สำหรับนำไปใช้ในการจัดการดินอย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีการศึกษา

การเตรียมไบโอชาร์

ไบโอชาร์ผลิตจากเห้้ามันสำปะหลัง (มีสมบัติทางเคมีและมีรูพรุนสูง 500X, 50 μm) ผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนอย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาบดละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. ทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดต่าง (pH) (ดิน:น้ำ, 1:5) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) (ดิน:น้ำ, 1:10) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) (Walkley & Black, 1934; Agricultural Production Sciences Research and Development Office [APSRD], 2008) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) โดยวิธี Micro-Kjeldahl method ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P) และ ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total K)

โดยย่อยด้วยกรดผสมของกรดเปอร์คลอริกและกรดไนตริก แล้ววิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี Vanado-molybdate และ Flame Spectrophotometer (APSRD, 2008) ตามลำดับ และคำนวณค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

การทดลองในสภาพโรงเรือน

ใช้แผนการทดลองแบบ 2x5 Factorial in RCB มี 4 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือ เนื้อดิน (texture) 2 ชนิด ได้แก่ 1) ดินเหนียว (clay soil-CL) 2) ดินร่วนปนทราย (sandy loam soil-SL) ปัจจัยที่ 2 คือ ไบโอชาร์ (biochar-BC) 5 ระดับ ได้แก่ 0 16 32 48 และ 64 ก./ดิน 10 กก. (0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ตัน/ไร่ โดยประมาณ) นำดินเหนียวชุดดินวังสะพุงและดินร่วนปนทรายชุดดินจันทึก 10 กก. เก็บที่ระดับความลึก 0-15 ซม. จากแปลงเกษตรกร จังหวัดนครราชสีมา ใส่กระถางขนาด 12 นิ้ว ผสมดินกับไบโอชาร์ที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. ตามอัตราที่กำหนดและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินเหนียว อัตรา 15-10-5 กก.N-P₂O₅-K₂O/ไร่ (1.05-0.70-0.27 ก.N-P₂O₅-K₂O/ดิน 10 กก.) ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วนปนทราย อัตรา 15-5-5 กก.N-P₂O₅-K₂O/ไร่ (1.05-0.35-0.27 ก.N-P₂O₅-K₂O/ดิน 10 กก.) ปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่สองครั้ง ครั้งแรกใส่พร้อมปลูก ส่วนที่เหลือใส่หลังปลูก 25 วัน ในรูปยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมใส่ครั้งเดียวพร้อมปลูกในรูปทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ทดสอบกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง ปลูกข้าวโพดวันที่ 2 กรกฎาคม พ.ศ. 2557 เก็บเกี่ยววันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2557 พร้อมเก็บตัวอย่างดินส่วนเหนียวและวิเคราะห์หา Total N P K Ca และ Mg แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณการดูดใช้ของธาตุอาหารดังกล่าว เก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ pH อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 (Davis, 1943) EC อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:5 (Department of Agriculture [DOA], 2001) OM โดยวิธีของ Walkley & Black (1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (avail. P) โดยสกัดด้วย Bray II และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี colorimetric (Bray & Kurtz, 1945) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exch. K Ca และ Mg) โดยสกัดด้วย 1 M NH₄OAc pH 7 แล้ววิเคราะห์ปริมาณด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (DOA, 2001) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) โดยวิธีของ Onthong (2004) ใช้ 1 M NH₄OAc pH 7 ใส่ที่แคตไอออนที่ดินดูดซับไว้ นำดินมาล้างแอมโมเนียมด้วยเอธานอลและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ แล้วนำสารละลายไปกลั่นหาแอมโมเนียมและไนเตรทโดยวิธี semi-micro Kjeldahl (Bremner, 1960) คำนวณหาค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยต่าง (%BS) (Onthong, 2004) บันทึกข้อมูลสมบัติของไบโอชาร์ ความสูงต้น น้ำหนักแห้งตอซัง ปริมาณและการดูดใช้ธาตุอาหารในพืช ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูกข้าวโพด การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMRT (Duncan's new multiple range test) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติของ IRRISTAT Version 3/93

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติของไบโอชาร์

ไบโอชาร์ที่ได้จากเหง้ามันสำปะหลังมีปฏิกิริยาเป็นกรดอ่อน (pH 6.61) ค่า EC ของไบโอชาร์สูง (2.17 dSm⁻¹) ปริมาณ OM สูงมาก (86.21%) อัตราส่วนระหว่าง C:N 77.90 ปริมาณ Total N 0.64%, Total P 0.23% และ Total K 1.26% (Table 1)

Table 1 Characteristics of cassava rhizome biochar

pH (soil:water,1:5)	EC (dSm ⁻¹) (soil:water,1:10)	OM (%)	C/N ratio	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)
6.61	2.17	86.21	77.90	0.64	0.23	1.26

สมบัติของดินก่อนการทดลอง

ดินเหนียวมีปฏิกิริยาเป็นกรดอ่อน (pH 6.52) ปริมาณ OM และ exch. Mg ปานกลาง avail. P ต่ำ exch. K สูงมาก exch. Ca สูง ปริมาณไนโตรเจนในรูป NH_4^+ และ NO_3^- เท่ากับ 0.19 และ 0.19 มก./กก. ตามลำดับ CEC ของดินสูง ($24 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$) %BS ปานกลาง (57%) (Table 2) จัดว่าเป็นดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

ดินร่วนปนทรายมีปฏิกิริยาเป็นด่างอ่อน (pH 7.51) ปริมาณ OM, avail. P และ exch. Mg ปานกลาง exch. K สูงมาก exch. Ca สูง ส่วน avail. N ต่ำ (0.07 มก. NH_4^+ /กก. และ 0.01 มก. NO_3^- /กก.) CEC ของดินต่ำ ($10 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$) แต่ BS สูงมาก (155%) (Table 2) จัดว่าเป็นดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

Table 2 Soil properties before planting maize

Textures	pH	OM	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	CEC	BS	Avail.	Exch.		
	(soil:water, 1:1)	(%)			(cmol _c kg ⁻¹)	(%)	P	K	Ca	Mg
			(mgkg ⁻¹)					(mgkg ⁻¹)		(mgkg ⁻¹)
Cl	6.52	2.00	0.19	0.19	24	57	5.40	507	1,500	245
SL	7.51	1.52	0.07	0.01	10	155	21.80	154	2,000	132

(g/10 kg soil)	Cl ^{1/}	SL ^{1/}	Difference ^{2/}	Cl ^{1/}	SL ^{1/}	Difference ^{2/}
0	191.51 ^b	148.02	43.49**	88.65 ^b	46.40	42.25**
16	200.53 ^{ab}	139.01	61.52**	102.20 ^b	49.76	52.44**
32	198.34 ^{ab}	137.53	60.81**	89.10 ^b	43.62	45.48**
48	218.33 ^a	134.54	83.79**	124.51 ^a	44.14	80.4**
64	187.50 ^b	135.31	52.19**	90.53 ^b	48.49	42.0**

^{1/} Mean in the same soil texture column followed by a common letter are significantly different at 5 % level by DMRT

^{2/} ns not significant, * and ** different by compare with LSD 0.05 and LSD 0.01

Table 4 Nutrient concentration and nutrient uptake of macro and micronutrient in plant

Treatments	Nutrient concentration (%)					Nutrient uptake (g/plant)				
Textures (T)	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Clay	0.43	0.10	1.24	0.26	0.10	0.42	0.10	1.23	0.26	0.09
Sandy loam	0.40	0.15	1.54	0.37	0.11	0.19	0.07	0.70	0.17	0.05
Biochar (BC) rates (g/10kgsoil)										
0	0.44	0.11	1.32	0.30	0.11	0.31	0.07	0.86	0.19	0.07
16	0.41	0.11	1.35	0.32	0.10	0.32	0.08	0.99	0.22	0.08
32	0.42	0.12	1.42	0.33	0.10	0.29	0.08	0.92	0.21	0.06
48	0.41	0.14	1.37	0.31	0.10	0.34	0.10	1.08	0.23	0.08
64	0.39	0.14	1.48	0.33	0.10	0.27	0.09	0.98	0.21	0.07
F-test Textures (T)	ns	**	**	**	*	**	**	**	**	**
Biochar (BC) rates	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TxBC	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)	16.4	23.1	10.8	14.4	14.9	28.0	18.6	18.6	20.5	19.1

^{1/} Mean in the same soil texture column followed by a common letter are significantly different at 5% level by DMRT

^{2/} ns not significant, * and ** different by compare with LSD 0.05 and LSD 0.01

ปริมาณแอมโมเนียม (NH₄⁺) และไนเตรท (NO₃⁻)

การใส่ไบโอชาร์ในดินเหนียวมีแนวโน้มให้ปริมาณของ NH₄⁺ เพิ่มขึ้นตามอัตราของไบโอชาร์ เนื่องจากดินเหนียวมี N OM CEC และพื้นที่ผิวสัมผัสสูง เมื่อใส่ร่วมกับไบโอชาร์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีรูพรุนสูงและพื้นที่ผิวที่มีประจุลบ จึงดูดซับ NH₄⁺ ไว้ได้อย่างเหนียวแน่นและลดการระเหิดของ NH₃ ในดิน (Fidel et al., 2018; Xu et al., 2016; Zhao et al., 2022) แต่การใส่ไบโอชาร์ในดินเหนียวอัตรา 16 ก./ดิน 10 กก. ทำให้ NH₄⁺ ในดินมีปริมาณต่ำสุด เนื่องจากจุลินทรีย์ดูดใช้ N ที่ปลดปล่อยออกมาได้ง่ายเพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ จึงส่งเสริมการเกิดกระบวนการอิมโมบิไลเซชันในดินหรือไบโอชาร์ที่ใส่ในดินมีอัตราต่ำเกินไปจึงเกิดการระเหิดของไนโตรเจน (Figure 1) ส่วนดินร่วนปนทรายที่ใส่ไบโอชาร์พบการสะสมของ NH₄⁺ ในดินต่ำ เนื่องจากดินมีปริมาณ N OM CEC และเป็นดินที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสต่ำ ศักยภาพในการดูดซับ NH₄⁺ จึงแตกต่างกับดินเหนียว

ดินร่วนปนทรายที่ใส่ไบโอชาร์มีแอมโมเนียมสะสม NO_3^- สูงและมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราของไบโอชาร์ เนื่องจากดินดูดซับ NH_4^+ ไว้ได้ต่ำ จึงแปรสภาพไปเป็นไนเตรตสูง แต่การใส่ไบโอชาร์ในดินอัตราสูง (64 ก./ดิน 10 กก.) ทำให้ NO_3^- ในดินลดลง (Figure 2) อย่างไรก็ตาม หากไม่มีการใส่ไบโอชาร์ในดินเลย เนื้อดินทั้งสองจะมีปริมาณของ NO_3^- ในดินต่ำสุด แสดงว่าปุ๋ยเกิดการสูญหายของ NO_3^- ในรูปของก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) (Sun et al., 2014) โดยทั่วไป ดินที่มีพีเอชมากกว่า 7.0 จะสูญเสีย N ในรูป NH_3 ได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mewong (2014) และ Dempster et al. (2012) จะเห็นว่า ไบโอชาร์ช่วยกักเก็บ N และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย N (Laird et al., 2010)

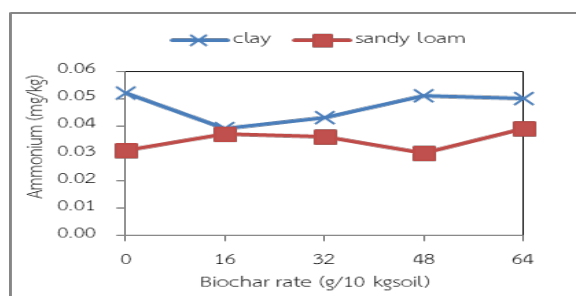


Figure 1 NH_4^+ in soil with different biochar rates

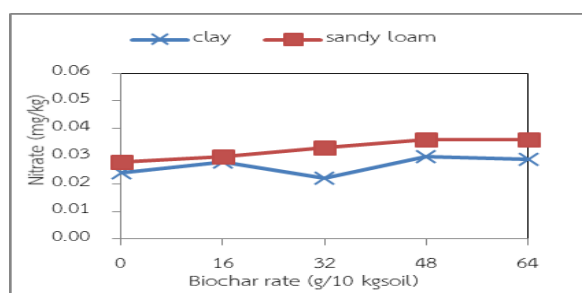


Figure 2 NO_3^- in soil with different biochar rates

การเปลี่ยนแปลงของดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด

ไบโอชาร์ไม่ทำให้ pH ของดินเปลี่ยนแปลง เนื่องจากอัตราการใช้ที่ต่ำ แต่การใส่ไบโอชาร์มีผลต่อการเพิ่ม OM avail. P และ exch. K ในดิน ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราของไบโอชาร์และแตกต่างกับดินที่ไม่ใส่ไบโอชาร์อย่างมีนัยสำคัญ (Table 5) เนื่องจากองค์ประกอบมีคาร์บอนที่เสถียร C/N ratio และ OM สูง จึงคงทนต่อการย่อยสลาย การใส่ไบโอชาร์ในดินจึงเกิดการสะสม OM เพิ่มขึ้น (Sohi et al., 2009) ในขณะที่ การออกซิไดซ์ของไบโอชาร์ได้หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล คาร์บอกซิล ฟีนอลิกที่ช่วยดูดซับธาตุอาหาร จึงทำให้ P และ K สะสมในดิน (Fidel et. al., 2018; Liang et. al., 2006) และไบโอชาร์ยังมี K เป็นองค์ประกอบสูง 1.26% เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างเนื้อดิน พบว่า ดินเหนียวมี OM exch. K และ CEC สูงกว่าดินร่วนปนทราย แต่ %BS และ avail. P ต่ำ เนื่องจากการตรึง P บนอนุภาคของดินเหนียวและจับยึดกับ Ca อย่างไรก็ตาม การใส่ไบโอชาร์ในดินที่มีฤทธิ์เป็นด่างในอัตราเพิ่มขึ้น จะลด binding energy และปลดปล่อย P ได้สูงขึ้น (Xu et al., 2014) จึงพบมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินร่วนปนทรายกับไบโอชาร์ที่ศึกษา Laird et al. (2010) กล่าวว่า การปรับปรุงดินร่วนด้วยปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับไบโอชาร์ลดการสูญหาย P ได้ถึง 6

Table 5 Soil properties after planting maize

		pH			OM (%)			Avail. P (mgkg ⁻¹)			Exch. K (mgkg ⁻¹)			Exch. Ca (mgkg ⁻¹)		
		Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean
BC rates (g/10kgsoil)	0	5.90	7.60	6.75	1.93	1.31	1.62 ^c	5.90	21.11	13.51 ^c	288	91	190 ^d	1,525	2,483	2,004
	16	5.92	7.70	6.81	2.06	1.37	1.71 ^b	8.84	31.52	20.18 ^b	295	103	199 ^{cd}	1,535	2,468	2,001
	32	5.91	7.71	6.81	2.10	1.42	1.76 ^b	8.11	35.15	21.63 ^{ab}	349	111	230 ^b	1,519	2,450	1,985
	48	6.04	7.80	6.92	2.21	1.47	1.84 ^a	9.51	36.31	22.91 ^{ab}	321	124	222 ^{bc}	1,543	2,494	2,018
	64	6.06	7.45	6.8	2.21	1.56	1.88 ^a	10.46	39.11	24.79 ^a	392	138	265 ^a	1,532	2,354	1,943
Mean		5.97	7.65		2.10	1.43		8.56	32.64		329	113		1,531	2,449	
F-test	Textures (T)	**			**			**			**			**		
	Biochar (BC) rates	ns			**			**			**			ns		
	TxBC	ns			ns			*			ns			ns		
	CV. (%)	1.4			4.0			18.5			11.6			3.8		

^{1/} Mean in the same soil texture column followed by a common letter are significantly different at 5% level by DMRT

^{2/} ns not significant, * and ** different by compare with LSD 0.05 and LSD 0.01

Table 5 Soil properties after planting maize (continue)

		Exch. Mg (mgkg ⁻¹)			CEC (cmol _c kg ⁻¹)			BS (%)			Exch. Base (cmolkg ⁻¹)		
		¹⁾									¹⁾		
		Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean
BC rates (g/10kgsoil)	0	287	165	226	22.51 ^a	11.31	16.91	58.50	131.81 ^a	95.16	11.03	14.21	12.62
	16	269	176	222	13.82 ^c	14.04	13.93	80.75	100.26 ^c	90.51	11.00	13.77	12.39
	32	286	172	229	18.02 ^b	13.84	15.93	61.51	111.00 ^{bc}	86.26	11.07	14.50	12.79
	48	295	178	237	19.80 ^{ab}	12.30	16.05	58.82	120.47 ^{ab}	89.65	11.43	14.52	12.97
	64	282	185	234	17.02 ^b	11.51	14.27	68.01	122.82 ^{ab}	95.42	11.55	14.07	12.81
Mean		284	175		18.23	12.6		65.52	117.27		11.22	14.21	
F-test	Textures (T)	**			**			**			**		
	Biochar (BC) rates				ns			ns			ns		
	TxBC	ns			**			**			ns		
	CV. (%)				14.3			13.9			5.0		

5.3

^{1/} Mean in the same soil texture column followed by a common letter are significantly different at 5% level by DMRT

^{2/} ns not significant, * and ** different by compare with LSD 0.05 and LSD 0.01

สรุปผลการศึกษา

การใส่ไบโอชาร์ในดินเหนียวทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินและไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) เพิ่มขึ้นตามอัตราของไบโอชาร์ จึงส่งผลให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตและมีประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุอาหารในดินได้มากขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตน้ำหนักรากต่อชั่งของข้าวโพดมีปริมาณสูงกว่า ($p < 0.01$) การใส่ไบโอชาร์ในดินร่วนปนทรายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำกว่าดินร่วนปนทราย อย่างไรก็ตาม การใส่ไบโอชาร์ในดินเหนียวอัตรา 48 ก./ดิน 10 กก. (1.497 ตันต่อไร่) มีแนวโน้มให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโต ผลผลิตน้ำหนักรากต่อชั่ง และปริมาณของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในรูปของแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) สูงสุด นอกจากนี้ การใส่ไบโอชาร์ในดินเหนียวและดินร่วนปนทรายมีการสะสมของไนเตรตเพิ่มสูงกว่าดินที่ไม่ใส่ไบโอชาร์ แสดงให้เห็นว่า ดินเหนียวที่ใส่ไบโอชาร์สามารถลดการสูญเสียธาตุอาหารในดินได้ดีกว่าดินร่วนปนทราย สำหรับดินเหนียวมีความเป็นไปได้ในการใช้ไบโอชาร์จากเหง้ามันสำปะหลังในอัตรา 1.5 ตันต่อไร่ สำหรับการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อย่างไรก็ตามต้องทดสอบในสภาพไร่นาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Agricultural Production Sciences Research and Development Office. (2008). **Organic Fertilizer Analysis Manual**. Agricultural Production Sciences Research and Development Office. (in Thai).
- Angmanee, R., Chuangcham, K., & Homchan, U. (2017). Properties of Corn Waste Biochar and Potential for Soil Improvement. **VRU Research and Development Journal Science and Technology**, 12(1), 53-63. (in Thai).
- Arabi, Z., Eghtedaey, H., Gharehchmoghloo, B., & Faraji, A. (2018). Effects of biochar and bio-fertilizer on yield and qualitative properties of soybean and some chemical properties of soil. **Arabian Journal of Geosciences**, 11, 1-9.
- Bol, R., Amelun, W., Friedrich, C., & Ostle, N. (2000). Tracing dung-derived carbon in temperate grassland using ^{13}C natural abundance measurements. **Soil Biology & Biochemistry**, 32, 1337-1343.
- Borchard, N., Schirrmann, M., Cayuela, M. L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizábal, T., Sigua, G., Spokas, K., Ippolito, J. A., & Novak, J. (2019). Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N_2O emissions: A meta-analysis. **Science of the Total Environment**, 651, 2354-2364.
- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. **Soil Science**, 59, 39-45.
- Bremner, J. M. (1960). Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. **Journal of Agricultural Science**, 55, 11-33.
- Davis, L. E. (1943). Measurements of pH with the glass electrode as affected by soil moisture. **Soil Science**, 56(6), 405-422.
- Dempster, D. N., Jones, D. L., & Murphy, D. M. (2012). Clay and biochar amendments decreased inorganic but not dissolved organic nitrogen leaching in soil. **Soil Resource**, 50, 216-221.
- Department of Agriculture. (2001). **Soil and Plant Analysis Manual**. Department of Agriculture. (in Thai).
- Fidel, R. B., Laird, D. A., & Spokas, K. A. (2018). Sorption of ammonium and nitrate to biochars is electrostatic and pH-dependent. **Scientific Reports**, 1-10.
- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., & Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, 158, 436-442.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyang, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizão, F. J., Petersen, J., & Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society of American Journal**, 70(5), 1719-1730.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., & Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant Soil**, 333, 117-128.
- Mewong, S. (2014). **Effects of Bamboo and Rice Husk Biochars on Yield and Nitrogen Use Efficiency of Chainat 1 Rice**. Retrieved from: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/sci_ubu/article/view/87198/68959. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics. (2022). **Production factor**. Retrieved from: <http://www.oae.go.th/view/1/TH-TH>. (in Thai).
- Onthong, J. (2004). **Soil and Plant Analysis Manual**. Faculty of Natural Resources, Prince of Songkhla University. (in Thai).

- Pornamnuyap, D., & Suaysom, W. (n.d). **Effect of Biochar on the Growth and Yield of Maize on Sloping Land In Soil Series Group No.55, Nan Province**. Retrieved from: <http://www.ldd.go.th/LDDCon65/data/02/2-2.pdf>. (in Thai).
- Prendergast-Millera, M. T., Duvalla, M., & Sohi, S. P. (2014). Biochar–root interactions are mediated by biochar nutrient content and impacts on soil nutrient availability. **European Journal of Soil Science**, 65, 173-185.
- Puttanakul, P., Soydoa, V., & Sivawan, P. (2019). Effect of plant residues and biochars on organic matter and nitrogen retention in soil. **Science and Technology Silpakorn University**, 6(6), 40-55. (in Thai).
- Rubin, R. L., Anderson, T. R., & Ballantine, K. A. (2020). **Biochar Simultaneously Reduces Nutrient Leaching and Greenhouse Gas Emissions in Restored Wetland Soils**. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/344476897_Biochar_Simultaneously_Reduces_Nutrient_Leaching_and_Greenhouse_Gas_Emissions_in_Restored_Wetland_Soils.
- Saelim, S. (2016). **Organic Fertilizer and Utilization in Thailand**. Division of Soil Biotechnology. (in Thai).
- Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E. & Bol, R. (2009). **Biochar, Climate Change and Soil: A Review to Guide Future Research**. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/228656328_Biochar_Climate_Change_and_Soil_A_Review_to_Guide_Future_Research/
- Sun, L., Li, L., Chen, Z., Wang, J., & Xiong, Z. (2014). Combined effects of nitrogen deposition and biochar application on emission of N_2O , CO_2 and NH_3 from agricultural and forest soils. **Soil Science and Plant Nutrition**, 60, 254-265.
- Wachiratanusorn, S. (2018). **Effect of Chicken Manure and Biochar on Soil Properties, Growth and Yield Of Green Oak Lettuce Growing in Acid Soil**. Master's thesis. Thammasat University. (in Thai).
- Walkey, A., & Black, I. A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. **Soil Science**, 37, 29-38.
- Widowati & Asnah. (2014). Biochar effect on potassium fertilizer and leaching potassium dosage for two corn planting seasons. **Journal of Agricultural Science**, 36(1), 65-71.
- Widowati, Asnah, & Utomo, W. H. (2018). The use of biochar to reduce nitrogen and potassium leaching from soil cultivated with maize. **Journal of Degraded and Mining Lands Management**, 2(1), 211-218.
- Xu, G., Sun, J. N., Shao, H. B., & Chang, S. X. (2014). Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. **Ecological Engineering**, 62, 54-60.
- Xu, N., Tan, G., Wang, H., & Gai, X. (2016). Effect of biochar additions to soil on nitrogen leaching, microbial biomass and bacterial community structure. **European Journal of Soil Biology**, 74, 1-8.
- Yu, O. Y., Raichle, B., & Sink, S. (2013). Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, 4, 1-9.
- Zhao, P., Wang, S., Liu, D., Li, H., Han, S., & Li, M. (2022). Study on influence mechanism of biochar on soil nitrogen conversion. **Environmental Pollutants and Bioavailability**, 34(1), 419-432.

ผลของขนาดเมล็ดที่มีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วพราง

(Canavalia ensiformis (L.))

Effect of Seed Size on Growth, Yield and Seed Quality of Jack Bean

(Canavalia ensiformis (L.))

ชินจิต แก้วกัญญา^{1*} นิชาเรย์ วีระสิงห์¹ และ สุกานดา อุ่นชัย¹Chunjit Kaewkunya^{1*}, Nicharee Weerasing¹, and Sukanda Aunchai¹

Received date: 9 มิ.ย. 65 Revised date: 22 มี.ค. 66 Accepted date: 11 มิ.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.008>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วพรางที่ปลูกในสภาพไร่ ดำเนินการทดลองที่คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร วางแผนการทดลองแบบ Randomize Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 3 สิ่งทดลอง ประกอบด้วย เมล็ดพันธุ์ถั่วพรางขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด (เล็ก กลาง และใหญ่) ผลการทดลองพบว่า ขนาดเมล็ดไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต (ความสูงต้น จำนวนใบ และความกว้างทรงพุ่ม) อย่างไรก็ตามพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ของผลผลิตชีวมวลทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง โดยเมล็ดขนาดใหญ่ให้ผลผลิตชีวมวลสูงสุด แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในผลผลิตเมล็ด โดยเมล็ดถั่วพรางทั้ง 3 ขนาดให้ผลผลิตเมล็ดเฉลี่ย 402.07 กิโลกรัม/ไร่ ในด้านคุณภาพเมล็ดพันธุ์ พบว่าเมล็ดถั่วพรางทั้ง 3 ขนาด ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพด้านกายภาพ และคุณภาพทางด้านสรีรวิทยา ทั้งความงอกมาตรฐาน ดัชนีการงอก และจำนวนวันที่ใช้ในการงอก ขนาดเมล็ดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อน้ำหนักชีวมวลต้นกล้า ซึ่งเมล็ดขนาดใหญ่ให้น้ำหนักสูงสุด (0.62 กรัมต่อต้น) ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สรุปได้ว่าขนาดเมล็ด (เล็ก กลาง และใหญ่) ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตเมล็ด และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วพราง แต่อย่างไรก็ตามเมล็ดขนาดใหญ่จะมีผลผลิตชีวมวลสูงสุด

คำสำคัญ: ถั่วพราง ขนาดเมล็ด การเจริญเติบโต คุณภาพเมล็ดพันธุ์ ผลผลิต

Abstract

This research aimed to investigate the effect of seed size on growth, yield and seed quality of Jack beans cultivated in field conditions. The experiment was conducted at Faculty of Natural Resources and Agro-Industry, Kasetsart University Chalemphrakiat Sakon Nakhon Province Campus. The experimental design was Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications and 3 treatments, and consisted of 3 different seed sizes of Jack bean (small, medium and large). The results indicated that seed size had no significant effect on growth (plant height, leaf number and weight of canopy). However, statistically significant differences ($P < 0.05$) were found in fresh and dry biomass yields, whereas large seed size had the highest biomass yield without significant difference from seed yield. The 3 sizes of jack bean gave an average seed yield of 402.07 kg/rai. In term of seed quality, it was found that all 3 sizes of jack beans seed had no significant effect on physical quality and physiological quality in both standard germinations, germination index and a number of days used for germination. However, seed sizes had a significant effect on seedling biomass weight. The large seed had the

¹ ภาควิชาเกษตรและทรัพยากร คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

¹ Department of Agriculture and Resources, Faculty of Natural Resources and Agro-Industry, Kasetsart University Chalemphakait Sakon Nakhon Province Campus, Muang district, Sakon Nakhon province, 47000

* Corresponding author: csncjk@ku.ac.th

highest weight (0.62 g/plant). Therefore, this study concluded that the three seed sizes (small, medium, and large) did not affect the growth, yield and seed quality of jack beans although the large size seed had the highest biomass yield.

Keywords : jack bean, seed size, growth, seed quality, yield

คำนำ

ถั่วพริ้วจัดเป็นพืชในสกุล *Canavalia* สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ถั่วพริ้วเมล็ดขาว ชื่อวิทยาศาสตร์ *Canavalia ensiformis* (L.) ชื่อสามัญ Jack bean หรือ House bean ส่วนใหญ่ปลูกในเขตร้อนชื้นของทวีปอเมริกา เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือปลูกเป็นพืชหมุนเวียนสลับกับพืชหลัก เมล็ดและฝักของถั่วพริ้วมีความเป็นพิษ จึงไม่นิยมนำมาบริโภค แต่สามารถบริโภคฝักอ่อน ใบ หรือเมล็ดที่ผ่านกระบวนการชะล้างพิษ เช่น คั่ว หรือต้มถั่วให้น้ำหลาย ๆ ครั้งได้ และถั่วพริ้วเมล็ดแดง ชื่อวิทยาศาสตร์ *Canavalia gladiata* (Jacq.) ชื่อสามัญ Sword bean ส่วนใหญ่ปลูกในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เอเชียใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในลักษณะของฝักสวนครัว โดยจะบริโภคฝักอ่อนและเมล็ดอ่อน นอกจากนี้ยังสามารถนำเมล็ดแกลบคั่วเพื่อบริโภคแทนกาแฟได้ (Wikipedia, 2021) ถั่วพริ้วเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งอาหารมนุษย์ (ฝักอ่อน และเมล็ด) อาหารสัตว์ (ลำต้น ใบ และเมล็ด) และการปลูกพืชในรูปแบบของพืชคลุมดิน หรือไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสดซึ่งสามารถปรับปรุงบำรุงดินได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากเป็นพืชตระกูลถั่วที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยอาศัยแบคทีเรียตระกูล *Rhizobium* spp. ที่อาศัยในปมราก โดยการปลูกถั่วพริ้วเพื่อบำรุงดินใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ประมาณ 10 กิโลกรัม/ไร่ หว่านให้ทั่วทั้งแปลง อายุการออกดอกประมาณ 55-65 วัน สามารถไถกลบได้เมื่ออายุ 60 วัน และหลังไถกลบ 15 วัน สามารถปลูกพืชหลักตามได้ ซึ่งสามารถให้น้ำหนักสดในช่วงออกดอกก่อนไถกลบประมาณ 3-4 ตัน/ไร่ ให้ธาตุไนโตรเจนประมาณ 10-20 กิโลกรัม/ไร่ โดยมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ประมาณ 2.72 0.54 และ 2.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การขยายพันธุ์ถั่วพริ้วใช้วิธีการปลูกเป็นหลุม ๆ ละ 2-3 เมล็ด ระยะปลูก 50x75 เซนติเมตร ใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 5-6 กิโลกรัม/ไร่ เพื่อให้ผลผลิตสูง ในอายุ 30 วัน ควรใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ โดยใส่ระหว่างแถวแล้วกลบโคน ถั่วพริ้วมีอายุเก็บเกี่ยว 180-300 วัน โดยสังเกตฝักแก่สีน้ำตาลอ่อนเลือกเก็บฝักแก่แล้วนำไปตากแดด 4-5 วัน เพื่อลดความชื้น ผลผลิตเมล็ดถั่วพริ้วที่ได้เฉลี่ยประมาณ 200-250 กิโลกรัม/ไร่ (Insalud, 2019)

คุณภาพเมล็ดนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช การใช้เมล็ดพันธุ์คุณภาพดีจะช่วยเพิ่มผลผลิตได้ถึง 15-20 เปอร์เซ็นต์ ขนาดเมล็ดเป็นคุณภาพทางด้านกายภาพของเมล็ดพืช เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของคุณภาพเมล็ดพันธุ์ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของการปลูกพืช (Ahmed et al., 2019) โดยเมล็ดที่มีขนาดใหญ่มีอัตราการรอดในสภาพไร่มากกว่าเมล็ดขนาดเล็กถึง 25 % ซึ่งได้รับการยืนยันจาก Poomthong (2002) ที่ศึกษาผลของขนาดเมล็ดที่มีต่อศักยภาพการให้ผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง ใช้ถั่วลิสงเมล็ดโต 3 พันธุ์ คือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เกษตร 1 และขอนแก่น 60 - 3 และถั่วลิสงพันธุ์แนะนำที่มีเมล็ดขนาดกลาง คือพันธุ์ไทนาว 9 และสายพันธุ์เมล็ดขนาดเล็ก แยกขนาดโดยใช้ตะแกรงขนาดต่างๆ ผลการทดลองในสภาพไร่พบว่า ต้นถั่วลิสงที่ปลูกโดยใช้เมล็ดขนาดใหญ่มีความงอกในไร่ การเจริญเติบโตทางลำต้น และผลผลิตฝักสูงกว่าต้นถั่วลิสงที่ปลูกโดยใช้เมล็ดขนาดเล็ก ส่วนผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ในห้องปฏิบัติการพบว่าผลผลิตของเมล็ดถั่วลิสงที่ได้จากการปลูกโดยใช้เมล็ดต่างขนาดกันมีคุณภาพเมล็ดพันธุ์ไม่ต่างกัน นอกจากนี้ Sakhamula & Siri (2011) ศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวโพด โดยนำข้าวโพดไร่ลูกผสมพันธุ์ SPP339 และ SPP999 คัดแยกโดยตะแกรงรูกมให้ได้ 3 ขนาด คือ เมล็ดขนาดใหญ่ เมล็ดขนาดกลาง และเมล็ดขนาดเล็ก (ขนาดตระแกรง 20/64 16/64 และ 14/64 นิ้ว ตามลำดับ) ผลการทดลองในส่วนการเจริญเติบโตของต้นกล้าพบว่า น้ำหนักแห้งต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดขนาดใหญ่จะมีน้ำหนักแห้งมากกว่าต้นกล้าจากเมล็ดขนาดอื่น ๆ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ขนาดใหญ่มีอาหารสะสมในอวัยวะสะสมมากกว่าจึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการตั้งตัวในระยะกล้า สำหรับการศึกษาในต่างประเทศ โดย Baysah et al. (2018) ศึกษาอิทธิพลของขนาดเมล็ดต่อการงอกของถั่วพุ่ม 4 สายพันธุ์ (Asontem, Nhyira, Soronko และ Tona) โดยเมล็ดถูกจัดกลุ่มเป็นสองขนาด (ขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก) ตามความยาว ความกว้าง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ผลการศึกษาพบว่า การงอกของเมล็ด

ไม่ได้รับผลกระทบจากขนาดเมล็ด อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ระหว่างสายพันธุ์ $\times$ ขนาดเมล็ดของสายพันธุ์ Nhyira (เมล็ดใหญ่) และสายพันธุ์ Asontem (เมล็ดเล็ก) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.01$) กับสายพันธุ์ Soronko และ Tona ในส่วนน้ำหนักแห้งของต้นกล้าได้รับอิทธิพลจากขนาดของเมล็ด โดยเมล็ดขนาดใหญ่ให้น้ำหนักแห้งต้นกล้ามากกว่าเมล็ดขนาดเล็ก ซึ่งอาจเกิดจากน้ำหนัก 1,000 เมล็ดที่สูงและโปรตีนในเมล็ดขนาดใหญ่ที่ส่งผลให้ต้นกล้ามีน้ำหนักแห้งสูง แต่การศึกษาของ Alngiemshy et al. (2020) พบว่าถั่วปากอ้า (Faba bean) เมล็ดที่มีขนาดใหญ่มีความงอกสูงสุด และต้นกล้ามีความยาวราก ความยาวต้น และจำนวนใบ สูงกว่าเมล็ดขนาดกลาง และเล็ก ตามลำดับ

รายงานผลการวิจัยเกี่ยวกับขนาดเมล็ดยังมีความขัดแย้งกัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความแตกต่างของชนิดพืช ดังนั้นจากปัญหาและความสำคัญดังกล่าวจึงได้ศึกษาผลของขนาดเมล็ดเมล็ดพืชรำ เนื่องจากเป็นพืชปุ๋ยสดที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน โดยกรมพัฒนาที่ดินได้สนับสนุนให้เกษตรกรการปลูกเป็นปุ๋ยพืชสดบำรุงดิน เพื่อส่งเสริมการใช้เป็นปุ๋ยในระบบการปลูกพืชอินทรีย์ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดของถั่วพืชรำที่ปลูกในสภาพไร่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วบำรุงดินให้มีประสิทธิภาพ ต่อไป

วิธีการศึกษา

แผนการทดลอง

การศึกษานี้ใช้ถั่วพืชรำเมล็ดขาว (*Canavalia ensiformis* (L.); Jack bean) วางแผนการทดลองแบบ Randomize Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 3 สิ่งทดลอง ประกอบด้วย เมล็ดพันธุ์ถั่วพืชรำที่มีขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด ดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 (T1) = เมล็ดขนาดเล็ก (112.7 กรัม/100 เมล็ด)

สิ่งทดลองที่ 2 (T2) = เมล็ดขนาดกลาง (134.0 กรัม/100 เมล็ด)

สิ่งทดลองที่ 3 (T3) = เมล็ดขนาดใหญ่ (165.7 กรัม/100 เมล็ด)

วิธีการปลูกและการจัดการ

ก่อนปลูกได้คัดแยกเมล็ดพันธุ์ถั่วพืชรำโดยวัดขนาดเมล็ด (ความกว้าง ยาว และหนา) และชั่งน้ำหนัก 100 เมล็ด เพื่อจัดกลุ่มเป็น 3 ขนาด (เล็ก กลาง ใหญ่) ทำการทดลองในสภาพไร่ ภายในพื้นที่ฟาร์มพืช คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ระหว่างเดือน ธันวาคม 2563-กรกฎาคม 2564 โดยพื้นที่ปลูกเป็นสภาพดินลูกรัง ชุดดินโพนพิสัย เริ่มการทดลองโดยไถเตรียมดินและทำการปลูก วัดขนาดแปลงปลูกจำนวน 9 แปลง ขนาดแปลงกว้าง 2 เมตร ยาว 3 เมตร ระยะห่างระหว่างแปลง 1 เมตร ปรับพื้นที่แปลงปลูกให้สม่ำเสมอ จากนั้นปลูกถั่วพืชรำด้วยเมล็ดอัตรา 2-3 เมล็ด/หลุม ระยะปลูก 60x60 เซนติเมตร หยอดที่ระดับความลึก 2-3 เซนติเมตร หลังปลูก 2 สัปดาห์ ถอนแยกเหลือจำนวน 2 ต้นต่อหลุม

การให้น้ำ โดยใช้ระบบสปริงเกอร์ให้น้ำสัปดาห์ละ 2-3 ครั้ง ยกเว้นกรณีฝนตก การกำจัดวัชพืชและใส่ปุ๋ย กำจัดวัชพืชก่อนการใส่ปุ๋ยโดยใช้จอบถาก จากนั้นใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ใส่จำนวน 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกหลังปลูก 30 วัน และครั้งที่ 2 ใส่หลังปลูก 60 วัน หลังปลูก โดยวิธีการโรยข้างแถวพร้อมกลบโคน การเก็บเกี่ยว หลังการปลูกประมาณ 120-150 วัน ฝักถั่วพืชรำจะทยอยแห้งและแก่ (เปลี่ยนจากฝักสีเขียวเป็นเหลืองและสีน้ำตาล) โดยเก็บฝักที่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองใส่ถุงตาข่าย แล้วนำไปผึ่งไว้ในที่ร่ม 6-7 วัน หลังจากฝักแห้งนำไปกะเทาะเมล็ดด้วยมือ ทำความสะอาดเมล็ดและชั่งน้ำหนักต่อแปลง และคำนวณเป็นน้ำหนักต่อไร่ แล้วนำเมล็ดที่ได้ในแต่ละแปลงภายหลังทำความสะอาดและลดความชื้นเรียบร้อยแล้วไปตรวจสอบคุณภาพต่อไป

การบันทึกข้อมูล

1. ความสูง โดยวัดความสูงของถั่วพรีจากผิวดินถึงส่วนที่สูงที่สุด โดยบันทึกข้อมูลทุกสัปดาห์จนถึงระยะออกดอก
2. ความกว้างทรงพุ่มวัดจากบริเวณที่กว้างที่สุดของใบ ทำการบันทึกข้อมูลทุกสัปดาห์จนถึงระยะออกดอก
3. จำนวนใบ โดยนับจำนวนใบต่อดันทำการบันทึกข้อมูลทุกสัปดาห์ จนถึงถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต
4. ผลผลิตชีวมวล สุ่มตัดต้นถั่วพรีที่อายุ 84 วันหลังปลูก จำนวน 1 ต้น/แปลง โดยตัดส่วนเหนือดิน แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก คำนวณเป็นน้ำหนักต่อแปลง และต่อไร่ หลังจากชั่งน้ำหนักสดเรียบร้อยแล้วสุ่มต้นถั่วพรีแต่ละแปลงจำนวน 500 กรัมต่อแปลง เพื่อนำไปอบในตู้อบความร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักแห้งและคำนวณเป็นน้ำหนักแห้งต่อแปลงและต่อไร่
5. ผลผลิตเมล็ด (กิโลกรัมต่อไร่) หายย่อยผลผลิตฝักแห้งทั้งแปลง ภายในพื้นที่ 6 ตารางเมตร และนำไปตากในร่มเพื่อลดความชื้น เมื่อฝักแห้งกะเทาะเมล็ดนำไปทำความสะอาดและชั่งน้ำหนักเมล็ดต่อแปลง และคำนวณเป็นผลผลิตเมล็ดต่อไร่
6. จำนวนเมล็ดต่อฝัก สุ่มฝักแห้งที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงจำนวน 10 ฝักต่อแปลงย่อย แกะฝักเพื่อนับจำนวนเมล็ดต่อฝัก แล้วหาค่าเฉลี่ย

7. คุณภาพเมล็ดถั่วพรี นำเมล็ดถั่วพรีที่ได้แต่ละสิ่งทดลองตรวจสอบคุณภาพในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

7.1 คุณภาพทางด้านกายภาพของเมล็ดพันธุ์ ประกอบด้วย

- 1) ขนาด (ความกว้าง ความยาว และความหนา) ใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดเมล็ดจำนวน 20 เมล็ด จำนวน 3 ซ้ำ

- 2) น้ำหนักเมล็ด ใช้เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง จำนวน 3 ซ้ำ ชั่งเมล็ดจำนวน 100 เมล็ด

7.2 คุณภาพทางสรีรวิทยา โดยการประเมินความงอก และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ที่สำคัญ 4 ลักษณะ ประกอบด้วย

- 1) ความงอกมาตรฐาน

โดยนำเมล็ดถั่วพรีได้จากการปลูกในสภาพไร่เพาะในกล่องเพาะเมล็ดที่บรรจุทรายที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ จำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 50 เมล็ด วางไว้ในสภาพอุณหภูมิห้อง ประเมินความงอกครั้งแรก เมื่ออายุ 7 วัน และประเมินความงอกครั้งสุดท้าย เมื่ออายุ 10 วัน (ISTA, 2004) เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความงอกจากสูตร

$$\text{ความงอกของเมล็ด (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนของเมล็ดที่งอก}}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}} \times 100$$

