



วารสาร

เกษตรพระจอมเกล้า

KING MONGKUT'S AGRICULTURAL JOURNAL

ปีที่ 43 ฉบับที่ 1

VOLUME 43 NUMBER 1

มกราคม - เมษายน 2568

ISSN 3027-8287 (Online)

January - April 2025

บทความวิจัย

สารบัญ

หน้า

- | | | |
|---|---|-----|
| □ การตรึงและปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินปลูกยางพาราในภาคใต้ของประเทศไทย | อารีรัตน์ ชูเมฆา จำเป็น อ่อนทอง ขวัญตา ขาวมี และจักรกฤษณ์ พูนภักดี | 1 |
| □ การพัฒนาผลิตภัณฑ์และคุณลักษณะทางกายภาพของดาร์กช็อกโกแลตเพื่อการใช้ผลโกโก้ที่ยั่งยืน | พัชนียา เอกเพชร ณัฐธิดา ศรีราชยา และศราวุธ ทองเนื้อห้า | 12 |
| □ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหมักคีเฟอร์เพื่อผลิตคีเฟอร์ | เบญจมาส เขียวศิลป์ จริญญา สหานสัย และรัตนพรรณ ภูมิไชยา | 20 |
| □ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไวน์เมล็ดองและการหมักแบบกะช้า | เบญจมาส เขียวศิลป์ อภิสรรา เอียดเจริญ และรัตนพรรณ ภูมิไชยา | 29 |
| □ ผลของระดับความเค็มและการฉีดพ่นปุ๋ยเสริมธาตุต่อผลผลิตและปริมาณแอนโดรกราโฟไลด์ในฟ้าทะลายโจร | บุญญิตา ตระกูลยิ่งเจริญ และกนกกร สันมา | 38 |
| □ ผลของระดับโปรตีนในอาหารผสมครบส่วนต่อการกินได้ การย่อยได้ และสมรรถภาพการเจริญเติบโตในลูกแพะนมเมื่อได้รับกระเทียมหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ | จิระวัลย์ โคตรศักดิ์ เฉลิมพล เยื้องกลาง ไกรสิทธิ์ วสุเพ็ญ ศศิพันธ์ วงศ์สุทราวาส และเบญจมาศ คนแข็ง | 46 |
| □ ผลของอายุการเก็บเกี่ยวต่อปริมาณสารคอร์โคเซบินและอะดีโนซีนของถั่งเช่าสีทอง | ณัฐพัชร ศรีหะนันต์ ธนภักษ์ อินยอด ขนิษฐา ขวณะนเรศเรษฐ์ ธนภัทร เดิมอารมณ์ และชาตรี กอนี่ | 53 |
| □ อัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรในเขตภาคกลาง | วัชรภรณ์ ประทุมโพธิ์ พิชัย ทองดีเลิศ และพัชราวดี ศรีบุญเรือง | 63 |
| □ ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการออกดอกของมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิในจังหวัดเชียงใหม่ | ราเชนทร์ ไคร์ครวญ อำพล สอนสระเกษ และนพพร บุญปลอด | 73 |
| □ เปรียบเทียบการขุนโคพันธุ์กำแพงแสนกับโคลูกผสมวากิวเพศผู้ตอนที่ได้รับอาหารข้นอย่างเต็มที่ต่อสมรรถภาพการขุน ลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ และผลตอบแทนจากการขุนโค | อัญชลี คงประดิษฐ์ คมกฤษ เอกฉัตร ปรมาศิษฐ์ เจริญศรี พิระยุทธ อินกล้า ภูมิพงศ์ บุญแสน ภาณุวัฒน์ กาลจักร และสุริยะ สะวานนท์ | 80 |
| □ ผลของการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า (<i>Phlebopus portentosus</i>) ต่อการเติบโตของกล้วย (<i>Dalbergia cochinchinensis</i>) | อัญชิสา วสุสุนทร แผลมไทย อาษานอก กมลพร ปานง่อม และวรรณมา มั่งกิตะ | 91 |
| □ ผลของวิธีการปลูกและอัตราปลูกต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 | ดวงยี่หวา จิระวงศ์สันติสุข กมลรัตน์ วินิจสกุลไทย ธิดากุล อุดคำเที่ยง ธีรณัฐ ชลพาทีนันท์ อำนาจ บุตรทองคำวงษ์ ธงชัย พุดทองศิริ ปัทมา นิตโรสง และธีรวัฒน์ ศรีตโยภาส | 100 |
| □ การคัดเลือกสารสกัดสมุนไพรที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในปลาไน (<i>Oreochromis niloticus</i>) | กรทิพย์ กันนิการ อลิสราน นพนรินทร์ นลินี ลิเกสร อาภาพร แสงจินะ อามินตรา นามภักดี กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์ เกรียงไกร สีตะพันธ์์ ดุจดติ ปานพรหมมินทร์ และเปรมดา ทิพย์เดช | 110 |
| □ การพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ <i>Bacillus subtilis</i> ต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 | ธิดารัตน์ แก้วคำ | 120 |
| □ การศึกษากระบวนการผลิตนมข้าวเม่าอัดเม็ดที่เหมาะสมกับชุมชน | พรประภา ชุนถนอม รวีพร ศรีสำราญ กรรณิการ์ สมบุญ วิวัฒน์ ศรีวิชา และเดือนรุ่ง สุวรรณโสภา | 130 |