- 2) ดัชนีการงอก (germination index; GI) โดยเฉพาะเมล็ดเช่นเดียวกันกับการทดสอบความงอก ตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติทุกวันหลังเพาะจนสิ้นสุดการทดลองแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณจากสูตร (AOSA, 1983)

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ด} = \text{ผลรวม} \left\{ \frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกในแต่ละวัน}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะเมล็ด}} \right\}$$

เมล็ดพันธุ์ที่มีค่าดัชนีการงอกสูง หมายถึง เมล็ดพันธุ์มีความแข็งแรงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีดัชนีการงอกต่ำ (Duangpatra, 1986)

- 3) ค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอก (mean germination time; MGT) (Ghiyasi et al., 2008) คำนวณจากสูตร

$$\text{ค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอก (วัน)} = \text{ผลรวม} \left\{ \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอก} \times \text{จำนวนวันที่นับ}}{\text{ผลรวมของเมล็ดทั้งหมดที่งอก}} \right\}$$

- 4) น้ำหนักแห้งต้นกล้า (ชั่ง 10 ต้น แล้วหาค่าเฉลี่ย) โดยตัดต้นกล้าปกติที่ระดับคอดิน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (AOSA, 1983) และคำนวณน้ำหนักแห้งของต้นกล้าเฉลี่ย

จากสูตร

$$\text{น้ำหนักแห้งต้นกล้าต่อต้น (มิลลิกรัม)} = \frac{\text{ผลรวมน้ำหนักแห้งของต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลอง Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยโปรแกรมสำเร็จรูป (Statistix 8.0)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

น้ำหนัก และขนาดเมล็ดถั่วพำที่ใช้ในการศึกษา

จากการเปรียบเทียบน้ำหนัก และขนาดเมล็ดถั่วพำ โดยสามารถแยกขนาดเมล็ดเป็น 3 ขนาด จากน้ำหนัก 100 เมล็ด และขนาดเมล็ด (ความกว้าง ความยาว และความหนา) พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยเมล็ดขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มีน้ำหนัก 112.7 134.0 และ 165.7 กรัม/100 เมล็ด ตามลำดับ ในส่วนของขนาดเมล็ด (ความกว้าง ยาว และหนา) เมล็ดขนาดใหญ่จะมีปริมาณมากที่สุด รองลงมา คือขนาดกลาง และขนาดเล็ก ตามลำดับ โดยเมล็ดทั้ง 3 ขนาด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 1) (Kariangram & Butsuwan, 2019)

Table 1 Comparison of the difference in weight and size of jack bean seed used in this study

Seed sizes	100 Seed weight (g)	Seed size (mm.)		
		Width	Length	Thickness
Small	112.7 ^c	11.8 ^c	16.9 ^c	8.5 ^a
Medium	134.0 ^b	12.5 ^b	17.9 ^b	8.8 ^b
Large	165.7 ^a	13.7 ^a	19.9 ^a	9.4 ^c
Mean	137.5	12.7	18.2	8.9
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	2.55	1.76	1.65	1.64

** =significant at 0.01 probability levels.

Mean in the same column followed by the same letter are not significantly by LSD at $P=0.05$

การเจริญเติบโตของถั่วพำ

จากการศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูง จำนวนใบ และขนาดความกว้างทรงพุ่มถั่วพำที่ปลูกในสภาพไร่ทุกสัปดาห์ ที่อายุ 6 สัปดาห์ หลังปลูก ซึ่งเป็นระยะสิ้นสุดการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นใบ พบว่า ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 25.21 เซนติเมตร 6.17 ใบ/ต้น และทรงพุ่มมีความกว้างเฉลี่ย 46.42 เซนติเมตร ผลการทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าถั่วพำทั้ง 3 ขนาด มีอาหารสะสมในเมล็ดเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า และเมื่อต้นกล้าเจริญเติบโตได้รับน้ำ ธาตุอาหาร และแสงในสภาพไร่เพียงพอส่งผลให้ถั่วพำมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามเมล็ดขนาดใหญ่จะมีการเจริญเติบโตดีกว่าเมล็ดขนาดอื่น ๆ รายละเอียดดัง Table 2 เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ขนาดใหญ่มีอาหารสะสมมากกว่าจึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการตั้งตัวในระยะกล้า (Poomthong, 2002; Sakhamula & Siri, 2011; Baysah et al., 2018)

Table 2 Effect of seed size on growth of Jack bean at 6 weeks after planting

Seed sizes	Plant height (cm.)	Number of leaves (leaf/plant)	Plant canopy size (cm.)
Small	25.10	5.83	45.70
Medium	22.60	6.17	46.10
Large	27.93	6.50	47.47
Mean	25.21	6.17	46.42
F-test	ns	ns	ns
C.V. (%)	8.55	13.90	11.76

ns=not significant ($P>0.05$)

ผลผลิตชีวมวล และผลผลิตเมล็ดถั่วพรี

เมื่อพิจารณาผลผลิตชีวมวล (ส่วนเหนือดิน) ของถั่วพรี พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสิ่งทดลอง ($P<0.05$) โดยน้ำหนักชีวมวลสดจากเมล็ดขนาดใหญ่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,712 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งใกล้เคียงกับเมล็ดขนาดกลางมีค่าเท่ากับ 1,600 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนเมล็ดขนาดเล็กมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,152 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ในส่วนของผลผลิตชีวมวลแห้ง จะสอดคล้องกับน้ำหนักสด โดยเมล็ดขนาดใหญ่มีน้ำหนักสูงสุด และใกล้เคียงกับเมล็ดขนาดกลาง แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเมล็ดขนาดเล็กที่มีน้ำหนักต่ำสุด (Table 3) ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตในสภาพไร่ ในส่วนของผลผลิตเมล็ดพบว่าการปลูกถั่วพรีด้วยเมล็ดขนาดใหญ่ทำให้ได้ผลผลิตเมล็ดสูงสุด (435.59 กิโลกรัม/ไร่) ในขณะที่การปลูกด้วยเมล็ดขนาดเล็ก และขนาดกลางให้ผลผลิตเมล็ดใกล้เคียงกัน คือ 385.81 และ 384.89 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการปลูกด้วยเมล็ดขนาดใหญ่มีจำนวนฝักต่อต้นมากกว่า สอดคล้องกับรายงานของ Ahmed et al. (2019) ที่ได้ประเมินผลของขนาดเมล็ดและความลึกในการปลูกต่อการงอก การเจริญเติบโต และผลผลิตทานตะวัน พบว่า เมล็ดขนาดใหญ่ปลูกลึก 2 และ 3 เซนติเมตร มีน้ำหนักเมล็ด (ผลผลิตเมล็ด) สูงกว่าขนาดเล็กที่ปลูกลึก 2 เซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสิ่งทดลอง ($P<0.05$) โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 402.07 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งผลผลิตเมล็ดถั่วพรีที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มากกว่าการรายงานของ Land Development Department (2012) ที่รายงานว่า การปลูกถั่วพรีเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์สามารถให้ผลผลิตเมล็ดเฉลี่ย 250-300 กิโลกรัมต่อไร่ และ Khonman & Sarnpokar (2019) ที่ศึกษาอิทธิพลของอัตราปลูกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วพรี ที่ปลูกในสภาพดินลูกรัง พบว่าให้ผลผลิตเมล็ดค่าเฉลี่ย 311.70 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งทั้งนี้ผลผลิตที่ต่างกันอาจขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และการจัดการที่ต่างกัน

Table 3 Effect of seed size on biomass yield and seed yield of Jack bean

Seed sizes	Biomass yield (kg/rai)		Seed yield (kg/rai)
	Fresh weigh	Dry weight	
Small	1,152 ^b	245.50 ^b	385.81
Medium	1,600 ^a	339.57 ^{ab}	384.89
Large	1,712 ^a	364.47 ^a	435.59
Mean	1,488.0	316.51	402.07
F-test	**	*	ns
C.V. (%)	4.27	15.80	7.29

ns=not significant ($p>0.05$), **, * =significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

Mean in the same column followed by the same letter are not significantly by LSD at $P=0.05$

คุณภาพเมล็ดพันธุ์

เมื่อศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพของเมล็ดถั่วพราง ในส่วนของจำนวนเมล็ดต่อฝัก น้ำหนักเมล็ด และขนาดเมล็ด (ความกว้าง ความยาว และความหนา) พบว่าไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างสิ่งทดลอง ($P<0.05$) โดยเมล็ดถั่วพรางทั้ง 3 ขนาด (เล็ก กลาง และใหญ่) มีจำนวนเมล็ดต่อฝักใกล้เคียงกันเฉลี่ย 12.76 เมล็ดต่อฝัก มีน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ย 125.12 กรัมต่อ 100 เมล็ด ในส่วนของขนาดเมล็ดพบว่า มีความกว้างระหว่าง 12.59 – 13.08 ความยาวระหว่าง 18.46 – 18.97 และความหนาระหว่าง 8.54 – 8.70 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Table 4) ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยทางด้านจำนวนเมล็ดต่อฝัก น้ำหนักเมล็ด และขนาดเมล็ดเป็นผลมาจากปริมาณอาหารสะสมในเมล็ด และถูกควบคุมโดยพันธุกรรม (Baysah et al., 2018)

Table 4 Effect of seed size on seed number, seed weight and seed size of Jack bean

Seed sizes	Number of Seed/pod	100 SW (g)	Seed size (mm.)		
			Width	Length	Thickness
Small	12.93	126.83	13.08	18.97	8.54
Medium	12.60	121.43	12.85	18.97	8.70
Large	12.73	127.10	12.59	18.46	8.55
Mean	12.76	125.12	12.84	18.80	8.59
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	1.99	6.69	3.62	4.41	2.27

ns=not significant ($P>0.05$)

การศึกษาผลของขนาดเมล็ดที่มีต่อคุณภาพทางด้านสรีรวิทยาของถั่วพว้า ประกอบด้วยความงอกมาตรฐาน ดัชนีการงอก (GI) และจำนวนวันที่ใช้งอก พบว่า ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างสิ่งทดลอง ($P < 0.05$) โดยมีความงอกมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 91.67 % สำหรับดัชนีการงอก (GI) หรือความเร็วในการงอก ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ผลการศึกษาสอดคล้องกับความงอกมาตรฐาน โดยขนาดเมล็ดไม่มีผลต่อดัชนีการงอก มีเฉลี่ยระหว่าง 7.60 – 9.20 ตามลำดับ ในขณะที่จำนวนวันที่ใช้งอกซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เช่นเดียวกับค่าดัชนีการงอก พบว่า ขนาดเมล็ดไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้งอก โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้งอกเท่ากับ 5.58–5.88 วัน ส่วนของน้ำหนักชีวมวลต้นกล้า พบว่า เมล็ดขนาดใหญ่ต้นกล้าน้ำหนักชีวมวลแห้งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.62 กรัม/ต้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับต้นกล้าที่ได้จากเมล็ดขนาดเล็กที่น้ำหนักต่ำสุด (0.51 กรัม/ต้น) (Table 5)

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าขนาดเมล็ดไม่มีผลต่อคุณภาพทางด้านสรีรวิทยา ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเมล็ดพันธุ์ถั่วพว้าทั้ง 3 ขนาดที่ปลูกในสภาพไร่ ภายในพื้นที่จังหวัดสกลนครได้รับปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต (ธาตุอาหาร แสง น้ำ และอื่นๆ) ไม่แตกต่างกันส่งผลให้เมล็ดที่ได้มีอาหารสะสมในเมล็ดที่เพียงพอ ทำให้ความงอก ดัชนีการงอก และค่าเฉลี่ยวันที่ใช้งอกไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งผลสอดคล้องกับ รายงานของ Poomthong (2002) ที่ศึกษาอิทธิพลของขนาดเมล็ดที่มีต่อศักยภาพการให้ผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง ซึ่งพบว่าผลผลิตของเมล็ดถั่วลิสงที่ได้จากการปลูกโดยใช้เมล็ดต่างขนาดกันมีคุณภาพเมล็ดพันธุ์ไม่ต่างกัน และ Sakhamula & Siri (2011) ที่ศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวโพด ซึ่งพบว่าเมล็ดพันธุ์ขนาดใหญ่มีความงอก และความเร็วในการงอก (ดัชนีการงอก) ไม่แตกต่างกับเมล็ดพันธุ์ขนาดกลาง และขนาดเล็ก แต่ขัดแย้งกับการรายงานของ Alngiemshy et al. (2020) ศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อความงอกและองค์ประกอบทางสัณฐานวิทยาบางประการของถั่วปากอ้า (Faba bean) ซึ่งพบว่าเมล็ดขนาดใหญ่มีความงอกสูงสุด และต้นกล้าน้ำหนักความยาวราก ความยาวต้น และจำนวนใบมากกว่าเมล็ดขนาดกลาง และเล็ก ตามลำดับ เมล็ด ในส่วนของน้ำหนักต้นกล้า เมล็ดขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากกว่าขนาดกลาง และเล็ก ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าขนาดเมล็ดมีผลต่อการสะสมของสารอาหารในเมล็ด เมล็ดขนาดใหญ่กว่าจะมีความสมบูรณ์มากกว่าส่งผลให้ต้นกล้าที่ได้มีการเจริญเติบโตและน้ำหนักมากกว่า ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับ Sakhamula & Siri (2011) และ Yusuf et al. (2014) ที่ศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อการงอก และการเจริญเติบโตระยะแรกของข้าวโพด ซึ่งพบว่าเมล็ดที่มีขนาดใหญ่มีการเจริญเติบโตแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับขนาดกลาง และขนาดเล็ก โดยความสูง ความกว้าง และน้ำหนักชีวมวลของต้นกล้าจะเพิ่มขึ้นตามความแตกต่างของขนาดเมล็ด

Table 5 Effect of seed size on physiological seed qualities of Jack bean seed

Seed sizes	Seed germination (%)	Germination index	Mean germination time (day)	Seedling dry weight (g/plant)
Small	86.67	7.70	5.58	0.51 ^b
Medium	90.00	9.20	5.88	0.57 ^{ab}
Large	98.33	7.60	5.88	0.62 ^a
Mean	91.67	8.16	5.78	0.57
F-test	ns	ns	ns	*
C.V. %	7.39	10.41	4.32	6.07

ns=not significant ($P > 0.05$), * = significant at 0.05 probability levels.

สรุปผลการศึกษา

ขนาดเมล็ดไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูง จำนวนใบ ความกว้างทรงพุ่ม โดยเมล็ดขนาดใหญ่จะมีแนวโน้มสูงสุด รองลงมาคือเมล็ดขนาดกลาง และเมล็ดขนาดเล็ก ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมล็ดขนาดใหญ่ให้ผลผลิตชีวมวล (ส่วนเหนือดิน) สูงสุด (1,712 และ 364.47 กิโลกรัมต่อไร่) สำหรับน้ำหนักสด และแห้ง ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเมล็ดขนาดเล็ก ในส่วนของผลผลิตเมล็ดการปลูกถั่วพว้าด้วยเมล็ดขนาดใหญ่ให้ผลผลิตสูงสุด (435.59 กิโลกรัม/ไร่) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเมล็ดขนาดอื่น ๆ

อิทธิพลของขนาดเมล็ดไม่ส่งผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ โดยเมล็ดถั่วพว้าทั้ง 3 ขนาด ให้จำนวนเมล็ดต่อฝักเฉลี่ย 12.76 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ย 125.12 กรัมต่อ 100 เมล็ด ขนาด (ความกว้าง ยาว หนา) เฉลี่ย 12.84 18.80 และ 8.59 มิลลิเมตร ตามลำดับ และไม่ส่งผลต่อคุณภาพทางด้านสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ถั่วพว้า โดยมีความงอกมาตรฐาน 91.67 % ดัชนีการงอกเท่ากับ 8.16 และจำนวนวันที่ใช้งอกเฉลี่ย 5.78 วัน ในส่วนของน้ำหนักชีวมวลต้นกล้าพบความแตกต่างทางสถิติโดยเมล็ดขนาดใหญ่มีน้ำหนักสูงสุด (0.62 กรัมต่อต้น)

ดังนั้นการปลูกถั่วพว้าในสภาพไร่เพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ที่ดีและมีคุณภาพสามารถใช้เมล็ดพันธุ์ได้ทั้ง 3 ขนาด (เล็ก กลาง ใหญ่) แต่การปลูกถั่วพว้าเพื่อปรับปรุงบำรุงดินในรูปของปุ๋ยพืชสดและปลูกในระบบการปลูกพืชการใช้เมล็ดขนาดใหญ่จะให้ผลผลิตชีวมวลสูงกว่า แต่ในกรณีที่ข้อจำกัดการปลูกต่อพื้นที่เท่ากันการใช้เมล็ดขนาดเล็กจะได้จำนวนต้นต่อพื้นที่มากกว่า อย่างไรก็ตามการใช้เมล็ดขนาดใดต้องคำนึงถึงคุณค่าทางเศรษฐกิจเป็นสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

- Ahmed T. A. M., Mutwali. E. M., & Salih, E. A. (2019). The effect of seed size and burial depth the germination, growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences**, 3(1), 75-82.
- Alngiemshy, N. F., Alkharafi, J. S., Alharbi, N. S., & Al-Sowayan, N. S. (2020). Effect of seed size on germination of faba bean plant. **Agriculture Sciences**, 11, 465-471.
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). (1983). **Seed Vigor Testing Handbook**. AOSA, East Lansing.
- Baysah, S. N., Olympio, N. S., & Asibuo, J. Y. (2018). Influence of seed size on the germination of four cowpeas (*Vigna unguiculata* (L) Walp) varieties. **ISABB Journal of Food and Agricultural Sciences**, 8(4), 25-29.
- Duangpatra, J. (1986). **Seed Testing and Analysis**. Thanghua sin Printing. (in Thai).
- Ghiyasi, M., Zardoshty, M. R., & Mogadam, A. F. (2008). Effect of osmopriming on germination and seedling growth of corn (*zea mays* L.) seeds. **Research Journal of Biological Sciences**, 3(7), 779-782.
- Insalud N. (2019). **Soil Improving Plant Cultivation**. Project on ways to upgrade production and increase the value of rice and hemp production in the highlands. Under the academic service project in the form project (Project base) to integrate the strategy. Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai. (in Thai).
- ISTA. (2004). **International Rules for Seed Testing**. Seed Science and Technology. International Seed Testing Association.
- Kariangram, P., & Butsuwan, W. (2019). **Effect of Seed Size on Germination and Early Growth of Jack Bean**. Bachelor's degree Special problem. Kasetsart University Chalermphakiat Sakon Nakhon Province Campus. (In Thai).
- Khonman, K., & Sarnpokar R. (2019). **Effect of Plant Densities on Growth, Yield and Seed Quality of Jack Bean**. Bachelor's degree Special problem. Kasetsart University Chalermphakiat Sakon Nakhon Province Campus. (in Thai).
- Land Development Department. (2012). **Jack Bean Cultivated for Green Manure Seed Production**. Retrieved from: <http://sql.ddd.go.th/service64/pdf/Sto/T-PraSeed.pdf>. (in Thai).
- Poomthong, K. (2002). **Effect of Seed Size on Yielding Potential and Seed Quality in Peanuts**. Master's thesis. Kasetsart University. (in Thai).
- Sakhamula, T., & Siri, B. (2011). Effect of seed size on germination and seedling growth of maize. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 39 (Supplement), 98-103. (in Thai).
- Wikipedia (2021). **Jack bean**. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/Canavalia_ensiformis.
- Yusuf, C. S., Makate, N., & Jacob, R. (2014). Effect of seed size on germination and early growth of maize (*Zea mays*). **International Journal of Scientific and Research Publications**, 4(10), 1-3.

การบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมโรดามีน บี ปนเปื้อนโดยใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ตรึงในอัลจิเนต

Bioremediation of Wastewater Contaminated with Dyes, Rhodamine B

Using Alginate Immobilized Cell of *Spirulina platensis*

วิลาลินี ศรีพุทโธ^{1*} บุพผา จงพัฒน์² และสุนีรัตน์ เรืองสมบุญ¹Wilasinee Sriputtho ^{1*}, Buppha Jongput ², and Suneerat Ruangsomboon¹

Received date: 16 ธ.ค. 65 Revised date: 8 มิ.ย. 66 Accepted date: 14 มิ.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.009>

บทคัดย่อ

การบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมโรดามีน บี ปนเปื้อนโดยใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ตรึงในอัลจิเนต โดยศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีย้อม ได้แก่ พีเอช ระยะเวลา ปริมาณตัวดูดซับ และความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีย้อมคือพีเอช 2 โดยดูดซับได้ 0.86 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม การดูดซับเกิดอย่างรวดเร็วและถึงจุดสมดุลที่ 180 นาที โดยมีค่าการดูดซับ 1.24 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณตัวดูดซับ ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าการดูดซับของสาหร่ายลดลง ส่วนการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมส่งผลให้ค่าการดูดซับ ของสาหร่ายเพิ่มขึ้น การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของสีย้อมพบว่าสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ โดยมีค่าการดูดซับสูงสุด (q_m) เท่ากับ 52.70 ± 3.18 มิลลิกรัมต่อกรัม การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเหมือน และมีขั้นกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับคือการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มและการแพร่เข้าภายในเซลล์ชั้นสอง จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสาหร่าย *S. platensis* ที่ตรึงเซลล์ในอัลจิเนตสามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมโรดามีน บี ปนเปื้อนได้

คำสำคัญ : การตรึงเซลล์ สไปรูลิน่า สีย้อมโรดามีน บี การบำบัดน้ำเสีย การดูดซับ

Abstract

Bioremediation of wastewater contaminated with rhodamine B dyes using alginate immobilized cell of *Spirulina platensis* was studied. Factors affecting the dye adsorption such as pH, contact time, adsorbent dose, and initial dye concentration were investigated. The results showed that the optimum pH for dye adsorption was at 2 with an adsorption capacity of 0.86 ± 0.00 mg/g. The adsorption was very rapid and reached equilibrium within 180 min with an adsorption capacity of 1.24 ± 0.00 mg/g. Dye adsorption capacity by this alga was reduced at high adsorbent dose whereas the increase of initial concentration of dye increased the adsorption capacity. The adsorption isotherm correlated with Langmuir with the maximum adsorption capacity (q_m) of 52.70 ± 3.18 mg/g. Adsorption kinetic correlated with pseudo-second order. The adsorption rate limiting step were film diffusion rate and secondary rate of intraparticle diffusion. This study suggested that alginate immobilized cell of *S. platensis* can be applied for treatment of wastewater contaminated with rhodamine B.

Keyword : immobilized cell, *Spirulina platensis*, rhodamine B dye, wastewater treatment, adsorption

¹ หลักสูตรวิทยาศาสตรการประมง สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

² ศูนย์วิจัยร่วมภาครัฐและเอกชน คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

¹Program in Fisheries Science. Division of Animal Production Technology and Fishery, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. 10520

²Public-Private Collaborative Research Center, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. 10520

*Corresponding author, E-mail: 62040359@kmitl.ac.th

แสดงลักษณะการดูดซับบนพื้นผิวสาหร่ายเป็นแบบชั้นเดียว และจลนพลศาสตร์การดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับสองเหมือน คือเมื่อเพิ่มตัวดูดซับเข้าสู่ระบบหนึ่งเท่าจะดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้นเป็นกำลังสอง ดังนั้นจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการนำมาใช้เป็นตัวดูดซับทางชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมปนเปื้อนต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์ อุปกรณ์สารเคมี และสถานที่ สำหรับการดำเนินงานวิจัยจนส่งผลให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Agrawal, G. L. (1990). **Basic Chemical Kinetics**. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Al Hamadi, A., Uraz, G., Katircioglu, H., & Osmanaoglu, Ö. (2017). Adsorption of azo dyes from textile wastewater by *Spirulina platensis*. **Eurasian Journal of Environmental Research**, 1(1), 19-27.
- Cardoso, N. F., Lima, E. C., Royer, B., Bach, M. V., Dotto, G. L., Pinto, L. A. A., & Calvete, T. (2012). Comparison of *Spirulina platensis* microalgae and commercial activated carbon as adsorbents for the removal of Reactive Red 120 dye from aqueous effluents. **Journal of Hazardous Materials**, 241-242, 146-153.
- Da Rosa, A. L. D., Carissimi, E., Dotto, G. L., Sander, H., & Feris, L. A. (2018). Biosorption of rhodamine B dye from dyeing stones effluents using the green microalgae *Chlorella pyrenoidosa*. **Journal of Cleaner Production**, 198, 1302-1310.
- Deniz, F., & Kepekci, R. A. (2015). Bioremediation of contaminated water with unnatural dye using blue-green alga *Spirulina platensis*. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, 34(5), 1414-1419.
- Duarte Neto, J. F., Pereira, I. D. S., da Silva, V. C., Ferreira, H. C., Neves, G. de A., & Menezes, R. R. (2018). Study of equilibrium and kinetic adsorption of rhodamine B onto purified bentonite clays. **Cerâmica**, 64, 598-607.
- El-Sheekh, M. M., Gharieb, M. M., & Abou-El-Souod, G. W. (2009). Biodegradation of dyes by some green algae and cyanobacteria. **International Biodeterioration & Biodegradation**, 63(6), 699-704.
- Gad, H. M. H. & El-Sayed, A. A. (2009). Activated carbon from agricultural by-products for the removal of Rhodamine-B from aqueous solution. **Journal of Hazardous Materials**, 168(2-3), 1070-1081.
- Gunasundari, E., Senthil Kumar, P., Rajamohan, N., & Vellaichamy P. (2020). Feasibility of naphthol green-B dye adsorption using microalgae: thermodynamic and kinetic analysis. **Desalination and Water Treatment**, 192, 358-370.
- Hii, S. L., Yong, S. Y. & Wong, C. L. (2009). Removal of rhodamine B from aqueous solution by sorption on *Turbinaria conoides* (Phaeophyta). **Journal of Applied Phycology**, 21(5), 625-631.
- Kankılıç, G. B. (2022). *Scenedesmus regularis*: An alternative biosorbent for the efficient and fast removal of methylene blue. **Global NEST Journal**, 24(3), 465-473.
- Kaushal M., & Tiwari, A. (2010). Removal of rhodamine-B from aqueous solution by adsorption onto crosslinked alginate beads. **Journal of Dispersion Science and Technology**, 31(4), 438-441.
- Li, H., Jin, R., Hu, H., Kalkhajeh, Y. K., Zhao, Y., Gao, Y., & Zhang, B. (2021). Adsorption of As(III), Pb(II), and Zn(II) from Wastewater by Sodium Alginate Modified Materials. **Journal of Analytical Methods in Chemistry**, 2021, 11.
- Mahdieh, M., Zolanvari, A., Azimee, A. S., & Mahdieh, M. (2012). Green biosynthesis of silver nanoparticles by *Spirulina platensis*. **Scientia Iranica**, 19(3), 926-929.
- Nicoletti, M. (2016). Microalgae nutraceuticals. **Foods**, 5(3), 54-62.
- Nithya, K., Sathish, A., Pradeep, K., & Baalaji, S. K. (2019). Algal biomass waste residues of *Spirulina platensis* for chromium adsorption and modeling studies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 7(5). <http://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103273>.
- Ruangsomboon, S. (2006). **Biosorption of Heavy Metal from Wastewater by Algae**. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).
- Ruangsomboon, S., Kitprasoe S., Chongphat B., & Deemak J. (2019). Innovative cultivation of *Spirulina* supplemented with flue gas from feed mill and powerplant. In **The 9th National Conference on Algae and Plankton**, pp. 93-100. Kasetsart University. (in Thai).
- Saadi, R., Saadi, Z., Fazaali, R., & Fard, N. E. (2015). Monolayer and multilayer adsorption isotherm models for sorption from aqueous media. **Korean Institute of Chemical Engineers**, 32(5), 787-799.
- Salleh, M. A. M., Mahmoud, D. K., Karim, W. A. W. A., & Idris, A. (2011). Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review. **Desalination**, 280(1-3), 1-13.

อิทธิพลของไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของถั่วลิสง พันธุ์ไทนาน 9

Influence of Rhizobium Co-inoculated with Arbuscular Mycorrhiza and Phosphate Solubilizing Bacteria on the Growth of Peanut Tainan 9 variety

จิราภรณ์ อินทสาร¹ และ ฉัตรปวีณ์ เดชจิรัตน์ศิริ^{2*}Jiraporn Inthasan¹ and Chatprawee Dechjirattanasiri^{2*}

Received date: 14 ธ.ค. 64 Revised date: 19 มิ.ย. 66 Accepted date: 23 มิ.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.010>

บทคัดย่อ

การศึกษาการใช้เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของถั่วลิสงในกระถาง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ประกอบด้วย 5 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่เชื้อ(Control) กรรมวิธีที่ 2 ใส่เชื้อไรโซเบียม(R: *Rhizobium* sp.) กรรมวิธีที่ 3 ใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา(R+AM) กรรมวิธีที่ 4 ใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับแบคทีเรียย่อยฟอสเฟต(R+PSB: *Rhizobium* sp. + *Bacillus* sp.) กรรมวิธีที่ 5 ใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียย่อยฟอสเฟต(R+AM+PSB) พบว่าการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตส่งผลให้มีความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของส่วนเหนือดินและรากสูงสุด การใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทำให้จำนวนปม (115 ปม/ต้น) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของปม (0.65 และ 0.16 กรัม/ต้น) สูงที่สุด การใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การเข้ารากของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสูงที่สุด (26.64%) ปริมาณไนโตรเจนของส่วนเหนือดินสูงที่สุดเมื่อมีการใช้เชื้อไรโซเบียมร่วมกับแบคทีเรียย่อยฟอสเฟต ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมของส่วนเหนือดินและรากไม่มีความแตกต่างในทางสถิติระหว่างกรรมวิธี การใช้เชื้อไรโซเบียมร่วมกับแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตส่งผลให้ปริมาณการตรึงไนโตรเจนสูงที่สุดคือ 87.73 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ต้น

คำสำคัญ: ไรโซเบียม เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จุลินทรีย์ย่อยฟอสเฟต ถั่วลิสง

Abstract

The study of rhizobium co-inoculated with arbuscular mycorrhiza and phosphate solubilizing bacteria on peanut growth in pot experiment was laid out on completely randomized design (CRD). The experiment consisted of 5 treatments; 1) control (without microorganism), 2) rhizobium (R: *Rhizobium* sp.), 3) R + arbuscular mycorrhiza (R+AM), 4) R + Phosphate Solubilizing bacteria (R+PSB: *Rhizobium* sp. + *Bacillus* sp.) and 5) R+AM+PSB with 4 replications. The results showed that co-inoculated of microorganisms (R+AM+PSB) provided the highest root length, and the highest fresh weight and dry weight of shoot and root. The treatment of R+AM showed the peak of nodules number (115 nodules/plant), nodules fresh weight and dry weight (0.65 and 0.16 g/plant). R+AM+PSB treatment increased the percentage of AM root length colonized at 26.64%. However, total nitrogen content in peanut shoot was highest in R+PSB. The concentrations of phosphorus and potassium in peanut shoot and root parts were not significant among treatments. Co-inoculate of R and PSB produced the highest nitrogen fixation at 87.73 mg N/plant.

Keywords: rhizobium, arbuscular mycorrhiza, phosphate solubilizing microorganism, peanut

¹ สาขาวิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

² ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹ Division of Soil Resources and Environment, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, 50290

² Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 10900

*Corresponding: chatprawee.d@ku.ac.th

คำนำ

ถั่วลิสง (*Arachis hypogaea* L.) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่ายและปลูกได้ตลอดทั้งปี พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปัจจุบันถั่วลิสงที่ผลิตได้ภายในประเทศมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการ ส่งผลให้มีการนำเข้าถั่วลิสงจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้เกษตรกรที่ปลูกถั่วลิสงส่วนใหญ่มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูงกว่าอัตราที่แนะนำเพื่อให้ได้ผลผลิตในปริมาณที่มากเป็นผลทำให้ต้นทุนสูงความความเป็นจริง (Agricultural Research Development Agency [ARDA], 2017) ปัจจุบันการผลิตพืชในรูปแบบอินทรีย์เป็นที่นิยมในวงกว้างมากขึ้น เนื่องจากช่วยในการรักษาสังแวดล้อมแล้วยังช่วยในการลดค่าใช้จ่ายในการผลิตพืชอีกด้วย สำหรับแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชในการผลิตด้วยระบบอินทรีย์นั้นมักจะได้จากวัสดุอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายของวัสดุจากธรรมชาติ ส่วนใหญ่นั้นมักถูกใช้เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ฯลฯ เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการผลิตพืชอาหารที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและระบบนิเวศ โดยในส่วนของปุ๋ยชีวภาพนั้นเป็นการนำประโยชน์ของจุลินทรีย์มาพัฒนาเพื่อให้มีบทบาททางด้านการเกษตร เช่นกลุ่มจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth promoting rhizobacteria, PGPR) กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจน และจุลินทรีย์กลุ่มที่เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมทั้งจุลินทรีย์ที่สามารถต้านทานโรคพืช เป็นต้น การใช้ปุ๋ยชีวภาพที่มีความหลากหลายของชนิดจุลินทรีย์นั้น แสดงถึงการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยกัน และส่งเสริมซึ่งกันและกันในการเจริญเติบโตและดูดธาตุอาหารของต้นพืช (Inthasan, 2020) การใช้เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับไรโซเบียมพบว่าทำให้พืชตระกูลถั่วเจริญเติบโตให้ผลผลิตสูงกว่าพืชที่ไม่ใส่เชื้อ หรือใส่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและไรโซเบียมเพียงอย่างเดียว การใช้เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและจุลินทรีย์ย่อยฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของถั่วลิสงจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการผลิตถั่วลิสง เนื่องจากถั่วลิสงเป็นพืชที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้เมื่อทำงานร่วมกับไรโซเบียมซึ่งสามารถตรึงไนโตรเจนได้ถึง 150-200 กก.ไนโตรเจน/เฮกตาร์ (Peoples et al., 1992; Toomsan et al., 1995) นอกจากนี้ Cui et al. (2019) พบว่าการใช้อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของถั่วลิสงในพื้นที่ที่มีการปลูกพืชอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มปริมาณชีวมวลของพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด การเจริญเติบโตและการพัฒนาของถั่วลิสง สำหรับผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตและการได้รับฟอสฟอรัสของถั่วลิสงพบว่าการใส่แบคทีเรียย่อยฟอสเฟตช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของถั่วลิสง ทำให้มีความสูงในส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้น ความยาวรากเพิ่มขึ้น น้ำหนักแห้งของต้นและน้ำหนักแห้งของใบ และปริมาณฟอสฟอรัสในถั่วลิสงเพิ่มขึ้น (Anzuay et al., 2015) จากการรวบรวมข้อมูลในข้างต้นจึงมีแนวคิดศึกษาเกี่ยวกับการใช้ไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง เมล็ดมีคุณภาพดี เปลือกของฝักค่อนข้างบางและสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี

วิธีการศึกษา

การดำเนินการและแผนการทดลอง

ทำการศึกษาการใช้ไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของถั่วลิสงในกระถาง โดยทำการทดลองตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 ทำการทดลองในโรงเรือนภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ในกระถางพลาสติกขนาด 12 นิ้ว ประกอบด้วย 5 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 ควบคุม (Control) ไม่ใส่เชื้อ กรรมวิธีที่ 2 ใส่เชื้อไรโซเบียม (R) กรรมวิธีที่ 3 ใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (R+AM) กรรมวิธีที่ 4 ใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับแบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายฟอสเฟต (R+PSB) กรรมวิธีที่ 5 ใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยฟอสเฟต (R+AM+PSB) นำเมล็ดถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 จากศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ จังหวัดเชียงราย มาฆ่าเชื้อที่พื้นผิวด้วยแอลกอฮอล์ 95% และล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปปลูกในทรายที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน โดยใช้ทราย 8 กิโลกรัม/กระถาง ทำการใส่เชื้อจุลินทรีย์ตามกรรมวิธีการทดลองหลังจากปลูกถั่ว 2 วัน โดยเชื้อไรโซเบียม (*Rhizobium* sp.) แยกได้จากปมถั่วลิสงแล้วนำมาทำให้บริสุทธิ์ในอาหารแข็ง แล้วขยายหัวเชื้อด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ yeast extract mannitol (Vincent, 1970) และแบคทีเรียย่อยฟอสเฟต (*Bacillus* sp.) ที่คัดแยกและทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อ

แบบที่เรียกที่สามารถละลายฟอสเฟตได้จากดิน (Inthasan et al., 2016) ใส่เชื้อในรูปของสารละลาย Nutrient Broth; NB (Atlas, 2005) โดยเชื้อแต่ละชนิดจะใส่ในปริมาณ 20 มิลลิลิตรต่อต้น (10^8 cfu/1 ml) และใส่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่คัดแยกสปีร์จากดินในศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ จังหวัดเชียงราย จำนวน 300 สปีร์ต่อต้น รดสารละลายธาตุอาหารให้กับต้นถั่วลิสงด้วย Nitrogen free nutrient solution (Beck et al., 1994)

การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ทำการเก็บต้นถั่วลิสงเมื่อต้นถั่วลิสงออกดอกหลังจากปลูกได้ 45 วัน นำต้นถั่วลิสงมาทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความสูงของต้น ความยาวของราก จำนวนปม เพอร์เซ็นต์การเข้าราก และวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ธาตุอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) สำหรับวัดการตรึงไนโตรเจนของต้นถั่วใช้การประเมินตามวิธีของ People et al. (1989) ใช้ข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor* L.) เป็นพืชเปรียบเทียบ

ในกรณีของการเก็บตัวอย่างพืชในทุกกรรมวิธีการทดลอง จะทำการเก็บในระยะที่พืชออกดอก โดยนำตัวอย่างพืชที่เก็บมาล้างทำความสะอาด ทั้งไว้ให้แห้งแล้วนำมาวัดความสูงของลำต้น ความยาวของราก และนำไปชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำพืชไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำพืชมาชั่งน้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์พืช ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) โดยวิธีของ Kjeldahl Method (Jackson, 1958) ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorous) วิถีพัฒนาสี นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer อ่านค่า %T ที่ Wavelength 470 นาโนเมตร ปริมาณโพแทสเซียม (Potassium) นำสารละลายไปอ่านค่าด้วยเครื่อง Flame Photometer (FAO, 2008)

การวัดเปอร์เซ็นต์การเข้ารากของอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทำการสุมตัวอย่างรากจากนั้นนำมาล้างน้ำให้สะอาดแช่ลงในสารละลาย KOH ความเข้มข้น 2.5% ทั้งไว้ 24 ชั่วโมง นำรากที่ผ่านการแช่ KOH มาล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปแช่ด้วยสารละลาย HCl ความเข้มข้น 1% ทั้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งแล้วย้อมสีด้วย Water blue 0.06% นำไปตรวจสอบการติดเชื้อในรากโดยนำรากที่ผ่านการย้อมสีมาแล้วส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ Compound (Brundrett et al., 1996) เพื่อบันทึกจำนวนการเข้ารากตามสูตร

$$\% \text{RLC (root length colonized)} = (\text{จำนวน Field ที่มีพบการเข้ารากของ AM} / \text{จำนวน Field ที่ตรวจสอบทั้งหมด}) \times 100$$

การวัดการตรึงไนโตรเจน โดยการนำปริมาณไนโตรเจนของต้นถั่วลบกับปริมาณไนโตรเจนของข้าวฟ่าง จากนั้นคำนวณตามสูตร $Q = N_{\text{ถั่ว}} - N_{\text{พืชอ้างอิง}}$ เมื่อ Q = ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้ในถั่ว, $N_{\text{ถั่ว}}$ = ปริมาณไนโตรเจนในถั่ว, $N_{\text{พืชอ้างอิง}}$ = ปริมาณไนโตรเจนในพืชอ้างอิง (People et al., 1989)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) เมื่อพบความแตกต่างกันในทางสถิติจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธีจัดกลุ่มของสิ่งทดลอง (Least Significant Difference : LSD) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ Statistix 10

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโตของต้นถั่วลิสง

การเจริญเติบโตของต้นถั่วลิสงข้อมูลด้านความสูงของต้นถั่วเมื่อระยะเวลา 45 วันหลังปลูก พบว่าความสูงของส่วนเหนือดินในทุกกรรมวิธีการทดลองไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (Table 1) สำหรับความยาวรากพบว่าการใส่เชื้อจุลินทรีย์ในทุกกรรมวิธีส่งผลให้รากของต้นถั่วลิสงมีความยาวมากกว่ากรรมวิธีควบคุมที่ไม่มีการใส่เชื้อ โดยการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตมีความยาวรากมากที่สุด คือ 35.50 เซนติเมตร ($P < 0.05$) น้ำหนักสดส่วนเหนือดินและน้ำหนักสดของรากพบว่าการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและ แบคทีเรียย่อยฟอสเฟตทำให้ถั่วลิสงมีน้ำหนักสูงสุด คือ 36.96 และ 11.52 กรัม/ต้น ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักสดส่วนเหนือดินและน้ำหนักสดของรากไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับ แบคทีเรียย่อยฟอสเฟตคือ 35.63 ($P < 0.01$) และ 9.54 ($P < 0.05$) กรัม/ต้น ตามลำดับ น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและส่วนของรากถั่วลิสงพบปริมาณน้ำหนักแห้งทั้งสองส่วนเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับน้ำหนักสดโดย

พบว่าการใช้เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและส่วนรากสูงที่สุดคือ 6.32 ($P<0.05$) และ 0.97 ($P<0.01$) กรัม/ต้น สอดคล้องกับงานทดลองของ Kumar et al. (2018) ที่พบว่าการใช้เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตส่งผลให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงที่สุด งานทดลองครั้งนี้มีความยาวของราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นถั่วลิสงสูงกว่างานทดลองของ Bouhraoua et al. (2015) ที่ศึกษาการตอบสนองของถั่วลิสงต่อแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตและอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งพบว่าการใช้เชื้อจุลินทรีย์มีผลต่อการเจริญเติบโตของถั่วลิสงสูงกว่าการไม่ใส่เชื้อรวมทั้งการเจริญเติบโตในด้านความสูง ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นถั่ว ทั้งนี้การตอบสนองของเชื้อจุลินทรีย์อาจขึ้นอยู่กับความจำเพาะเจาะจงของสายพันธุ์ ชนิดของพืช ค่าพีเอชของดิน (pH) และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันเช่นอุณหภูมิและความชื้นเป็นต้น โดยผลของการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา แบคทีเรียย่อยฟอสเฟต หรือการใช้เชื้อจุลินทรีย์ทั้งสามชนิด มีผลทำให้ค่าดัชนีของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงกว่าการใช้เชื้อไรโซเบียมเพียงอย่างเดียว

Table 1 Effect of microbial combination on the growth of peanut at 45 DAP (Day after planting)