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. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือและแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดเห็นระหว่างผู้เกี่ยวข้องในการเกษตรหรือสถาบันต่าง ๆ

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
ศ. ดร. มยุรา สุนยวีระ
รศ. ดร. ปัญญา หมันเก็บ
รศ. ดร. จารุญ เล้าสินวัฒนา

บรรณาธิการ

รศ. ดร. ผุสดี ตั้งวัชรินทร์

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รศ. ดร. กัญจนา แซ่เตียว
ผศ. ดร. อัจฉรี เรืองเดช
ผศ. ดร. ภัทรรัตน์ เทียมเก่า
ผศ. ดร. พัชรา เอี่ยมกิจการ สบายใจ
ดร. บัทยา นิตไธสง
ดร. มัทธนา ตันชัย
ดร. เอกพล ทองแก้ว

จัดทำรูปเล่ม

นางสาวมณีนัฐา วงศ์สง่า

ผู้ดูแลระบบ

นายปิยวัฒน์ ศรีสวัสดิ์

กองบรรณาธิการ

ศ. ดร.บัญชา สมบูรณ์สุข
ศ. ดร.สุฤติ ประเทืองวงศ์
ศ. ดร.อังคณาณ์ 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 หะยีสาม
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.พิสสุวรรณ เจริญสมบัติ
ผศ. ดร.เยาวรัตน์ ศรีวรานันท์
ผศ. ดร.วัชร จินตโกวิท
ผศ. ดร.วีระณีย์ ทองศรี
ผศ. ดร.เสาวคนธ์ เหมวงษ์
คุณอัญชลี สุวจิตตานนท์
ผศ. ดร.อนัญญา เจริญพรนิพัทธ์
ผศ. ดร.นุกุล ถวิลถิ่ง
รศ. ดร.คำรณวิทย์ ทัพย์มณี
รศ. ดร.พรหมมาศ คุณากัญจน์
รศ. ดร.สุณีพร สุวรรณมณีพงศ์
รศ. ดร.ศุภลักษณ์ สรภักดิ์
ผศ. ดร.ลำแพน ขวัญพูล
ผศ. ดร.ดวงกมล ปานรศทิพ ธรรมาธิวัฒน์
ผศ. ดร.ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล
ผศ. ดร.จำลอง มิตรชาวยุทธ
ผศ. ดร.มัลลิกา กิลลาโส
ดร.ธนัท สมณคุปต์

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

เจ้าหน้าที่วารสาร

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)

วารสารเกษตรพระจอมเกล้าปีที่ 43 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - เมษายน 2568 ฉบับนี้ประกอบด้วยบทความวิจัยจำนวน 15 บทความ ประกอบด้วย สาขาพืชสวน 3 บทความ พืชไร่ 2 บทความ ปฐพีศาสตร์ 2 บทความ สัตวศาสตร์ 2 บทความ วิทยาศาสตร์การประมง 1 บทความ อุตสาหกรรมอาหาร 4 บทความ และนิเทศศาสตร์เกษตร 1 บทความ บทความทุกเรื่องนอกจากมีความน่าสนใจในเนื้อหาให้ได้เรียนรู้และต่อยอดต่อไปแล้ว ยังได้ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในแต่ละสาขาที่เกี่ยวข้อง (Peer Review) ทั้งที่มาจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเพื่อยกระดับคุณภาพของงานวิจัยและมีมาตรฐานทางวิชาโดยได้ผลิตและเผยแพร่แบบสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (E-Journal) ทั้งนี้ วารสารฯ ได้เริ่มใช้การระบุ DOI (ตัวระบุวัตถุดิจิทัล) ตั้งแต่วารสารปีที่ 41 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยในการค้นหาการเข้าถึง และเชื่อมโยงการเข้าถึงสารสนเทศดิจิทัลสำหรับผู้สนใจจะส่งบทความวิจัยหรือบทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal> หรือติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่อีเมล ajournal@kmitl.ac.th

รองศาสตราจารย์ ดร.ผุสดี ตั้งวัชรินทร์
บรรณาธิการวารสารเกษตรพระจอมเกล้า

การตรึงและปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินปลูกยางพาราในภาคใต้ของประเทศไทย Potassium Fixation and Release in Rubber Plantation Soils in Southern Thailand

อาริรัตน์ ชูเมฆา¹, จำเป็น อ่อนทอง¹, ขวัญตา ขาวมี¹ และ จักรกฤษณ์ พูนภักดี^{1*}
Arirat Chumekha¹, Jumpen Onthong¹, Khwunta Khawmee¹ and Chakkrit Poonpakdee^{1*}

Received date: 10 ส.ค. 66 Revised date: 27 ก.ย. 66 Accepted date: 29 ก.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.001>

บทคัดย่อ

โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและสร้างน้ำยางของยางพารา การตรึงและปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินเป็นกระบวนการสำคัญในดินที่ควบคุมความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดิน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการตรึงและการปลดปล่อยโพแทสเซียมในกลุ่มดินเนื้อหยาบ เนื้อปานกลาง และเนื้อละเอียดที่ใช้ปลูกยางพาราในภาคใต้ของประเทศไทย ผลการทดลอง พบว่า ดินที่ใช้ศึกษามีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่ถูกตรึงระดับต่ำ ดินมีศักยภาพในการตรึงโพแทสเซียมสูงเมื่อเติมโพแทสเซียมในดินที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ ($10\text{-}50\text{ mg K kg}^{-1}$) ร้อยละการตรึงโพแทสเซียมในกลุ่มดินเนื้อละเอียดมีค่าสูงกว่ากลุ่มดินเนื้อปานกลาง และกลุ่มดินเนื้อหยาบ ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานโพแทสเซียม (BC_K) ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความสามารถของดินในการตรึงโพแทสเซียมในดิน พบว่า กลุ่มดินเนื้อละเอียดมีความสามารถในการตรึงและปลดปล่อยโพแทสเซียมได้สูงกว่ากลุ่มดินเนื้อปานกลาง และกลุ่มดินเนื้อหยาบ ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณโพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยออกมามีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อดินมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมปริมาณสูงขึ้น ดังนั้น แนวทางการจัดการความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินปลูกยางพาราในภาคใต้ควรมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มระดับโพแทสเซียมและความสามารถในการดูดซับโพแทสเซียมในดิน โดยเฉพาะในกลุ่มดินเนื้อหยาบที่มีความสามารถในการต้านทานโพแทสเซียมต่ำกว่ากลุ่มดินเนื้อละเอียด