Treatment	Plant height (cm Plant ⁻¹)	Root length (cm Plant ⁻¹)	Shoot weight (g Plant ⁻¹)		Root weight (g Plant ⁻¹)	
			fresh	dry	fresh	dry
Control	27.88	26.63 b	23.80 c	3.59 b	5.77 c	0.46 b
R	32.25	32.50 a	30.04 b	3.59 b	7.96 bc	0.75 a
R+AM	29.88	33.00 a	30.31 b	4.68 b	7.48 bc	0.79 a
R+PSB	30.50	35.00 a	35.63 ab	5.00 ab	9.54 ab	0.88 a
R+AM+PSB	29.63	35.50 a	36.96 a	6.32 a	11.52 a	0.97 a
Mean	30.03	32.53	31.35	4.87	8.45	0.77
CV (%)	9.82	10.69	9.15	19.81	23.48	16.44
F-test	ns	*	**	*	*	**

Note: Control (uninoculated), R: + rhizobium, R+AM: + rhizobium & arbuscular mycorrhiza, R+PSB: + rhizobium & phosphate solubilizing bacteria, R+AM+PSB: + rhizobium, arbuscular mycorrhiza & phosphate solubilizing bacteria. Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD **= 0.01 , *= 0.05 and ns= nonsignificant

การเกิดปมของถั่วลิสง

จำนวนปมของถั่วลิสงหลังจาก 45 วันหลังปลูก พบว่าการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตส่งผลให้มีความถี่การเกิดปมสูงที่สุดคือ 115 ปม/ต้น ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกกรรมวิธี ยกเว้นกรรมวิธีควบคุม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการเกิดปมน้อยที่สุด คือ 13 ปม/ต้น ($P<0.01$) สำหรับน้ำหนักปมสดและปมแห้งพบว่าการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในทุกกรรมวิธีการทดลองมีผลทำให้น้ำหนักปมสดสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ย่อยฟอสเฟตมีน้ำหนักปมสดและปมแห้งสูงที่สุด คือ 0.65 และ 0.16 กรัม/ต้น ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใส่เชื้อในกรรมวิธีอื่นๆ ($P<0.01$) การศึกษาเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากของถั่วลิสง พบว่าการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและจุลินทรีย์ย่อยฟอสเฟตมีเปอร์เซ็นต์การเข้ารากของอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามากที่สุด คือ 26.64% ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) ส่วนการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาพบเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซารองลงมาคือ 13.10% ส่วนกรรมวิธีควบคุมมีการเข้ารากต่ำที่สุดคือ 2.95% (Table 2) โดยงานทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับงานทดลองของ Lekberg & Koide (2005) ที่พบว่าการใช้เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับเชื้อไรโซเบียมในถั่วลิสงในประเทศ Zimbabwe จากดินทั้งหมด 9 ตัวอย่างสามารถเพิ่มจำนวนปมได้ถึง 4 เท่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างดินที่ไม่ใส่เชื้อไรโซเบียมเพียงอย่างเดียวและยังทำให้เกิดความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างจำนวนปมและการเข้ารากของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ($R^2=0.98$) ในถั่วลิสง ขณะที่เปอร์เซ็นต์การเข้ารากจากงานทดลองของ Massoud and El-Batanony (2009) พบเปอร์เซ็นต์การเข้ารากของอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากการใส่เชื้อ *Azospirillum lipoferum* ร่วมกับ *Bradyrhizobium* sp. และ อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ระยะ 45 วันหลังปลูกสูงกว่างานทดลองในครั้งนี้ โดยมีเปอร์เซ็นต์การเข้ารากของอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในถั่วลิสงคือ 75% ซึ่ง Marschner & Dell (1994) กล่าวว่า การเข้ารากของอาร์บัสคูลาร์ไม

คอร์ไรซาทำให้การดูดซับธาตุอาหารหลายชนิดเช่นฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และ แมกนีเซียมเพิ่มสูง และการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชนั้นอาจขึ้นอยู่กับปริมาณของฟอสฟอรัสในดิน โดยความเข้มข้นที่สูงของฟอสฟอรัสในดินจะส่งผลต่อการทำงานของของปลายรากทำให้โอกาสการเข้ารากของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเข้าสู่รากน้อยลง

Table 2 Effect of microbial combination on number of nodules, nodule weight and percentage of root length colonized of peanut at 45 DAP

Treatment	Number of nodules (Plant ⁻¹)	Weight of nodule (g Plant ⁻¹)		% Root length colonized
		fresh	dry	
Control	13.00 b	0.17 b	0.05 b	2.95 c
R	95.75 ab	0.53 a	0.12 ab	3.83 c
R+AM	92.50 ab	0.50 a	0.14 a	13.10 b
R+PSB	115.00 a	0.65 a	0.16 a	3.39 c
R+AM+PSB	95.00 ab	0.60 a	0.14 a	26.64 a
Mean	82.25	0.49	0.12	9.98
CV	36.12	22.02	20.76	31.84
F-test	**	**	**	**

Note: Control (uninoculated), R: + rhizobium, R+AM: + rhizobium & arbuscular mycorrhiza, R+PSB: + rhizobium & phosphate solubilizing bacteria, R+AM+PSB: + rhizobium, arbuscular mycorrhiza & phosphate solubilizing bacteria. Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD ** = 0.01

ปริมาณธาตุอาหารหลักที่สะสมในส่วนเหนือดิน ราก และการตรึงไนโตรเจนของถั่วลิสง (Nitrogen Fixation)

ปริมาณธาตุอาหารหลักที่สะสมในส่วนของต้นถั่วลิสง (ส่วนเหนือดิน) พบว่าการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตมีปริมาณไนโตรเจนในส่วนเหนือดินสูงสุด คือ 2.50% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียย่อยฟอสเฟต และการใส่เชื้อไรโซเบียมเพียงอย่างเดียว สำหรับกรรมวิธีควบคุมมีปริมาณไนโตรเจนต่ำสุด คือ 1.68% ($P < 0.05$) ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดิน พบว่าการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตมีเปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสสูงที่สุด คือ 0.53% ขณะที่กรรมวิธีควบคุมมีเปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสต่ำสุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติทุกกรรมวิธี ปริมาณโพแทสเซียมในส่วนเหนือดิน พบว่าทุกกรรมวิธีการทดลองไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.29% (Table 3) ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในรากของถั่วลิสงพบว่าการรวมวิธีการใส่เชื้อไรโซเบียมเพียงอย่างเดียวมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนสูงที่สุดคือ 3.81% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับแบคทีเรียย่อยฟอสเฟต และการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียย่อยฟอสเฟต ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสและปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในรากพบว่าไม่มีความแตกต่างในทางสถิติในทุกกรรมวิธีทดลองแม้จะมีความโน้มสูงกว่าการไม่คลุกเชื้อ ขณะที่งานวิจัยของ Massoud & El-Batanony (2009) พบว่าการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาหรือแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตทำให้มีเปอร์เซ็นต์ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงกว่าค่าควบคุม โดยมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของส่วนเหนือดินเฉลี่ยอยู่ที่ 1.91% และ 0.12% ต่ำกว่างานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งอาจสืบเนื่องจากลักษณะดินที่ใช้ในการทำการทดลองอยู่ในสภาพไร่และการจัดการของเชื้อไรโซเบียมร่วมกับแบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายฟอสเฟตแตกต่างจากงานครั้งนี้ที่ทำการทดสอบพืชโดยใช้ทรายเป็นวัสดุปลูกและชนิดของแบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายฟอสเฟตเป็นคนละชนิดกัน อย่างไรก็ตามความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจากการใช้ที่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียย่อยฟอสเฟตสามารถส่งผลต่อการดูดซับได้มากกว่าธาตุอาหารอื่น ๆ ซึ่งพืชที่มีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอยู่อาศัยในรากและมีจุลินทรีย์ย่อยฟอสเฟตจะส่งผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสในพืชเพิ่มขึ้น และส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วย (Poomipan et al., 2011)

ปริมาณการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen Fixation) โดยคำนวณจากปริมาณไนโตรเจนของพืชอ้างอิง (ข้าวฟ่าง 49.52 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ต้น) พบว่าการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับจุลินทรีย์ย่อยฟอสเฟต ส่งผลให้การตรึงไนโตรเจนของต้นถั่วลิสงมากที่สุดคือ 87.73 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ต้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใส่เชื้อไรโซเบียม และการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและจุลินทรีย์ย่อยฟอสเฟต ขณะที่กรรมวิธีควบคุมพบการตรึงไนโตรเจนเพียง 10.86 มิลลิกรัม

ไนโตรเจน/ตัน ($P < 0.01$) (Table 3) สอดคล้องกับงานทดลองของ Badawi et al. (2011) ทำการศึกษาการตรึงไนโตรเจนของถั่วลิสงจากการใช้ *Bradyrhizobium* spp. ร่วมกับ *Serratia marcescens* พบว่าการใส่เชื้อทั้งสองร่วมกันส่งผลให้มีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนสูงกว่าการใส่เชื้อไรโซเบียมเพียงอย่างเดียวทั้งสองฤดูกาล ซึ่งการทำงานร่วมกันระหว่างจุลินทรีย์กลุ่มส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและไรโซเบียมส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นพืช การเกิดปมและการตรึงไนโตรเจนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Bai et al., 2003)

Table 3 Effect of microbial combination on nutrient uptake and nitrogen fixation of peanut at 45 DAP

Treatment	Shoot			Root			Nitrogen fixation (mg N Plant ⁻¹)
	N	P	K	N	P	K	
Control	1.68 c	0.41	1.11	2.28 c	0.78	1.37	10.86 b
R	2.20 ab	0.48	1.30	3.81 a	0.94	1.90	68.28 ab
R+AM	1.97 bc	0.46	1.34	2.68 bc	0.86	1.43	68.43 ab
R+PSB	2.50 a	0.53	1.32	2.80 abc	1.13	2.18	87.73 a
R+AM+PSB	2.40 ab	0.50	1.39	3.57 ab	1.17	1.47	78.67 a
Mean	2.15	0.47	1.29	3.03	0.98	1.67	62.79
CV	15.47	15.57	11.66	16.78	22.09	29.21	27.78
F-test	*	ns	ns	**	ns	ns	**

Note: Control (uninoculated), R: + rhizobium, R+AM: + rhizobium & arbuscular mycorrhiza, R+PSB: + rhizobium & phosphate solubilizing bacteria, R+AM+PSB: + rhizobium, arbuscular mycorrhiza & phosphate solubilizing bacteria. Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD **= 0.01 , *= 0.05 and ns= nonsignificant

สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่ากรรมวิธีการใส่เชื้อจุลินทรีย์ส่งผลให้ข้อมูลทางด้านการเจริญเติบโต การสะสมของธาตุอาหารพืช การเข้าราก การตรึงไนโตรเจนสูงกว่ากรรมวิธีที่ควบคุม การใส่เชื้อไรโซเบียมเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ถั่วลิสงมีการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นและเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนรากมากที่สุด ขณะที่การใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและจุลินทรีย์ย่อยฟอสเฟตทำให้ถั่วลิสงมีความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและราก การเข้าอาศัยรากของอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมในส่วนเหนือดิน เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในส่วนราก และการตรึงไนโตรเจนในต้นถั่วลิสงสูงที่สุด สำหรับกรรมวิธีที่ใส่ไรโซเบียมร่วมกับจุลินทรีย์ย่อยฟอสเฟตทำให้มีจำนวนปม น้ำหนักสดปมและน้ำหนักแห้งปม เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดิน เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมในรากสูงที่สุด งานวิจัยครั้งนี้สามารถทำให้แนวคิดเรื่องการใช้ประโยชน์ของจุลินทรีย์ในระบบเกษตรอินทรีย์มีทิศทางที่เป็นไปได้และมีแนวโน้มต่อการลดการใช้สารเคมีรวมทั้งอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในภาคการเกษตรได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ จังหวัดเชียงราย ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Agricultural Research Development Agency. (2017). **Maize, Soybean, Mungbean and Peanut, the Direction of Thai Economic Crops in ASEAN**. 2nd ed. Pornsup Printing Co., Ltd. (in Thai).
- Inthasan, J. (2020). **Soil Fertility**. 2nd ed. Design Print media. (in Thai).
- Inthasan, J., Dechirattanasiri, C., & Boonmee, P. (2016). Effect of amendments combined with phosphate solubilizing bacteria on soil chemical properties under moringa canopy. **Journal of Agriculture**, 32(3), 379-390. (in Thai).
- Atlas, R. M. 2005. **Handbook of Media for Environmental Microbiology**. 2nd ed. CRC Press.
- Anzuay, M. S., Ludueña, L. Angelini, J., & Fabra, A. (2015). Beneficial effects of native phosphate solubilizing bacteria on peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth and phosphorus acquisition. **Symbiosis**, 66, 89–97.
- Badawi, F. Sh. F., Biomy, A. M. M., & Desoky, A. H. (2011). Peanut plant growth and yield as influenced by co-inoculation with *Bradyrhizobium* and some rhizo-microorganisms under sandy loam soil conditions. **Annals of Agricultural Science**, 56, 17-25.
- Bai, Y., Zhou, X., & Smith, D. L. (2003). Enhanced soybean plant growth resulting from coinoculation of *Bacillus* strains with *Bradyrhizobium japonicum*. **Crop Ecology, Management & Quality: Crop Science**, 43(5), 1774–1781.
- Beck, D. P., Materon, L. A., & Afandi, F. (1994). **Practical Rhizobium-legume technology manual: Technical manual No. 19**. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., & Malajczuk, N. (1996). **Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture**. Pirie Printers.
- Cui, L., Guo, F., Zhang, J. L., & Yang, S. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi combined with exogenous calcium improve the growth of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings under continuous cropping. **Journal of Integrative Agriculture**, 18(2), 407-416.
- FAO. (2008). **FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin**. FAO.
- Jackson, M. L. (1958). **Soil Chemical Analysis**. Prentice Hall, Inc.
- Kumar, N., Kumar, A. Shukla, A., & Ram, A. (2018). Effect of application of bio-inoculants on growth and yield of *Arachis hypogaea* L. and *Sesamum indicum* L. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, 7(1), 2869-2875.
- Lekberg, Y., & Koide, R. T. (2005). Arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobia, available soil P and nodulation of groundnut (*Arachis hypogaea*) in Zimbabwe. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 110, 143–148.
- Marschner, H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant Soil**, 159, 89-102.
- Massoud, O. N., & El-Batanony, N. H. (2009). Fertilizers management and N₂-fixers combined with phosphate solubilizing microorganisms affect peanut (*Arachis hypogaea*) growth and productivity. **New Egyptian Journal of Microbiology**, 22, 1-15.
- Peoples, M. B., Faizah, A. W., Rerkasem, B., & Herridge, D. F. (1989). **Methods for Evaluating Nitrogen Fixation by Nodulated Legumes in the Field**. Pirie Printers.
- Peoples, M. B., Bell, M. J., & Bushby, H. V. A. (1992). Effect of rotation and inoculation with *Bradyrhizobium* on nitrogen fixation and yield of peanut (*Arachis hypogaea* L., cv. Virginia Bunch). **Australian Journal of Agricultural Research**, 43, 595–607.
- Poomipan, P., Suwanarit, A., Suwanarit, P., Nopamornbodi, O., & Dell, B. (2011). Reintroduction of a native Glomus to a tropical Ultisol promoted grain yield in maize after fallow restored the density of arbuscular mycorrhizal fungal spores. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 174, 257-268.
- Toomsan, B., McDonagh, J. F., Limpinuntana, V., & Giller, K. E. (1995). Nitrogen fixation by groundnut and soya bean and residual nitrogen benefits to rice in farmers' fields in Northeast Thailand. **Plant Soil**, 175, 45–56.
- Vincent, J. M. (1970). **A Manual for the Practical Study of the Root Nodule Bacteria**. IBP, Handbook, No. 15. Blackwell Publishers.

ศักยภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงพันธุ์ใหม่ภายใต้สภาพอินทรีย์แบบแปลงเปิดเปรียบเทียบกับระบบการให้ปุ๋ยเคมีในโรงเรือนพลาสติก

The Potential of New Purple Yardlong Bean Varieties in Open-Field Organic Farming Compared with Chemicals Management under Plastic Net-House

นิอร งามฮุย¹ สุพจน์ บุญแรง² และ พวงเพชร พิมพันจันทร์^{1*}

Nion Ngamhui¹ Supot Boonraeng² and Paongpetch Phimchan^{1*}

Received date: 21 พ.ย. 65 Revised date: 17 ส.ค. 66 Accepted date: 1 ก.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.011>

บทคัดย่อ

ถั่วฝักยาวสีม่วงพันธุ์ “ม่วงราชมงคล” เป็นพันธุ์ที่ปรับปรุงพันธุ์ภายใต้ระบบอินทรีย์ เพื่อทดสอบศักยภาพของพันธุ์จึงวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 20 ต้น โดยมีพันธุ์เปรียบเทียบคือพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 และพันธุ์ลายเสือจักรพันธ์ ระหว่างเดือนกันยายน-พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ภายใต้ระบบการปลูก 2 ระบบคือ 1) การปลูกในระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิด และ 2) การปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมีในโรงเรือน พบว่าถั่วฝักยาวพันธุ์ใหม่มีลักษณะแตกต่างจากพันธุ์เปรียบเทียบ ทั้งดอก ผล และเมล็ดพันธุ์ สำหรับการเจริญเติบโตด้านความยาวเถาและจำนวนกิ่งแขนงนั้นมีความแตกต่างทางสถิติทั้งระบบการปลูก พันธุ์ และปฏิริยาสัมพันธ์ของระบบปลูกและพันธุ์ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3-6 หลังปลูก การปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมีในโรงเรือนนั้นถั่วฝักยาวมีความยาวเถาและจำนวนกิ่งมากกว่าระบบอินทรีย์ และพบว่าพันธุ์ม่วงราชมงคลและพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 มีความสูงต้นมากที่สุดทั้งสองระบบปลูก นอกจากนี้แล้วพบอิทธิพลของระบบปลูกต่อผลผลิต ซึ่งการปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมีในโรงเรือนให้ผลผลิตสูงด้านจำนวนฝักต่อต้น น้ำหนักฝักรวม และน้ำหนักต่อฝัก คือ 34.91 ฝัก/ต้น 815.11 กรัม/ต้น และน้ำหนักฝัก 26.67 กรัม/ฝัก ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพันธุ์ม่วงราชมงคลนั้นมีจำนวนฝัก 27.15 ฝัก/ต้น น้ำหนักฝักรวม 611.83 กรัม/ต้น และน้ำหนักฝัก 26.41 กรัม/ฝัก ซึ่งใกล้เคียงกับพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 ทั้งด้านการเจริญเติบโต ผลผลิต ค่าคะแนนความสม่ำเสมอของพันธุ์ และความแข็งแรงของพันธุ์ทั้งระบบอินทรีย์และเคมี

คำสำคัญ: ถั่วฝักยาว พันธุ์ ปรับปรุงพันธุ์ เมล็ดพันธุ์ อินทรีย์

Abstract

The purple yardlong bean "Muang Rachamongkol" is a pure line variety and was improved under organic farming. To examine this variety potential, a randomized complete block design was planned with 4 replications of 20 plants each, in comparison with two varieties: "Sirindhorn#1" and "Laisua Jakkaparn". These bean varieties were grown during September-November 2020 under 2 production systems; 1) organic system under open-field and 2) under plastic net-house. The results showed that the characteristics of the new variety such as flower, fruit, and seed characters differed from the comparative varieties. For plant growth including plant height and the number of branches, and the interaction between the production system and varieties during the 3rd-6th weeks after planting were found to be significantly different. Plants grown under a chemical system showed a higher plant height and number of branches than an organic system, and varieties "Muang Rachamongkol" and "Sirindhorn#1" showed the highest plant height in both conditions. In addition, the

¹ สาขาพืชศาสตร์ สิ่งทอและการออกแบบ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ 56000

² ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

¹ Department of Plant Science, Textile, and design, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Surin Campus 56000

² Department of Agro-Industry, Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University 50300

* Corresponding author: paongpetch@gmail.com

influence of the production system was observed with the chemical system which showed the high number of pods, total pod yield, and pod weight of 34.91 pod/plant, 815.11 g/plant, and 27.67 g/pod, respectively. “Muang Rachamongkol” showed 27.15 pod/plant, 611.83 g/plant, and 26.41 g/pod, which was similar to the responses of “Sirindhorn#1” for the growth, yield, uniformity score, and plant vigor score in both of organic and chemical conditions.

Keywords: yardlong bean, variety, breeding, seed, organic

คำนำ

ในปีเพาะปลูก 2563 ประเทศไทยมีการปลูกถั่วฝักยาวครอบคลุม 73 จังหวัด พื้นที่ปลูกรวม 48,714 ไร่ ผลผลิตรวม 58,292 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 865 กิโลกรัม/ไร่ ราคาจำหน่ายเฉลี่ย 26.46 บาท/กิโลกรัม (Department of Agricultural Extension [DOAE], 2019) ซึ่งส่วนใหญ่มีการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต ดังนั้นถั่วฝักยาวจึงเป็นพืชผักที่ติดอันดับ 1 ใน 5 ที่มีสารเคมีตกค้างเกินค่ามาตรฐาน (Prasopsuk et al., 2014; Poophalee, Wongwattanasathien et al., 2016; Liaotrakoon et al., 2020) การนำเอาผงถ่าน ด่างทับทิม หรือผลิตภัณฑ์ล้างทำความสะอาดผักและผลไม้ รวมทั้งการนำสารสกัดจากธรรมชาติเช่นจากใบรางจืดและใบย่านางมาใช้สามารถช่วยกำจัดสารเคมีที่ปนเปื้อนในผักได้ (Sanyapueng & Lauprasert, 2017) การผลิตถั่วฝักยาวในระบบอินทรีย์จัดเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ปัจจุบันถั่วฝักยาวอินทรีย์เป็นการผลิตของเกษตรกรรายย่อย หรือกลุ่มเกษตรกรที่มีตลาดเฉพาะ เช่น จำหน่ายในซูเปอร์มาร์เก็ต ตลาดสินค้าเกษตรอินทรีย์ หรือตลาดออนไลน์ โดยราคาขายในปัจจุบัน 60-100 บาท/กิโลกรัม (Department of Internal Trade [DIT], 2020) เห็นได้ว่าปริมาณผลผลิตถั่วฝักยาวอินทรีย์ออกสู่ตลาดน้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นอาจเกิดจากการขาดการจัดการปัจจัยการผลิตที่สำคัญ ได้แก่ พันธุ์กรรม สิ่งแวดล้อมและการจัดการที่เหมาะสม

ตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ได้กำหนดพันธุ์พืชที่ใช้ต้องมาจากการปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีมาตรฐาน (Conventional breeding) และเป็นเมล็ดพันธุ์ที่ผลิตภายใต้ระบบอินทรีย์ หรือในกรณีจัดหาไม่ได้สามารถใช้เมล็ดพันธุ์ที่ผลิตในระบบทั่วไปแต่เป็นเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้คลุกสารเคมี (Organic Agriculture Certification Thailand [ACT], 2019) ปัจจุบันเกษตรกรยังใช้เมล็ดพันธุ์การค้าของภาคเอกชนในการผลิตถั่วฝักยาวอินทรีย์ โดยถั่วฝักยาวพันธุ์การค้ามีการปรับปรุงพันธุ์ภายใต้ระบบเคมีมาโดยตลอด และมีการคลุกสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชหรือฮอร์โมนเคลือบเมล็ด ซึ่งการทำทำความสะอาดเมล็ดพันธุ์ให้ปลอดจากสารเคมีดังกล่าวจัดเป็นเรื่องที่ทำได้ค่อนข้างยาก อีกทั้งการนำพันธุ์การค้ามาผลิตภายใต้ระบบอินทรีย์นั้นทำให้ผลผลิตลดลงอย่างชัดเจน (Chanapa & Benchasri, 2015) ดังนั้นการใช้เมล็ดพันธุ์อินทรีย์ในระบบการผลิตผักอินทรีย์จึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพ โดย Khamsee et al. (2018) ได้แนะนำหลักการผลิตพืชผักในระบบอินทรีย์นั้นต้องการพันธุ์พืชที่ไม่แตกต่างจากระบบทั่วไปมากนัก แต่ต้องเป็นสายพันธุ์ที่สามารถหาอาหารได้เก่ง ปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงและต้านทานโรคแมลงได้มากกว่าพันธุ์พืชทั่วไป และเพื่อความยั่งยืนควรเป็นพันธุ์แท้ที่เกษตรกรสามารถเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้เองในฤดูถัดไปได้ ซึ่งปัจจุบันมหาวิทยาลัยแม่โจ้มีพันธุ์ถั่วฝักยาวที่ปรับปรุงภายใต้ระบบอินทรีย์และเผยแพร่สู่การนำไปใช้ประโยชน์แล้วจำนวน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 และพันธุ์ลายเสือจักรพันธ์ (Knowledge Base Maejo University, 2020)

อย่างไรก็ตามเนื่องจากความต้องการใช้พันธุ์และเมล็ดพันธุ์ถั่วฝักยาวอินทรีย์มีมาก แต่กลับมีพันธุ์ให้เลือกใช้น้อยกว่าพันธุ์การค้า ส่งผลให้เกษตรกรบางส่วนได้มีการนำเอาพันธุ์พื้นเมืองมาผลิตภายใต้ระบบอินทรีย์ ทั้งที่มีลักษณะฝักสีเขียว สีแดง และสีเขียวลาย ถึงแม้พันธุ์พื้นเมืองเหล่านี้จะทนทานต่อสภาพแวดล้อมและให้ผลผลิตได้ดี แต่กลับพบปัญหาคุณภาพผลผลิต เช่น ฝักสั้น เปลือกฝักมีขน รสชาติขมหรือฝาด เป็นต้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้แล้วในถั่วฝักยาวสีม่วงนั้น Ha et al. (2010) พบว่าในฝักถั่วสีม่วงมีสารแอนโทไซยานินที่สำคัญจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ delphinidin-3-O-glucoside, cyanidin-3-O-sambubioside, cyanidin-3-O-glucoside, pelargonidin-3-O-glucoside และ peonidin-3-O-glucoside ซึ่งสารในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ต้านทานอนุมูลอิสระได้อย่างดี ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงพันธุ์ถั่วฝักยาวสีม่วงพันธุ์ใหม่ภายใต้ระบบอินทรีย์ ซึ่งเป็นพันธุ์แท้ที่เกษตรกรสามารถเก็บเมล็ดไปปลูกในฤดูถัดไปได้ เพื่อเพิ่มทางเลือกด้านพันธุ์ถั่วฝักยาวที่เหมาะสมสำหรับการผลิตในระบบ

อินทรีย์ ให้ชื่อว่า “ม่วงราชมงคล” ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปลูกทดสอบศักยภาพของถั่วฝักยาวพันธุ์ “ม่วงราชมงคล” ร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้งในระบบอินทรีย์และเคมี ซึ่งข้อมูลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตถั่วฝักยาวอินทรีย์ของเกษตรกรได้

วิธีการศึกษา

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 20 ต้น โดยมีพันธุ์เปรียบเทียบกับพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 และพันธุ์ลายเสือจักรพันธ์ ระหว่างเดือนกันยายน-พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ภายใต้ระบบการปลูก 2 ระบบคือ 1) การปลูกในระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิด และ 2) การปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมีในโรงเรือน โดยระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิด ดำเนินการ ณ แปลงปรับปรุงพันธุ์ฝักอินทรีย์ และระบบเคมีในโรงเรือนดำเนินการ ณ แปลงงานฟาร์มสวนผัก คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ โดยปลูกจำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 20 ต้น ระยะปลูก 50 x 50 เซนติเมตร ปลูกจำนวน 3 เมล็ด/หลุม จากนั้นจึงถอนแยกเหลือจำนวน 1 ต้น/หลุม

ขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์และลักษณะทั่วไปของถั่วฝักยาวพันธุ์ม่วงราชมงคล

พันธุ์ม่วงราชมงคลเป็นพันธุ์ใหม่ที่ปรับปรุงพันธุ์ภายใต้ระบบอินทรีย์โดยคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ เกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างถั่วฝักยาวสีม่วงพันธุ์การค้า พันธุ์ Violet 969 กับ พันธุ์พื้นเมืองสีเขียว YL04 และผสมกลับไปทางพันธุ์ YL04 และคัดเลือกแบบบันทึกประวัติจำนวน 7ชั่วรุ่น ซึ่งตลอดกระบวนการพัฒนาพันธุ์นั้นดำเนินการในระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิด (Figure 1) ซึ่งมีลักษณะประจำพันธุ์คือ ใบกึ่งรูปไข่ มีสีเขียว ข้อดอกแรกบานที่ข้อที่ 10 อายุดอกแรกบานที่ 45 วัน ดอกมีสีม่วงอ่อน ฝักตรง ฝักสีม่วงแดง ความยาวฝัก 45-50 เซนติเมตร ผิวขรุขระเล็กน้อย รสชาติหวานกรอบ มีจำนวนเมล็ด 18 เมล็ดต่อฝัก เมล็ดมีสีแดงแต้มจุดขาวบริเวณปลายเมล็ด (Figure 1)

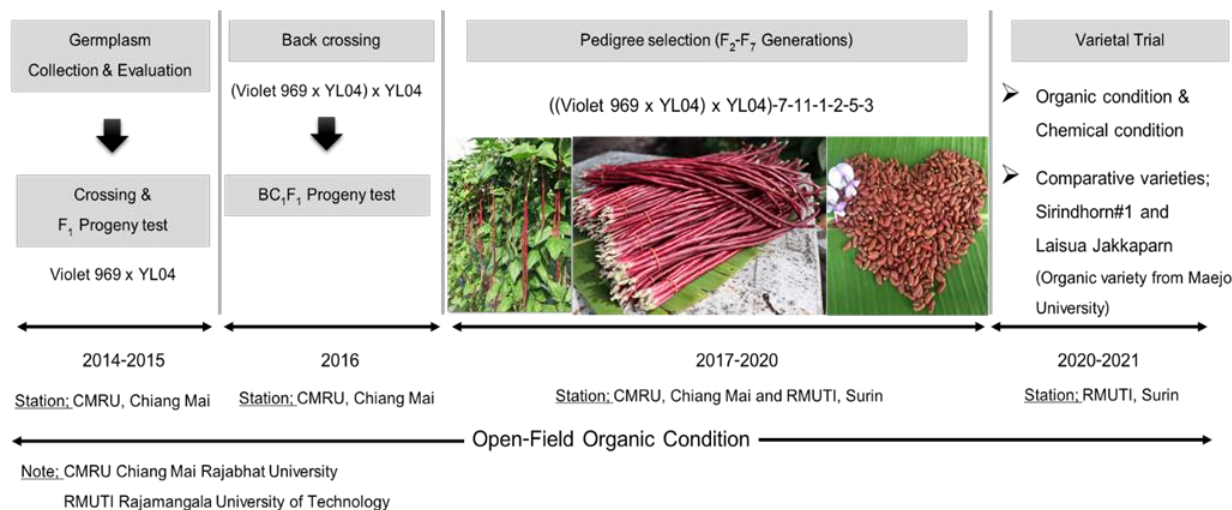


Figure 1 Schematic time framework for improving the new purple yardlong bean variety “Muang Rachanomgkol”.

การดูแลจัดการภายใต้ระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิด

เตรียมแปลงปลูกโดยหว่านปอเทืองในอัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่ออายุ 45 วัน จึงไถกลบทิ้งไว้อีก 1 เดือน แล้วไถแปร และไถพรวนขึ้นแปลง จากนั้นใช้ปุ๋ยหมักชีวภาพรองพื้นอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับจุลินทรีย์ท้องถิ่นอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และน้ำหมักจาวปลวก 10 ลิตรต่อไร่ โดยขึ้นแปลงขนาด 1x40x0.45 เมตร จากนั้นวางเทปน้ำหยดจำนวน 1 เส้นต่อแปลง คลุมด้วยพลาสติกคลุมแปลง หมักดินไว้เป็นเวลา 15 วัน จึงเจาะหลุมปลูกระยะ 50 x 50 เซนติเมตร หยอดเมล็ดจำนวน 3 เมล็ดต่อหลุม

เมื่อมีใบจริง 1 คู่ จึงถอนแยกเหลือ 1 ต้นต่อหลุม ให้อายุหมักชีวภาพที่อายุ 30 วัน หลังหยอดเมล็ด อัตรา 100 กรัมต่อต้น ฉีดพ่นน้ำหมักจากเศษปลาความเข้มข้น 1:500 โดยปริมาตร ทุกๆ 2 สัปดาห์ และเมื่อถั่วฝักยาวเริ่มออกดอกฉีดพ่นน้ำหมักจากผลไม้สุกความเข้มข้น 1:500 โดยปริมาตร ทุกๆ สัปดาห์ จนกระทั่งเก็บเกี่ยว ในส่วนการจัดการศัตรูพืชนั้น ใช้วิธีการสังเกตอาการของพืชและการเข้าทำลาย โดยพบการเข้าทำลายของเพลี้ยอ่อนและเพลี้ยไฟ ใช้สารสกัดสมุนไพรจากสะเดา สารสกัดสมุนไพรจากยาสูบ และน้ำส้มควันไม้ ฉีดพ่นสลับติดต่อกัน 2-3 วัน เมื่อพบการแพร่ระบาด

การดูแลจัดการภายใต้ระบบเคมีในโรงเรือน

วิธีการเตรียมแปลงและการปลูกเช่นเดียวกับการจัดการในระบบอินทรีย์ แต่รองพื้นโดยใช้ปุ๋ยคอกอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และปูนขาว อัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่ออายุ 30 วัน ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ ในการดูแลจัดการโรคแมลงนั้น ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ได้แก่ อิมิดาโคลพริด อัตรา 10 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร เมื่อพบการเข้าทำลายของเพลี้ยไฟและเพลี้ยอ่อน และฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา เบโนมิล 50% ดับเบิ้ลยูพี อัตรา 15-20 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตร เมื่อพบอาการใบจุด ใบไหม้ หรือราสนิม

การบันทึกข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลลักษณะทางสัณฐานวิทยาบางประการของถั่วฝักยาวตามข้อกำหนดของ National Plant Genetic Resources Laboratory [NPGRL, 2018] ได้แก่ ลักษณะการเจริญเติบโต รูปทรงใบ สีใบ ข้อดอกแรก อายุดอกบาน สีดอก รูปทรงฝัก สีฝัก และสีเมล็ด เป็นต้น สำหรับข้อมูลการเจริญเติบโต เริ่มบันทึกข้อมูลความยาวเถาหลังหยอดเมล็ด 2 สัปดาห์ โดยบันทึกติดต่อกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ และจำนวนแขนงเริ่มบันทึกในสัปดาห์ที่ 3 หลังหยอดเมล็ด โดยบันทึกติดต่อกันเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในด้านผลผลิตและคุณภาพผลผลิตนั้น เก็บเกี่ยวผลผลิตโดยเก็บฝักสดที่มีอายุ 14-15 วัน หลังดอกบาน สังเกตจากฝักที่โตเต็มที่ เนื้อแน่น ซึ่งเก็บฝักแบบวันเว้นวัน ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 30 วัน บันทึกข้อมูลจำนวนฝัก น้ำหนักสดรวม น้ำหนักฝัก ความกว้างฝัก ความยาวฝัก จำนวนเมล็ดต่อฝัก และความหวาน นอกจากนี้แล้วยังมีการประเมินความสม่ำเสมอของพันธุ์โดยให้ค่าคะแนน 1, 2, 3, 4 และ 5 คือมีความสม่ำเสมอเล็กน้อย น้อย ปานกลาง มาก และมากที่สุด ตามลำดับ รวมทั้งประเมินความแข็งแรงของถั่วฝักยาวในสภาพแปลงโดยให้คะแนน 1, 2, 3, 4 และ 5 คือ มีความแข็งแรงน้อย น้อย ปานกลาง มาก และมากที่สุด (Pandey et al., 2020)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะประจำพันธุ์

ภายใต้ระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิด และระบบเคมีในโรงเรือนนั้น ถั่วฝักยาวทั้ง 3 พันธุ์ ยังคงลักษณะประจำพันธุ์ที่เหมือนกันทั้งสองระบบ โดยถั่วฝักยาวพันธุ์ใหม่ “ม่วงราชมงคล” นั้น มีลักษณะประจำพันธุ์ที่แตกต่างจากพันธุ์เปรียบเทียบกับลักษณะของรูปร่างใบ อายุดอกบาน สีดอก สีฝัก และสีเมล็ด (Table 1 และ Figure 2) ซึ่งลักษณะของถั่วฝักยาวพันธุ์ม่วงราชมงคลยังคงลักษณะประจำพันธุ์ข้างต้นไว้ดังเดิมเช่นเดียวกับการปลูกทดสอบศักยภาพของพันธุ์ภายใต้ระบบอินทรีย์ในฤดูฝนของ Phaengsai et al. (2018) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 พันธุ์นั้นมีความคงตัวของพันธุ์ในลักษณะข้างต้นสูง และแสดงให้เห็นว่าลักษณะดังกล่าวข้างต้นเป็นลักษณะเชิงคุณภาพ ซึ่งสิ่งแวดล้อมไม่มีผล หรือมีผลต่อลักษณะนั้น ๆ เพียงเล็กน้อย

Table 1 Characteristic of the new purple yardlong bean variety ‘Muang Rachamongkol’ and comparative varieties under organic and chemical conditions

Characteristic	Muang Rachamongkol	Sirindhorn#1	Laisua Jakkaparn
Growth habit	Indeterminate	Indeterminate	Indeterminate
Leaf shape	Ovate-lanceolate	Deltoid	Deltoid
Leaf color	Green	Green	Dark green
First blooming node	10	10	8
Flowering date	45	40	38
Flower color	Light Purple	White	Purple
Pot shape	Long/Straight	Long/Straight	Long/Straight
Pot color	Light Purple	Dark purple	Green with a purple strip
Pot skin	Smooth	Smooth	Smooth
Seed color	Red with a white spot at the end	Red with a white stripe	Black with a white stripe

**Figure 2** Leaf, flower, pod, and seed characters of ‘Muang Rachamongkol’ (a), ‘Sirindhorn#1’ (b), and ‘Laisua Jakkaparn’ (c)

การเจริญเติบโต

ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต (สัปดาห์ที่ 2 หลังปลูก) ไม่พบอิทธิพลของพันธุ์ และปฏิกริยาร่วมระหว่างระบบการปลูก และพันธุ์ต่อความยาวเถา (Table 2) แต่พบว่าในสัปดาห์ที่ 3-6 หลังปลูกนั้น พบอิทธิพลของระบบปลูก พันธุ์ และปฏิกริยาร่วมระหว่างระบบการปลูกและพันธุ์ต่อความยาวเถา ซึ่งการปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมีในโรงเรือนส่งผลให้ถั่วฝักยาวมีความยาวเถามากกว่าการปลูกในระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิดทั้ง 5 สัปดาห์ โดยมีความยาวเถา คือ 21.16, 66.39, 154.41, 202.02 และ 244.61 เซนติเมตร ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Benchasri & Bairaman (2010) ที่พบว่าถั่วฝักยาวที่ปลูกภายใต้ระบบเคมีมีการเจริญเติบโตดีกว่าระบบอินทรีย์ สำหรับอิทธิพลของพันธุ์นั้น ถั่วฝักยาวพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 และพันธุ์ม่วงราชมงคลมีความยาวเถามากที่สุดในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 หลังปลูก ทั้ง 2 ระบบการปลูก โดยพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 มีความยาวเถาคือ 167.40 และ 224.36 เซนติเมตร ตามลำดับ และพันธุ์ม่วงราชมงคลมีความยาวเถาคือ 459.25 และ 224.36 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วยังพบว่าในสัปดาห์ที่ 6 พันธุ์ม่วงราชมงคลและพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 ที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมีในโรงเรือนมีความยาวเถาคือ 245.38 และ 256.88 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าพันธุ์ลายเสือจักรพันธ์ สอดคล้องกับการศึกษาเปรียบเทียบของ Phaengsai et al. (2018) ซึ่งพบว่าพันธุ์ลายเสือจักรพันธ์นั้นเมื่อมีความยาวเถาน้อยกว่าพันธุ์ม่วงราชมงคล และพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1

Table 2 Plant height in the 2nd - 5th weeks after planting of the new purple yardlong bean variety 'Muang Rachamongkol' and comparative varieties under open-field organic farming and chemicals management under plastic net-house

Conditions	Varieties	Plant height (cm.)				
		2 nd week	3 rd week	4 th week	5 th week	6 th week
Organic (open-field)		15.33 ^b	43.75 ^b	77.98 ^b	111.90 ^b	177.75 ^b
Chemical (plastic net-house)		21.16 ^a	66.39 ^a	154.41 ^a	202.02 ^a	244.61 ^a
	F-test	**	*	**	**	**
	Muang Rachamongkol	18.18	53.56 ^b	111.17 ^b	159.25 ^a	224.36 ^a
	Sirindhorn#1	19.53	67.92 ^a	129.53 ^a	167.40 ^a	224.36 ^a
	Laisua Jakkaparn	17.04	43.71 ^b	109.37 ^b	144.24 ^b	195.91 ^b
	F-test	ns	**	*	**	**
Organic (open-field)	Muang Rachamongkol	15.10	41.90 ^{cd}	76.71 ^{cd}	111.53 ^{cd}	181.15 ^{cd}
	Sirindhorn#1	15.80	56.55 ^{bc}	90.38 ^c	124.20 ^c	191.85 ^c
	Laisua Jakkaparn	15.10	32.80 ^d	69.84 ^d	99.97 ^d	160.25 ^d
Chemical (plastic net-house)	Muang Rachamongkol	21.25	65.22 ^{ab}	145.63 ^b	206.97 ^a	245.38 ^{ab}
	Sirindhorn#1	22.25	79.32 ^a	168.69 ^a	210.59 ^a	256.88 ^a
	Laisua Jakkaparn	18.97	54.63 ^{bc}	148.91 ^b	188.50 ^b	231.56 ^b
	F-test	ns	**	**	**	**
C.V. (%)		18.49	22.68	10.90	7.37	7.27

ns Not significantly different.

**, * Significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

Mean in the same column followed by the same letter are not significantly different by LSD at P=0.05.

สำหรับจำนวนกิ่งแขนงนั้นพบปฏิกริยาร่วมระหว่างระบบการปลูกและพันธุ์ถั่วฝักยาวตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 6 โดยพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 ที่ปลูกภายใต้ระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิดมีการเจริญเติบโตด้านการแตกกิ่งมากที่สุด และมีการแตกกิ่งเพิ่มขึ้นในทุกสัปดาห์ โดยมีจำนวนกิ่งในสัปดาห์ที่ 3-6 คือ 2.17, 4.67, 4.90 และ 5.33 กิ่ง ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะสัปดาห์ที่ 6 พบว่าพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 ที่ปลูกทั้ง 2 ระบบ และพันธุ์สายเสื่อจักรพันธ์ที่ปลูกภายใต้ระบบเคมีในโรงเรือนมีการแตกกิ่งแขนงมากที่สุด คือ 5.33, 5.41 และ 5.19 กิ่ง ตามลำดับ (Table 3)

ด้านอิทธิพลของพันธุ์ถั่วฝักยาวนั้นพบว่ามีผลทำให้จำนวนกิ่งแขนงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในสัปดาห์ที่ 3-6 โดยพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 ที่ปลูกทั้ง 2 ระบบนั้นมีจำนวนกิ่งแขนงมากที่สุด คือ 2.01, 3.84, 4.43 และ 5.37 กิ่ง ตามลำดับ และพันธุ์ม่วงราชมงคลมีจำนวนกิ่งแขนงรองลงมาทั้ง 4 สัปดาห์ นอกจากนี้ในส่วนของปฏิกริยาร่วมของระบบการผลิตพบว่าไม่มีผลต่อจำนวนกิ่งแขนงในสัปดาห์ที่ 3 และ 5 แต่มีผลทำให้กิ่งแขนงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในสัปดาห์ที่ 4 และแตกต่างทางสถิติในสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งในสัปดาห์ที่ 4 นั้น พบว่าการปลูกภายใต้ระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิดมีจำนวนกิ่งแขนงมากที่สุด คือ 3.71 กิ่ง อย่างไรก็ตามกลับพบว่าในสัปดาห์ที่ 6 การปลูกภายใต้ระบบเคมีในโรงเรือนมีจำนวนกิ่งแขนงมากที่สุด คือ 5.22 กิ่ง ซึ่งเมื่อพิจารณาอัตราการแตกกิ่งแขนงของถั่วฝักยาวทั้ง 4 สัปดาห์ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ถั่วฝักยาวที่ปลูกในระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิดมีการแตกกิ่งแขนงรวดเร็วกว่าการปลูกภายใต้ระบบเคมีในโรงเรือน ซึ่งอาจเกิดจากการปลูกในระบบอินทรีย์นั้น ปุ๋ยอินทรีย์จะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ (Ullah et al., 2023) ทำให้ถั่วฝักยาวเจริญเติบโตด้านลำต้นและใบน้อยแต่เกิดการแตกกิ่งแขนงได้เร็วกว่า แตกต่างจากระบบเคมีที่มีการให้ปุ๋ยเคมี ซึ่งส่งผลให้มีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบรวดเร็วกว่า เมื่อเข้าสู่ระยะการเจริญพันธุ์จึงเริ่มมีการแตกกิ่งแขนงดีกว่า สอดคล้อง B da Cunha et al., (2020) ซึ่งได้อธิบายลักษณะการเจริญเติบโตของถั่วฝักยาวในรูปแบบการผสมน้ำหนักราก โดยในระยะแรกการผสมน้ำหนักรากทั้งส่วนของราก ลำต้น และใบนั้นมีน้อย และเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างอายุ 30-50 วันหลังปลูก จากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และระยะที่ถั่วฝักยาวต้องการปุ๋ยมากที่สุดคือช่วงอายุ 20-45 วันหลังปลูก เนื่องจากในระบบเคมีนั้นมีการให้ปุ๋ยสูตร 13-13-21 ในอัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 30 วันหลังปลูก ซึ่งตรงกับระยะที่ถั่วฝักยาวเริ่มเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์และการผสมน้ำหนักรากอย่างรวดเร็วทั้งส่วนของลำต้นและใบ

Table 3 Number of branches in the 3rd - 6th weeks after planting of the new purple yardlong bean variety 'Muang Rachamongkol' and comparative varieties under open-field organic farming and chemicals management under plastic net-house

Conditions	Varieties	Number of branches			
		3 rd week	4 th week	5 th week	6 th week
Organic (open-field)		1.76	3.71 a	4.08	4.51 b
Chemical (plastic net-house)		1.73	2.94 b	3.91	5.22 a
	F-test	ns	**	ns	*
	Muang Rachamongkol	1.61 b	3.44 b	4.06 b	4.78 b
	Sirindhorn#1	2.01 a	3.84 a	4.43 a	5.37 a
	Laisua Jakkaparn	1.62 b	2.70 c	3.49 c	4.45 c
	F-test	**	**	**	**
Organic (open-field)	Muang Rachamongkol	1.40 c	3.97 b	4.31 b	4.50 c
	Sirindhorn#1	2.17 a	4.67 a	4.90 a	5.33 ab
	Laisua Jakkaparn	1.70 bc	2.48 c	3.04 d	3.71 d
Chemical (plastic net-house)	Muang Rachamongkol	1.82 ab	2.91 c	3.82 c	5.07 b
	Sirindhorn#1	1.85 ab	3.01 c	3.97 bc	5.41 a
	Laisua Jakkaparn	1.55 bc	2.91 c	3.94 bc	5.19 ab
	F-test	*	**	**	**
C.V. (%)		13.94	9.65	6.33	4.41

ns Not significantly different.

**, * Significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

Mean in the same column followed by the same letter are not significantly different by LSD at P=0.05.

ผลผลิตและคุณภาพผลผลิต

ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตและพันธุ์ต่อจำนวนฝัก น้ำหนักฝักรวม น้ำหนักต่อฝัก ความกว้างฝัก และจำนวนเมล็ดต่อฝัก โดยมีจำนวนฝักระหว่าง 19.53-38 ฝัก น้ำหนักฝักรวมระหว่าง 421.70-882.15 กรัม/ต้น น้ำหนักฝักระหว่าง 25.42-30.70 กรัม ความกว้างฝักระหว่าง 0.84-0.89 เซนติเมตร และจำนวนเมล็ดต่อฝักระหว่าง 14.51-16.67 เมล็ด ตามลำดับ ยกเว้นความยาวฝักที่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยการพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 ที่ปลูกในระบบอินทรีย์และเคมี และพันธุ์ลายเสือจักรพันธ์ที่ปลูกในระบบเคมีนั้นมีความยาวฝักมากที่สุด คือ 54.17, 51.23 และ 52.64 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 4)

สำหรับอิทธิพลของพันธุ์พบว่าพันธุ์ไม่มีผลทำให้จำนวนฝักรวม น้ำหนักฝักรวม น้ำหนักต่อฝัก ความกว้างฝัก และจำนวนเมล็ดต่อฝักแตกต่างทางสถิติ โดยมีจำนวนฝักรวมระหว่าง 26.73-29.53 ฝัก น้ำหนักฝักรวมระหว่าง 611.83-641.45 กรัม/ต้น น้ำหนักฝักระหว่าง 26.41-28.06 กรัม ความกว้างฝักระหว่าง 0.86-0.89 เซนติเมตร และจำนวนเมล็ดต่อฝักระหว่าง 15.53-16.26 เมล็ด ยกเว้นความยาวฝักซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 และพันธุ์ลายเสือจักรพันธ์ มีความยาวฝักมากกว่าคือ 52.70 และ 51.56 เซนติเมตร ตามลำดับ

ในส่วนของอิทธิพลของระบบปลูกพบว่าระบบการผลิตที่แตกต่างกันมีผลทำให้จำนวนฝัก น้ำหนักฝักรวม และน้ำหนักต่อฝัก มีความแตกต่างทางสถิติ โดยการปลูกภายใต้ระบบเคมีในโรงเรือนมีผลทำให้จำนวนฝัก น้ำหนักฝักรวม และน้ำหนักฝัก คือ 34.91 ฝัก 815.11 กรัม/ต้น และ 27.67 กรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามไม่พบอิทธิพลต่อความยาวฝัก ความกว้างฝัก และจำนวนเมล็ดต่อฝัก

ซึ่งเมื่อพิจารณาการร่วมระหว่างการเจริญเติบโตและผลผลิต พบว่าความยาวเถาวัลย์นั้นมีการตอบสนองต่อระบบการผลิตในทิศทางเดียวกันกับผลผลิต ซึ่งผลผลิตในระบบเคมีที่มีมากกว่าระบบอินทรีย์อาจเกิดจากความยาวเถาวัลย์ที่ปลูกภายใต้ระบบเคมีในโรงเรือนมากกว่าการปลูกในระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิด เพราะเถาวัลย์มีการติดดอกออกผลบริเวณข้อ ดังนั้นเมื่อมีความยาวต้นมากกว่า จึงส่งผลให้มีจำนวนข้อที่มากกว่า นอกจากนี้แล้วระยะปลูกที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อนำมาคำนวณจำนวนต้นต่อไร่ นั้นจะสามารถปลูกเถาวัลย์ได้ 4,160 ต้น/ไร่ และเมื่อนำมาคำนวณหาผลผลิตต่อพื้นที่ พบว่าการผลิตเถาวัลย์ภายใต้ระบบเคมีในโรงเรือนให้ผลผลิตสูงถึง 3,390 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งสูงกว่าการผลิตเถาวัลย์ภายใต้ระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิดที่ให้ผล

ผลิตเพียง 1,893 กิโลกรัม/ไร่ อย่างไรก็ตามถึงแม้ผลผลิตจะต่ำกว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานข้อมูลภาวะการผลิตพืชของกรมวิชาการเกษตรที่รายงานไว้ว่าถั่วฝักยาวให้ผลผลิตเฉลี่ย 865 กิโลกรัม/ไร่ (DOAE, 2019) ซึ่งเป็นถั่วฝักยาวที่ผลิตภายใต้ระบบทั่วไป ซึ่งใช้สารเคมีเป็นหลัก

การตอบสนองของพันธุ์ถั่วฝักยาวที่ปลูกภายใต้ระบบอินทรีย์และเคมีมีความแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอื่นๆ ที่พบว่า การตอบสนองของพันธุ์ถั่วฝักยาวต่อสภาพการผลิตนั้นแตกต่างกัน (Chanapan et al., 2016; Benchasri & Bairaman, 2010) สำหรับลักษณะของถั่วฝักยาวที่ศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ ความยาวเถา จำนวนกิ่งแขนง จำนวนฝัก น้ำหนักสดรวม น้ำหนักฝัก ความกว้างฝัก ความยาวฝัก และจำนวนเมล็ดต่อฝักของถั่วฝักยาวทั้ง 3 พันธุ์ภายใต้ระบบอินทรีย์และเคมีนั้นมีการตอบสนองที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าลักษณะดังกล่าวข้างต้นนั้นสิ่งแวดล้อมมีผลต่อการแสดงออก ซึ่งมีขึ้นควบคุมหลายคู่ และเป็นลักษณะเชิงปริมาณ (Srinives & Chatwachirawong, 2005) นอกจากนี้แล้วเห็นได้ว่าบางลักษณะของพันธุ์ถั่วฝักยาวมีการตอบสนองต่อระบบการผลิตเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แสดงว่าลักษณะดังกล่าวข้างต้นมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งมีรายงานว่าลักษณะเชิงปริมาณในถั่วฝักยาวนั้น ตำแหน่งของยีนที่ควบคุมลักษณะต่างๆ หลายลักษณะมีความเชื่อมโยงกัน (Kongjaimun et al., 2012)

มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ต่างๆ ได้ระบุไว้ว่าพันธุ์ที่ใช้ในการผลิตพืชภายใต้ระบบอินทรีย์นั้นต้องเป็นพันธุ์ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีมาตรฐาน ไม่อนุญาตให้ใช้พันธุ์พืชที่ใช้วิธีการตัดต่อพันธุกรรม (Nuijten et al., 2017; ACT, 2019) สำหรับกระบวนการปรับปรุงพันธุ์ฝักที่เหมาะสมสำหรับการผลิตภายใต้ระบบอินทรีย์นั้นมีขั้นตอนการดำเนินการเหมือนกับการปรับปรุงพันธุ์พืชในระบบมาตรฐานทั่วไป แต่มุ่งเน้นการคัดเลือกพันธุ์ที่มีความสามารถในการปรับตัวสูง ดังนั้นการดำเนินการปรับปรุงพันธุ์ฝักภายใต้ระบบอินทรีย์ตลอดกระบวนการจะช่วยให้สามารถคัดเลือกพันธุ์ที่ตอบสนองต่อระบบการผลิตแบบอินทรีย์ได้ดีขึ้น (Zdravkovic et al., 2010; White & Connolly, 2011; Maghirang et al., 2017) ซึ่งถั่วฝักยาวพันธุ์ใหม่พันธุ์ม่วงราชมงคลนั้นได้ดำเนินการปรับปรุงพันธุ์ตั้งแต่การผสมพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์ภายใต้ระบบอินทรีย์มาโดยตลอด โดยเฉพาะการคัดเลือกแบบบันทึกประวัติจำนวน 7 ช่วงนั้น ใช้ระยะเวลา 3 ปี ปลูกคัดเลือกทั้งในฤดูฝน และฤดูแล้ง ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดสุรินทร์ ซึ่งความแตกต่างทั้งฤดูกาลและพื้นที่ปลูก ส่งผลให้สามารถคัดเลือกพันธุ์ที่นอกจากให้ผลผลิตและคุณภาพผลผลิตที่ดีแล้ว ยังเป็นพันธุ์ที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่หลากหลายได้ดีอีกด้วย ดังนั้นเมื่อปลูกทดสอบพันธุ์ร่วมกับพันธุ์ทดสอบคือพันธุ์เปรียบเทียบกับพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 และพันธุ์ลายเสือจักรพันธ์ ซึ่งเป็นพันธุ์แท้จึงให้ผลผลิตไม่แตกต่างจากทั้งสองพันธุ์ทั้งภายใต้ระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิดและภายใต้ระบบเคมีในโรงเรือน โดยทั้งสามพันธุ์มีผลผลิตเฉลี่ยภายใต้ระบบอินทรีย์ ระหว่าง 421.70-474.70 กรัม/ต้น ซึ่งถือได้ว่าให้ผลผลิตค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Benchasri & Bairaman (2010) ที่นำพันธุ์การค้า 20 พันธุ์ มาทดสอบภายใต้ระบบอินทรีย์ ซึ่งมีผลผลิตเฉลี่ยระหว่าง 19.35-104.91 กรัม/ต้น เนื่องจากพันธุ์การค้าดังกล่าวเป็นพันธุ์ที่ดำเนินการปรับปรุงพันธุ์ภายใต้ระบบเคมีมาโดยตลอด เป็นระยะเวลาหลายปี ซึ่งอาจส่งผลต่อการแสดงออกของพันธุ์นั้น ๆ ที่ตอบสนองต่อระบบการผลิตแบบอินทรีย์ได้น้อย

Table 4 Number of the pod, total pod weight, pod weight, pod length, pod width, and number of seeds per pod of the new purple yardlong bean variety ‘Muang Rachamongkol’ and comparative varieties under open-field organic farming and chemicals management under plastic net-house

Conditions	Varieties	No. of pod	Total pod weight (g/plant)	Pod weight (g/pot)	Pod length (cm)	Pod width (cm)	No. of seed per pot
Organic (open-field)		20.70 b	454.76 b	25.85 b	51.18	0.86	15.02
Chemical (plastic net-house)		34.91 a	815.11 a	27.67 a	50.98	0.88	16.98
F-test		*	**	*	ns	ns	ns
	Muang	27.15	611.83	26.41	48.99 b	0.88	16.26
	Rachamongkol						
	Sirindhorn#1	29.53	641.05	25.82	52.70 a	0.86	16.23
	Laisua Jakkaparn	26.73	611.83	28.06	51.56 a	0.89	15.53
F-test		ns	ns	ns	**	ns	ns

Organic (open-field)	Muang Rachamongkol	21.50	468.17	25.59	48.89 c	0.88	14.78
	Sirindhorn#1	21.07	474.70	26.54	54.17 a	0.84	15.79
	Laisua Jakkaparn	19.53	421.70	25.42	50.48 bc	0.88	14.51
	F-test	ns	ns	ns	*	ns	ns
Chemical (plastic net-house)	Muang Rachamongkol	32.80	755.48	27.22	49.08 c	0.88	17.73
	Sirindhorn#1	38.00	807.69	25.09	51.23 abc	0.89	16.67
	Laisua Jakkaparn	33.93	882.15	30.70	52.64 ab	0.89	16.54
	F-test	ns	ns	ns	*	ns	ns
C.V. (%)		12.83	25.15	6.99	3.60	5.23	9.25

ns Not significantly different.

**, * Significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

Mean in the same column followed by the same letter are not significantly different by LSD at P=0.05.

ความสม่ำเสมอของพันธุ์และความแข็งแรงของพืช

จากการประเมินความสม่ำเสมอของพันธุ์โดยให้ค่าคะแนน 1-5 นั้น พบว่า ทั้งสามพันธุ์ที่ปลูกทดสอบมีความสม่ำเสมอของพันธุ์อยู่ในระดับมากที่สุด คือมีค่าคะแนน 5 คะแนน ทั้งภายใต้ระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิดและระบบเคมีในโรงเรือน (Table 5) สำหรับความแข็งแรงของพืชนั้นไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตและพันธุ์ และอิทธิพลของระบบการผลิตต่อค่าคะแนนความแข็งแรงของถั่วฝักยาว แต่พบอิทธิพลของพันธุ์ต่อค่าคะแนนความแข็งแรงของถั่วฝักยาวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) โดยพันธุ์ม่วงราชมงคล และพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 มีค่าคะแนนความแข็งแรงมากที่สุด คือ 4.00 และ 4.50 คะแนน ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่าถั่วฝักยาวที่ปลูกภายใต้ระบบเคมีในโรงเรือนมีแนวโน้มค่าคะแนนความแข็งแรงน้อยกว่าการปลูกภายใต้ระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิด

นอกจากลักษณะการเจริญเติบโต และผลผลิตแล้ว การปลูกทดสอบพันธุ์ใหม่ควรมีประเมินการเกิดโรค หรือการประเมินความแข็งแรงของพันธุ์ โดยให้ค่าคะแนนระดับ 1-5 (Sinsiri & Sinsiri, 2012; Pandey et al., 2020) ซึ่งค่าคะแนนความแข็งแรงนั้น พบว่าพันธุ์ม่วงราชมงคลและพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีฝักสีม่วงแดง และสีม่วง ตามลำดับนั้นมีค่าคะแนนความแข็งแรงมากกว่าพันธุ์ลายเสือจักรพันธ์ โดยมีจำนวนต้นเป็นโรคโคนเน่า และการเข้าทำลายของเพลี้ยอ่อนน้อยกว่า และเมื่อพิจารณาลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าทั้งสองพันธุ์นั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นบริเวณโคนต้นน้อยกว่าพันธุ์ลายเสือจักรพันธ์มากกว่ารวมทั้งพันธุ์ลายเสือจักรพันธ์ยังมีลักษณะใบที่อวบหนากว่าอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม พันธุ์เหล่านี้ควรมีความคงที่ทางพันธุกรรมเพื่อให้เกิดความยั่งยืนซึ่งเป็นพันธุ์แท้ที่เกษตรกรสามารถเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้เองได้ (Khamsee et al., 2018) จากการศึกษาในครั้งนี้เห็นได้ว่าถั่วฝักยาวพันธุ์ใหม่มีความคงที่ทางพันธุกรรมจากค่าคะแนนความสม่ำเสมอของพันธุ์ที่มีค่าสูงเช่นเดียวกับพันธุ์เปรียบเทียบ แสดงให้เห็นได้ว่าถั่วฝักยาวพันธุ์ใหม่สามารถนำไปส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปใช้ผลิตเป็นผลผลิตสดและเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้เองได้

Table 5 Uniformity point, and plant vigour point of the new purple yardlong bean variety ‘Muang Rachamongkol’ and comparative varieties under open-field organic farming and chemicals management under plastic net-house

Conditions	Varieties	Uniformity point	Plant vigour point
Organic (open-field)		5	4.25
Chemical (plastic net-house)		5	3.75
	F-test	ns	ns
	Muang Rachamongkol	5	4.00 ^{ab}
	Sirindhorn#1	5	4.50 ^a
	Laisua Jakkaparn	5	3.50 ^b
	F-test	ns	**

Organic (open-field)	Muang Rachamongkol	5	4.25
	Sirindhorn#1	5	4.75
	Laisua Jakkaparn	5	3.75
Chemical (plastic net-house)	Muang Rachamongkol	5	3.75
	Sirindhorn#1	5	4.25
	Laisua Jakkaparn	5	3.25
F-test		ns	ns
C.V. (%)		0.00	13.18

ns not significantly different.

** Significant at 0.01 probability level.

Mean in the same column followed by the same letter are not significantly different by LSD at P=0.05.

สรุปผลการศึกษา

ถั่วฝักยาวสีม่วงพันธุ์ใหม่ “ม่วงราชมงคล” มีลักษณะประจำพันธุ์ที่แตกต่างอย่างชัดเจนกับถั่วฝักยาวพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 และพันธุ์สายเลือดจักรพันธ์ ทั้งอายุดอกบาน สีดอก สีฝัก ตลอดจนสีเมล็ด สำหรับการเจริญเติบโตนั้นพบว่าการปลูกในระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิด และระบบเคมีในโรงเรือนนั้นพันธุ์ม่วงราชมงคลมีความยาวเถาใกล้เคียงกันกับพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 แต่มีจำนวนกิ่งแขนงน้อยกว่า นอกจากนี้ในด้านผลผลิตนั้นไม่แตกต่างกันกับทั้ง 2 พันธุ์โดยมีจำนวนฝัก 27.15 ฝัก และน้ำหนักสดรวม 611.83 กรัม/ต้น แต่มีความยาวเพียง 48.99 เซนติเมตร ซึ่งสั้นกว่าทั้งสองพันธุ์ อย่างไรก็ตามเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการผลิตภายใต้ระบบเคมีในโรงเรือนนั้นถั่วฝักยาวทั้งสามพันธุ์ให้ผลผลิตสูงกว่าการผลิตในระบบอินทรีย์แบบแปลงเปิด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนในการรวบรวมและปลูกประเมินเชื้อพันธุ์กรรมถั่วฝักยาวภายใต้ระบบอินทรีย์เพื่อคัดเลือกพันธุ์พ่อแม่จากโครงการอนุรักษ์เชื้อพันธุ์กรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ และคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สำหรับพื้นที่ในการดำเนินการปรับปรุงพันธุ์และปลูกทดสอบพันธุ์ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- B da Cunha, A. L., Chaves, F. C. M., Kano, C., Braga, I. G., & R de Oliveira, M. (2020). Nutrient uptake rate for yardlong bean. *Horticultura Brasileira*, 38, 175-184.
- Chanapan, D. & Benchasri, S. (2015). Seed germination test of 43 varieties of yardlong bean and cowpea. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 43(1), 863-868. (in Thai).
- Chanapan, D., Benchasri, S., Simla, S., Siritrakulsak, P., & Sanputawong, S. (2016). Comparison of some responses on yardlong bean and cowpea under two production system. *Songklanakarin Journal of Plant Science*, 3(Speciall III), 1-9. (in Thai).
- Department of Internal Trade. (2020). **Organic Product Prices**. Retrieved from: https://agri.dit.go.th/index.php/doc_file_view/34. (in Thai).
- Department of Agricultural Extension. (2020). **Agricultural Production Information System**. Retrieved from: <https://production.doae.go.th/service/data-state-product/index?>. (in Thai).
- Ha, T. J., Lee, M. H., Park, C. H., Pae, S. B., Shim, K. B., Ko, J. M., Shin, S. O., Baek, I. Y., & Park, K. Y. (2010). Identification and characterization of anthocyanins in yard-long beans (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis* L.) by high-performance liquid chromatography with diode array detection and electrospray ionization2mass spectrometry (HPLC-DAD-ESI/MS) analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 2571-2576.
- Khamsee, Y., Tancho, A., Wicharatana, C., Saengyot, S., Thonnalak, T., Bunmark, J., & Chaiwet, W. (2018). **Maejo Organic Agriculture**. The Office of Agricultural Research and Extension Maejo University, Maejo University. (in Thai).
- Knowledge Base Maejo University. (2020). **Plant and Animal Varieties Database, Maejo University**. Retrieved from: <https://researchex.mju.ac.th/dbplant/index.php/horticulture/vegetable>. (in Thai).

- Liaotrakoon, W., Liaotrakoon, V., Peanleangchep, P., & Duamkhanmanee, R. (2020). Detection of organophosphate and carbamate pesticide residues in fresh vegetables in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province and effectiveness of washing methods on pesticide residues in Kale. **King Mongkut's Agricultural Journal**, 38(1), 131-138. (in Thai).
- Poophalee, T., Wongwattanasathien, O., Arparsirithongsakul, S., & Supuntee, M. (2016). Prevalence of pesticide residues in vegetables from markets and supermarkets in Muang District, Maha Sarakham Province. **Thai Journal of Pharmacy Practice**, 8(2), 399-409. (in Thai).
- Phaengsai, P., Noorinrum, N., & Chutthasing, A. (2018). **Varietal Trial in Yardlong Bean Under Open Field in Organic Farming**. Bachelor of Science (Special problem project in Plant Science). Rajamangala University of Technology Isan. (in Thai).
- Prasopsuk, J., Saisuphan, P., & Srisawangwong, W. (2014). Analysis of pesticide residues in vegetables and fruits for the certification of Good Agricultural Practice in upper Northeast Thailand. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 42 (2), 430-439. (in Thai).
- Sanyapueng, S., & Lauprasert, P. (2017). Reduction of methomyl insecticide in yardlong bean by soaking with crude extracts of *Thumbergia laurifolia* (Linnaeus) and *Tiliacora triandra* (Colebr) Diels. **KKU Journal for Public Health Research**, 10(10), 38-46. (in Thai).
- Sinsiri, N., & Sinsiri, W. (2012). Standard yield trials for cowpea development to the new variety (MSU2). **Khon Kaen Agriculture Journal**, 42(2), 53-58. (in Thai).
- Srinives, P., & Chatwachirawong, P. (2005). **Quantitative Genetics with Application to Plant Breeding**. Office of the University Library, Kasetsart University. (in Thai).
- Sriwattanapong, S. (2010). **Plant Breeding**. Office of the University Library, Kasetsart University. (in Thai).
- Benchasri, S., & Bairaman, B. (2010). Evaluation of yield, yield components and consumers' satisfaction towards yardlong bean and cowpea in agricultural organic system. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, 16(6), 705-712.
- Kongjaimun, A., Kaga, A., Tomooka, N., Somta, P., Vaughan, D. A., & Srinives, P. (2012). The genetics of domestication of yardlong bean, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ssp. *unguiculata* cr.-gr. *sesquipedalis*. **Annals of Botany**, 109, 1185-1200.
- Lestari, M. W., Kuswanto, Wardiati, T., & Widorentno, W. (2015). Morphological characteristic of purple long yard bean cultivars and their tolerance to drought stress. **Journal of Degraded and Mining Lands Management**, 2(2), 281-288.
- Maghirang, R., Brulla, M. E., Rodulfo, G., Madrid, I. J., & Bartolome, C. P. (2017). Organic plant breeding: a key to improved vegetable yield and safe food. **Horticulturae**, 3(4), 1-8.
- National Plant Genetic Resources Laboratory. (2018). **NPGR Yardlong Bean Descriptor List**. Retrieved from: <https://www.genesys-pgr.org/descriptorlists/a3573fc4-fd60-4152-829c-c5d304e1dbb6>.
- Nuijten, E., Messmer, M. M., & Lammerts van Bueren, E. T. (2017). Concepts and strategies of organic plant breeding in light of novel breeding techniques. **Sustainability**, 9(18), 1-19.
- Organic Agriculture Certification Thailand. (2019). **Certification Alliance Organic Standard Version 1.0 06 Nov 2019**. Retrieved from: http://actorganic-cert.or.th/wp-content/uploads/2020/02/CertAll_Std_v-1.0.pdf. (in Thai).
- Pandey, S., Shrestha, S. L., Gautam, I. P., Dhakal, M., & Sapkota, S. (2020). Evaluation of yardlong bean (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis*) genotypes for commercial production in the Central Mid Hills Region of Nepal. **Nepalese Horticulture**, 14, 43-47.
- Ullah, H., Sarfraz, M., Muteen, A., Umar, A., Khan, M. U., Nawaz, H., Bashir, M., Sohail, A., Luqman, M., Rasheed, A., Ulfat, Z., Ullah, A., & Khan, M. S., (2023). Natural and processed organic fertilizer. **BIOMEDICAL Journal of Scientific & Technical Research**, 49(4), 40852-40857.
- White, R., & Connolly, B. (2011). **Breeding Organic Vegetables; A Step-By-Step Guide for Growers**. Northeast Organic Farming Association of New York, Inc.
- Zdravkovic, J., Pavlovic, N., Girek, Z., Zdravkovic, M., & Cvikic, D. (2010). Characteristics important for organic breeding of vegetable crops. **Genetika**, 42(2), 223-233.

ผลของเมทิลจัสโมเนตต่อคุณภาพ และปริมาณสารพฤกษเคมีในผลหม่อนพันธุ์กำแพงแสน 42 ภายหลังการเก็บเกี่ยว

Effects of Methyl Jasmonate on Quality and Phytochemical Contents of Postharvest 'Kamphaeng Saen 42' Mulberry Fruit

ลัดดาวัลย์ คำมะปะนา^{1*}Laddawan Kammaphana^{1*}

Received date: 10 ก.ย. 66 Revised date: 22 ก.ย. 66 Accepted date: 23 ก.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.012>

บทคัดย่อ

ผลหม่อนพันธุ์กำแพงแสน 42 เป็นหม่อนรับประทานผลสดที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหาร แต่มีอายุการเก็บรักษาสั้นเพียง 1-2 วัน ภายใต้สภาพอุณหภูมิห้อง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเมทิลจัสโมเนตต่อคุณภาพ และปริมาณสารพฤกษเคมีในผลหม่อนพันธุ์กำแพงแสน 42 ภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยรมผลหม่อนด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 10 และ 20 μmolL^{-1} ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 $\pm$ 2 นาน 8 วัน ผลการทดลองพบว่าการรมผลหม่อนด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น 10 μmolL^{-1} มีประสิทธิภาพในการชะลอการสูญเสียน้ำหนัก และผลหม่อนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตทุกระดับความเข้มข้นมีแนวโน้มลดการเกิดโรคได้ดีกว่าชุดควบคุม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้การรมผลหม่อนด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น 10 μmolL^{-1} มีปริมาณสารพฤกษเคมีและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นโดยมีปริมาณกรดแอสคอบิก และปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเพิ่มมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) ส่วนการรมผลหม่อนด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น 20 μmolL^{-1} มีการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้เมทิลจัสโมเนตมีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพ และเพิ่มปริมาณสารพฤกษเคมีในผลหม่อนพันธุ์กำแพงแสน 42 ภายหลังการเก็บเกี่ยวได้

คำสำคัญ: เมทิลจัสโมเนต ผลหม่อนพันธุ์กำแพงแสน 42 สารพฤกษเคมี คุณภาพ

Abstract

The 'Kamphaeng Saen 42' mulberry fruit is consumed fresh and is rich in nutrients. However, it has a short shelf life of only 1-2 days under room temperature conditions. This research aimed to study the effects of methyl jasmonate (MeJA) on quality and phytochemical content of postharvest 'Kamphaeng Saen 42' mulberry fruit. The fruits were fumigated with 0 (control), 10, and 20 μmolL^{-1} MeJA at 20 °C for 6 h, then stored at 10 $\pm$ 2 °C, 90 $\pm$ 2 relative humidity (RH) for 8 days. The results showed that fruits treated with 10 μmolL^{-1} MeJA were most effective in retarding weight loss, and all treated fruits tended to exhibit reduced spoilage compared to the control, although the differences were not significant. Additionally, fruit treated with 10 μmolL^{-1} MeJA showed a significant increase in phytochemicals and antioxidant activities; their total ascorbic acid and total phenolic contents were higher than in other treatments ($p < 0.01$). Fruit treated with 20 μmolL^{-1} MeJA had a significantly increased skin color change ($p < 0.05$), resulting in the highest anthocyanin content. These results suggested that MeJA treatment effectively maintains quality and boosts phytochemical content in postharvest 'Kamphaeng saen 42' mulberry fruit.

Keywords: methyl jasmonate, 'Kamphaeng Saen 42' mulberry fruit, phytochemicals, quality

¹ สาขาพืชศาสตร์ สิ่งทอและการออกแบบ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 32000

¹ Division of Plant Science Textiles and Design, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Surin Campus, Muang, Surin 32000

* Corresponding author: noihort2526@gmail.com, Laddawan.ka@rmuti.ac.th

คำนำ

ผลหม่อนหรือมัลเบอร์รี่เป็นไม้ผลที่จัดอยู่ในวงศ์ Moraceae มีถิ่นกำเนิดในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน จากนั้นได้แพร่กระจายและมีการปลูกกันแพร่หลายทั่วโลก โดยเฉพาะแถบทวีปเอเชีย แอฟริกา และอเมริกา เป็นต้น (Khan et al., 2013) สำหรับการปลูกหม่อนในประเทศไทยในอดีตปลูกเพื่อใช้ประโยชน์จากใบในการเลี้ยงไหมเป็นหลัก แต่ปัจจุบันมีการปลูกหม่อนสายพันธุ์ที่บริโภคผลสด เช่น พันธุ์เซียงใหม่ 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์นครราชสีมา 60 และพันธุ์กำแพงแสน 42 ฯลฯ เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นที่นิยมและต้องการของกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพ ผลหม่อนอุดมไปด้วยสารแอนโทไซยานิน แคโรทีน สารประกอบฟีนอล และวิตามินซี ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันการเกิดโรคมะเร็งต่าง ๆ โรคเบาหวาน โรคความจำเสื่อม โรคโลหิตจาง เป็นต้น (Butkhup, 2012) นอกจากนี้ยังสามารถนำผลหม่อนมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น แยม ไอศกรีม น้ำหม่อนสกัดเข้มข้น และไวน์ (Priya, 2012) อย่างไรก็ตามแม้ผลหม่อนสดจะเป็นที่ต้องการของตลาด แต่กลับมีอายุการเก็บรักษาและอายุการวางจำหน่ายสั้นเพียง 1-2 วัน ภายใต้อากาศอุณหภูมิห้อง เนื่องจากผลมีน้ำเป็นองค์ประกอบมาก ผลบอบช้ำ แตกง่าย ซึ่งทำให้อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวมีหลายงานวิจัยได้ศึกษาการประยุกต์ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เช่น เมทิลจัสโมเนต กรดซาลิไซลิก และจิบเบอเรลลิน ในการลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตสดทางพืชสวนหลายชนิด (Valverde et al., 2015; Ozkan et al., 2016., Gimenez et al., 2017) รวมถึงเมทิลจัสโมเนต ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่จัดอยู่ในกลุ่มจัสโมเนตมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโต กระตุ้นการสุกของผลไม้ การร่วงและการหลุดร่วงของใบ ยับยั้งการงอกและการเจริญของราก และเกี่ยวข้องกับเพิ่มความต้านทานให้กับพืชเพื่อตอบสนองต่อสิ่งรบกวนจากภายนอก เช่น ความเครียดต่าง ๆ บาดแผล และการเข้าทำลายของโรคและแมลง เป็นต้น นอกจากนี้เมทิลจัสโมเนตยังกระตุ้นให้พืชมีการสังเคราะห์สารพฤกษเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ขึ้นมาด้วย (Ho et al., 2020) จากการศึกษาที่ผ่านมาวิจัยงานว่าการใช้เมทิลจัสโมเนตมีประสิทธิภาพในการลดการเน่าเสีย ยืดอายุการเก็บรักษา และกระตุ้นการสังเคราะห์สารพฤกษเคมีในผลไม้ตระกูลเบอร์รี่หลายชนิด เช่น บลูเบอร์รี่ (Wang et al., 2019) และหยาบเหมย (Wang et al., 2014) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้เมทิลจัสโมเนตในการลดการเน่าเสีย รักษาคุณภาพและกระตุ้นการสังเคราะห์สารพฤกษเคมีในผลหม่อนภายหลังการเก็บเกี่ยวยังมีการตีพิมพ์และเผยแพร่เพียงเล็กน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของเมทิลจัสโมเนตต่อคุณภาพและสารพฤกษเคมีในผลหม่อนพันธุ์กำแพงแสน 42 ภายหลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลหม่อนพันธุ์กำแพงแสน 42 และนำไปสู่การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกหม่อนบริโภคผล และประชาชนที่สนใจต่อไป

วิธีการศึกษา

พืชทดลอง

เก็บเกี่ยวผลหม่อนพันธุ์กำแพงแสน 42 ในระยะผลสีแดง (70 เปอร์เซ็นต์) จากศูนย์หม่อนไหมราชชมงคลอีสาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ขนส่งโดยรถยนต์ปรับอากาศมายังห้องปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพและระบบการเก็บรักษาผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยว สาขาวิทยาศาสตร์เกษตรและเทคโนโลยี (วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว) คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ภายในเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นทำความสะอาดผลหม่อนโดยใช้ฟองน้ำเปียกสิ่งสกปรก ร่วมกับการคัดแยกผลแตกออก ทำการคัดคุณภาพของผลหม่อนอีกครั้ง โดยให้ผิวผลมีสีแดงสม่ำเสมอ ปราศจากตำหนิ หลังจากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีน้ำหนัก 12 กิโลกรัม แล้วนำผลหม่อนในแต่ละกลุ่มใส่ลงในถังพลาสติกขนาด 45 ลิตร คำนวณปริมาณสารเมทิลจัสโมเนตที่ใช้ให้ได้ระดับความเข้มข้นตามต้องการ (10 และ 20 μmolL^{-1}) แล้วหยดสารเมทิลจัสโมเนตลงบนกระดาษกรอง ปิดฝาถังและปิดผนึกให้แน่น ส่วนชุดควบคุมให้ใช้น้ำกลั่นหยดลงบนกระดาษกรองแทน บ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากกรรมเสร็จนำผลหม่อนในแต่ละสิ่งการทดลองบรรจุลงในภาชนะปิด 350 กรัม โดยแต่ละสิ่งการทดลองมีจำนวน 4 ข้ำ จากนั้นคลุมด้วยถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 $\pm$ 2 นาน 8 วัน ทำการเก็บข้อมูลการศึกษาทุก ๆ 2 วัน

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ประกอบด้วย 3 สิ่งการทดลอง ได้แก่ 1) ชุดควบคุม (ไม่รมเมทิลจัสโมเนต) 2) รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น 10 μmolL^{-1} และ 3) รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น 20 μmolL^{-1} แต่ละสิ่งการทดลองมีจำนวน 4 ข้ำ แต่ละข้ำใช้ผลหม่อน 350 กรัม

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และปริมาณสารพฤกษเคมี

การเปลี่ยนแปลงสีผล

วัดสีผลหม่อนโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta model DP-301 โดยให้หัววัดแนบสัมผัสกับผลหม่อนมากที่สุด และรายงานผลเป็นค่า Hunter scale ซึ่งประกอบด้วยค่า L a และ b จากนั้นนำมาคำนวณหาค่า ΔE ซึ่งเป็นค่าที่รายงานถึงค่าความแตกต่างของสีผลิตผลที่เปลี่ยนแปลงไปจากวันแรกทำการเก็บรักษา โดยใช้สูตร

$$\sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2}$$
 โดย L_0 เป็นค่า L ที่วัดได้จากวันแรกที่เริ่มทำการเก็บรักษา a_0 เป็นค่า a ที่วัดได้จากวันแรกที่เริ่มทำการเก็บรักษา และค่า b_0 เป็นค่า b ที่วัดได้จากวันแรกที่เริ่มทำการเก็บรักษา ถ้าค่า ΔE สูง แสดงว่า สีของผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงไปจากวันแรกทำการเก็บรักษามาก แต่ถ้าค่า ΔE ต่ำ แสดงว่าสีของผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงไปจากวันแรกทำการเก็บรักษาน้อย

การสูญเสียน้ำหนัก

ชั่งน้ำหนักผลหม่อนทุก ๆ 2 วัน และนำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (Saini et al., 2006) ดังนี้

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษาน้ำหนักหลังการเก็บรักษา} \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา}}$$

การเกิดโรค

การเกิดโรคของผลหม่อนประเมินด้วยสายตาจากผลหม่อนจำนวน 100 ผลต่อซ้ำ โดยผลหม่อนที่เกิดโรคจะมีเส้นใยของเชื้อราหรือผลเน่าเสามากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการ ดังนี้

$$\text{การเกิดโรค (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนผลที่เกิดโรค} \times 100}{\text{จำนวนผลทั้งหมด}}$$

ปริมาณกรดแอสคอบิก

การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอบิกดัดแปลงเล็กน้อยตามวิธีการของ Roe et al. (1948) โดยชั่งผลหม่อน 5 กรัม ผสมกับสารละลาย metaphosphoric acid ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร บดให้ละเอียดโดยใช้เครื่อง homogenizer หลังจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำส่วนใสที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณ Total ascorbic acid โดยนำตัวอย่าง 0.4 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลาย indophenol ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที เติมสารละลาย thiourea ความเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร และ 2,4-dinitrophenyl hydrazine (DNP) ความเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปตั้งทิ้งไว้ใน water bath ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติม sulfuric acid ความเข้มข้นร้อยละ 85 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณ ascorbic acid โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้มาคำนวณกับกราฟมาตรฐานของ ascorbic acid ความเข้มข้น 0 5 10 20 30 40 50 และ 60 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดดัดแปลงเล็กน้อยตามวิธีของ Cheung et al. (2003) โดยชั่งตัวอย่างผลหม่อน 2 กรัม ใส่ conical tube จากนั้นเติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง Homogenizer นาน 1 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ความเร็วรอบ 9,200 rpm อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที ตูดสารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตร ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่น 9 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน แล้วตูดสารละลายตัวอย่างที่ได้มา 1 มิลลิลิตร เติม Folin-Ciocalteu's reagent ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย Sodium carbonate ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร นำไปบ่มใน water bath อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที นำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้มาคำนวณกับกราฟมาตรฐานของ gallic acid ความเข้มข้น 20 40 60 80 และ 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

ปริมาณแอนโทไซยานิน

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินดัดแปลงเล็กน้อยตามวิธีการของ Horwitz (2000) นำตัวอย่างผลหม่อนจำนวน 500 มิลลิกรัม ใส่ใน conical tube แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่อง homogenizer เป็นเวลา 20 นาที ทำการปิดฝา conical tube ให้สนิทแล้วนำไป sonicate ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 – 20 นาที นำตัวอย่างออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งอุณหภูมิลดต่ำลงเท่ากับอุณหภูมิห้องหลังจากนั้นนำไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 8,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายส่วนใสที่ลอยอยู่ด้านบนมาวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 และ 700 นาโนเมตร (Figure 1)

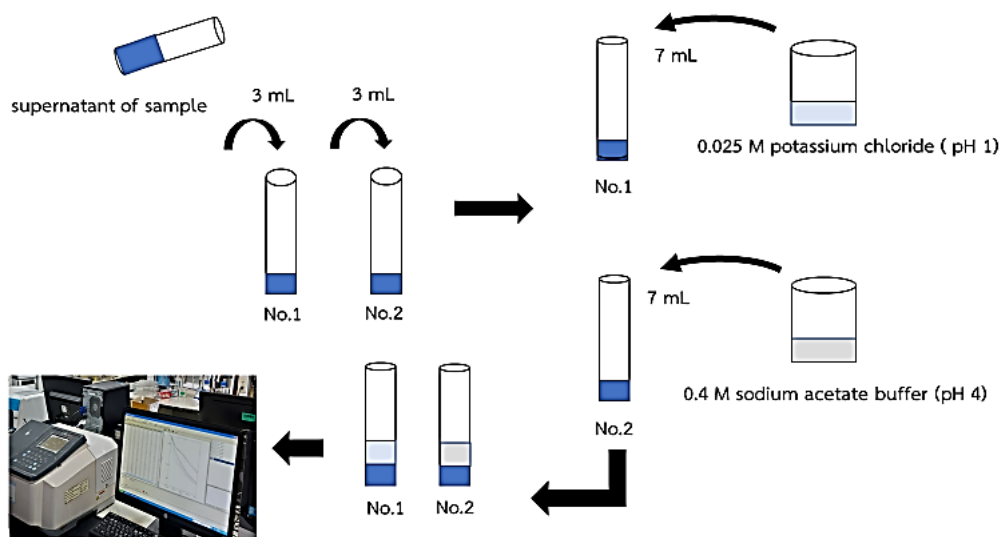


Figure 1 Determination of anthocyanin content in ‘Kamphaeng Saen 42’ mulberry fruit.

นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินโดยใช้สมการ

$$\Delta = ((A_{510\text{nm pH}1} - A_{700\text{nm pH}1}) - (A_{510\text{nm pH}4} - A_{700\text{nm pH}4}))$$

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานิน (\%)} = \frac{\Delta \text{ Abs} \times \text{MW} \times \text{dilution factor} \times V \times 100}{\epsilon \times L \times Wt}$$

ϵ = absorption coefficient ($26900 \text{ L.mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ = pelergo-3-glucoside)
 MW = น้ำหนักโมเลกุลของแอนโทไซยานิน (449.2)
 V = ปริมาตรสุดท้าย (มิลลิลิตร)
 L = ความกว้างของเซลล์พีช (1 เซนติเมตร)
 Wt = น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH method)

การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระดัดแปลงเล็กน้อยตามวิธีการของ Brand-Williams et al. (1995) วิธีการสกัดตัวอย่าง ชั่งเนื้อผลหม่อนที่หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ 3 กรัม ใส่ใน conical tube เติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง homogenizer นาน 1 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ความเร็วรอบ 15,000 rpm อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นดูดส่วนใสที่ได้จากการสกัดตัวอย่างมา 150 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่น DPPH ปริมาตร 2850 ไมโครลิตร (สารละลาย DPPH ที่นำมาใช้วิเคราะห์เตรียมจาก stock สารละลาย DPPH โดยดูดสารละลาย DPPH มา 10 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายเมทานอลปริมาตร 45 มิลลิลิตร) หลังจากนั้นทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำสารละลายตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank นำค่าที่ได้มาคำนวณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน Tolox

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงสีผล

ผลหม่อนพันธุ์กำแพงแสน 42 มีการเปลี่ยนแปลงสีผลจากสีแดงเป็นสีดำเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงสีผลหม่อนในทุกสิ่งทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ หลังจากนั้นผลหม่อนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ มีการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) และมีค่ามากที่สุดในวันสุดท้ายของการเก็บ (16.70) (Figure 2a) ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลหม่อนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตทุกระดับความเข้มข้นมีการเปลี่ยนแปลงสีผลมากกว่าชุดควบคุม เนื่องจากเมทิลจัสโมเนตสามารถกระตุ้นกระบวนการสุกของผลหม่อนได้ สอดคล้องกับ Lv et al. (2018) รายงานว่าการรมแอปเปิ้ลด้วยเมทิลจัสโมเนตทำให้มีการแสดงออกของยีน ACS และ ACO ซึ่งเป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอทิลินเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเอทิลินมีผลไปกระตุ้นกระบวนการสุกโดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีผลและเกิดการอ่อนนุ่ม อย่างไรก็ตามผลของเมทิลจัสโมเนตต่อการผลิตเอทิลินขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเมทิลจัสโมเนตที่ใช้ ระยะการสุกแก่ และชนิดของผลไม้

การสูญเสียน้ำหนัก

Figure 2b แสดงการสูญเสียน้ำหนักของผลหม่อนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ จากผลการทดลองพบว่าในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา ทุกสิ่งทดลองมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันทางสถิติ หลังจากนั้นผลหม่อนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด ในขณะที่การรมผลหม่อนด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ สามารถชะลอการสูญเสียน้ำได้ โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีการสูญเสียน้ำหนักเพียง 1.12 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ผลหม่อนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ และชุดควบคุมมีการสูญเสียน้ำหนัก 2.31 และ 2.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีหลายงานวิจัยพบว่าเมทิลจัสโมเนตสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักในผลไม้หลายชนิดโดยมีผลไปช่วยลดอัตราการหายใจ อย่างไรก็ตามผลของเมทิลจัสโมเนตต่ออัตราการหายใจของผลผลิตขึ้นอยู่กับชนิดพืช ความเข้มข้นที่ใช้ ระยะเวลาการใช้ และวิธีการใช้สาร (Ozturk et al., 2019) และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการรมผลหม่อนด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้เมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้นสูง มีผลไปกระตุ้นการหายใจและทำให้ผลหม่อนเกิดการสูญเสียน้ำมาก

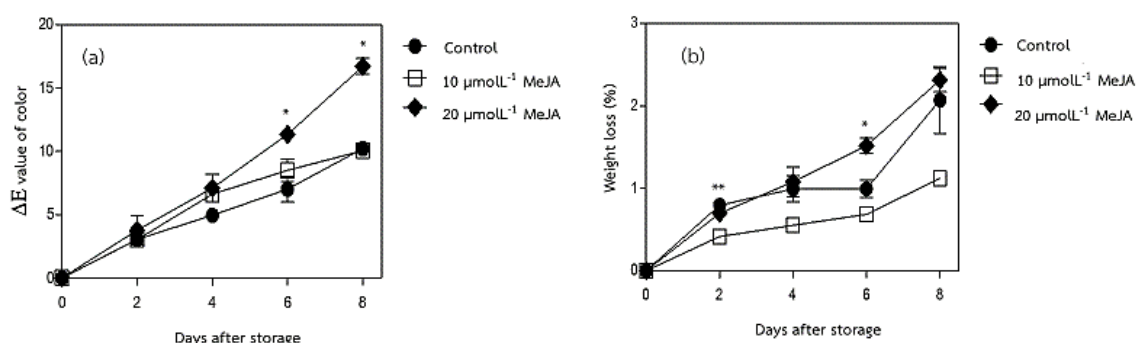


Figure 2 Changes in skin color (a) and weight loss (b) of mulberry fruit treated with 0, 10, and $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ MeJA during storage at $10 \pm 2^\circ\text{C}$, $90 \pm 2\%$ RH for 8 days. Vertical bars represent the standard deviation (SD) of means. Asterisks denote significant differences between treatments: ** indicates significance at $p < 0.01$, while * indicates significance at $p < 0.05$.

การเกิดโรค

ผลหม่อนเป็นผลไม้ที่เกิดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวได้ง่าย และอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากผลมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ผลบอบบาง ช้ำและแตกง่ายขณะเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว จากผลการทดลอง พบว่าผลหม่อนพบการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาและผลหม่อนในทุกสิ่งทดลองพบการเกิดโรคไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามผลหม่อนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ มีแนวโน้มพบการเกิดโรคน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ (Figure 3) สำหรับบทบาทของเมทิลจัสโมเนตต่อการควบคุมการเกิดโรคของผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว มีรายงานว่าเมทิลจัสโมเนตมีคุณสมบัติเป็นสารต้านจุลินทรีย์ โดยมีผลโดยตรงไปยังยั้งการผลิตสปอร์ การออกของสปอร์ และยับยั้งการเจริญของเส้นใย (Tzortzakakis et al., 2016) และผลทางอ้อมโดยเมทิลจัสโมเนตทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณไปกระตุ้นให้พืชเกิดกลไกการป้องกันตัวเองจากการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ (Valenzuela-Riffo et al., 2020) ดังนั้นการใช้เมทิลจัสโมเนตจึงสามารถลดการเกิดโรคได้

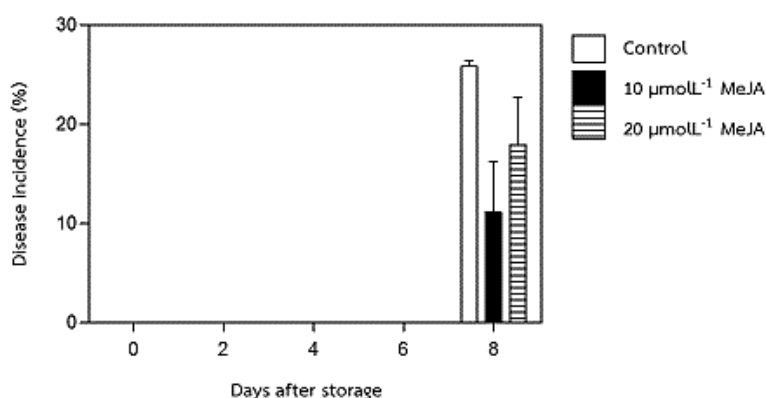


Figure 3 Disease incidence in mulberry fruit treated with 0, 10, and 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ MeJA during storage at $10 \pm 2^\circ\text{C}$, $90 \pm 2\%$ RH for 8 days. Vertical bars represent the standard deviation (SD) of means.

ปริมาณกรดแอสคอบิก

ผลหม่อนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตมีปริมาณกรดแอสคอบิกมากกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลหม่อนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ มีปริมาณกรดแอสคอบิกมากที่สุด ส่วนชุดควบคุมมีปริมาณกรดแอสคอบิกน้อยที่สุด (Figure 4a) Wolucka et al. (2005) ได้ศึกษาผลของเมทิลจัสโมเนตต่อการสังเคราะห์กรดแอสคอบิกหรือวิตามินซีโดยทดสอบกับเซลล์แขวนลอยของยาสูบและ Arabidopsis ในห้องปฏิบัติการ พบว่าเมทิลจัสโมเนตมีผลไปกระตุ้นการแสดงออกของยีน GDP-mannose-3", 5"-epimerase และ L-gulonolactone dehydrogenase ซึ่งเป็นยีนที่ถอดรหัสไปเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดแอสคอบิก นอกจากนี้ปริมาณกรดแอสคอบิกยังมีความสัมพันธ์กับอัตราการสูญเสียน้ำของผลผลิตด้วยการรมผลหม่อนด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ มีการสูญเสียน้ำหนักส่นน้อยที่สุด จึงมีปริมาณกรดแอสคอบิกมากที่สุด และการสูญเสียน้ำออกจากผลผลิตมากก็ส่งผลให้มีการสูญเสียปริมาณกรดแอสคอบิกมากขึ้นเช่นเดียวกัน (Siripanich & Romphopphak, 2006) ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการรมผลหม่อนด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักและปริมาณกรดแอสคอบิกได้

ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในทุกสิ่งการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่มีค่าไม่แตกต่างกันในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามหลังจากนั้นผลหม่อนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากที่สุด ในขณะที่ผลหม่อนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ และชุดควบคุมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดน้อยและมีค่าไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Figure 4b) Deshi et al. (2021) รายงานว่าการรมลิ้นจี่ด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $2000 \mu\text{mol L}^{-1}$ ทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอล และกิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL) เพิ่มขึ้น โดยเอนไซม์ PAL เป็นเอนไซม์สำคัญในวิถี phenylpropanoid ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล

ดังนั้นจากผลการทดลองนี้การรมผลหมอนด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมากที่สุด อาจเนื่องมาจากการรมเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม มีผลไปกระตุ้นกิจกรรมเอนไซม์ PAL และทำให้มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ยังไม่ได้ทำการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ PAL จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นนี้

ปริมาณแอนโทไซยานิน

การรมผลหมอนด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ มีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีความมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Figure 4c) ในขณะที่ชุดควบคุมและผลหมอนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ มีปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างกัน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานิน มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสีในกระบวนการสุกของผลหมอนซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการใช้เมทิลจัสโมเนตกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีน และชักนำการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน (Wei et al., 2017)

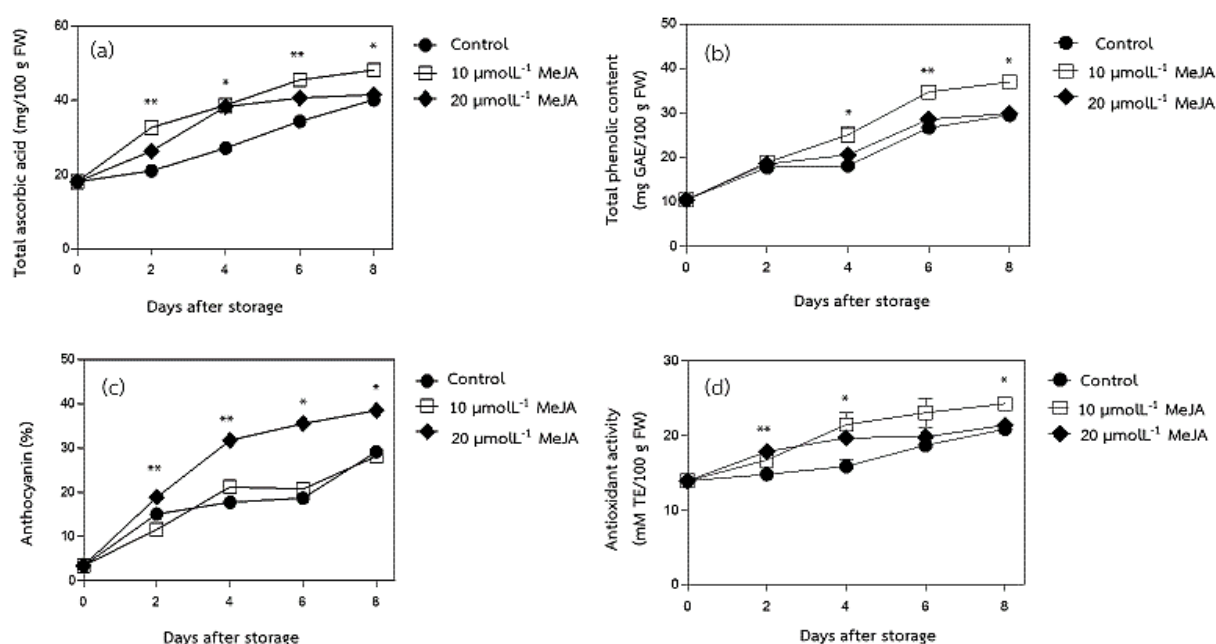


Figure 4 Changes in total ascorbic acid content (a) total phenolic content (b), anthocyanin content (c), and antioxidant activity (d) mulberry fruit treated with 0, 10, and 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ MeJA during storage at $10 \pm 2^\circ\text{C}$, $90 \pm 2\%$ RH for 8 days. Vertical bars represent the standard deviation (SD) of means. Asterisks denote significant differences between treatments: ** indicates significance at $p < 0.01$, while * indicates significance at $p < 0.05$.

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

ผลหมอนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าชุดควบคุม โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ผลหมอนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด (24.23 mM TE/100 g FW) รองลงมาคือผลหมอนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ (21.36 mM TE/100 g FW) ในขณะที่ชุดควบคุมมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด (20.80 mM TE/100 g FW) (Figure 4d) เมื่อรมผลไม้ด้วยเมทิลจัสโมเนตทำให้เกิดผลเกิดความเครียด และมีการสร้างอนุมูลอิสระ เช่น nitric oxide (NO) และ hydrogen peroxide (H_2O_2) เพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นเมทิลจัสโมเนต หรือ NO และ H_2O_2 ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระ ได้แก่ superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) guaiacol peroxidase (G-POD) รวมทั้งกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ในวัฏจักร ascorbate-glutathione (AsA-GSH) เช่น ascorbate peroxidase (APX) monodehydroascorbate reductase (MDHAR) dehydroascorbate reductase (DHAR) และ glutathione reductase (GR) และทำให้เกิดการสะสมของสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์ ได้แก่ ascorbate glutathione carotenoid tocopherol

สารประกอบฟีนอล (Sharma et al., 2012) และแอนโทไซยานิน (Huang et al., 2015) ในผลิตผล Huang & Lai (2016) รายงานว่าจากการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างชนิดของข้าวสี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอล และแอนโทไซยานิน ในข้าวสีด้วยวิธี Pearson moment correlation พบว่าข้าวสีแดงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าข้าวสีดำ โดยในข้าวสีแดงมีสารประกอบฟีนอล และแอนโทไซยานินออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่า r เท่ากับ 0.987 และ 0.889 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแอนโทไซยานิน สอดคล้องกับรายงานของ Ozturk et al. (2019) พบว่าเมื่อผลิตผลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูง ก็มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้ที่พบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลเนื่องมาจากการมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มมากขึ้นในผลหม่อนที่รมด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $10 \mu\text{molL}^{-1}$

สรุปผลการศึกษา

การรมผลหม่อนด้วยเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้น $10 \mu\text{molL}^{-1}$ มีประสิทธิภาพในการชะลอการสูญเสียน้ำหนัก และกระตุ้นให้มีปริมาณกรดแอสคอบิก ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในผลหม่อนพันธุ์กำแพงแสน 42 เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของเมทิลจัสโมเนตต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์เกษตรและเทคโนโลยี (วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว) คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือ และห้องปฏิบัติการในการทำทดลองวิจัยจนทำให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science Technology*, 28, 25-30.
- Butkhup, L. (2006). Mulberry fruits within the berry family contain high quantities of antioxidants. *MSU Research Digest*, 1(3), 41-47. (in Thai).
- Cheung, L. M., Cheung, P. C., & Ooi, V. E. (2003). Antioxidant activity and total phenolic of edible mushroom extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 81, 249-255.
- Deshi, V., Homa, F., Tokala, V. Y., Mir, H., Aftab, M. A., & Siddiqui, M. W. (2021). Regulation of pericarp browning in cold-stored litchi fruit using methyl jasmonate. *Journal of King Saud University-Science*, 33, 101445.
- Gimenez, M. J., Serrano, M., Valverde, J. M., Martinez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D., & Guillen, F. (2017). Preharvest salicylic acid and acetylsalicylic acid treatments preserve quality and enhance antioxidant systems during postharvest storage of sweet cherry cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 1220-1228.
- Ho, T. T., Murthy, H. N., & Park, S. Y. (2020). Methyl jasmonate induced oxidative stress and accumulation of secondary metabolites in plant cell and organ cultures. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3), 18.
- Horwitz, W. (2000). *Official methods of AOAC international*. 16th ed. Gaithersburg MD.
- Huang, X., Li, J., Shang, H., & Meng, X. (2015). Effect of methyl jasmonate on the anthocyanin content and antioxidant activity of blueberries during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95, 337-343.
- Huang, Y. P., & Lai, H. M. (2016). Bioactive compounds and antioxidative activity of colored rice bran. *Journal of Food and Drug Analysis*, 24, 564-574.
- Khan, M. A., Rahman, A. A., Islam, S., Khandokhar, P., Parvin, S., Islam, M. B., Hossain, M., Rashid, M., Sadik, G., Nasrin, S., Mollah, M. N. H., & Alam, H. M. K. (2013). A comparative study on the antioxidant activity of methanolic extracts from different parts of *Morus alba* L. (Moraceae). *BMC Research Notes*, 6, 24.
- Ly, J., Zhang, M., Zhang, J., Ge, Y., Li, C., Meng, K., & Li, J. (2018). Effect of methyl jasmonate on expression of genes involved in ethylene biosynthesis the signaling pathway during postharvest ripening of apple fruit. *Scientia Horticulturae*, 229, 157-166.
- Ozkan, Y., Ucar, M., Yildiz, K., & Ozturk, B. (2016). Pre-harvest gibberellic acid (GA_3) treatments play an important role on bioactive compounds and fruit quality of sweet cherry cultivars. *Scientia Horticulturae*, 211, 358-362.

- Ozturk, A., Yildiz, K., Ozturk, B., Karakaya, O., Gun, S., Uzum, S., & Gondogdu, M. (2019). Maintaining postharvest quality of medlar (*Mespilus germanica*) fruit using modified atmosphere packaging and methyl jasmonate. **LWT-Food Science Technology**, 111, 117-124.
- Priya, S. (2012). Medicinal values of mulberry -An overview. **Journal of Pharmacy Research**, 5(7), 3588-9356.
- Roe, J. H., Mary, B. M., Oesterling, M. J., & Charlotte, M. D. (1948). The determination of dike to L-gulonic acid, dehydro-L-ascorbic acid and L-ascorbic acid in the same tissue extract by 2,4 -Dinitrophenyl hydrazine method. **Journal of Biological Chemistry**, 174, 201-208.
- Saini, R. S., Sharma, K. D., Kaushik, R. A., & Dhankhar, O. P. (2006). **Laboratory Manual Analytical Techniques in Horticulture**. IST Edition. Agrobios.
- Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, 2012, 1-26.
- Siripanich, J., & Romphophak, T. (2006). **Postharvest Technology of Fruits And Vegetables: Academic Publishing**. 3rd ed. Kasetsart University, Kamphaeng Sane Campus, The National Agricultural Extension and Training Office. (in Thai).
- Tzortzakos, N., Chrysargyris, A., Sivakumar, D., & Loulakis, K. (2016). Vapour or dipping applications of methyl jasmonate, vinegar and sage oil for pepper fruit sanitation towards grey mould. **Postharvest Biology Technology**, 118, 120-127.
- Valenzuela-Riffo, F., Zuniga, P. E., Morales-Quintana, L., Lolas, M., Caceres, M., & Figueroa, C. R. (2020). Priming of defense systems and upregulation of *MYC2* and *JAZ1* genes after *Botrytis cinerea* inoculation in methyl jasmonate-treated strawberry fruits. **Planis-Basel**, 9(4), 447.
- Valverde, J. M., Gimenez, M. J., Guillen, F., Valero, D., Martinez-Romero, D., & Serrano, M. (2015). Methyl salicylate treatments of sweet cherry trees increase antioxidant systems in fruit at harvest and during storage. **Postharvest Biology Technology**, 109, 106-113.
- Wang, H., Wu, Y., Yu, R., Wu, C., Fan, G., & Li, T. (2019). Effect of postharvest application of methyl jasmonate on physicochemical characteristics and antioxidant system of blueberry fruit. **Scientia Horticulturae**, 258, 1-8.
- Wang, K., Jin, P., Han, L., Shang, H., Tang, S., Rui, H., & Zheng, Y. (2014). Methyl jasmonate induces resistance against *Penicillium citrinum* in Chinese bayberry by priming of defense responses. **Postharvest Biology Technology**, 98, 90-97.
- Wolucka, A. B., Goossens, A., & Inze, D. (2005). Methyl jasmonate stimulates the *de novo* biosynthesis of vitamin C in plant cell suspensions. **Journal of Experimental Botany**, 56 (419), 2527-2538.
- Wei, J., Wen, X., & Tang, L. (2017). Effect of methyl jasmonic acid on peach fruit ripening progress. **Scientia Horticulturae**, 220, 206-213.

การส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมชุมชน โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในประเทศไทย

Promoting the Construction of Underground Water Banks for Community Environmental Conservation by Local Government Organization in Thailand

ธัญยากร คำวงศ์¹ สุวารี ศรีปุณณะ^{1*} ผม่อม เชิดโกทา¹ ประภาพร ชุติลัง¹ บุญวนิช บุญวนิชานันท์¹ ทศพร สอนบุตร¹

Tanyakorn Khumwong¹, Suwaree Sripuona^{1*}, Pomhom Cherdkotha¹, Prapaporn Chulilung¹

Boonvanich Boonvarichananaan¹ and Thotsaporn Sonboot¹

Received date: 28 ก.ย. 66 Revised date: 7 พ.ย. 66 Accepted date: 20 พ.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.013>

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาการส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินในชุมชนโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) รูปแบบธนาคารน้ำใต้ดินและผลการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินที่มีต่อสิ่งแวดล้อมชุมชน พื้นที่ศึกษาเป็น อปท. ที่ประสบความสำเร็จในการสร้างธนาคารน้ำใต้ดิน 3 แห่งในประเทศไทย กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้บริหาร อปท. และตัวแทนชุมชนรวม 117 คน เก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์และการสังเกต วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบธนาคารน้ำใต้ดินมี 2 รูปแบบ คือ 1) แบบปิด มี 2 แบบ ได้แก่ แบบบ่อ สร้างเพื่อเก็บน้ำฝนลงใต้ดินในพื้นที่รอบบ้าน แบบราง สร้างเพื่อเก็บน้ำที่ไหลตามขอบถนน 2) แบบเปิด สร้างในพื้นที่ขนาดใหญ่ มี 2 แบบ ได้แก่ แบบขุดร่องลึกในคลองที่ตื้นเขิน และแบบขุดเป็นสระให้กั้นสระลึกเป็นสระตื้นถึงชั้นหินดาน ทั้ง 2 รูปแบบใช้เก็บน้ำให้เชื่อมโยงเป็นเครือข่ายสายน้ำใต้ดินที่สลับซับซ้อนมาใช้ได้ตลอดปี ส่วนการส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินโดย อปท. มีการจัดการเรียนรู้วิธีการสร้างให้แก่คนในชุมชน สนับสนุนงบประมาณและวัสดุอุปกรณ์ให้สร้างขึ้นในพื้นที่บ้าน สวน ไร่ นา และพื้นที่สาธารณะ ประสานความร่วมมือหน่วยงานอื่น เพิ่มแรงจูงใจโดยให้รางวัลแก่ชุมชนที่สร้างครบทุกครัวเรือน ส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมชุมชนโดยรวม ลดน้ำท่วมและการขาดแคลนน้ำ เพิ่มความชุ่มชื้นในดินและเศรษฐกิจชุมชนดีขึ้น

คำสำคัญ: รูปแบบธนาคารน้ำใต้ดิน การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมชุมชน การส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดิน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

Abstract

This article presents the results of a study the promotion of building underground water banks in the community by the Local Administrative Organization (LAO), the model of underground water bank construction, and the effect of underground water bank construction on the community environment. The study area was at three LAO in Thailand that succeeded in constructed the underground water banks. The samples were 117 administrators and communities' representatives. Data were collected by interviews and observations. Data was analyzed by content analysis. The results of the research revealed that there were 2 patterns of underground water banks: 1) closed pattern, which composed of 2 forms: wells form that was built to collect rain water in the area around the house, channel form was built to collect runoff along road edges. 2) open pattern, built in a large area hole which composed of 2 forms: the form of deep channel in shallow canals and the form of digging a deep hole to the bedrock layer in the middle of the pool. The two underground water banks would store water together and link together to form an underground water cable network pump groundwater back up for consumption in the community throughout the year. The promoting construction of underground water banks by the LAO has provided knowledge of how to build it for the people of the communities, supported budgets and materials to build in people' houses, gardens, farms, fields, and public areas; coordinated cooperation of other agencies, and increased motivation by rewarding communities that build uunderground water banks in all households. It had a positive effect on the community environment as a whole, reduced

¹ สาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180

¹Department of Environmental Study, College of Innovative Management. Valaya Alongkorn Rajabhat University Under the royal patronage, Pathum Thani 13180

*Corresponding author: suwaree@vru.ac.th

the problem of flooding and scarcity, increasing soil moisture and using groundwater could enhance the community economy.

Keywords: underground water bank pattern, community environmental construction, promoting the construction of underground water banks, local government organizations

คำนำ

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกเป็นปัญหารุนแรงโดยลำดับส่งผลเสียหายต่อระบบนิเวศและการดำรงชีวิตของทุกสรรพสิ่งบนโลก (Office of Energy Policy and Planning, 2008 & Thirawannarat, 2019) ปัญหาน้ำท่วมน้ำแล้งจึงเกิดขึ้นทั่วไป ขณะที่น้ำเป็นทุนธรรมชาติที่มีผลต่อ เศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตองค์การสหประชาชาติ (United Nations Organization : UN) กำหนดให้การจัดการน้ำเป็นเป้าหมายที่ 6 ของการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals : SDGs) ที่กำหนดไว้ 17 เป้าหมาย ในช่วงปี 2558-2573 (Sripoona, 2020) มุ่งจัดการให้น้ำและสุขอนามัยสำหรับทุกคน และบริหารจัดการที่ยั่งยืน ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12-13 ของไทยรัฐมุ่งสร้างระบบการจัดการน้ำผิวดินโดยการกักเก็บน้ำ การผันน้ำและการระบายน้ำ (BBC News, 2021) แต่ปัญหาน้ำท่วมและน้ำฤดูแล้งรุนแรงมากในช่วงปี 2554 และ 2564-2565 ในทุกจังหวัดกว่า 15 ล้านไร่ (Geo-Informatics and Space Technology Agency, 2022) จึงต้องหาทางเลือกใหม่ในการจัดการปัญหาน้ำอย่างยั่งยืน ในปี 2537 จึงได้มีการทดลองนำนวัตกรรมการเก็บกักน้ำจากผิวดินสู่ใต้ดินจากรัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา มาสร้างเป็นธนาคารน้ำใต้ดินครั้งแรกที่วัดบุญเรืองสุวรรณาราม จังหวัดหนองคาย โดยหลวงพ่อดม สิริปัญญา ซึ่งได้ผลดีสามารถเก็บน้ำจากผิวดินเก็บกักลงสู่ใต้ดินทำให้น้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นจนสามารถนำกลับขึ้นมาใช้ประโยชน์ในการอุปโภคและการเกษตรได้จนชุมชนยอมรับ แล้วขยายผลสร้างธนาคารน้ำใต้ดินสู่พื้นที่อื่นและจัดตั้งมูลนิธิหลวงพ่อดม กนตสีโร และสถาบันน้ำนิเทศศาสตร์คุณในปี 2557 (Juljareern, 2018) เพื่อให้ความรู้สร้างผู้นำด้านธนาคารน้ำใต้ดินอย่างเป็นระบบภาคประชาชนและภาครัฐ ผู้บริหารองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ให้ความสนใจมาเรียนรู้และนำไปแก้ปัญหาน้ำท่วมน้ำแล้งอย่างไ้ผลเป็นรูปธรรมเกิดผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจชุมชน อปท.ที่ประสบความสำเร็จมากที่สุดจนเป็นต้นแบบของการบริหารจัดการธนาคารน้ำใต้ดิน รวม 3 แห่ง ได้แก่ องค์การบริหารส่วนตำบลเก่าขาม จังหวัดอุบลราชธานี องค์การบริหารส่วนตำบลวังหามแห จังหวัดกำแพงเพชรและเทศบาลตำบลหนองมะโมง จังหวัดชัยนาท (Phongphit, 2019) ได้เป็นแหล่งเรียนรู้เพื่อขยายผลการบริหารงานธนาคารน้ำใต้ดินของกรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานราชการ องค์กรภาคชุมชนและสถาบันการศึกษาต่างๆ จากทั่วประเทศ ตั้งแต่ปี 2560 จนปัจจุบันได้จัดให้ความรู้มากกว่า 400 ครั้ง ประเทศไทยโดยมีเป้าหมายกระจายอำนาจสู่ท้องถิ่นให้สามารถจัดการตนเองได้ โดย อปท.ทุกแห่งต้องส่งเสริมการพัฒนาปัจจัยพื้นฐานของชุมชนให้พึ่งตนเองได้ (Phrmedhavinaiyaros, et al., 2023) ดังนั้น การจัดการปัญหาทรัพยากรน้ำจึงเป็นหน้าที่ของ อปท.ที่ต้องส่งเสริมให้เกิดผลอย่างยั่งยืนในชุมชน บทความนี้จึงนำเสนอผลการวิจัยกรณีความสำเร็จในการส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินของ อปท.ที่จะเป็นประโยชน์ต่อการนำความรู้ไปปรับใช้เพื่อจัดการธนาคารน้ำใต้ดินให้มีประสิทธิภาพและส่งผลต่อการพัฒนาประเทศสู่ความยั่งยืนต่อไป

วิธีการศึกษา

รูปแบบและพื้นที่วิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative method) พื้นที่วิจัยเป็นองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ที่ประสบความสำเร็จในการจัดการธนาคารน้ำใต้ดินที่เป็นต้นแบบ 3 แห่งใน 3 ภาคของประเทศไทย ได้แก่ องค์การบริหารส่วนตำบลเก่าขาม (อบต.เก่าขาม) จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 13 ชุมชน องค์การบริหารส่วนตำบลวังหามแห (อบต.วังหามแห) จังหวัดกำแพงเพชร จำนวน 12 ชุมชน และเทศบาลตำบลหนองมะโมง (ทต.หนองมะโมง) จังหวัดชัยนาท จำนวน 12 ชุมชน (Figure 1)

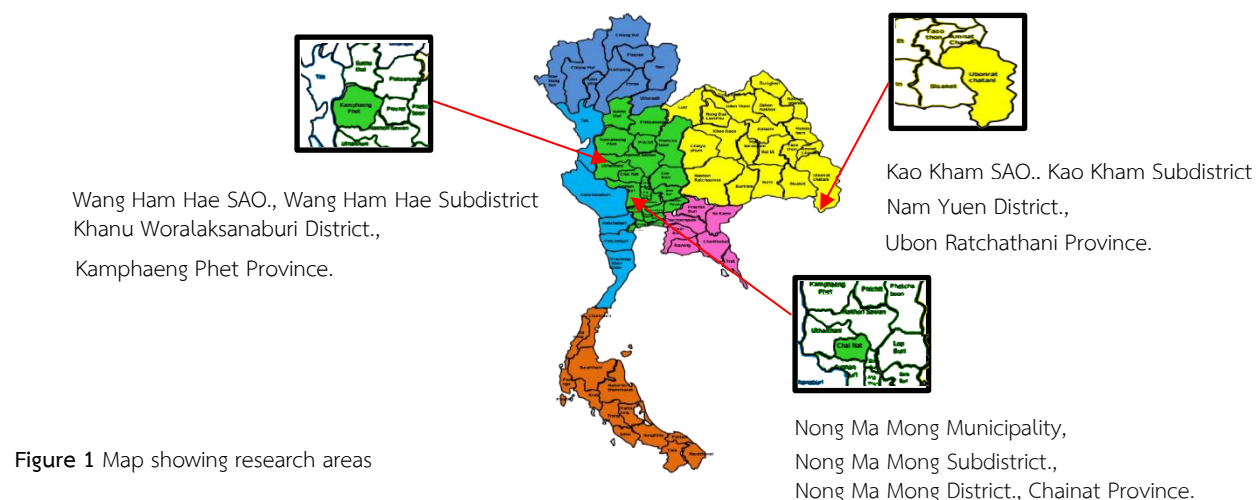


Figure 1 Map showing research areas

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย เป็นบุคลากรในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 3 แห่งที่เป็นพื้นที่ศึกษา เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) เป็นผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key informants) รวม 54 คน ได้แก่ 1) ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบโครงการของ อปท. 3 แห่ง ๆ ละ 4 คน รวม 12 คน 2) ตัวแทนผู้ใหญ่บ้านใน อปท. 3 แห่ง ๆ ละ 7 คน รวม 21 คน 3) ตัวแทนประชาชนที่เข้าร่วมโครงการใน อปท. 3 แห่ง ๆ ละ 7 คน รวม 21 คน

การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล การศึกษารูปแบบการศึกษาการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินที่เหมาะสมต่อการเก็บกักน้ำในชุมชน โดยการสำรวจสภาพจริงของบ่อธนาคารน้ำใต้ดินในภาคสนาม การสัมภาษณ์รายบุคคลและรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้องของอปท.ทั้ง 3 แห่ง เครื่องมือที่ใช้ได้แก่ ประเด็นคำถามและแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi structure interview) เก็บจากกลุ่มตัวอย่างรวม 18 คน ได้แก่ ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ อปท.ละ 2 คน รวม 6 คน ตัวแทนผู้นำชุมชนและประชาชนผู้ร่วมโครงการอปท.ละ 4 คน รวม 12 คน ศึกษาการส่งเสริมและผลการส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมชุมชน เก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์เชิงลึกรายบุคคล (In-depth interview) และการจัดสนทนากลุ่ม (Focus group discussion: FGD) อปท.ละ 1 ครั้ง เครื่องมือที่ใช้เป็นประเด็นคำถามในการสัมภาษณ์และการสนทนากลุ่ม ใช้กลุ่มตัวอย่าง 36 คน จัดสนทนากลุ่ม 3 ครั้ง ๆ ละ 12 คน ได้แก่ ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ 2 คน ผู้นำชุมชน 5 คน และตัวแทนประชาชนที่ร่วมโครงการ 5 คน

การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) โดยการจัดหมวดหมู่เนื้อหาตามประเด็นที่กำหนดไว้ในกรอบแนวคิดการวิจัย จัดทำภาพแสดงรูปแบบโครงสร้างของธนาคารน้ำใต้ดินและเสนอผลด้วยการพรรณาวิเคราะห์ (Descriptive analysis) โดยใช้กรอบแนวคิดการวิจัย ดังนี้ (Figure 2)

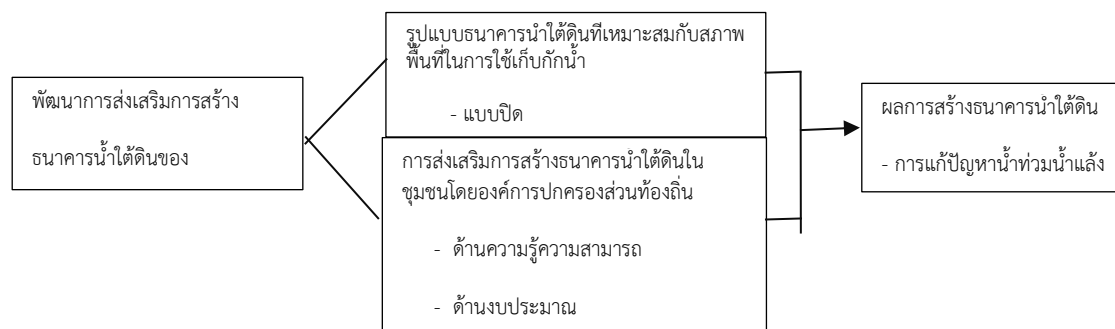


Figure 2 Conceptual framework

ผลการศึกษาและวิจารณ์

พัฒนาการส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

อปท.ทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ อบต.เก่าขาม อบต.วังหามแห และ ทต.หนองมะโมง ที่ประสบความสำเร็จในการส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินในชุมชนได้ใช้หลักการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินที่ได้เรียนรู้มาจากสถาบันน้ำนิเทศศาสตร์ โดยสร้างธนาคารน้ำใต้ดินเป็น 2 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 ธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิด มี 2 แบบ คือเป็นแบบบ่อและแบบราง ส่วนรูปแบบที่ 2 ธนาคารน้ำแบบเปิด มี 2 แบบ คือแบบที่ขุดเป็นสระน้ำหรือบ่อน้ำขนาดใหญ่และแบบที่ขุดเป็นลำคลองใหม่และขุดในลำคลองเดิมที่ตื้นเขิน จากการเริ่มดำเนินงานเมื่อปี 2559 ถึงปัจจุบันรวม 9 ปี พบว่า อปท.ที่มีธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิดมากที่สุดมีครบทุกครัวเรือน คือ อบต.วังหามแห มีแบบบ่อ 3,371 บ่อ และแบบราง 12 ราง ส่วน อปท.ที่มีธนาคารน้ำใต้ดินแบบเปิดมากที่สุดคือ ทต.หนองมะโมง มีแบบเปิดที่เป็นของสาธารณะ 115 แห่ง และเป็นของส่วนบุคคล 5 แห่ง ส่วน อบต.เก่าขาม มีธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิด 1,275 แห่ง และแบบเปิด 20 แห่ง ความสำเร็จของการส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินทำให้ อบต.เก่าขาม ได้รับรางวัลนวัตกรรมท้องถิ่น สาขาการบริหารทรัพยากรธรรมชาติในปี 2558 รับรางวัล อปท.ดีเด่นด้านการบริหารตามหลักธรรมาภิบาลและผู้นำท้องถิ่นดีเด่นสาขานวัตกรรมท้องถิ่นในปี 2560 รับรางวัลนักบริหารดีเด่นแห่งปี สาขาการบริหารและพัฒนาท้องถิ่นในปี 2561 และรางวัลที่ 2 ประเภททั่วไปของ อปท.ที่มีการบริหารจัดการที่ดีได้เงินรางวัล 5,000,000 บาท ส่วน อบต.วังหามแห ได้รับโล่รางวัลชมเชยประเภทโดดเด่น อปท.ที่มีการบริหารจัดการที่ดีในปี 2559 รับโล่รางวัลด้านนวัตกรรมการบริหารจัดการและการให้บริการประชาชนในปี 2560 รางวัลที่ 2 อปท.ที่มีการบริหารจัดการที่ดี พร้อมเงินรางวัล 7,000,000 บาทในปี 2561 รับโล่รางวัล อปท.ต้นแบบ ศูนย์บริหารจัดการน้ำอย่างเป็นระบบ ระดับจังหวัดในปี 2565 ทั้ง 2 อปท. ได้นำเงินรางวัลไปเป็นทุนในการส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินแก่ชุมชนต่อไป ส่วน ทต.หนองมะโมงได้รับโล่รางวัลผลการปฏิบัติงานดีเด่นด้านนวัตกรรมการบริหารจัดการการบริการประชาชนในปี 2561 รางวัล อปท.ต้นแบบจัดการน้ำตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง (ธนาคารน้ำใต้ดิน) ในปี 2562 โล่รางวัลพร้อมเกียรติบัตรโครงการ อปท.ต้นแบบศูนย์บริหารจัดการน้ำอย่างเป็นระบบในปี 2565 นอกจากนี้มีกลุ่มต่างๆ มาศึกษาดูงานจากหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชนและสถาบันการศึกษาจำนวนมาก อปท.ทั้ง 3 แห่งได้กลายเป็นศูนย์เรียนรู้ต้นแบบที่ทำให้เกิดแหล่งเรียนรู้ธนาคารน้ำใต้ดินแห่งใหม่ทั่วประเทศได้มากกว่า 829 แห่ง ธนาคารน้ำใต้ดินจึงเป็นนวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์เพื่อจัดการสิ่งแวดล้อมของชุมชนจนเป็นผลสำเร็จ ซึ่งแสดงผลเช่นเดียวกับ Sripoona (2020) ที่พบว่า อปท.ได้เพิ่มทักษะทางวิชาการและนวัตกรรม ทำให้ชุมชนสร้างความเป็นต้นแบบในการจัดการคุณภาพน้ำดื่มน้ำใช้ให้พึ่งตนเองได้และสืบทอดระบบการจัดการน้ำในชุมชนสู่ลูกหลานรุ่นต่อไปได้

รูปแบบธนาคารน้ำใต้ดินที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ในการเก็บกักน้ำใต้ดินในชุมชน

รูปแบบธนาคารน้ำใต้ดินที่พบจากการสำรวจภาคสนามในพื้นที่จริงของทั้ง 3 อปท. มีการสร้างเป็น 2 รูปแบบ คือ ธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิดและธนาคารน้ำใต้ดินแบบเปิดโดยทั้ง 2 รูปแบบมีการแบ่งเป็นแบบย่อยที่มีลักษณะและองค์ประกอบและมุ่งประโยชน์แตกต่างกันแต่มีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

1. ธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิด เป็นธนาคารน้ำใต้ดินที่มีลักษณะเป็นหลุมรองรับน้ำจากผิวดินลงสู่ใต้ดินเพื่อเก็บสะสมให้เป็นน้ำใต้ดินต่อไป มีการสร้างกระจายในพื้นที่ทั่วไปในชุมชน มี 2 แบบย่อย ได้แก่

1.1 ธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิดที่มีลักษณะเป็นแบบบ่อ สร้างในพื้นที่ที่เป็นจุดรับน้ำหรือบริเวณพื้นที่ครัวเรือนที่มีน้ำท่วมขังในช่วงที่มีฝนตก เช่น ชายคาบ้าน ขนาดของบ่อโดยทั่วไปมีความความ 0.80 เมตร ยาว 0.80 เมตร ความลึก 1.20 เมตร ขนาดของบ่อสามารถปรับเปลี่ยนตามสภาพและความเหมาะสมของพื้นที่ ขุดสะดือหลุมลึก 0.60 เมตร วางท่อ PVC ขนาด 3 นิ้วกลางสะดือให้ปลายท่อโผล่พ้นปากหลุมสำหรับระบายอากาศ วัสดุที่ใส่ภายในหลุมธนาคารน้ำใต้ดินในพื้นที่ประกอบด้วยวัสดุเหลือใช้ที่หาได้ในพื้นที่ ได้แก่ ก้อนหิน เศษอิฐปูนก่อสร้าง ขวดแก้วและก้อน EM เป็นต้น (Figure 3)

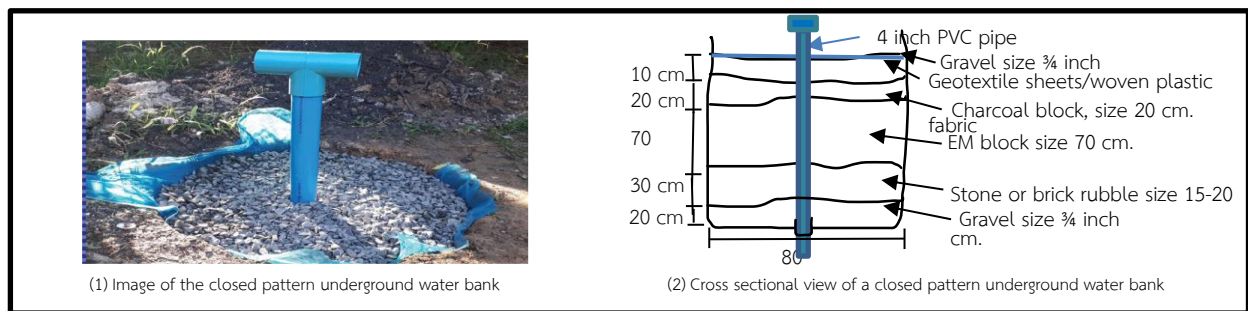


Figure 3 Closed pattern underground water bank characterized as a well form

1.2 ธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิดที่มีลักษณะเป็นแบบราง สร้างในพื้นที่ที่มีความลาดเอียงที่น้ำผิวดินไหลรวมกันเป็นร่อง เช่น พื้นที่ร่องข้างถนน จึงสร้างเป็นรางขนานไปตามถนนในชุมชน ขนาดของราง กว้าง 1-2 เมตร แต่ละช่วงยาว 10-20 เมตร ลึก 0.60 เมตร ขุดบ่อนำน้ำใต้ดินภายในรางกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ลึก 1.50 เมตร กลางบ่อวางท่อ PVC ขนาด 2-4 นิ้ว ปิดปลายท่อด้วย PVC แบบ 3 ทาง ให้สูงเหนือราง ภายในบ่อนำน้ำใต้ดินใส่ก้อนหิน หินกรวด เศษอิฐปูนก่อสร้าง ขวดแก้ว ขวดพลาสติกบรรจุน้ำ 1 ใน 3 ส่วน บ่อนำน้ำใต้ดินแต่ละจุดมีระยะห่าง 10-20 เมตร ปูแผ่นผ้าพลาสติกสานจีโอเท็กซ์ให้ลวดลายราง ปิดทับด้วยทรายหยาบและหินเกล็ดขนาด 3/4 นิ้ว เพื่อเก็บสะสมน้ำลงสู่ใต้ดิน (Figure 4)

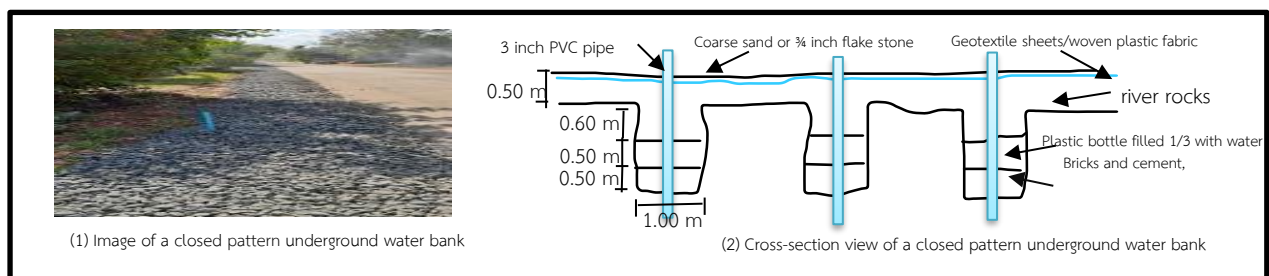


Figure 4 Closed pattern underground water bank characterized as a channel form

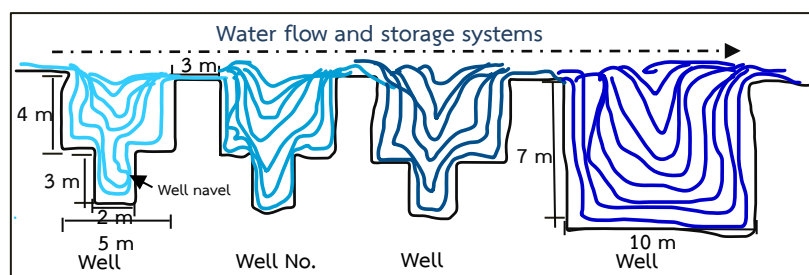
ผลดีของธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิดคือการเป็นหลุมรับน้ำจากผิวดิน ช่วยการลดปริมาณน้ำท่วมขังบริเวณผิวดิน ให้ไหลลงใบบ่ออย่างรวดเร็ว ลดปัญหาน้ำแข็งและน้ำท่วมในพื้นที่ ส่วนในธนาคารน้ำใต้ดินที่สร้างในบริเวณสวนได้มีการบรรจุเศษวัสดุในชุมชน เช่น ใบไม้แห้ง ใบไม้สด ปุ๋ยอินทรีย์หรือมูลสัตว์และฟาง เพิ่มเติมในแต่ละชั้นของบ่อนำน้ำใต้ดินเพื่อให้เป็นอินทรีย์วัตถุบำรุงดินให้อุดมสมบูรณ์ สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Satsanavisuth (2017) ที่พบว่า นวัตกรรมสิ่งแวดลอมชุมชนที่ผ่านการถ่ายทอดปฏิบัติ มีการฝึกปฏิบัติและการนำไปใช้จริงในวิถีชีวิต มีการหนุนเสริมจากผู้บริหารท้องถิ่น ทำให้เกิดวิปฏิบัติเพื่อสิ่งแวดลอมชุมชนและเชื่อมเป็นเครือข่ายที่ยั่งยืน

2. ธนาคารน้ำใต้ดินระบบเปิด มี 2 แบบย่อย ได้แก่

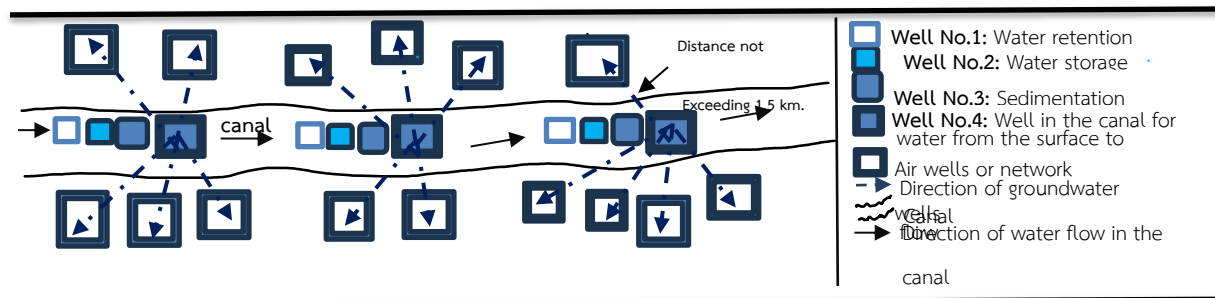
2.1 ธนาคารน้ำใต้ดินแบบลำคลอง เป็นแบบขุดเป็นร่องลึกในลำคลองที่ตื้นเขินเพื่อรองรับน้ำท่วมผิวดินในบริเวณกว้าง และมีน้ำปริมาณมากเพื่อเก็บกักไว้ใต้ดิน บ่อนำน้ำใต้ดินจะวางในร่องน้ำและพื้นที่รับน้ำที่ราบลุ่มกลางลำคลอง จำนวน 4 บ่อ ขนาดรูปร่างของบ่อออกแบบเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพบริบทและสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่ โดยวางตำแหน่งให้เป็นกลุ่มและเครือข่าย บ่อที่ 1 บ่อชะลอน้ำ บ่อที่ 2 บ่อพักน้ำ บ่อที่ 3 บ่อตกตะกอน บ่อที่ 4 บ่อเติมน้ำลงใต้ดินซึ่งเป็นบ่อหลักทำหน้าที่รับน้ำและส่งน้ำไปยังบ่อลุ่มหรือบ่อเครือข่ายที่ทำหน้าที่เปิดอากาศและช่วยสร้างทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน มีระยะห่างจากบ่อเติมน้ำไปยังบ่อเครือข่ายไม่เกิน 1.5 กิโลเมตร (Figure 5)



(1) Image of the open pattern underground water bank



(2) Cross-section view of an open pattern underground water bank that form of deep channel in shallow canals



(3) Aerial view showing the water delivery system from the open pattern underground water bank from the canal to a network well to serve as underground water collection points for utilizing water in the area

Figure 5 Open pattern underground water bank characterized as the canal

2.2 ธนาคารน้ำใต้ดินแบบเปิดที่ขุดเป็นแบบสระน้ำก้นลึก สร้างขึ้นทั้งในพื้นที่สาธารณะและพื้นที่ส่วนบุคคล สร้างธนาคารน้ำใต้ดินโดยการขุดสระใหม่หรือใช้สระเก่าที่ตื้นเขินก็ได้ส่วนใหญ่ขนาดของสระมีความกว้าง 8-10 เมตร ยาว 10-15 เมตร ลึก 8-10 เมตร โดยขุดบ่อน้ำธนาคารน้ำใต้ดินไว้นอกสระและในสระรวมเป็น 2 จุด จุดที่ 1 เป็นบ่อที่ขุดเพื่อรับน้ำผิวดินนอกสระ น้ำเพื่อรับน้ำผิวดินนอกสระส่งน้ำเข้าสู่ระบบน้ำใต้ดินในสระ ขนาดของบ่อน้ำธนาคารน้ำใต้ดินมีความกว้าง 2-5 เมตร ความยาว 2-5 เมตร ความลึก 5-7 เมตร ซึ่งอาจเพิ่มหรือลดขนาดได้ตามความเหมาะสม การขุดบ่อน้ำธนาคารน้ำใต้ดินต้องขุดให้ทะลุผ่านชั้นดินเหนียวลงไปเพื่อให้สามารถรับน้ำใต้ดินเก็บไว้ในระดับชั้นหินอุ้มน้ำได้ โดยภายในบ่อต้องบรรจุก้อนหินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3-8 นิ้วบรรจุให้เต็มถึงปากบ่อโดยวางท่อ PVC ขนาด 3-4 นิ้วในแนวตั้งไว้กลางบ่อเพื่อระบายอากาศ ปากบ่อคลุมด้วยผ้าพลาสติกสานจีโอเทกซ์ไทล องค์กรประกอบภายในบ่อคล้ายกับธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิด จุดที่ 2 เป็นบ่อขุดกลางสระน้ำเพื่อรับน้ำใต้ดินในฤดูน้ำหลากจากบ่อที่ 1 มาเก็บไว้ในสระและสามารถนำน้ำใต้ดินจากสระน้ำมาใช้ประโยชน์ในฤดูแล้งได้ ขนาดของบ่อขุดกลางสระในจุดที่ 2 นี้มีขนาดเท่ากับการขุดในจุดที่ 1 ระยะเวลาการสะสมปริมาณน้ำใต้ดินให้น้ำเต็มสระใช้เวลา 1 ปี หรือ 1 ฤดูน้ำหลาก (Figure 6)

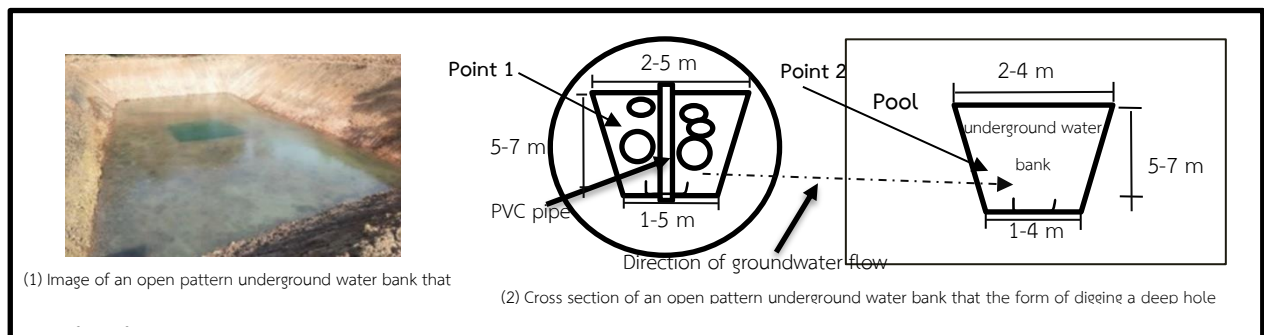


Figure 6 Open pattern underground water bank built in the form of a pool

การส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

อปท.ทั้ง 3 แห่งที่เป็นต้นแบบได้ส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินในชุมชน ดังนี้

1. สร้างความสามารถในการสร้างธนาคารน้ำใต้ดิน โดยจัดให้มีการยกระดับความรู้และทักษะเกี่ยวกับธนาคารน้ำใต้ดินให้แก่บุคลากรในหน่วยงาน ผู้นำชุมชนและประชาชนในชุมชน แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน

ขั้นที่ 1 สร้างความรู้ ความตระหนักร่วมกัน โดยการจัดประชุมวิเคราะห์ปัญหาน้ำท่วม น้ำแล้งและความเป็นไปได้ในการใช้ธนาคารน้ำใต้ดินให้เป็นนวัตกรรมใหม่ในการแก้ปัญหาในชุมชน จัดอบรมเชิงปฏิบัติการและศึกษาดูงานที่สถาบันน้ำนิเทศศาสตร์คุณ วัดอาจศีลาवास อำเภอเมือง จังหวัดบึงกาฬ และวัดบุญเรืองสุวรรณาราม อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย โดยการถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ของวิทยากรที่มีความเชี่ยวชาญ และฝึกปฏิบัติภาคสนาม เมื่อกลับไปท้องถิ่นได้ประชุมสรุปบทเรียน วางแผน จัดตั้งคณะทำงานส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินโดยมีนายกองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเป็นประธาน มีเจ้าหน้าที่ อปท. สภา อปท. และผู้นำชุมชนเป็นกรรมการ ซึ่งสอดคล้องกับ Pinsawasdi (2020) ที่พบว่า การจัดการน้ำชุมชนต้องยึด

คนเป็นศูนย์กลาง ให้คนเข้ามามีส่วนร่วมผ่านการเรียนรู้จนเข้าใจบริบทและเห็นการเปลี่ยนแปลงแล้ววางแผนให้สอดคล้องกับความต้องการของชุมชนทุกกลุ่มเป้าหมาย

ขั้นที่ 2 ปฏิบัติการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินนาร่อง โดยเริ่มสร้างธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิดเป็นต้นแบบในพื้นที่สำนักงานของ อบท. รับครัวเรือนอาสาสมัครเป็นกลุ่มนาร่องในการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิดในพื้นที่บ้าน กลุ่มนาร่องส่วนใหญ่เป็นผู้บริหาร อบท. ผู้นำชุมชนและครอบครัวที่มีความพร้อมใช้งบประมาณส่วนตัวและใช้วัสดุเหลือใช้ในครัวเรือนเป็นส่วนประกอบในบ่อธนาคารน้ำใต้ดิน เช่น ขวดน้ำพลาสติก ตาช่ายเหลือใช้แปลงเกษตร เศษหิน อิฐ ปูนจากเศษวัสดุก่อสร้าง ยางรถยนต์ และใช้แรงงานของคนในครัวเรือน

ขั้นที่ 3 ขยายผลให้แพร่หลายในชุมชน คณะทำงานที่ อบท. จัดตั้งขึ้นจัดให้ความรู้และประเมินติดตามผลงานครัวเรือนนาร่องภาคสนาม จัดเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้สรุปผลและแนะนำครัวเรือนใหม่เพิ่มขึ้น อบท. ได้สนับสนุนโดยจัดหาวัสดุอุปกรณ์ให้ เช่น กรวด หิน ท่อ PVC บาง อบท. เช่น อบต.วังหามแห ได้จัดเงินอุดหนุนเป็นค่าแรงงานในการขุดหลุมๆ ละ 300 บาทและค่าขนย้ายวัสดุอุปกรณ์อีกหลุมละ 300 บาทให้กลุ่มนาร่องเป็นพี่เลี้ยงให้คำแนะนำและตรวจสอบคุณภาพร่วมกับคณะทำงานของ อบท. แล้ว อบท. จึงขยายงานสร้างธนาคารน้ำใต้ดินแบบเปิดโดยให้คณะทำงานสำรวจและเลือกพื้นที่สาธารณะให้เป็นพื้นที่นาร่องที่ใช้เป็นแหล่งรองรับน้ำผิวดินและเป็นแหล่งเก็บน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น เพื่อให้คนในชุมชนได้นำน้ำใต้ดินกลับมาใช้ประโยชน์ได้ โดยใช้งบประมาณ เครื่องมือ เครื่องจักร จาก อบท. และใช้แรงงานจากความร่วมมือของคนในชุมชน

ขั้นที่ 4 ยกระดับสู่การเป็นเครือข่ายธนาคารน้ำใต้ดิน หลังจากผ่านขั้นที่ 3 แล้ว มีการจัดประชุมผู้เกี่ยวข้องหาทางเพิ่มประโยชน์จากธนาคารน้ำใต้ดินเพื่อสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ โดยสร้างเครือข่ายน้ำใต้ดินในพื้นที่สาธารณะและพื้นที่ว่างส่วนบุคคลที่ยินยอมให้ใช้พื้นที่สร้างธนาคารน้ำใต้ดินทั้งแบบปิดและแบบเปิดให้ได้จำนวนมากและกระจายเต็มพื้นที่ อบท. ผลคือเกิดการเชื่อมโยงสายน้ำใต้ดินเต็มพื้นที่ในระดับตำบลและต่อเนื่องสู่ตำบลใกล้เคียง เกิดเครือข่ายความร่วมมือจาก อบท. กับผู้สร้างธนาคารน้ำใต้ดินและผู้ใช้ประโยชน์น้ำจากธนาคารน้ำใต้ดินเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและยกระดับคุณภาพชีวิตต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับ Pruksa et al. (2022) ที่พบว่า การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นปัจจัยการผลิตอาหารในชุมชนที่ยั่งยืน ต้องมีความร่วมมือในชุมชนเป็นหลักและสนับสนุนโดยภาคภายนอกทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน ภาคชุมชน ในการฟื้นฟูและพัฒนาสิ่งแวดล้อมในการผลิตอาหารแบบพึ่งตนเอง ให้สังคมเศรษฐกิจมั่นคงเพื่อคนรุ่นปัจจุบันและอนาคต

2. ด้านงบประมาณ อบท. ได้ส่งเสริมครอบครัวและชุมชนโดยจัดงบประมาณสนับสนุนในการศึกษาดูงานและการอบรมเพื่อสร้างความรู้ความตระหนักและจัดงบประมาณสนับสนุนเป็นค่าแรง เครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์ ดังกรณีของ อบต.เก่าขาม ให้งบประมาณจัดทำธนาคารน้ำใต้ดินแบบเปิดที่เป็นแบบราง โดยให้ขุดลอกลำห้วยและฝาย จัดสร้างเป็นธนาคารน้ำใต้ดินในลำห้วยแก้ว ระยะทางยาว 1 กม. ด้วยงบประมาณ 3,000,000 บาท สร้างในช่วงเวลา 4 ปี แต่ไม่ได้สนับสนุนการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิดของครัวเรือน ส่วนกรณี อบต.วังหามแห ได้ใช้เงินรางวัลชนะเลิศองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีการบริหารจัดการที่ดีจำนวน 7,000,000 บาท มาสนับสนุนการสร้างบ่อธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิดแก่ครัวเรือนเป็นค่าแรงงานและค่าวัสดุบ่อละ 600 บาททุกครัวเรือน และสร้างบ่อธนาคารน้ำใต้ดินแบบเปิดแบบสระ จำนวน 330,000 บาทต่อ 1 บ่อ ส่วน ทต.หนองมะโมง ซึ่งเป็น อบท. ที่มีการทำธนาคารน้ำใต้ดินแบบเปิดมากที่สุด โดยใช้ลำคลองและสระน้ำเดิมที่มีสภาพตื้นเขินขุดเป็นบ่อธนาคารน้ำใต้ดินโดยใช้งบประมาณจากบุดหนุนประจำปี 2563 เป็นเงิน 456,000 บาท ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Rohr et al. (2018) ที่พบว่า การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมของชุมชนอย่างจริงจังจะส่งผลต่อระบบนิเวศน์ ทั้งนี้ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรมีบทบาทในการส่งเสริมกิจกรรมและสนับสนุนงบประมาณมากขึ้น

3. ด้านวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือและแรงงานที่ใช้ในการสร้างธนาคารน้ำใต้ดิน อบท. ที่เป็นต้นแบบทั้ง 3 แห่ง ได้สนับสนุนโดยจัดก้อนหิน ก้อนกรวด หินเกล็ด แผ่นจีโอเท็กซ์ไทล์หรือผ้าพลาสติกสานให้เป็นวัสดุบรรจุในหลุมธนาคารน้ำใต้ดินระยะแรกให้ครัวเรือนใช้แรงงานตนเองจัดหาวัสดุอุปกรณ์เป็นของเหลือใช้ในครัวเรือน เช่น ขวดแก้ว ขวดน้ำพลาสติก เศษอิฐปูน ในการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินแบบเปิดในพื้นที่สาธารณะและพื้นที่ส่วนบุคคล ได้จัดหาวัสดุประเภทก้อนหิน เครื่องมือเครื่องจักร เช่น รถแมคโคร รถขุดดิน และแรงงานให้โดยใช้งบประมาณของ อบท. เฉพาะกรณี อบต.วังหามแห มีการกระตุ้นจิตสำนึกความรับผิดชอบในการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินโดยการสร้างสโลแกนจัดทำเป็นป้าย ว่า “ใครไม่ทำ Gu ทำ” ทำให้ทุกครัวเรือนติดตั้งไว้ที่บ่อธนาคารน้ำใต้ดิน ให้เป็นค่านิยมและวิถีชุมชน (Figure 7 ภาพที่ 1) นอกจากจัดวัสดุให้สร้างธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิดทุกครัวเรือนและจัดทำ “โซ่โดโนเสาร์” เป็นชุดวัสดุ อุปกรณ์สำเร็จรูปบรรจุหลุมธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิดที่สร้างในพื้นที่สาธารณะชุมชน (Figure 7 ภาพที่ 2) จึงเป็นนวัตกรรมชุมชนที่ออกแบบและสร้างจากเซรามิก 2 ใบประกบกัน ภายในบรรจุวัสดุประเภทหิน ขวดแก้ว อิฐ ตรงกลางใช้ท่อ PVC ขนาด 2-3 นิ้วจะตั้งไว้สำหรับระบายอากาศ ผูกปากเซต 2 ใบติดกันให้แน่นด้วยลวดเพื่อนำไปวางในหลุมธนาคารน้ำใต้ดินให้รองรับน้ำจากผิวดินไหลผ่านลงไปเป็นน้ำใต้ดินอย่างสะดวก



Figure 7 Image of the awareness sign at the closed pattern underground water bank pit and the prototype of the local innovative material "Dinosaur eggs"

4. ด้านการจัดระบบโครงสร้างการบริหารงานส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ทั้ง 3 แห่ง พบว่า นายก อบต.ต้องให้ความสำคัญ และจัดตั้งคณะทำงานประกอบด้วยตัวแทนผู้บริหาร ตัวแทนสภา อบต. และผู้นำชุมชน จัดทำแผนการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินเพื่อจัดการน้ำท่วมและน้ำแล้งเพื่อฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมท้องถิ่นให้หน่วยงานที่เหมาะสมรับผิดชอบโดย อบต.เก่าขาม ได้มอบหน้าที่ให้สำนักปลัด อบต.วังหามแห มอบหน้าที่ให้กองช่าง และ ทต.หนองมะโมง มอบหน้าที่ให้ฝ่ายแผนและงบประมาณในสังกัดสำนักงานปลัดดูแลบริหารงาน ส่งเสริมทุกชุมชนให้สมาชิก อบต.และ ทต.ชุมชนละ 2 คนเป็นแกนนำในการเริ่มสร้างธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิดเป็นต้นแบบและขยายผลสู่ครัวเรือน กำหนดพื้นที่สร้างธนาคารน้ำใต้ดินแบบเปิด ใช้ประโยชน์จากน้ำร่วมกัน เช่น พื้นที่ป่าชุมชน พื้นที่สาธารณะรกร้าง กรณี อบต.วังหามแห มีการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินครบทุกครัวเรือนและร่วมกันทำข้อตกลงเป็นธรรมนูญตำบลวังหามแห ในการสร้างและใช้ประโยชน์จากธนาคารน้ำใต้ดิน ทั้ง 3 อบต.ได้สนับสนุนการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินแบบเปิดในพื้นที่ส่วนบุคคลที่สมัครใจโดยให้สิทธิเจ้าของพื้นที่สระน้ำได้เป็นผู้ใช้น้ำก่อนและแบ่งปันน้ำให้แก่ครัวเรือนโดยรอบเพื่อทำการเพาะปลูกตลอดปี บางครอบครัวมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการทำสวนมะละกอ สวนผักและผลไม้จำหน่ายเป็นรายได้หลัก ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Sripoona (2020) ที่พบว่า อบต.ต้องมีนโยบายและสนับสนุนชุมชนให้จัดการผลิตน้ำอุปโภคและบริโภคโดยการจัดการตนเองบนฐานทรัพยากรน้ำในชุมชนสู่การพึ่งตนเอง เช่นเดียวกับผลการวิจัยของ Tuansiri (2022) ที่พบว่า การจัดทำแผนพัฒนาท้องถิ่นให้สามารถตอบสนองปัญหาและความต้องการของประชาชนย่อมก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดซึ่งเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาระดับชุมชนอย่างยั่งยืน

5. ด้านการมีส่วนร่วมภายในท้องถิ่นและความร่วมมือกับองค์กรและภาคีภายนอกชุมชน อบต.ทั้ง 3 แห่งได้เริ่มจากการสร้างความเข้าใจในหลักการและเป้าหมายระหว่างคณะทำงานกับหน่วยงานและชุมชน เรียนรู้ ศึกษาดูงาน การประชุม แลกเปลี่ยนเรียนรู้ ปฏิบัติการร่วมกัน สร้างข้อตกลงแบบมีส่วนร่วม ใช้การอาสาสมัครนำร่องโดยผู้บริหาร สมาชิกสภาและผู้นำทุกชุมชนในการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินต้นแบบ โดย อบต.ให้ความร่วมมือด้านงบประมาณและวัสดุอุปกรณ์ แบ่งปันการใช้ประโยชน์จากน้ำใต้ดินที่ได้มาใช้ร่วมกัน 5-10 ครัวเรือน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Sripoona et al. (2021) ที่พบว่า การมีส่วนร่วมในการจัดการสิ่งแวดล้อมโดยรวมทำให้ชุมชนมีสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้น จากการอนุรักษ์ป่าชุมชนส่งผลให้การสะสมปริมาณน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น ชุมชนได้ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำในป่าชุมชนมากขึ้น และ Pansavee (2021) ที่พบว่า ความร่วมมือในพื้นที่เกิดผลให้ได้รับรางวัลและการสนับสนุนจากภาครัฐและเอกชน ทำให้เกิดความสำเร็จและเป็นแบบอย่างแก่ชุมชนอื่นๆ ได้ ส่วนความร่วมมือกับองค์กรและภาคีภายนอกชุมชน ทั้ง 3 อบต.ได้เป็นแหล่งศึกษาดูงาน และเป็นพี่เลี้ยงการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินให้แก่ อบต.และหน่วยงานอื่น เริ่มจากปี 2560 ได้จัดทีมวิทยากรทีมละ 5 คน ไปให้ความรู้แก่เครือข่ายระดับภาคและระดับประเทศเพื่อขยายผลโดยการสนับสนุนของกรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่น สถาบันการศึกษา ภาครัฐ ภาคเอกชน จนเกิดเครือข่าย อบต.ทั่วทุกภาค

ผลของการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินที่มีต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมชุมชน โดยการส่งเสริมขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

1. ผลต่อการแก้ปัญหา น้ำท่วมและน้ำแล้งในชุมชน พบว่า ในฤดูน้ำหลาก มีน้ำท่วมขังในพื้นที่รับน้ำซึ่งเดิมมีน้ำท่วมพื้นที่ 1-3 เดือน หลังจากสร้างธนาคารน้ำใต้ดินพบว่าสภาวะน้ำท่วมลดลงเหลือ 1-3 สัปดาห์ การเกิดเครือข่ายน้ำใต้ดินสามารถนำน้ำใต้ดินกลับขึ้นมาใช้อุปโภคและการเกษตรได้ บรรเทาความเดือดร้อนจากน้ำท่วมขัง มีพื้นที่ประกอบอาชีพมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Uanlum et al. (2018) ที่พบว่า ธนาคารน้ำใต้ดินเป็นการนำน้ำมาสร้างเครือข่ายน้ำใต้ดินให้เกิดผลอย่างยั่งยืน คล้ายกับการขุดสระบารายในอดีตแต่ปริมาณน้ำใต้ดินที่สะสมไว้ในสระขึ้นอยู่กับบริบทของพื้นที่และชั้นดินของแต่ละแห่ง

2. ผลต่อสิ่งแวดล้อมองค์รวม พบว่าธนาคารน้ำใต้ดินเหมาะกับพื้นที่นอกเขตชลประทานและพื้นที่ลุ่ม ใช้เป็นแหล่งเก็บกักน้ำฝนและน้ำผิวดินไว้ใต้ดินทำให้ดินเพิ่มความชื้น น้ำนํ้ากลับมาใช้ได้ในฤดูแล้ง เพิ่มพื้นที่สีเขียวและความหลากหลายทางชีวภาพ (biodiversity) ได้น้ำใต้ดินเป็นทุนธรรมชาติ (natural capital) สร้างความเกื้อกูลระหว่างน้ำ ดิน พืชพรรณ อากาศ ลดจัดการของ

เหลือใช้และสร้างประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างเกื้อกูลเป็นองค์รวม เช่นเดียวกับผลการวิจัยของ Satsanavisuth (2016) ที่พบว่า ได้นำวัสดุของเหลือใช้จากครัวเรือนเป็นตัวกรองน้ำเสียได้แก่ อิฐมอญ ถ่านไม้ หินเกล็ดและใยจากเปลือกมะพร้าว ทำให้น้ำสะอาดขึ้น ผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อแม่น้ำเจ้าพระยาโดยรวม

3. ผลต่อนวัตกรรมสิ่งแวดล้อม การสร้างธนาคารน้ำใต้ดินเป็นนวัตกรรมใหม่ที่ อปท.ต่อยอดพัฒนาทั้งรูปแบบปิดและแบบเปิดให้สอดคล้องกับภูมิโนทัศน์ของชุมชน มีการสร้าง “ไฮโดรโนเสาร์” เป็นชุดวัสดุสำเร็จรูปเพื่อบรรจุน้ำในบ่อธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิด ด้านนวัตกรรมเชิงสังคมได้สร้างสื่อเพื่อสร้างจิตสำนึกร่วมกันเป็นป้ายสโลแกนว่า “ใครไม่ทำ Gu ทำ” ติดไว้ที่บ่อธนาคารน้ำใต้ดิน ด้านนวัตกรรมเชิงกระบวนการ อปท.จัดระบบบริหาร ส่งเสริมในการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินโดยให้ผู้นำใน อปท.เริ่มสร้างนำร่องนวัตกรรมดังกล่าว ใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่อย่างบูรณาการที่ส่งผลกระทบต่อพัฒนาอย่างยั่งยืนในระดับชุมชนได้ต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Cherdgotha et al. (2021) ที่พบว่ากระบวนการสิ่งแวดล้อมศึกษาต้องสร้างความร่วมมือระหว่างครัวเรือนกับชุมชนเพื่อทำกิจกรรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยการพัฒนาค้นหามืออาชีพความรู้เพียงพอและพึ่งตนเองได้บนฐานทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมสมดุล

สรุปผลการศึกษา

ธนาคารน้ำใต้ดินเป็นนวัตกรรมสิ่งแวดล้อม ที่พระสงฆ์ไทยนำต้นแบบมาจากชุมชนในรัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา มาปรับใช้ครั้งแรกที่จังหวัดหนองคาย เพื่อแก้ปัญหาหน้าท่วมน้ำแล้ง โดยเก็บกักน้ำหลากจากผิวดินลงสู่ใต้ดินสะสมไว้ในระบบเครือข่ายสายน้ำใต้ดิน ที่สร้างได้ 2 รูปแบบให้เกื้อกูลกัน โดยธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิดใช้เก็บกักน้ำลงสู่ใต้ดิน ส่วนธนาคารน้ำใต้ดินแบบเปิดใช้ทั้งการเก็บกักน้ำลงสู่ใต้ดินและนำน้ำใต้ดินกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคและการเกษตร ปี 2557 สถาบันน้ำนิเทศศาสตร์คุณจัดตั้งขึ้นเพื่อให้ความรู้และสร้างผู้นำธนาคารน้ำใต้ดินแก่คนไทย ผู้นำองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่นำไปปฏิบัติอย่างได้ผลจนเป็นต้นแบบเป็นแห่งแรกคือ อบต.เก่าขาม จ.อุบลราชธานี และได้ขยายผลสู่ อบต.วังหามแห จ.กำแพงเพชร และ ทต.หนองมะโมง จ.ชัยนาท อปท.ทั้งสามแห่งได้ประสบความสำเร็จในการส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมชุมชน โดยจัดการเรียนรู้เชิงปฏิบัติแก่ผู้นำและสมาชิกครัวเรือน สร้างแกนนำและจัดระบบบริหารแบบร่วมมือ สนับสนุนปัจจัยจำเป็นและเสริมพลังร่วมชุมชนด้วยการใช้เงินรางวัลที่ท้องถิ่นได้รับมาสนับสนุนสร้างขึ้นเติมพื้นที่ สร้างจิตสำนึกเชิงคุณค่าด้วยสโลแกน “ใครไม่ทำ Gu ทำ” สร้างนวัตกรรมชุมชนเรียกชื่อ “ไฮโดรโนเสาร์” ให้เป็นชุดสำเร็จรูปบรรจุน้ำในบ่อธนาคารน้ำใต้ดินแบบปิด สร้างวงบ่อไม้ไผ่ป้องกันเศษวัสดุไหลลงอุดตันปากบ่อที่เหมาะสมตามภูมิโนทัศน์ ส่งผลให้ชุมชนมีธนาคารน้ำใต้ดินเติมพื้นที่ ลดน้ำท่วม มีน้ำใช้อย่างเพียงพอ พื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่สีเขียวให้มีความหลากหลายทางชีวภาพ เพิ่มอาชีพเพิ่มรายได้แก่ชุมชน ทั้ง 3 แห่ง จึงเป็นศูนย์เรียนรู้ธนาคารน้ำใต้ดินที่กรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่นและหน่วยงานอื่นให้การสนับสนุน ให้เป็นต้นแบบขยายผลจนเกิดเครือข่ายและแหล่งเรียนรู้ของ อปท.ที่ส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินขึ้นมากมาย หากรัฐบาลและกระทรวงหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกำหนดนโยบายส่งเสริมการสร้างธนาคารน้ำใต้ดินเป็นวาระแห่งชาติ โดยใช้ธนาคารน้ำใต้ดินเป็นฐานการพัฒนาเกษตรและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน ย่อมส่งผลกระทบต่อพัฒนาประเทศไทยให้สำเร็จสู่เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนและพึ่งตนเองได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารและเจ้าหน้าที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ผู้นำชุมชนและผู้เข้าร่วมโครงการธนาคารน้ำใต้ดินของ อบต.เก่าขาม จ.อุบลราชธานี, อบต.วังหามแห จ.กำแพงเพชร และ ทต.หนองมะโมง จ.ชัยนาท และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จ.ปทุมธานี ที่สนับสนุนการทำวิจัยนี้ให้สำเร็จด้วยดีและได้ให้รางวัลเป็นผลงานวิจัยดีเด่น VRU Outstanding Graduate Awards 2022 สาขาสิ่งแวดล้อมศึกษา ในระดับบัณฑิตศึกษาประจำปี 2565

เอกสารอ้างอิง

BBC NEWS. (2021). *Great Flood of 2011, Thailand Sinks under the Ground*. Retrieved from:

<https://www.bbc.com/thai/58992279>. (in Thai).

Bing images. (2023). *Thailand Map Picture*. Retrieved from: <https://www.bing.com/images/search?q>. (In Thai).

Cherdgotha, P., Sripona, S., & Chulilung, P. (2021). Tourism Development for Participation Learning in Organic Farm at 12

- Sub-community of Ban Klong Jan Sa Kaeo Province. **Journal of Legal Entity Management and Local Innovation**, 7(12), 45-60. (in Thai).
- Office of Energy Policy and Planning. (2008). **Reduce Global Warming by Ourselves**. Energy Policy and Planning Office, Ministry Of Energy. Retrieved from: <https://www.eppo.go.th/index.php/th/eppo-intranet/item/6220-green-the-earth>. (In Thai).
- Geo-Informatics and Space Technology Agency. (2022). **Peak Period of Every Year Comparison of Flooded Areas 2011-2021-2022 is 3 Times Different**. Retrieved from: <https://www.thairath.co.th/news/society/2519311>. (in Thai).
- Juljarern, S. (2018). **Thai Awards, Honor Awards on the Path of Life by the Foundation for Thai Society**. Ground Water Bank Nongmamong. Retrieved from: <https://www.facebook.com/thaiaward/posts/2523213577709109>. (in Thai).
- Rohr, J., Bernhardt, S., Marc, W., & William, H. (2018). The ecology and economics of restoration: when, what, where, and how to restore ecosystems USA. **Journal Article: Ecology and Society**, 23(2), 1-16.
- Phongphit, S. (2019). **Underground Water Bank**. Siamrath Column. Retrieved from: <https://siamrath.co.th/c/99354>. (in Thai).
- Phramedhavinaiyaros (Buddhachanya, S.), & Raggatanyoo, S. (2023). Administration of Local Government Organizations: Problems, Obstacles and Solutions. **The Journal of Research and Academics**, 6(1), 291-292. (In Thai).
- Pinsawasdi, T. (2020). Development of an Integrated System for Cooperation Between Government Sectors the Public and Private Sectors in Water Management of Chainat Province. **Rajapak Journal**, 14(37), 2-12. (in Thai).
- Pansawee, P. (2021). **Factors Affection Succuss to Successfully Manage Marine and Coastal Resources Case Study Panare Subdistrict Fishery Club Panare District, Pattani Province**. Retrieved from: <http://gseda.nida.ac.th/academics/database/students/#::~:~:text=2564%20>. (in Thai).
- Pruksa, S., Sripoona, S., Lowirakorn, S., & Chaitokkia, S. (2022). Supporting Sustainable Development by Identifying Ways to Enhance and Conserve Local Food Wisdom, Loei Province. **Sustainability Journal**, 14(12), 6978. <https://doi.org/10.3390/su14126978>. (in Thai).
- Sripoona, S. (2020). The Development of Water Quality Management for Self-Reliance of Khok Sabang Community, Aranyaprathet District, Sa Kaeo Province. **Journal of Graduate Studies Valaya Alongkorn Rajabhat University**, 14(2), 165-175. (in Thai).
- Sripoona, S., Laobusnanant, P., Chamchoy, N., & Boonvarichchananan, B. (2021). The Community Network Collaboration of Utilization Management on Non hin phueng Community Forest to Sustainability of Prachinburi, Thailand. **Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry (TOJQI)**, 12(7), 9595-7603. (in Thai).
- Satsanavisut, P. (2016). Community innovation transfer in wastewater management appropriate therapy Ecology for youth. **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**, 11(2), 91-107. (in Thai).
- Satsanavisut, P. (2017). **Community Innovation Transfer in Wastewater Management Appropriate Therapy Ecology for Youth**. Master's thesis. Valaya Alongkorn Rajabhat University. (in Thai).
- Thirawannarat, S. (2019). **"El Niño" Formed This Time, will It be a Crisis or an Opportunity for the New Government?**. Retrieved from: <https://www.bangkokbiznews.com /blogs/columnist/121774>. (in Thai).
- Tuansiri, E. (2022). Local government organizations and their independency in the preparation of local development plans: Case Study Yala Province. **Journal of Social Sciences and Humanities Research in Asia**, 29(1), 15-31. (in Thai).
- Uanlum, P., Thammasarn, P., Pratumchat, A., Kraidet, S., & Prabchan, S. (2017). **Knowledge Management for Water Management to Strengthen the Community and Self-Reliane on Sustainable Water Resources Case Study: Ground Water Bank Project, Ban Kham Klang, Kao Kham Subdistrict, Nam Yuen District, Ubon Ratchathani Province**. Office National Research Council. (In Thai).