คำสำคัญ: การต้านทานโพแทสเซียมในดิน สถานะโพแทสเซียม ธาตุอาหารพืช โพแทสเซียม

Abstract

Potassium (K) is an essential element for rubber tree growth and latex synthesis. K fixation and K release are the key factors that control K availability in soil. This objective of this research was to investigate the potential of K fixation and K release in coarse, medium, and fine textured soil groups on a rubber plantation in southern Thailand. The results indicated that the soil used for this study had both available K and fixed K in low level. The potentiality of K fixation was high when low K concentrations ($10\text{-}50\text{ mg K kg}^{-1}$) were added to the soil. The percentage of K fixation in fine textured soil groups was higher than in medium and in coarse textured soil groups, respectively. The buffering coefficient for K (BC_K), which indicates the ability of K fixation in soil, found that the capacity of K fixation and K release in fine textured soil groups was higher than in medium and in coarse textural soil groups, respectively. The amount of K release was higher in soil with a higher dosage of K fertilizer application. Therefore, the management approach for available K in rubber growing soils should be applying a combination of K fertilizer and organic fertilizer to enhance K level and the ability of K adsorption in soil, especially for coarse textured soil groups with a lower K buffering capacity than fine textured soil groups.

Keywords: soil K buffering capacity, K status, plant nutrition, potassium

¹ สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

¹ Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla 90110

* Corresponding author: chakkrit.p@psu.ac.th

คำนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยโดยมีพื้นที่ปลูก 24.46 ล้านไร่ กระจายทั่วประเทศ (Office of Agricultural Economics, 2021) โดยเฉพาะภาคใต้ที่มีพื้นที่ปลูก 14.19 ล้านไร่ ยางพาราจะเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสูงจำเป็นต้องได้รับโพแทสเซียม (K) อย่างเพียงพอ โพแทสเซียมมีบทบาทช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์อะดีโนซีนไตรฟอสฟาเทส (ATPase) ซึ่งช่วยเคลื่อนย้ายซูโครสที่เป็นสารตั้งต้นในการสร้างน้ำยางพาราเข้าสู่ท่ออาหารและสังเคราะห์ยาง กระตุ้นเอนไซม์ไพรุเวตคิเนสเพื่อเปลี่ยน phosphoenolpyruvate (PEP) เป็นไพรุเวตในกระบวนการไกลโคไลซิสที่ใช้สร้างน้ำยาง (Jacob et al., 1989) เมื่อยางพาราได้รับโพแทสเซียมเพียงพอ พบว่า ยางพาราก่อนเปิดกรีดโตดีขึ้น ส่วนยางพาราหลังเปิดกรีดสร้างเปลือกใหม่เร็วขึ้นและปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น (Kungpisdan, 2009) ยางพาราที่ได้รับโพแทสเซียมไม่เพียงพอจะแสดงอาการใบเหลืองซีดเริ่มจากขอบใบและยอด (Kungpisdan, 2007) แต่เมื่อได้รับโพแทสเซียมมากเกินไปส่งผลให้ดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียมลดลง (Pongthai et al., 2017)

โพแทสเซียมในดินเมื่อแบ่งตามความเป็นประโยชน์ต่อพืชแบ่งเป็น 4 รูป คือ โพแทสเซียมในสารละลายดิน โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โพแทสเซียมที่ถูกตรึง และโพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ (Brady and Weil, 2008) รูปที่พืชสามารถดูดนำไปใช้ได้ทันที คือ โพแทสเซียมในสารละลายดินและที่แลกเปลี่ยนได้ ในขณะที่โพแทสเซียมที่ถูกตรึงเป็นรูปที่ค่อย ๆ เป็นประโยชน์ต่อพืชและโพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่พืชไม่สามารถดูดนำไปใช้ได้ทันที โพแทสเซียมทั้ง 4 รูปในดินมีสมดุลแบบเปลี่ยนกลับได้ กล่าวคือ ดินมีสมบัติในการต้านทานการเปลี่ยนระดับโพแทสเซียม เมื่อโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินลดลงและไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม โพแทสเซียมที่ถูกตรึงจะมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาเพื่อเพิ่มโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน อันเป็นการรักษาสมดุลโพแทสเซียม (Brady and Weil, 2008) ในทางกลับกัน เมื่อใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมซึ่งเป็นการเพิ่มโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน ดินจะมีการตรึงโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ส่วนหนึ่งไว้ และจะถูกปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์เมื่อดินมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ

ดินปลูกยางพาราในภาคใต้มีทั้งดินเหนียวและเนื้อละเอียด ดินในภาคใต้ส่วนใหญ่ถูกจัดอยู่ในอันดับ Entisols (Kheoruenromne and Vijansorn, 2003) ดินในอันดับนี้เป็นดินที่มีพัฒนาการสูง ดินชั้นล่างมีการสะสมอนุภาคดินเหนียว ดินมีร้อยละความอิ่มตัวด้วยเบสต่ำกว่า 35 และดินส่วนใหญ่มีแร่ดินเหนียวชนิดเคโอลิไนต์ที่มีกิจกรรมต่ำเป็นหลัก จากสภาพภูมิอากาศของภาคใต้ที่ร้อนชื้น ฝนตกชุก ดินสูญเสียธาตุอาหารโดยเฉพาะโพแทสเซียมออกจากดินได้ง่ายโดยกระบวนการชะละลาย ส่งผลให้ดินปลูกยางพาราในภาคใต้ของประเทศไทยส่วนใหญ่มีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมต่ำ (Kitprasong et al., 2020; Damrongrak et al., 2015)

การจัดการโพแทสเซียมให้เพียงพอต่อความต้องการของยางพาราจึงมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิต การเข้าใจถึงความสามารถของดินในการต้านทานการเปลี่ยนระดับโพแทสเซียมซึ่งประกอบด้วย การตรึงและการปลดปล่อยโพแทสเซียมจึงมีความสำคัญในการจัดการปุ๋ยโพแทสเซียม แม้มีรายงานถึงความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงระดับโพแทสเซียมในดินปลูกอ้อย (Darunsontaya et al., 2018) และการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินปลูกข้าว (Darunsontaya et al., 2019) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานความสามารถของดินในการต้านทานการเปลี่ยนระดับโพแทสเซียมในดินปลูกยางพาราในภาคใต้ ดังนั้น จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการตรึงและปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินปลูกยางพาราในภาคใต้ของประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางการจัดการความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินปลูกยางพาราที่มีเนื้อดินแตกต่างกัน

วิธีการศึกษา

การเก็บและเตรียมตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และแร่วิทยา

เก็บดินที่มีเนื้อดินในกลุ่มเนื้อดินเหนียว กลุ่มเนื้อปานกลาง และกลุ่มเนื้อละเอียดที่ใช้ปลูกยางพาราที่ความลึก 0-30 เซนติเมตร (Kungpisdan, 2008) อย่างละ 4 ชุดดิน โดยกลุ่มดินเนื้อละเอียด ได้แก่ ชุดดินอ่าวลึก (Ak), นาทอน (Ntn), รือเสาะ (Ro) และพัทลุง (Ptl) กลุ่มดินเนื้อปานกลาง ได้แก่ ชุดดินฝั่งแดง (Fd), สายบุรี (Bu), ลำภูรา (Li) และหาดใหญ่ (Hy) และกลุ่มดินเนื้อเหนียว ได้แก่ ชุดดินคอกหงษ์ (Kh), บาเจาะ (Bc), คลองท่อม (Km), และนาทวี (Nat) ฝั่งดินให้แห้งในที่ร่ม บด และร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิด 2 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า (ดิน:น้ำ, 1:5) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Bray II ไนโตรเจนทั้งหมดในดินโดยวิธี Kjeldahl ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่สกัดได้โดย 1 M NH_4OAc pH 7 ส่วนดินที่ร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิด 0.5 มิลลิเมตรใช้วิเคราะห์อินทรีย์วัตถุโดยวิธี Walkley-Black ตามคู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (Onthong and Poonpakdee, 2020) เนื้อดินโดยวิธี Hydrometer (Gee and Bauder, 1986) และชนิดแร่

ในอนุภาคขนาดดินเหนียวด้วยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ โดยนำดินมากำจัดสารเชื่อม ทำให้อนุภาคดินเหนียวอิมมัลชันด้วยแมกนีเซียมและโพแทสเซียม จากนั้นนำมาเข้าเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) นำตัวอย่างที่อิมมัลชันด้วยโพแทสเซียมไปเผา ส่วนตัวอย่างที่อิมมัลชันด้วยแมกนีเซียมนำมาทำให้อิมมัลชันด้วยกลีเซอรอล (glycerol) แล้วนำเข้าเครื่อง XRD ด้วยเทคนิคระยะห่างระหว่างผลึก (Whitting, 1965)