ผลของการกระตุ้นจากสภาวะปราศจากออกซิเจนระยะสั้นต่อการสูญเสียน้ำหนักและรงควัตถุของมะเฟืองพันธุ์สีทอง

Effect of Short-Term Anoxia on Weight Loss and Pigments of Carambola Fruit

Cv. See-Thong

ปรายดา ยิงสง่า^{1*}, สุพรรณษา คงภักดี², ชัยรัตน์ เตชวุฒิปพร³, ทันวาลี ศรีนนท์⁴, ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์⁴ และลดา มัทธูระ⁵

Prakaidao Yingsanga^{1*}, Supansa Kongpakdee², Chairat Techavuthiporn³, Thanwalee Srinon⁴

Pongphen Jitareerat⁴ and Lada Mathurasa⁵

Received date: 20 ต.ค. 66 Revised date: 12 ธ.ค. 66 Accepted date: 18 ธ.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.014>

บทคัดย่อ

สภาวะปราศจากออกซิเจนระยะสั้นหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลสดทางการเกษตรเป็นการกระตุ้นให้พืชเกิดความเครียดซึ่งอาจมีผลต่อการควบคุมคุณภาพของผลิตผลสดหลังการเก็บเกี่ยวได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการให้สภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นเวลา 0 (ชุดควบคุม) 12 24 และ 36 ชั่วโมงต่อการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณแคโรทีนอยด์ของมะเฟืองพันธุ์สีทอง โดยบันทึกข้อมูลการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณแคโรทีนอยด์ หลังจากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60-70 แล้วบันทึกผลทุก ๆ 2 วัน เป็นระยะเวลา 8 วันหลังการเก็บรักษา ผลการทดลองพบว่า การให้สภาวะปราศจากออกซิเจนทุกชุดการทดลองช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การสลายตัวของคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ซึ่งการให้สภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงมีแนวโน้มชะลอการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ดีที่สุด รองลงมาคือระยะเวลา 36 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และชุดควบคุมตามลำดับ โดยชุดการทดลองการให้สภาวะปราศจากออกซิเจน และชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ปริมาณแคโรทีนอยด์ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชุดควบคุม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลา 24 36 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ ดังนั้นการให้สภาวะปราศจากออกซิเจนในระยะเวลาที่เหมาะสมมีแนวโน้มช่วยคงคุณภาพมะเฟืองพันธุ์สีทองหลังการเก็บเกี่ยวได้

คำสำคัญ: มะเฟือง สภาวะปราศจากออกซิเจน ระยะเวลา คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์

Abstract

The effect of a short-term anoxia may induce stress, which can prolong the good qualities of fresh produce after harvest. The objective of this research was to study the effects of a short-term anoxia (0; control, 12, 24 and 36 h) on weight loss, chlorophyll a (Ca), chlorophyll b (Cb) and carotenoids content of carambola fruit cv. See-Thong. Collected data were analyzed for 2-day intervals during storage at 25±2 °C 60-70%RH up to 8 days. The results showed that short-term anoxia treatment could help retarding weight loss, as well as Ca,

¹ สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีการเกษตรสมัยใหม่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

² สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

³ ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

⁴ สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10150

⁵ สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร บางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

¹ Department of Modern Agricultural Technology Management, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

² Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

³ Department of Agricultural Education, Faculty of Industrial and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

⁴ Postharvest Technology Program, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10150

⁵ Department of Environmental and Natural Resource Management, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

* Corresponding author. E-mail: prakaidao@pnru.ac.th

and Cb degradations. Treatment of short-term anoxia showed best results at 24 h, followed by 36 h, 12 h, and control, respectively. There was no significant difference between the anoxia treatments and the control at 8 days of storage. Carotenoid content tended to increase all treatments especially in the control, followed by anoxia treatments of 12 h, 36 h, and 24 h, respectively. Therefore, a short-term anoxia treatment at the appropriate time can help maintaining carambola fruit cv. See-Thong after harvest.

Keywords: carambola, star fruit, anoxia, chlorophyll, carotenoids

คำนำ

มะเฟือง (*Averrhoa carambola* Linn.) มีชื่อสามัญคือ carambola หรือ star fruit เป็นผลไม้ที่อยู่ในวงศ์ Averrhoaceae พบเห็นได้ทั่วไปในเขตร้อนชื้น มีการบริโภคกันอย่างแพร่หลายในทวีปเอเชีย อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ มีลักษณะรูปทรงยาวรีเป็นพินเฟืองขึ้นเป็นสันตั้งแต่ 3 ถึง 6 พู เมื่อตัดตามขวางจะได้รูปทรงเป็นรูปดาวหรือ star shape จึงเป็นที่มาของคำว่า star fruit (O'Hare, 1993; Yasawardene et al., 2020) นิยมบริโภคผลสุก คั้นเป็นน้ำผลไม้ ไอศกรีมชอร์เบต (sorbet) และนำมาตกแต่งในเครื่องดื่ม สลัดผัก และสลัดผลไม้ นอกจากนี้ยังมีการบริโภคผลอ่อน (สีเขียว) ในรูปแบบผักรับประทานสดซึ่งเป็นที่นิยมในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (O'Hare, 1993; Teixeira et al., 2012) ผลสุกของมะเฟืองจะมีสีเหลืองอมเขียว เนื้อภายในมีความฉ่ำ มีรสชาติเฉพาะตัว หวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย มีสารอาหารหลากหลายชนิด เช่น วิตามินเอ บี1 บี2 และซี ไนอาซิน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก และยังมีการตรวจพบสารสำคัญอื่นๆ คือ Epicatechin และ Gallic acid โดยกลุ่มของสารสำคัญมีหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และสามารถช่วยควบคุมกระบวนการอักเสบและกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายได้เป็นอย่างดี มะเฟืองมีสารประกอบที่สำคัญหลากหลายชนิดซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีสรรพคุณช่วยในการผลัดเซลล์ผิว (Teixeira et al., 2012; Mustafa et al., 2016; Muthu et al., 2016; Yasawardene et al., 2020)

ความเครียดที่เกิดจากสิ่งที่ไม่มีชีวิต (abiotic stress) สามารถพบได้ตลอดตั้งแต่การเพาะเมล็ด การปลูก จนกระทั่งถึงขั้นตอนการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว (Tigchelaar et al., 2018; Vaughan et al., 2018; Chrysargyris et al., 2019; Lamers et al., 2020; Yingsanga & Techavuthiporn, 2020) ซึ่งอาจทำให้การเจริญเติบโตของพืชผิดปกติ ได้ผลผลิตต่ำ เกิดความผิดปกติทางกายภาพ ชีวภาพ และมีอายุการเก็บรักษาสั้น (Hodges & Toivonen, 2008; Pedreschi & Lurie, 2015; Khan et al., 2021) โดยปกติพืชจะพยายามปรับตัวทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ ชีวเคมี ตลอดจนระดับยีนเพื่อต้านทานความเครียดที่เกิดขึ้นจนกระทั่งเหมาะสมกับสภาวะความเครียดนั้น ๆ (Khan et al., 2021)

ความเครียดเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์สำหรับสิ่งมีชีวิตและเนื้อเยื่อที่ยังคงมีชีวิต (Bhoi et al., 2022) และยังมีผลให้เกิดการผิดปกติต่าง ๆ หลังการเก็บเกี่ยว เช่น การสูญเสียน้ำหนัก วิตามินซี การเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ เนื้อเยื่ออ่อนตัว การเกิดจุดดำ การสุกที่ผิดปกติ และการเกิดสีน้ำตาล (Lamikanra & Richard, 2002; Aguayo et al., 2004; Gil et al., 2006; Hodges & Toivonen, 2008) ถึงแม้ว่าความเครียดอาจส่งผลที่ไม่ดีกับพืชหลังการเก็บเกี่ยว แต่หากพืชได้รับความเครียดในระยะเวลายาวนานเกินไป และเหมาะสมพบว่าช่วยคงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวได้ (Kelly & Salveit, 1998) มีรายงานว่าทำให้พืชเกิดสภาวะการขาดออกซิเจนในระยะเวลายาว ๆ (short-term anoxia) ช่วยกระตุ้นให้ผลิตเอทานอลในระดับที่เหมาะสมช่วยลดการเปลี่ยนแปลงกายภาพและชีวภาพของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวได้ (Fallik et al., 2005; Techavuthiporn et al., 2021) เช่น ยืดอายุการเก็บรักษาลิ้นจี่ (Jiang et al., 2004) กีวี (Song et al., 2009) และสับปะรด (Techavuthiporn et al., 2017)

Ali et al. (2004) รายงานว่าผลมะเฟือง (ระยะแก่สีเขียวเจริญ; mature green) มีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองอ่อน สีเหลืองแกมเขียว สีเหลือง สีส้ม และสีส้ม และมีการสูญเสียน้ำหนักถึงร้อยละ 20 เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาประมาณ 3 สัปดาห์ ซึ่ง Techavuthiporn & Boonyarittongchai (2016) พบว่าสภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลายาว ๆ ช่วยลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักและชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในหน่อไม้ฝรั่งได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของระยะเวลาในการให้สภาวะปราศจากออกซิเจนที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะเฟืองพันธุ์สีทอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสูญเสียน้ำหนักและปริมาณรงควัตถุระหว่างการเก็บรักษา

วิธีการศึกษา

การเตรียมวัตถุดิบ

มะเฟือง พันธุ์สีทอง ทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะสุกทางการค้า (เขียวอมเหลือง) (น้ำหนักประมาณ 300 ± 50 กรัม) จากสวนในอำเภอสามพราณ จังหวัดนครปฐม แล้วขนส่งมายังห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ ภายในระยะเวลา

2-3 ชั่วโมง ทำการคัดเลือกลูกมะเฟืองที่มีรูปทรงและขนาดปกติ ปราศจากตำหนิและสิ่งปนเปื้อน หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่น และวางผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)

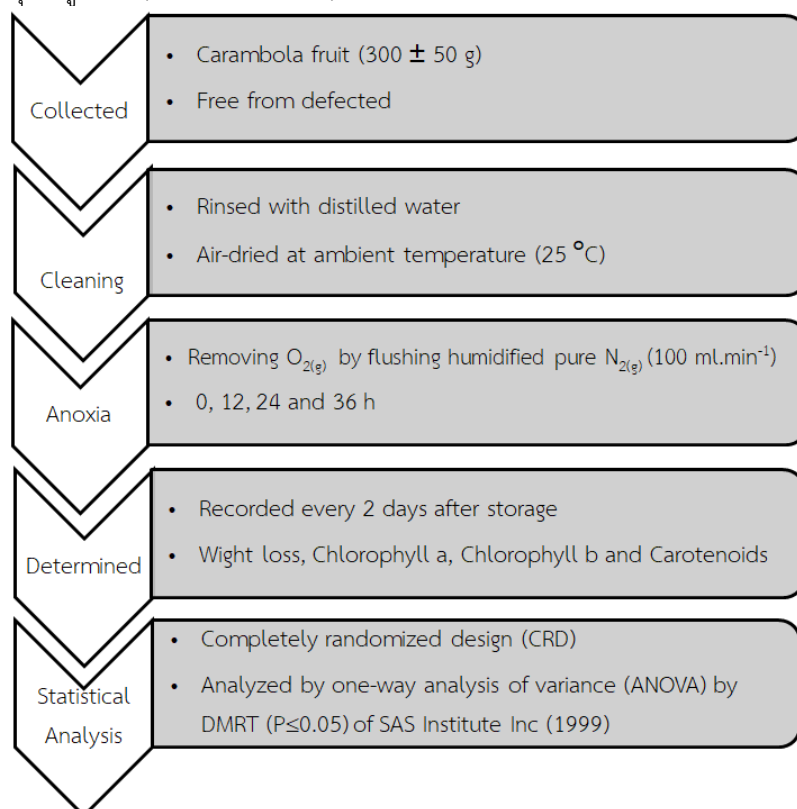


Figure 1 Flow chart diagram of materials and methods of this research

การดำเนินงานวิจัย

ทำการสุ่มมะเฟืองที่ผ่านกระบวนการคัดเลือก ล้างสะอาด และผึ่งจนแห้งแล้ว ไปบรรจุในกล่องพลาสติกขนาด 10 ลิตร ปิดผนึกให้สนิท (12-14 ผลต่อกล่อง) หลังจากนั้นทำให้เกิดสภาวะปราศจากออกซิเจนด้วยการเติมก๊าซไนโตรเจนเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุที่อัตราการไหล $100 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ เป็นระยะเวลา 0 (ชุดควบคุม: control) 12 24 และ 36 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อครบกำหนดนำมาผึ่งไปบรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE) ขนาด 6×14 นิ้ว และทำการปิดปากถุงเสมือนการขายปลีกในตลาด นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60-70 เป็นระยะเวลา 8 วัน ทำการเก็บผลการทดลองทุก ๆ 2 วัน (Figure 1)

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก

ชั่งน้ำหนักผลมะเฟืองตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 8 ของการเก็บรักษาด้วยตาชั่งดิจิตอล (A&D Japan, model FX-2000i $2200 \times 0.01\text{g}$) อัตราการสูญเสียน้ำหนักคำนวณจากความแตกต่างระหว่างวันเริ่มต้นและวันที่บันทึกผลการทดลองเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น บันทึกข้อมูลเป็นร้อยละของการสูญเสียน้ำหนัก (Barman et al., 2011)

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์

ดัดแปลงวิเคราะห์ของ Wellburn (1994) โดยนำตัวอย่างเนื้อผลมะเฟืองน้ำหนัก 2.5 กรัม บดกับสารสกัด N,N-dimethyl formamide ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ให้ละเอียดจากนั้นนำไปบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 20 นาที แล้วนำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 480, 647 และ 664 นาโนเมตร ตามสูตรการคำนวณ

$$\text{Chlorophyll a content (C}_a\text{)} = 11.65A_{664} - 2.69A_{647}$$

$$\text{Chlorophyll b content (C}_b\text{)} = 20.81A_{647} - 4.53A_{664}$$

$$\text{Carotenoids content} = (1000A_{480} - 0.89C_a - 52.02C_b)/245$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย 4 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ของข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple-Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) ด้วย SAS Institute Inc (1999)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การสูญเสียน้ำหนักของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับการสูญเสีย น้ำ มีผลให้ลักษณะปรากฏของผลผลิตสูญเสียความเต่ง และ/หรือแสดงอาการเหี่ยว นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับเมแทบอลิซึมของผลผลิต กล่าวคือผลผลิตที่มีอัตราเมแทบอลิซึมสูงจะมีอัตราการหายใจสูงมากกว่าผลผลิตที่มีเมแทบอลิซึมต่ำ (Vázquez-Celestino et al., 2016) การปรับสภาพบรรยากาศในการเก็บรักษาทำได้โดยการลดปริมาณออกซิเจน และ/หรือเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสัดส่วนที่เหมาะสมจะช่วยลดเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ของผลผลิตสด และมีผลช่วยยืดอายุการเก็บรักษา (Matar et al., 2021) จากผลการทดลองพบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 วัน การสูญเสียน้ำหนักของมะเฟืองทุกชุดการทดลองมีการสูญเสียไม่ถึงร้อยละ 1 (Table 1 & Figure 2) โดยมะเฟืองที่ผ่านการให้สภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (24 h anoxia) มีแนวโน้มชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Techavuthiporn & Boonyarittongchai (2016) รายงานว่าหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการให้สภาวะปราศจากออกซิเจนมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดที่ไม่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจน และ Perez-Tello et al. (2001) ยังพบว่าการเก็บรักษามะเฟืองในสภาพบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับอุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งการสูญเสียน้ำหนักได้

Table 1 Weight loss (%) of 'See-Thong' carambola fruit exposed to 0 (control), 12, 24 and 36 h anoxia treatments and stored at ambient temperature (25 ± 2 °C), 60-70%RH (n=4)

Treatments	Weight loss (%) ^{1/}				
	D0	D2	D4	D6	D8
Control	0.00	0.24	0.44a	0.61ab	0.84
12 h Anoxia	0.00	0.19	0.38ab	0.67a	0.85
24 h Anoxia	0.00	0.19	0.32b	0.49c	0.71
36 h Anoxia	0.00	0.28	0.40a	0.54bc	0.75
F-test	ns	ns	*	**	ns

^{1/} Values with different letters in a column show significant differences (ns = non-significant; * = significant ($P < 0.05$) and

** = highly significant ($P < 0.01$)) as determined by Duncan's multiple range test.

รงควัตถุเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดสีในผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งเป็นปัจจัยแรกที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อผู้บริโภค เนื่องจากผู้บริโภคใช้ในการประเมินความสด กลิ่น และรสชาติ เพื่อใช้ในการตัดสินใจซื้อผลผลิต (Nisha et al., 2011; Schouten et al., 2014; Yingsanga & Mathurasa, 2019) คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่ทำให้ผักและผลไม้สดมีสีเขียว (Ma et al., 2009; Chen et al., 2012) การสูญเสียสีเขียวเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกการเสื่อมสภาพของผลผลิตสด และเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญชนิดหนึ่งในการประเมินคุณภาพของผลผลิตสด (Jara et al., 2019) โดยทั่วไปคลอโรฟิลล์ในพืชพบสองชนิดคือ คลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี (Nelson & Yocum, 2006) เมื่อเริ่มทำการเก็บรักษาพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอของมะเฟืองพันธุ์สีทองมีค่าประมาณ $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์บี มีค่าอยู่ที่ประมาณ $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Table 2 และ Table 3) สอดคล้องกับ Pornchaloem & Rattanapanone (2021) ที่รายงานว่าการคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีที่พบในพืชมีอัตราส่วน 3:1 โดยการใช้สภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีส่วนช่วยชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์เอ (Table 2) ได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น (วันที่ 0 ของการเก็บรักษา) ซึ่งคงเหลือถึงร้อยละ 47.51 ตามลำดับ รองลงมาคือชุดที่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจน

ระยะเวลา 36 ชั่วโมง ในขณะที่มะเฟืองที่ไม่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลาสั้น ๆ มีการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์เอไปถึงร้อยละ 76.97 ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์บีให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือชุดการทดลองที่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจน 24 ชั่วโมงช่วยชะลอการสูญเสียได้ดีที่สุด (Table 3)



Figure 2 ‘See-Thong’ carambola fruit at the beginning days after exposed to 0 (control), 12, 24 and 36 h anoxia treatments

Table 2 Chlorophyll a content of ‘See-Thong’ carambola fruit exposed to 0 (control), 12, 24 and 36 h anoxia treatments and stored at ambient temperature (25 ± 2 °C), 60-70 %RH (n=4)

Treatments	Chlorophyll a content (mg.kg^{-1}) ^{2/}				
	D0	D2	D4	D6	D8
Control	3.43	2.12	1.57	1.19	0.79
12 h Anoxia	3.01	3.20	1.89	1.35	0.78
24 h Anoxia	3.15	3.11	2.29	2.33	1.49
36 h Anoxia	3.59	3.29	1.69	1.06	1.10
F-test	ns	ns	ns	ns	ns

^{2/} Values with different letters in a column show significant differences (ns = non-significant;) as determined by Duncan’s multiple range test.

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่ทำให้เกิดสีเหลืองไปจนถึงสีเหลืองทอง (Lewis et al., 2003; Ma et al., 2009; Chen et al., 2012) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ ป้องกันโรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคเกี่ยวกับหลอดเลือด (Lichtenstein, 2009; Nishino et al., 2009) และยังเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (Edem, 2009) ตามธรรมชาติเมื่อผลไม้เริ่มสุกจะมีการสะสมแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้น (Costa et al., 2012; Carmona et al., 2012) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ของมะเฟืองไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยปริมาณแคโรทีนอยด์ของ

มะเฟืองชุดที่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลอง 36 0 และ 12 ชั่วโมง (ชุดควบคุม) ตามลำดับ (Table 4) สอดคล้องกับรายงานของ Ding et al. (2002) พบว่าการเก็บรักษาผล loquat ในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณออกซิเจนในอากาศน้อย (3-7 kPa และ 2-4 kPa ที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) จะลดการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์

Table 3 Chlorophyll b content of 'See-Thong' carambola fruit exposed to 0 (control), 12, 24 and 36 h anoxia treatments and stored at ambient temperature (25±2 °C), 60-70%RH (n=4)

Treatments	Chlorophyll b content (mg.kg ⁻¹) ^{3/}				
	D0	D2	D4	D6	D8
Control	1.05	0.90	0.67b	0.82	0.73
12 h anoxia	1.10	1.13	0.80b	0.83	0.59
24 h Anoxia	1.35	1.02	1.58a	1.27	0.85
36 h Anoxia	1.12	1.09	0.83b	0.91	0.71
F-test	ns	ns	*	ns	ns

^{3/} Values with different letters in a column show significant differences (ns = non-significant; * = significant (P<0.05) and ** = highly significant (P<0.01)) as determined by Duncan's multiple range test.

ผลิตภัณฑ์เก็บรักษาในสภาวะปราศจากออกซิเจนจะมีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือเอทานอล ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผลิตภัณฑ์ (Kelly & Salveit, 1998) การประยุกต์ใช้สภาวะปราศจากออกซิเจนในระยะเวลานั้น ๆ และเหมาะสมจะช่วยป้องกันความผิดปกติทางกายภาพ จะลดการสูญเสียคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษา (Techavuthiporn et al., 2021) นอกจากนี้ปริมาณเอทานอลที่เหมาะสมอาจมีผลช่วยชะลอกระบวนการทางชีววิทยา เช่น การผลิตเอทิลีน และการตอบสนองต่อแก๊สเอทิลีนของผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยวได้ (Lurie & Pesis, 1992; Suzuki & Nagata, 2019) สอดคล้องกับผลการวิจัยนี้ที่พบว่ามะเฟืองที่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจนในระยะเวลานั้น ๆ มีแนวโน้มช่วยลดอัตราการสูญเสียน้ำหนัก ยับยั้งการสูญเสียคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี รวมทั้งช่วยลดการสะสมแคโรทีนอยด์ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับบร็อคโคลี (Techavuthiporn et al., 2021) หน่อไม้ฝรั่ง (Techavuthiporn & Boonyaritthongcha, 2016) และสับปะรด (Yingsanga & Techavuthiporn, 2020) นอกจากนี้ยังมีผลชะลอการสุกและยืดอายุการเก็บรักษาของมะเขือเทศ โดยอาจมีผลในการลดอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยว (Fallik et al., 2005) ซึ่งเอทิลีนและอัตราการหายใจมีผลในการกระตุ้นการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Purvis & Barmore, 1981; Yin et al., 2016) ปัจจัยหลักอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญมากและมีอิทธิพลภายหลังการเก็บเกี่ยวคือการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งทุก ๆ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส มีผลในการเร่งการเสื่อมเสียผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยวถึง 2-3 เท่า (Kader, 2013) ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตควรทำการศึกษาผลของปัจจัยร่วมระหว่างสภาวะปราศจากออกซิเจนที่เหมาะสมร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำเหมาะสมสำหรับผู้บริโภคทั่วไปเนื่องจากทุกครัวเรือนมีตู้เย็นหรือตู้ควบคุมอุณหภูมิใช้งานตามปกติ ในขณะที่การเก็บรักษาในสภาวะปราศจากออกซิเจนมีความยุ่งยากมากกว่าเนื่องจากต้องมีภาชนะเฉพาะที่สามารถป้องกันการผ่านเข้าออกของอากาศได้เป็นอย่างดี รวมทั้งยังต้องมีการควบคุมการใช้ก๊าซจึงทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานระดับอุตสาหกรรมมากกว่า

Table 4 Carotenoids content of ‘See-Thong’ carambola fruit exposed to 0 (control), 12, 24 and 36 h anoxia treatments and stored at ambient temperature (25 ± 2 °C), 60-70%RH (n=4)

Treatments	Carotenoids content (mg.kg ⁻¹) ^{4/}				
	D0	D2	D4	D6	D8
Control	2.09	6.05	6.99	9.00	9.31
12 h Anoxia	2.35	4.08	5.23	8.07	10.15
24 h Anoxia	2.57	3.27	3.56	5.48	7.37
36 h Anoxia	3.02	3.76	5.21	6.31	7.87
F-test	ns	ns	ns	ns	ns

^{4/} Values with different letters in a column show significant differences (ns = non-significant; * = significant (P<0.05) and ** = highly significant (P<0.01)) as determined by Duncan’s multiple range test.

สรุปผลการศึกษา

สภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีแนวโน้มชะลอการสูญเสียสีน้ำตาล การสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และชะลอการสะสมแคโรทีนอยด์ของผลมะเฟืองพันธุ์สีทองได้ดีที่สุด รองลงมาคือสภาวะปราศจากออกซิเจน 36 12 และ 0 ชั่วโมง ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Aguayo, E., Escalona, V., & Artes, F., (2004). Metabolic behavior and quality changes of whole and fresh processed melon. **Journal of Food Science**, 69, 149–155.
- Ali, Z. M., Chin, L., Marimuthu, M., & Lazan, H., (2004). Low temperature storage and modified atmosphere packaging of carambola fruit and their effects on ripening related texture changes, wall modification and chilling injury symptoms. **Postharvest Biology and Technology**, 33, 181-192.
- Bhoi, A., Yadu, B., & Keshavkant, S. (2022). Mutagenesis: a coherent technique to develop biotic stress resistant plants. **Plant Stress**, 3, 100053.
- Barman, K., Asrey, R., & Pal, P. K. (2011). Putrescine and carnuba wax pretreatments alleviate chilling injury, enhance shelf life and preserve pomegranate fruit quality during cold storage. **Scientia Horticulturae**, 130, 795-800.
- Carmona, L., Zacarias, L., & Rodrigo, M. J. (2012). Stimulation of coloration and carotenoid biosynthesis during postharvest storage of ‘Navelina’ orange fruit at 12 °C. **Postharvest Biology and Technology**, 74, 108-117.
- Chen, J., Funnell, K. A., Lewis, D. H., Eason, J. R., & Woolley, D. J. (2012). Relationship between changes in colour and pigment content during spathe regreening of *Zantedeschia* ‘Best Gold’. **Postharvest Biology and Technology**, 67, 124-129.
- Chrysargyris, A., Papakyriakou, E., Petropoulos, S. A., & Tzortzakis, N., (2019). The combined and single effect of salinity and copper stress on growth and quality of *Mentha spicata* plants. **Journal of Hazardous Materials**, 368, 584–593.
- Costa, M. G. C., Moreira, C. D., Melton, J. R., Otoni, W. C., & Moore, G. A. (2012). Characterization and developmental expression of genes encoding the early carotenoid biosynthetic enzymes in *Citrus paradisi* Macf. **Molecular Biology Reports**, 39(2), 895-902.
- Edem, D. O. (2009). Vitamin A: a review. **Asian Journal of Clinical Nutrition**, 1(1), 65-82.
- Fallik, E., Alkalai-Tuvia, S., Shalom, Y., Larkov, O., & Ravid, U. (2005). Tomato flavor and aroma quality as affected by a short anoxia treatment. **Acta Horticulturae**, 682, 437-444.
- Gil, M. I., Aguayo, E., & Kader, A. A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 54, 4284–4296.

- Hodges, D. M., & Toivonen, P. M. A. (2008). Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress. **Postharvest Biology and Technology**, 48(2), 155-162.
- Jara, A. M. R., Gómez-Lobato, M., Civello, P. M., & Martínez, G. A. (2019). Effect of hormonal and physical treatments on the expression of a putative chlorophyll *b* reductase gene (*BoNYC1*) during postharvest senescence of broccoli. **Postharvest Biology and Technology**, 147, 107-112.
- Jiang, Y., Su, X., Duan, X., Lin, W., & Li, Y. (2004). Anoxia treatment for delaying skin browning inhibiting disease development and maintaining the quality of litchi fruit. **Food Technology and Biotechnology**, 42, 131-134.
- Kader, A. A. 2013. Postharvest technology of horticultural crops – an overview from farm to fork. **Ethiopian Journal of Applied Science and Technology**, 1, 1-8.
- Kelly, M. O., & Saltveit M. E. (1998). Effect of endogenously synthesized and exogenously applied ethanol on tomato fruit ripening. **Plant Physiology**, 88, 143-147.
- Khan, M. I. R., Ashfaq, F., Chhillar, H., Irfan, M., & Khan, N. A. (2021). The intricacy of silicon, plant growth regulators and other signaling molecules for abiotic stress tolerance: An entrancing crosstalk between stress alleviators. **Plant Physiology and Biochemistry**, 162, 36-47.
- Lamers, J., Van der Meer, T., & Testerink, C. (2020). How plants sense and respond to stressful environments. **Plant Physiology**, 182, 1624-1635.
- Lamikanra, O., & Richard, O. A. (2002). Effect of storage on some volatile aroma compounds in fresh-cut cantaloupe melon. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 50, 4043-4047.
- Lewis, D. H., Arathoon, H. S., Swinny, E. E., Huang, S. C., & Funnell, K. A. (2003). Anthocyanin and carotenoid pigments in spathe tissue from selected *Zantedeschia* hybrids. **Acta Horticulturae**, 624, 147-154.
- Lichtenstein, A. H. (2009). Nutrient supplements and cardiovascular disease: a heart breaking story. **Journal of Lipid Research**, 50(Suppl.), S429-S433.
- Lurie, S., & Pesis, E. (1992). Effect of acetaldehyde and anaerobiosis as postharvest treatments on the quality of peaches and nectarines. **Postharvest Biology and Technology**, 1, 317-326.
- Ma, G., Wang, R., Wang, C. R., Kato, M., Yamawaki, K., Qin, F., & Xu, H. L. (2009). Effect of 1-methylcyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest broccoli. **Plant Growth Regulation**, 57(3), 223-232.
- Mustafa, M. A., Ali, A., Seymour, G., & Tucker, G. (2016). Enhancing the antioxidant content of carambola (*Averrhoa carambola*) during cold storage and methyl jasmonate treatments. **Postharvest Biology and Technology**, 118, 79-86.
- Muthu, N., Lee, S. Y., Phua, K. K., & Bhore, S. J. (2016). Nutrition, medicinal and toxicological attributes of star-fruits (*Averrhoa carambola* L.): A review. **Bioinformation**, 12(12), 420-424.
- Nelson, N., & Yocum, C. F. (2006). Structure and function of photosystems I and II. **Annual Review of Plant Biology**, 57(1), 521-565.
- Nisha, P., Singhal, R. S., & Pandit, A. B. (2011). Kinetic modeling of colour degradation in tomatoes puree (*Lycopersicon esculentum* L.). **Food and Bioprocess Technology**, 4, 781-787.
- Nishino, H., Murakoshi, M., Tokuda, H., & Satomi, Y. (2009). Cancer prevention by carotenoids. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 483, 165-168.
- O'Hare, T. J. (1993). Postharvest physiology and storage of carambola (starfruit): a review. **Postharvest Biology and Technology**, 2, 257-267.
- Pedreschi, R., & Lurie, S. (2015). Advances and current challenges in understanding postharvest abiotic stress in perishables. **Postharvest Biology and Technology**, 107, 77-89.
- Pérez-Tello, G. O., Silva-Espinoza, B. A., Vargas-Arispuro, I., Briceño-Torres, B. O., & Martínez-Tellez, M. A. (2001). Effect of temperature on enzymatic and physiological factors related to chilling injury in carambola fruit (*Averrhoa carambola* L.). **Biochemical and Biophysical Research Communications**, 287, 846-851.
- Pornchaloempong, P., & Rattanapanone, N., (2021). Chlorophyll. Retrieved from: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1341/chlorophyll-Chlorophyll>. (in Thai).
- Purvis, A. C., & Barmore, C. R. (1981). Involvement of ethylene in chlorophyll degradation in peel of citrus fruits. **Plant Physiology**, 68(4), 854-856.
- Schouten, R. E., Farneti, B., Tijskens, L. M. M., Alarcón, A. A., & Woltering, E. J. (2014). Quantifying lycopene synthesis and chlorophyll breakdown in tomato fruit using remittance VIS spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, 96, 53-63.
- Song, L., Gao, H., Chen, H., Mao, J., Zhou, Y., Chen, W., & Jiang, Y. (2009). Effect of short-term anoxia treatment on antioxidant ability and membrane integrity of postharvest kiwifruit during storage. **Food Chemistry**, 114, 1216-1221.
- Suzuki, Y., & Nagata, Y. (2019). Postharvest ethanol vapor treatment of tomato fruit stimulates gene expression of ethylene biosynthetic enzymes and ripening related transcription factors, although it suppresses ripening. **Postharvest Biology and Technology**, 152, 118-126.

- Techavuthiporn, C., & Boonyaritthongchai, P. (2016). Effect of prestorage short-term anoxia treatment and modified atmosphere packaging on the physical and chemical changes of green asparagus. **Postharvest Biology and Technology**, 117, 64-70.
- Techavuthiporn, C., Boonyaritthongchai, P., & Supabvanich, S. (2017). Physicochemical changes of 'Phulae' pineapple fruit treated with short-term anoxia during ambient storage. **Food Chemistry**, 228, 388-393.
- Techavuthiporn, C., Thammawong, M., & Nakano, K. (2021). Effect of short-term anoxia treatment on endogenous ethanol and postharvest responses of broccoli florets during storage at ambient temperature. **Scientia Horticulturae**, 277, 109813.
- Teixeira, G. H. A., Durigan, J. F., Ferraudo, A. S., Alves, R. E., & O'Hare, T. J. (2012). Multivariate analysis of fresh-cut carambola slices stored under different temperatures. **Postharvest Biology and Technology**, 63, 91-97.
- Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Naylor, R. L., & Ray, D. K. (2018). Future warming increases probability of globally synchronized maize production shocks. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 115, 6644-6649.
- Vaughan, M. M., Block, A., Christensen, S. A., Allen, L. H., & Schmelz, E. A. (2018). The effects of climate change associated abiotic stresses on maize phytochemical defenses. **Phytochemistry Reviews**, 17(1), 37-49.
- Vázquez-Celestino, D., Ramos-Sotelo, H., Rivera-Pastrana, D. M., Vázquez-Barrios, M. E., & Mercado-Silva, E. M. (2016). Effects of waxing, microperforated polyethylene bag, 1-methylcyclopropene and nitric oxide on firmness and shrivel and weight loss of 'Manila' Mango fruit during ripening. **Postharvest Biology and Technology**, 111, 398-405.
- Wellburn, A. R. (1994). The Spectral determination of chlorophyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolutions. **Journal of Plant Physiology**, 144(3), 307-313.
- Yasawardene, P., Jayarajah, U., Zoysa, I. D., & Seneviratne, S. L. (2020). Mechanisms of star fruit (*Averrhoa carambola*) toxicity: A mini-review. **Toxicon**, 187, 198-202.
- Yin, X., Xie, X., Xia, X., Yu, J., Ferguson, I. B., Giovannoni, J. J., & Chen, K. (2016). Involvement of an ethylene response factor in chlorophyll degradation during citrus fruit degreening. **The Plant Journal**, 86, 403-412.
- Yingsanga, P., & Mathurasa, L. (2019). Yellowing development of Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*). **Phranankhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**, 14(1), 76-90. (in Thai).
- Yingsanga, P., & Techavuthiporn, C. (2020). Effect of short-term anoxia treatments on quality changes in fresh cut pineapple cv. Sri-Racha. **Phranankhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**, 15(2), 185-193.

กลยุทธ์การพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์ตำบลลงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

Strategies for Organic Rice Marketing at Luang Nuea Sub-District, Doi Sa ket District, Chiang Mai, Thailand

เกศสุดา สิทธิสันติกุล^{1*}, จรีวรรณ จันทร์คง², บัญญัติน์ โจนันท์³, มนัญญา นันทสาร⁴ และ นัยนา โพธางค์⁴

Katesuda Sitthisuntikul^{1*}, Jareewan Junkong², Banjarata Jolanun³, Mananya Nantasarn⁴ and Naiyana Pothawong⁴

Received date: 18 มี.ค. 65 Revised date: 5 พ.ย. 66 Accepted date: 7 ธ.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.015>

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจพฤติกรรมผู้บริโภคข้าวอินทรีย์ วิเคราะห์สภาพแวดล้อมและกำหนดกลยุทธ์การพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์ ต.ลงเหนือ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ในการเก็บรวบรวมข้อมูล มีการใช้แบบสำรวจพฤติกรรมผู้บริโภคข้าวอินทรีย์สำหรับผู้บริโภค 400 คน รวมทั้งใช้วิธีการสัมภาษณ์และการจัดประชุมกลุ่มย่อยกับเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์และสมาชิกในครัวเรือน ผู้ประกอบการข้าวอินทรีย์ ผู้บริโภคในชุมชน และตัวแทนจากเทศบาลตำบลลงเหนือ จำนวน 39 คน สำหรับวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสำรวจนั้นใช้สถิติเชิงพรรณนาโดยนำเสนอผลเป็นค่าความถี่และร้อยละ รวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์และการจัดประชุมกลุ่มย่อยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา และใช้ SWOT Analysis ร่วมกับ TOWs Matrix ในการกำหนดกลยุทธ์การตลาด ผลการวิจัยพบว่า พฤติกรรมการซื้อขายมากที่สุดของผู้บริโภค ได้แก่ ซื้อเดือนละครั้ง ซื้อเพื่อกิน กินเดือนละ 2-6 วัน กินเพราะอยากชิม ซื้อจากตลาดนัดในตำบล หาซื้อตามที่เพื่อนบอก ปริมาณการซื้อแต่ละครั้งอยู่ที่ 1-5 กิโลกรัม ซื้อแบบดักเป็นกิโล ซื้อในราคาที่สูงกว่า 35 บาทต่อกิโลกรัม และค่าเฉลี่ยราคาที่เต็มใจจะจ่ายอยู่ที่ 45.56 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนผลการวิเคราะห์กลยุทธ์การพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์ พบว่ากลยุทธ์เชิงรุก ได้แก่ เพิ่มการประชาสัมพันธ์ พัฒนาแหล่งเรียนรู้ จัดอบรมด้านการสร้างมูลค่าเพิ่มข้าวอินทรีย์ ส่งเสริมการตลาดข้าวอินทรีย์ และสร้างกิจกรรมเรียนรู้การแปรรูปข้าวอินทรีย์ กลยุทธ์เชิงป้องกัน ได้แก่ ศึกษาเทคนิควิธีการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สื่อสารเอกลักษณ์พันธุ์ข้าวอินทรีย์ ขยายเครือข่ายการตลาด และสนับสนุนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวอินทรีย์ กลยุทธ์เชิงแก้ไข ได้แก่ พัฒนาการบริหารจัดการกลุ่ม เพิ่มช่องทางสื่อสาร แสวงหาทรัพยากรจากหน่วยงานรัฐ และวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า กลยุทธ์เชิงรับ ได้แก่ ทบทวนรูปแบบการผลิตและการตลาดข้าวอินทรีย์ รักษามาตรฐานการผลิตและแปรรูปข้าวอินทรีย์ วางแผนการสื่อสารและประชาสัมพันธ์ ควบคุมราคาผลิตภัณฑ์ข้าวอินทรีย์ที่เป็นธรรม

คำสำคัญ: ข้าวอินทรีย์ พฤติกรรมผู้บริโภค กลยุทธ์การตลาด การวิเคราะห์สภาพแวดล้อม

Abstract

This study was conducted to observe consumer behavior, to analyze marketing environment, and to propose strategies of organic rice marketing at Luang Nuea Sub-District, Doi Sa Ket District, Chiang Mai Province. Data were collected from 400 organic rice consumers using consumer behavior survey. Data from interview and focus group were also collected from 39 participants who were organic farmers and their household members, entrepreneurs of organic rice, consumers in community, and representatives of municipality. Data from survey were analyzed by descriptive statistics, presented as frequency and percentage. However, data from interview and focus group were analyzed by content analysis, whereas SWOT Analysis and TOWs Matrix were used to

¹ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

² คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

³ คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

⁴ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000

¹ Faculty of Economics, Maejo University, Chiang Mai 50290

² Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakornsrihammarat 80110

³ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50300

⁴ Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. 44000

*Corresponding author: ktieng71@hotmail.com, katesuda@mju.ac.th

determine marketing strategy. The results indicated that the number of consumers buying rice once a month was highest, followed by buying for eating, eating 2-6 times per month, eating for testing, buying from local market, buying because of friends' recommendations, buying 1-5 kilograms at a time, buying 1 kilogram by measuring, buying at a price higher than 35 baht per kilogram, and willingness to pay at the average 45.56 baht per kilogram. In addition, marketing strategies included: 1) proactive strategy – increasing public relations, developing learning center, educating about value-added of organic rice, promoting organic rice marketing, and learning about processing organic rice, 2) defensive strategy – studying techniques and methods to cope with climate change, communicating about identity of rice species, extending marketing networks, and promoting organic rice processing, 3) strategic solutions – developing group management, searching resources from government organizations, increasing channels for communication, and analyzing customer needs, and 4) preventive strategy – revising model of production and marketing of organic rice, maintaining standard of production and processing of organic rice, planning for communication and public relations, and controlling fair price of organic rice products.

Keywords: organic rice, consumer behavior, marketing strategy, SWOT analysis

คำนำ

ประเทศไทยตระหนักถึงความสำคัญของการส่งเสริมสนับสนุนการผลิตและการตลาดข้าวอินทรีย์ภายใต้แนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน ดังที่ระบุไว้ในเป้าหมายการแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 13 (พ.ศ.2566-2570) เกี่ยวกับการเป็นผู้นำด้านสินค้าเกษตรและเกษตรแปรรูปมูลค่าสูง อีกทั้งระบุไว้ในแผนปฏิบัติการด้านเกษตรอินทรีย์ พ.ศ. 2566-2570 เกี่ยวกับการพัฒนาศักยภาพการผลิตและการบริหารจัดการตลอดห่วงโซ่อุปทานของเกษตรอินทรีย์ การยกระดับมาตรฐานและระบบการตรวจสอบรับรองเกษตรอินทรีย์ และการพัฒนาการตลาดและประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับเกษตรอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องด้วยข้าวอินทรีย์ไทยเป็นที่ต้องการของตลาดจากกระแสความตื่นตัวของคนรักสุขภาพ โดยพบว่าระหว่างปี 2562-2564 ค่าเฉลี่ยปริมาณการส่งออกข้าวอินทรีย์อยู่ที่ 20,259 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 1,050 ล้านบาท และในปี 2565 มีมูลค่าการส่งออกกว่า 1,011 ล้านบาท ตลาดหลักของข้าวอินทรีย์ไทยอยู่ในกลุ่มประเทศที่มีรายได้สูง และใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพที่ดี ได้แก่ สหรัฐอเมริกา อิตาลี สวิตเซอร์แลนด์ ฝรั่งเศส และแคนาดา ตามลำดับ (Economic News, 2023; Cheevit Thai Foundation, 2022) อย่างไรก็ตามเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์ในชุมชนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือกลับประสบปัญหาด้านการตลาดที่แน่นอนและมั่นคง (Srijam et al., 2015) เนื่องจากข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ ราคาข้าวอินทรีย์ที่สูงกว่าข้าวทั่วไปจากต้นทุนการผลิตที่สูง การขอรับรองมาตรฐานที่ลดทอนศักยภาพการขยายตลาดและการแข่งขัน การกระจายผลผลิตที่ไม่ทั่วถึง และการขาดอำนาจการต่อรองราคาในตลาด (Pipitkun, 2020) อีกทั้งยังพบงานวิจัยที่บ่งชี้ว่า ผู้บริโภคมีทัศนคติที่ไม่ดีต่อสินค้าอินทรีย์เกี่ยวกับราคาที่ไม่น่าเป็นธรรม การไม่รู้จักสถานที่จัดจำหน่าย และความไม่แน่ใจในคุณภาพของสินค้า (Sukkarat. & Athinuwat, 2020)

ความไม่แน่นอนทางการตลาดระดับชุมชนดังกล่าวทำให้จำเป็นต้องวางกลยุทธ์การตลาดอย่างมีชั้นเชิงและสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมและความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งสามารถนำเครื่องมือ TOWs Matrix มาประยุกต์ใช้ได้ TOWs Matrix นี้เป็นการวิเคราะห์ต่อเนื่องหลังจากการวิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และข้อจำกัด (SWOT Analysis) ของกลุ่มหรือองค์กร โดยการจับคู่จุดแข็งกับโอกาสเพื่อกำหนดกลยุทธ์เชิงรุก การจับคู่จุดแข็งกับข้อจำกัดเพื่อกำหนดกลยุทธ์เชิงป้องกัน การจับคู่จุดอ่อนและโอกาสเพื่อกำหนดกลยุทธ์เชิงแก้ไข และการจับคู่จุดอ่อนกับข้อจำกัดเพื่อกำหนดกลยุทธ์เชิงป้องกัน (Mality et al., 2023) เช่น กลุ่มต้นกล้าวิสาหกิจชุมชนอำเภอนาเจริญพบว่า กลยุทธ์เชิงรุกในการพัฒนาระบบการผลิตข้าวอินทรีย์ประกอบด้วยการใช้ทรัพยากรท้องถิ่นเพื่อลดต้นทุน กลยุทธ์เชิงแก้ไขประกอบด้วยการพัฒนามาตรฐานเกษตรอินทรีย์ การเงิน ตลาด บริการ และเทคโนโลยี กลยุทธ์เชิงป้องกันประกอบด้วยการขยายตลาด และลูกค้าสัมพันธ์ กลยุทธ์เชิงรับประกอบด้วยการปรับปรุงการรับรองมาตรฐานของชุมชน การขอรับการสนับสนุนจากรัฐและเอกชน (Thisawet et al., 2017) ในทำนองเดียวกันกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านบ่อหอ อำเภอนาขมิพ จังหวัดนครราชสีมา ค้นพบกลยุทธ์เชิงรุกในการพัฒนาช่องทางจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ข้าวโดยเน้นการพัฒนาเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ และการขอมาตรฐานรับรอง ส่วนกลยุทธ์เชิงแก้ไข คือ การให้ความรู้ในการสร้างตลาดใหม่และออกร้านนอกชุมชน กลยุทธ์เชิงป้องกัน คือ การตั้งราคาที่ใกล้เคียงกับที่อื่น และการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ และกลยุทธ์เชิงรับ คือ การลดการขายในพื้นที่คู่แข่ง และการพัฒนาการขายแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Pradit, 2018)

กลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ ตำบลลงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ มีสมาชิกที่เป็นเกษตรกรอินทรีย์จำนวน 30 คน และมีประสบการณ์ทำเกษตรอินทรีย์และจัดจำหน่ายสินค้าอินทรีย์มานานกว่า 15 ปี อย่างไรก็ตามเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์มักประสบกับปัญหาการกระจายข้าวอินทรีย์ออกไปขายนอกชุมชนซึ่งส่งผลให้ข้าวเสื่อมอายุและถูกแย่งชิงราคาจากการจำหน่าย และยังประสบกับภาวะขาดทุนจากต้นทุนการผลิตที่สูงและความไม่แน่นอนของราคาตลาด ด้วยเหตุนี้ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจพฤติกรรมผู้บริโภคข้าวอินทรีย์ วิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางการตลาดและกำหนดกลยุทธ์การพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์ โดยใช้วิธีการจับคู่แบบ TOWs Matrix ผลการวิจัยจะเป็นประโยชน์โดยตรงต่อเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์ในการวางแผนการตลาดให้สอดคล้องกับความต้องการผู้บริโภคและสภาพแวดล้อมภายในและภายนอกของกลุ่ม รวมทั้งเป็นประโยชน์ต่อพื้นที่อื่นที่ประสบกับปัญหาค้างคั่งกันด้านการตลาดข้าวอินทรีย์ และยังเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานด้านการเกษตรและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการกำหนดแนวทางการส่งเสริมตลาดข้าวอินทรีย์ระดับชุมชน อันเป็นความสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ.2566-2570) และแผนปฏิบัติการด้านเกษตรอินทรีย์ พ.ศ.2566-2570

วิธีการศึกษา

ขอบเขตเนื้อหา

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการสำรวจพฤติกรรมผู้บริโภคที่เกี่ยวข้องกับการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์เพื่อตอบสนองความต้องการของตนเอง เช่น ชื่อทำไม ชื่อเมื่อใด ชื่อกับใคร ชื่อที่ไหน ชื่ออย่างไร เป็นต้น (Sameuajai, 2007) และการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางการตลาดของข้าวอินทรีย์ด้วยวิธีการ SWOT Analysis (S = Strength, W = Weakness, O = Opportunity, T = Threat) ผู้การกำหนดกลยุทธ์การพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์ด้วยวิธีการจับคู่แบบ TOWs Matrix ได้แก่ กลยุทธ์เชิงรุก (SO-Strategy) โดยวิเคราะห์จุดแข็งร่วมกับโอกาส กลยุทธ์เชิงป้องกัน (ST-Strategy) โดยวิเคราะห์จุดแข็งร่วมกับอุปสรรค กลยุทธ์เชิงแก้ไข (WO-Strategy) โดยวิเคราะห์โอกาสร่วมกับจุดอ่อน และกลยุทธ์เชิงป้องกัน (WT-Strategy) โดยวิเคราะห์จุดอ่อนร่วมกับอุปสรรค (Lorchirachoonkul et al., 2018)

ขอบเขตพื้นที่

คณะผู้วิจัยดำเนินการวิจัยในพื้นที่ตำบลลงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ของตำบลที่ประกอบด้วยสมาชิกที่เป็นเกษตรกรอินทรีย์จำนวน 30 คน และมีประสบการณ์การปลูกและจำหน่ายสินค้าอินทรีย์มายาวนานกว่า 30 ปี กลุ่มเป้าหมายประกอบไปด้วยเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์และสมาชิกในครัวเรือน ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องกับการจำหน่ายข้าวอินทรีย์และการแปรรูป ผู้บริโภคหรือผู้ซื้อ และผู้บริหารและเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลลงเหนือ

ขอบเขตระยะเวลา

การดำเนินงานวิจัยอยู่ระหว่างเดือนตุลาคม 2561-กันยายน 2562

ขอบเขตประชากรและกลุ่มเป้าหมาย

การวิจัยนี้ใช้วิธีการสำรวจและวิธีการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นและความสมบูรณ์ของข้อมูลให้บรรลุตามวัตถุประสงค์การวิจัย ในส่วนของการสำรวจพฤติกรรมผู้บริโภค มีการใช้ตารางสำเร็จรูปของ Yamane และเทียบค่าเป็นอินฟินิตี้ (∞) ที่จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 400 คน เนื่องจากไม่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอนของผู้บริโภคที่เคยซื้อข้าวอินทรีย์ตำบลลงเหนือ (Aekkakul, 2007) ในส่วนของการวิจัยเชิงคุณภาพ มีการกำหนดกลุ่มเป้าหมายสำหรับการสัมภาษณ์และการประชุมกลุ่มย่อยที่สามารถให้ข้อมูลได้อย่างเฉพาะเจาะจงและเต็มใจให้ข้อมูล จำนวน 39 คน ได้แก่ ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลลงเหนือ เกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์และสมาชิกในครัวเรือน ผู้ประกอบการข้าวอินทรีย์ และผู้บริโภคในชุมชน

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

- การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมผู้บริโภค

มีการใช้แบบสำรวจพฤติกรรมผู้บริโภคข้าวอินทรีย์จากผู้บริโภคที่เคยซื้อข้าวอินทรีย์ของตำบลลงเหนือจำนวน 400 คน โดยใช้วิธีการสุ่มแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) บริเวณสถานที่จัดจำหน่ายภายในชุมชนและนอกชุมชนในจังหวัดเชียงใหม่ แบบสำรวจแบ่งออกเป็นการสอบถามข้อมูลทั่วไปและพฤติกรรมผู้บริโภคข้าวอินทรีย์ ในการวิเคราะห์ข้อมูล มีการใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) โดยนำเสนอผลการวิเคราะห์เป็นค่าความถี่และค่าร้อยละ

- การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและการกำหนดกลยุทธ์การตลาด

ขั้นตอนที่ 1 การสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) โดยใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมการตลาดข้าวอินทรีย์ ได้แก่ จุดอ่อนและจุดแข็งภายใน โอกาสและข้อจำกัดภายนอก รวมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์ มีการเลือกกลุ่มเป้าหมายเพื่อการสัมภาษณ์จากผู้ที่สามารถให้ข้อมูลได้อย่างเฉพาะเจาะจง (Purposive

Sampling) ได้แก่ เกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์และสมาชิกในครัวเรือน จำนวน 12 คน ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลลงเหนือ จำนวน 3 คน ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปและการจัดจำหน่ายข้าวอินทรีย์ จำนวน 9 คน และผู้บริโภคในชุมชน จำนวน 15 คน

ขั้นตอนที่ 2 การจัดประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group Discussion) กับเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์ เจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลลงเหนือ ผู้ประกอบการข้าวอินทรีย์ และผู้บริโภคในชุมชน โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ ละ 8-10 คน จำนวน 3 ครั้ง เพื่อนำเสนอข้อมูลจากการสำรวจและการสัมภาษณ์ และร่วมวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของตลาดข้าวอินทรีย์ (SWOT Analysis) และกำหนดกลยุทธ์การพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ TOWS Matrix

ขั้นตอนที่ 3 การนำข้อมูลทั้งหมดที่รวบรวมได้มาถอดเทปโดยวิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) มีการกำหนดรหัส การจัดหมวดหมู่ข้อมูล การเปรียบเทียบข้อมูล การประมวลผล การวิเคราะห์ การสังเคราะห์ และเรียบเรียงเป็นเนื้อหาเชิงบรรยาย (Description)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

พฤติกรรมผู้บริโภคข้าวอินทรีย์

กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย จำนวน 198 คน คิดเป็นร้อยละ 49.87 มีอายุระหว่าง 50-59 ปี จำนวน 107 คน คิดเป็นร้อยละ 27.02 มีระดับการศึกษาปริญญาตรี จำนวน 151 คน คิดเป็นร้อยละ 38.23 มีสถานภาพสมรส จำนวน 194 คน คิดเป็นร้อยละ 48.74 มีอาชีพหลักรับจ้างทั่วไป จำนวน 95 คน คิดเป็นร้อยละ 23.81 มีรายได้ส่วนต่อเดือน 6,001-9,000 บาท จำนวน 123 คน คิดเป็นร้อยละ 30.90 ตารางที่ 1 แสดงว่า ความถี่ในการซื้อข้าวอินทรีย์ของตำบลลงเหนือมากที่สุด คือ เดือนละครั้ง วัตถุประสงค์การซื้อมากที่สุด คือ ซื้อกิน ความถี่ในการบริโภคมากที่สุด คือ 2-6 วันต่อครั้ง เหตุผลในการกินมากที่สุด คือ อยากลองชิม สถานที่ไปซื้อมากที่สุด คือ ตลาดนัดในตำบล ช่องทางการซื้อมากที่สุด คือ เพื่อนบอก ปริมาณข้าวอินทรีย์ที่ซื้อบ่อยที่สุดในแต่ละครั้ง คือ 1-5.22 ลักษณะการซื้อบ่อยที่สุด คือ ซื้อแบบตักเป็นกิโล และระดับราคาซื้อบ่อยที่สุดในแต่ละครั้ง คือ มากกว่า 35 บาทต่อกิโลกรัม

Table 1 Consumer Behavior of Organic Rice at Luang Neua Sub-District, Doi Sa ket District, Chiang Mai

demand for buying organic rice	Number (people)	Per cent	demand for buying organic rice	Number (people)	Per cent
1. frequency of buying			6. channel to know places for buying*		
everyday	35	8.77	facebook	180	45.50
every 2-6 day	59	14.79	line	13	3.25
once a week	55	13.78	website	45	11.25
twice or triple a week	29	7.27	friend	243	60.75
once a month	102	25.56	others	41	10.25
twice or triple a month	54	13.53			
more than triple a month	65	16.29			
2. purpose of buying*			7. the most frequently quantity of buying each time		
to eat	382	95.50	1-5 kilograms	348	87.22
to sell	17	4.25	6-10 kilograms	41	10.28
to provide gift	147	36.75	11-15 kilograms	3	0.75
others	2	0.50	16-20 kilograms	2	0.50
			more than 20 kilograms	5	1.25
3. frequency of consuming organic rice			8. the most common style of buying		
everyday	61	15.33	buy a lap in kilograms	243	60.90

demand for buying organic rice	Number (people)	Per cent	demand for buying organic rice	Number (people)	Per cent
every 2-6 days	86	21.61	buy in a vacuum bag	132	33.08
once a week	71	17.84	buy in a sack	21	5.26
twice a week	26	6.53	others	3	0.75
triple a week	12	3.02			
once a month	71	17.84			
more than once a month	71	17.84			
4. reason of consuming organic rice*			9. price of purchase each time		
to cure disease	134	33.50	less than 25 baht per kilogram	13	3.29
to prevent disease	121	30.25	25-30 baht per kilogram	27	6.84
provided by household members	142	35.50	30-35 baht per kilogram	28	7.09
to try	149	37.25	more than 35 baht per kilogram	327	82.78
others	38	9.50			
5. places for buying*					
at seller home	182	45.50			
at flea market inside district	212	53.00			
at booth outside district	62	15.50			
order by phone for delivery	51	12.75			
others	58	14.50			

Note: * = one respondent can provide more than one answer

ผลการวิจัยดังกล่าวที่บ่งบอกว่า ผู้บริโภคซื้อข้าวอินทรีย์ตำบลลงเหนือโดยการแนะนำจากเพื่อนมากที่สุด ส่วนใหญ่ซื้อในราคาที่ไม่มากกว่า 35 บาทต่อกิโลกรัม และซื้อที่ตลาดนัดของตำบล นิยมซื้อเดือนละครั้ง และซื้อครั้งละ 1-5 กิโลกรัม เหล่านี้มีความแตกต่างจากผลการศึกษาลักษณะการซื้อข้าวอินทรีย์ในเขตเทศบาลเมือง จังหวัดสุรินทร์ ซึ่งพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลการซื้อข้าวจากพนักงานขาย ซื้อในราคา 51-60 บาทต่อกิโลกรัม ซื้อจากห้างสรรพสินค้า ซื้อในราคาที่ 5 ครั้งต่อเดือน และซื้อในปริมาณเดือนละ 5 กิโลกรัมขึ้นไป (Poosri & Kungwansupaphan, 2020) ความแตกต่างด้านราคา ปริมาณ และพฤติกรรมการซื้ออาจเกิดขึ้นจากกำลังซื้อที่แตกต่างระหว่างผู้บริโภคที่อยู่ในเขตเมืองของจังหวัดสุรินทร์และผู้บริโภคที่อยู่ในเขตชนบทของการวิจัยนี้ในตำบลลงเหนือ อำเภอตอยสะแก จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนความแตกต่างด้านผู้มีอิทธิพลต่อการซื้อและแหล่งจัดจำหน่ายอาจเกิดขึ้นจากความสะดวกในการซื้อ ผู้บริโภคในเขตเมืองนิยมซื้อในห้างสรรพสินค้าที่มีพนักงานขายคอยให้คำแนะนำขณะที่ผู้บริโภคข้าวอินทรีย์ของตำบลลงเหนือต้องอาศัยการบอกต่อของเพื่อนและการจ่ายซื้อสินค้าข้าวอินทรีย์ที่ตลาดนัดซึ่งเป็นความนิยมของคนในเขตชุมชนเมืองและชนบท ดังนั้นในการวางแผนตลาดข้าวอินทรีย์ตำบลลงเหนือ ควรแยกแยะกลุ่มลูกค้าออกเป็นกลุ่มลูกค้าที่อยู่ในตำบลลงเหนือและพื้นที่ใกล้เคียงกับกลุ่มลูกค้าที่อยู่ในเมืองโดยกำหนดปริมาณ ราคา สถานที่จำหน่าย และการส่งเสริมการขายให้แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาผลการวิจัยนี้เกี่ยวกับช่องทางการตลาด พบว่าสื่อออนไลน์เป็นช่องทางการซื้อของผู้บริโภคข้าวอินทรีย์ตำบลลงเหนือน้อยกว่าช่องทางของเพื่อน โดยมีการใช้เฟสบุ๊คเป็นช่องทางจำหน่ายรองลงมา ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากกลุ่มลูกค้าส่วนใหญ่เป็นคนในชุมชนที่สามารถเข้าถึงผู้ขายได้ง่ายกว่าโดยไม่จำเป็นต้องสั่งซื้อออนไลน์ ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Sinthusiri et al. (2020) ที่พบว่า ช่องทางการจัดจำหน่ายที่สะดวกเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อข้าวหอมมะลินครดง นครราชสีมา ควบคู่ไปกับปัจจัยด้านคุณภาพสินค้าและราคาที่ยุติธรรม ดังนั้นเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์ตำบลลงเหนือ ควรเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายโดยเฉพาะการใช้สื่อออนไลน์อันเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในยุคปัจจุบัน และค้นหาระดับราคาที่เหมาะสมกับกำลังซื้อของผู้บริโภคเพื่อกระตุ้นความถี่ในการซื้อและการบริโภค อย่างไรก็ตามผลการวิจัยในประเทศจีนระบุถึงปัจจัยการตัดสินใจซื้อเกี่ยวกับความตระหนักและความรู้ของผู้บริโภค และการรับรองผลิตภัณฑ์ (Wu et al., 2019) และยังมีงานวิจัยที่พบความแตกต่างด้านความรู้และพฤติกรรมการบริโภคข้าวอินทรีย์ระหว่างชาวจีนและไต้หวัน (Moslehpour et al., 2014) ดังนั้นจึงควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อข้าวอินทรีย์และความแตกต่างของ

พฤติกรรมผู้บริโภคระหว่างคนในชุมชนและคนนอกชุมชนตำบลวงเหนือเพื่อนำไปสู่การวางแผนการตลาดที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคชาวอินทรีตำบลวงเหนือมากขึ้น

ผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและกลยุทธ์การพัฒนาตลาดชาวอินทรี

- ผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมด้วย SWOT Analysis

จุดแข็ง (S-Strength)

S₁ มีแหล่งเรียนรู้ด้านการผลิตชาวอินทรีของชุมชนที่ได้มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของ Thailand Organic และเป็นที่รู้จักทั้งในและนอกชุมชนในนามของศูนย์เรียนรู้บ้านเย็นตา

S₂ มีความหลากหลายของพันธุ์ข้าวให้เลือกซื้อตามความต้องการผู้บริโภค โดยเฉพาะพันธุ์ข้าวเหนียวดำ (ข้าวกำ) ดอยสะเก็ด ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวดั้งเดิมของชาวไตลื้อ

S₃ มีผู้ซื้อประจำที่หลากหลายทั้งในชุมชนและนอกชุมชน ซึ่งเชื่อมั่นในมาตรฐานการผลิตชาวอินทรี และคุณค่าทางสารอาหารของชาวอินทรี

S₄ มีผู้รู้หรือภูมิปัญญาท้องถิ่นที่สามารถแปรรูปชาวอินทรีเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มในการจัดจำหน่ายได้

จุดอ่อน (W-Weakness)

W₁ กลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ขาดผู้นำในการวางแผนการผลิตและการจัดการตลาดชาวอินทรีร่วมกันอย่างจริงจัง

W₂ เกษตรกรยังขาดความรู้และทักษะในการสร้างมูลค่าเพิ่มชาวอินทรี เช่น การขอรับรองมาตรฐาน การแปรรูป การพัฒนาผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ และการจัดการตลาด

W₃ การสื่อสารประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เพื่อขยายกลุ่มลูกค้าและตลาดยังน้อยเกินไป

W₄ ราคาชาวอินทรีสูงกว่าข้าวทั่วไปซึ่งเกินกำลังซื้อของคนในชุมชน อีกทั้งชาวอินทรียังไม่ค่อยถูกปากชาวบ้านและหาซื้อได้ยาก ไม่มีการวางจำหน่ายทั่วไปเหมือนข้าวอื่น

โอกาส (O-Opportunity)

O₁ การสนับสนุนของหน่วยงานภาครัฐทั้งการผลิตและช่องทางการจัดจำหน่ายชาวอินทรี

O₂ การขยายตัวของเมืองและการท่องเที่ยวของเขื่อนแม่กวง

O₃ การพัฒนาของเทคโนโลยีการสื่อสารที่เป็นช่องทางสื่อสารและจัดจำหน่ายออนไลน์

O₄ ความต้องการชาวอินทรีในภาคธุรกิจและผู้ประกอบการมีอยู่มากภายใต้กระแสตลาดคนรักสุขภาพ

ข้อจำกัด (T-Threat)

T₁ การขยายเครือข่ายของผู้ผลิตและการตลาดชาวอินทรีไปยังตำบลข้างเคียงและอำเภออื่นในจังหวัดเชียงใหม่

T₂ แม้จะมีความต้องการชาวอินทรีเพิ่มขึ้นแต่ยังจำกัดอยู่ในแวดวงคนรักสุขภาพ ความนิยมกินข้าวทั่วไปและข้าวขัดสียังมีมากกว่าชาวอินทรี เพราะขาดความตระหนักถึงพิษภัยจากการใช้สารเคมีในการผลิตข้าวและอาหาร ซึ่งจะทำให้การตลาดของชาวอินทรีไม่แพร่หลาย

T₃ การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อความแห้งแล้งจนทำให้น้ำไม่เพียงพอต่อการทำนา

- ผลการกำหนดกลยุทธ์การตลาดชาวอินทรีด้วย TOWS Matrix

กลยุทธ์เชิงรุก (Aggressive Strategies)

-การสื่อสารประชาสัมพันธ์ให้กว้างขวางมากขึ้น โดยการให้รายละเอียดข้อมูลเรื่องราวในผลิตภัณฑ์ การทำนาชาวอินทรี ประโยชน์ของชาวอินทรีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม (S₂O₄)

-การพัฒนาแหล่งเรียนรู้ด้านการผลิตชาวอินทรีให้เป็นช่องทางการสื่อสารและถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการผลิต และเป็นช่องทางการจำหน่ายสินค้าให้กับผู้เข้าไปศึกษาเรียนรู้ (S₁O₁)

-การอบรมให้ความรู้ด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การแปรรูป การจัดการตลาด การสร้างแบรนด์เพื่อเพิ่มมูลค่าชาวอินทรี

-การส่งเสริมการตลาดผ่านสื่อออนไลน์ Application และช่องทางอื่นๆ ไปยังกลุ่มผู้ประกอบการ ผู้ซื้อที่รักสุขภาพและมีกำลังซื้อสูง (S₃O₃)

-การสนับสนุนให้ภูมิปัญญาท้องถิ่นสร้างกิจกรรมการเรียนรู้การแปรรูปชาวอินทรีแก่นักเรียนและลูกค้า (S₄O₂)

กลยุทธ์เชิงป้องกัน (Preventive strategies)

-การศึกษาเรียนรู้วิธีการ เทคนิค เทคโนโลยีในการผลิตชาวอินทรี รวมทั้งการพัฒนาแหล่งน้ำ และการใช้เมล็ดพันธุ์ เพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (S₁T₃)

-การวิเคราะห์กลุ่มผู้บริโภคและสื่อสารเกี่ยวกับเอกลักษณ์ของพันธุ์ข้าวอินทรีย์แก่ผู้บริโภคโดยเฉพาะกลุ่มคนรักสุขภาพ (S_2T_2)

-การขยายเครือข่ายการตลาดจากกลุ่มผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวอินทรีย์ของตำบลลงเหนือเป็นประจำ (S_3T_1)

-การสนับสนุนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวอินทรีย์ให้หลากหลายเพื่อขยายกลุ่มผู้บริโภค (S_4T_2)

กลยุทธ์เชิงแก้ไข (Conservative strategies)

-การพัฒนาประสิทธิภาพการบริหารจัดการกลุ่มโดยเฉพาะการวางแผนการผลิตและการตลาดในระดับกลุ่มอย่างจริงจัง เพื่อขยายฐานการผลิตและการตลาด (W_1O_4)

-การประสานหน่วยงานของรัฐเพื่อขอรับการสนับสนุนด้านความรู้ เทคโนโลยี และทรัพยากร เพื่อพัฒนาการบริหารจัดการกลุ่มและการเพิ่มมูลค่าข้าวอินทรีย์ (W_2O_1)

-การเพิ่มช่องทางให้ข้อมูลข่าวสารและประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับคุณประโยชน์และการซื้อขายข้าวอินทรีย์โดยเฉพาะการใช้สื่อสังคมออนไลน์เป็นช่องทางการจัดจำหน่าย (W_3O_3)

-การสำรวจและวิเคราะห์ความต้องการของกลุ่มลูกค้าอย่างสม่ำเสมอ เพื่อการปรับราคาให้สอดคล้องกับกลุ่มเป้าหมาย และพัฒนาผลิตภัณฑ์รองรับการขายตัวของเมืองและการท่องเที่ยว (W_4O_2)

กลยุทธ์เชิงรับ (Defensive Strategies)

-การร่วมกันทบทวนรูปแบบการผลิตและตลาดข้าวอินทรีย์ในกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ภายใต้ข้อจำกัดของการขยายเครือข่ายการผลิตและการตลาดข้าวอินทรีย์ในจังหวัดเชียงใหม่ (W_1T_2)

-การรักษามาตรฐานการผลิตและแปรรูปข้าวอินทรีย์ และเตรียมการบริหารจัดการน้ำให้เพียงพอต่อการผลิตข้าวอินทรีย์ (W_2T_3)

-การวางแผนการสื่อสารและประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ข้าวอินทรีย์ร่วมกับเครือข่ายผู้ผลิตและการตลาดเพื่อสร้างความมั่นใจกับกลุ่มลูกค้าเดิมจนเกิดการบอกต่อ (W_3T_1)

-การควบคุมราคาข้าวอินทรีย์และสินค้าแปรรูปให้เป็นธรรมเพื่อรักษฐานลูกค้าเดิมที่อยู่ในชุมชนและลูกค้าที่รักสุขภาพ (W_4T_2)

กลยุทธ์การตลาดที่ค้นพบดังกล่าวมีความเกี่ยวข้องกับส่วนประสมทางการตลาดซึ่งประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ ราคา สถานที่จำหน่าย และการส่งเสริมการขาย โดยกำหนดไว้ในกลยุทธ์การพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์เชิงรุกด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้หลากหลายและสร้างแบรนด์ การเพิ่มสถานที่จัดจำหน่ายผ่านช่องทางสื่อสังคมออนไลน์ และการส่งเสริมการขายผ่านการประชาสัมพันธ์ให้แพร่หลายมากขึ้น ส่วนด้านการควบคุมราคาให้เป็นธรรมถูกกำหนดไว้ในกลยุทธ์เชิงรับเพื่อลดจุดอ่อนของราคาข้าวอินทรีย์ที่สูงกว่าข้าวทั่วไปและข้อจำกัดของความนิยมสินค้าข้าวอินทรีย์ที่ยังไม่แพร่หลายเหมือนข้าวทั่วไป ข้อค้นพบเหล่านี้สอดคล้องกับความคิดเห็นของผู้ประกอบการข้าวอินทรีย์ไทยด้านกลยุทธ์ส่วนประสมทางการตลาด ได้แก่ การสร้างแบรนด์และการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ การกำหนดราคาสูงกว่าข้าวทั่วไปเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มหรือกำหนดให้ใกล้เคียงกับข้าวทั่วไปเพื่อให้เป็นที่รู้จักและเพิ่มยอดขายจัดจำหน่าย การสร้างช่องทางการกระจายสินค้าเข้าไปในกลุ่มต่างๆ และห้างสรรพสินค้า และการส่งเสริมการขายโดยการสื่อสารผ่านเว็บไซต์หรือจัดทำบัตรสมาชิกให้กับลูกค้า (Taweek, 2015) ในทำนองเดียวกัน กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรคลองหลวง ปทุมธานี มีกลยุทธ์การแปรรูปข้าวผสมธัญพืชและสร้างสโลแกนของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสุขภาพที่สำเร็จรูป มีการตั้งราคาสูงตามคุณภาพและขั้นตอนการผลิตแบบปลอดสารเคมี และเน้นการกระจายสินค้าให้กับร้านค้าปลีกที่จำหน่ายอาหารสุขภาพและการขายตรงให้กับลูกค้า มีการส่งเสริมการขายผ่านพนักงานขายและเน้นความเป็นเอกลักษณ์ในการจัดวางสินค้า (Sritong, 2016) อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้ค้นพบการกำหนดกลยุทธ์เชิงแก้ไขและป้องกันที่เกี่ยวข้องกับส่วนประสมทางการตลาด โดยเน้นการพัฒนาประสิทธิภาพการบริหารจัดการกลุ่มเพื่อการผลิตและตลาด และการสำรวจความต้องการผู้บริโภคเพื่อปรับราคาให้เหมาะสมในกลยุทธ์เชิงแก้ไข อีกทั้งเน้นการแปรรูปผลิตภัณฑ์และการศึกษาเทคนิควิธีการผลิตเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในกลยุทธ์เชิงป้องกัน นอกจากนี้ในส่วนของการกำหนดกลยุทธ์การตลาดที่ค้นพบในการวิจัยนี้ยังมีความแตกต่างไปจากพื้นที่อื่นขึ้นอยู่กับลักษณะสินค้าและสภาพแวดล้อมของแต่ละกลุ่ม เช่น กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านบ่อหอ อำเภอดงขี้เหล็ก จังหวัดนราธิวาส ค้นพบกลยุทธ์การพัฒนาช่องทางจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ข้าว โดยกลยุทธ์เชิงรุกเน้นการพัฒนาเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์และการขอมาตรฐานรับรอง กลยุทธ์เชิงแก้ไขเน้นการให้ความรู้ในการสร้างตลาดใหม่และออกร้านนอกชุมชน กลยุทธ์เชิงป้องกันเน้นการตั้งราคาที่ใกล้เคียงกับที่อื่น และการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ส่วนกลยุทธ์เชิงรับเน้นการลดการขายในพื้นที่คู่แข่ง และการพัฒนาการขายแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Pardit, 2018) อย่างไรก็ตามความสำคัญอยู่ที่การนำกลยุทธ์การตลาดที่ค้นพบไปสู่การปฏิบัติ

จริง รวมทั้งดำเนินการควบคุมและติดตามประเมินผลอย่างเป็นกระบวนการจึงจะบรรลุเป้าหมายการพัฒนาการตลาดข้าวอินทรีย์ของตำบลหลวงเหนือ (Phuapsit et al., 2015) ดังนั้นควรดำเนินการศึกษาวิจัยเชิงปฏิบัติการอย่างมีส่วนร่วมเกี่ยวกับการนำกลยุทธ์การตลาดไปทดลองดำเนินงานอย่างเป็นขั้นตอน

สรุปผลการศึกษา

ข้าวอินทรีย์ตำบลหลวงเหนือยังเป็นที่ต้องการของตลาดโดยผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมซื้อปลีกในตลาดชุมชนเพื่อนำไปรับประทานผ่านการแนะนำของเพื่อน อีกทั้งยังมีจุดแข็งด้านการเป็นแหล่งเรียนรู้ ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการแปรรูปสู่การสร้างมูลค่าเพิ่ม และความหลากหลายของพันธุ์ข้าว ประกอบกับโอกาสทางการตลาดจากความตื่นตัวของคนรักสุขภาพ การขยายตัวของเมืองและการท่องเที่ยว การสนับสนุนของภาครัฐ และความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสาร อย่างไรก็ตามกลับพบอุปสรรคด้านช่องทางการจัดจำหน่ายและการกำหนดราคาเป็นสำคัญ สำหรับกลยุทธ์การพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์ตำบลหลวงเหนือประกอบด้วยกลยุทธ์เชิงรุก ได้แก่ การประชาสัมพันธ์ให้กว้างขวางขึ้น การพัฒนาแหล่งเรียนรู้การผลิตข้าวอินทรีย์และการแปรรูปให้เป็นช่องทางสื่อสารและจัดจำหน่าย การจัดอบรมให้ความรู้ด้านการสร้างมูลค่าเพิ่มข้าวอินทรีย์ และการส่งเสริมการตลาดออนไลน์ กลยุทธ์เชิงป้องกัน ได้แก่ การศึกษาเทคนิควิธีการผลิตเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การวิเคราะห์กลุ่มผู้บริโภคและสื่อสารเอกลักษณ์พันธุ์ข้าวอินทรีย์ การขยายเครือข่ายการตลาดจากกลุ่มลูกค้าเดิม และการสนับสนุนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวอินทรีย์ให้หลากหลาย กลยุทธ์เชิงแก้ไข ได้แก่ การพัฒนาการบริหารจัดการกลุ่มเพื่อการผลิตและการตลาด การประสานทรัพยากรจากหน่วยงานรัฐ การเพิ่มช่องทางให้ข้อมูลข่าวสารและประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับประโยชน์และแหล่งจำหน่ายข้าวอินทรีย์ และการวิเคราะห์ความต้องการของกลุ่มลูกค้า กลยุทธ์เชิงรับ ได้แก่ การทบทวนรูปแบบการผลิตและการตลาดข้าวอินทรีย์ การรักษามาตรฐานการผลิตและแปรรูปข้าวอินทรีย์ การวางแผนการสื่อสารและประชาสัมพันธ์ข้าวอินทรีย์ และควบคุมราคาของผลิตภัณฑ์ข้าวอินทรีย์ให้เป็นธรรมเพื่อรักษามาตรฐานลูกค้าเดิม ดังนั้นแนวทางการพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์จึงควรให้ความสำคัญกับการจำแนกกลุ่มลูกค้าที่อยู่เมืองและกลุ่มลูกค้าที่อยู่ในชุมชนและพื้นที่ใกล้เคียงเพื่อกำหนดกลยุทธ์ส่วนประสมทางการตลาดด้านผลิตภัณฑ์ ราคา สถานที่จัดจำหน่าย และการส่งเสริมการขายให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคแต่ละกลุ่ม ควรเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ข้าวอินทรีย์ออนไลน์เพื่อเพิ่มการเข้าถึงแหล่งจำหน่ายของผู้บริโภค ควรปรับและควบคุมราคาให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับกำลังซื้อของผู้บริโภคแต่ละกลุ่มเพื่อกระตุ้นการบริโภคข้าวอินทรีย์ และควรนำกลยุทธ์การพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์ไปทดลองดำเนินการจริงทั้งกลยุทธ์เชิงรุก กลยุทธ์เชิงรับ กลยุทธ์เชิงแก้ไข และกลยุทธ์เชิงป้องกัน นอกจากนี้ยังควรศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อข้าวอินทรีย์และความแตกต่างของพฤติกรรมผู้บริโภคที่เป็นคนในชุมชนและคนนอกชุมชนตำบลหลวงเหนือเพื่อกำหนดกลยุทธ์การตลาดให้สอดคล้องกับต้องการผู้บริโภครองขึ้น และควรดำเนินการศึกษาวิจัยเชิงปฏิบัติการอย่างมีส่วนร่วมเกี่ยวกับการนำกลยุทธ์การพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์ไปสู่การปฏิบัติอย่างเป็นขั้นตอน

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการพัฒนากลยุทธ์ทางการตลาดข้าวอินทรีย์สู่การสร้างมูลค่าเพิ่มข้าวอินทรีย์ อำเภอต๋อย สะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ สนับสนุนโดยสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ รวมทั้งกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ตำบลหลวงเหนือ เทศบาลตำบลหลวงเหนือ และผู้ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลในตำบลหลวงเหนือทุกท่านจนทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Aekkakul, T. (2007). *Research Methodology of Behavioral and Social Sciences*. Rajabhat Ubon Ratchathani Institute. (in Thai).
- Cheevit Thai Foundation. (2022). *Update "Pay Money for Organic Rice Farmer" Budget 1,747 Million Baht*. Retrieved from <https://www.infoquest.co.th/2023/347772> (in Thai).
- Economic news. (2023). *Thai Export of Agriculture Goods Grows Continuously, Recommend to Extend Premium Market and Promote Value-Added of Goods*. Retrieved from <https://www.infoquest.co.th/2023/347772> (in Thai).
- Lorchirachoonkul, V., Atthirawong, W., & Leerojanaprapa, K. (2018). SWOT and TOWS Matirix analysis for strategic development to increase Thai-Laos silk supply chain efficiency. *Journal of Management Walailak University*, 7(3), 15-26. (in Thai).

- Maity, R., Sudhakar, K., Abdul Razak, A., Karthick, A., & Barbulescu, D. (2023). Agrivoltaic: a strategic assessment using SWOT and TOWS Matrix. **Energies**, 16(8), 3313.
- Moslehpour, M., Kien, P. V., & Danyfisa, I. (2014). Differences of customer purchase behavior toward organic rice in Indonesia and Taiwan. **International Journal of Quality and Service Sciences**, 6(4), 348-368.
- Phuapisit, P., Supadiluklak, R., Taiwan, A., & Chaiwan, W. (2015). Sustainable development of administrative management: case study in Wat Takien floating market. **RMUTP Research**, 9(2), 56-73. (in Thai).
- Pipitkun, K. (2020). Organic agriculture, way to sustainable agricultural society: organic rice development strategy. **Neuarj Neu Academic Journal**, 10(1), 116-130. (in Thai).
- Poosri, T. & Kungwansupaphan, C. (2020). Organic rice purchase behavior of consumers in the municipality of Surin Province. **Journal of Management Science Research, Surindra Rajabhat University**, 14(1), 1-13. (in Thai).
- Pradit, K. (2018). The development of distribution channels of rice products through the electronic-commerce system for Bor-Khor's housewife's group, the community enterprise in Takbai District, Narathiwat Province. **Academic Journal of Social Innovation**, 2(12), 152-164.
- Sameuajai, C. (2007). **Consumer Behavior**. 2nded. V Print Company. (in Thai).
- Sinthusiri, N., Inthansang, C., Timtes Boonmasongsung, D., Nunnad, P., & Thongpracha, K. (2020). Distribution channel of organic rice processed product: case study of Nakornkong Jasmine Rice Community Enterprises, Nakhon Ratchasima Province. **Academic Journal of Humanities and Social Sciences Burapha University**, 28(2), 82-107. (in Thai).
- Srijam, J., Koohasawanvate, S., & Rojnirutikul, N. (2015). Marketing mix in consumer decision for buying organic rice in Bangkok and metropolitan area. **Journal of Industrial Education**, 14(3), 697-704. (in Thai).
- Sritong, O. (2016). Marketing strategy development of instant health supplementary rice: case study of cooperative women group in Klongluang (Klongsong). **Journal of Graduate Studies**, 10(1), 208-219. (in Thai).
- Sukkarat, K., & Athinuwat, D. (2020). Study of consumption behavior and attitude of organic product consumer. **Thai Journal of Science and Technology**, 9(1), 68-76. (in Thai).
- Taweasuk, T. (2015). Thai entrepreneur's opinion on marketing mix strategy for organic rice. **Journal of Suthiparithat**, 29(92). 166-181. (in Thai).
- Thisawet, R., Somboon, S., & Negi-Wichit, S. (2017). The strategies for development organic rice production system following self-sufficiency economy philosophy of the Ton-Kla enterprise of Amnat Charoen Groups. **Humanities and Social Sciences Journal**, 8(extra), 116-121. (in Thai).
- Wu, W., Zhou, L., & Chien. (2019). Impact of consumer awareness, knowledge, and attitudes on organic rice purchasing behavior in China. **Journal of Food Products Marketing**, 25(5), 549-565.

RESEARCH ARTICLES:

PAGE

■ Application of Antimicrobial peptides in Plant-Disease Control	Thitiporn Ditsawanon, Sittiruk Roytrakul and Nonglak Parinthawong	1
■ Bioremoval of Contaminated in Wastewater by Using Alginate Immobilized Cell of Green Microalga <i>Nannochloropsis oculata</i>	Paweepon Jongyingjaroenyod, Buppha jongput and Suneerat Ruangsomboon	10
■ Effect of Feeding Roughage Hay on Production Efficiency and Economic Return in Crossbred Sheep	Arthit Panyasak, Kittiwara Rongsawat, Ronnapat Deeso, Tassanan Hongsapak, Sunirun Tongson, Lak Piasai and Suparak Khumput	20
■ Beef Cattle Production and Market of Beef Cattle Farmer in Lamphun Province	Thitiporn Chaimongloll, Warinthorn Maneerat and Monticha Putsakum	31
■ Effects of <i>Mitragyna speciosa</i> Leaf Powder Supplementation in Layer Diet on Production Performance and Egg Quality	Jessada Rattanawut, Bodee Khamseekhiew, Karthikeyan Venkatachalam and Areerat Todsadee	38
■ Factor Affecting Decision Making on Madan (<i>Garcinia Schomburgkiana</i> Pierre.) Cultivation of Farmers in Nakhon Nayok Province	Kantawat Chaivut, Patcharavadee Sriboonruang and Chalathon Choocharoen	44
■ Effect of Biochar on Soil Fertility Change on Sandy Loam Soil and Clay Soil Under Greenhouse Condition	Chattapanorn Kueanoon and Sainam Uduay	52
■ Effect of Seed Size on Growth, Yield and Seed Quality of Jack Bean (<i>Canavalia ensiformis</i> (L.))	Chunjit Kaewkunya, Nicharee Weerasing and Sukanda Aunchai	61
■ Bioremediation of Wastewater Contaminated with Dyes, Rhodamine B Using Alginate Immobilized Cell of <i>Spirulina platensis</i>	Wilasinee Sriputtho, Buppha Jongput and Suneerat Ruangsomboon	70
■ Influence of Rhizobium Co-inoculated with Arbuscular Mycorrhiza and Phosphate Solubilizing Bacteria on the Growth of Peanut Tainan 9 variety	Jiraporn Inthasan and Chatprawee Dechjiraratthanasiri	79
■ The Potential of New Purple Yardlong Bean Varieties in Open-Field Organic Farming Compared with Chemicals Management under Plastic Net-House	Nion Ngamhui, Supot Boonraeng and Paongpetch Phimchan	86
■ Effects of Methyl Jasmonate on Quality and Phytochemical Contents of Postharvest 'Kamphaeng Saen 42' Mulberry Fruit	Laddawan Kammpana	97
■ Promoting the Construction of Underground Water Banks for Community Environmental Conservation by Local Government Organization in Thailand	Tanyakorn Khumwong, Suwaree Sripoona , Pomhom Cherdkotha, Prapaporn Chulilung, Boonvanich Boonvarichananaan and Thotsaporn Sonboot	106
■ Effect of Short-Term Anoxia on Weight Loss and Pigments of Carambola Fruit Cv.See-Thong	Prakaidao Yingsanga, Supansa Kongpakdee, Chairat Techavuthiporn, Thanwalee Srinon, Pongphen Jitareerat and Lada Mathurasa	116
■ Strategies for Organic Rice Marketing at Luang Neua Sub-District, Doi Sa ket District, Chiang Mai, Thailand	Katesuda Sitthisuntikul, Jareewan Junkong, Banjarata Jolanun, Mananya Nantasarn and Naiyana Pothawong	125