การวิเคราะห์โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดิน

วิเคราะห์โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดิน (Helmke and Sparks, 1996) ได้แก่ 1) โพแทสเซียมในสารละลายดิน (Sol-K) โดยสกัดด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI water) 2) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch-K) สกัดด้วย 1 M NH_4OAc วัดโพแทสเซียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) โดยหักลบกับ Sol-K (Thomas, 1982) 3) โพแทสเซียมที่สกัดได้ (NH_4OAc -K) เป็นผลรวมของ Sol-K และ Exch-K 4) โพแทสเซียมที่ถูกตรึง (Fixed-K) 5) โพแทสเซียมที่สกัดด้วยกรดไนตริก (HNO_3 -K) คำนวณ Fixed-K จากผลต่างโพแทสเซียมที่สกัดได้โดย HNO_3 -K กับ NH_4OAc -K 6) โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ (Min-K) และ 7) โพแทสเซียมทั้งหมดในดิน (Total-K) โดยย่อยดินด้วยกรดผสม (HF และ HNO_3 +HCl; 1:3 v/v) หาปริมาณ Min-K โดยผลต่าง Total-K กับ HNO_3 -K (Hosseinifard et al., 2010)

การตรึงโพแทสเซียมในดินปลูกยางพารา

ชั่งดิน 30 กรัม เติมสารละลายโพแทสเซียมซึ่งเตรียมจาก KNO_3 ที่มีโพแทสเซียม 15, 30, 45, 60, 75, 150, 300 และ 600 mg L^{-1} ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ซึ่งจะได้โพแทสเซียมที่เติมในดิน 10, 20, 30, 40, 50, 100, 200 และ 500 mg/kg หลังจากนั้นนำดินไปบ่มและอบที่ 40-45 °C จนดินแห้ง แล้วทำให้ดินชื้นโดยเติม DI water เขย่า นำไปอบให้ดินแห้งอีก 2 ครั้ง นำดินมาสกัดโพแทสเซียมด้วย 1 M NH_4OAc ประเมินค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานโพแทสเซียม (buffering coefficient for potassium; BC_K) จากความชันของกราฟเส้นตรงระหว่างปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้และโพแทสเซียมที่เติมในดิน (Sirichomchun, 2009) และร้อยละโพแทสเซียมที่ถูกตรึง = $(K \text{ ที่ถูกตรึง}) / (K \text{ ที่เติม}) \times 100$

การปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินปลูกยางพารา

นำดินที่บ่มด้วยโพแทสเซียม 20, 40, 100, 200 และ 500 mg kg^{-1} มาสกัดโพแทสเซียมที่เวลาต่าง ๆ โดยชั่งดินใส่หลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร เติม 1 M NH_4OAc (ดิน:น้ำยาสกัด; 1:2 w/v) เขย่า 1 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลา บั่นเหวี่ยง แล้วเทสารสกัดทิ้ง (เพื่อกำจัด Sol-K และ Exch-K ที่มีอยู่ในดิน) จากนั้นล้างตะกอนดิน โดยเติม DI water 10 มิลลิลิตร เขย่าด้วยมือ 1 นาที บั่นเหวี่ยง เทสารดังกล่าวทิ้ง แล้วนำตะกอนดินมาเติม 1 M NH_4OAc pH 7 และสกัดโพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยออกมาที่เวลา 2, 4, 8, 16, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง โดยในแต่ละครั้งของการสกัดที่เวลาต่าง ๆ เก็บสารสกัด NH_4OAc ที่ได้เพื่อวัดความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยและล้างตะกอนดิน เมื่อครบ 96 ชั่วโมง ประเมินปริมาณโพแทสเซียมปลดปล่อยสะสมจากผลรวมของโพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยจากชั่วโมงที่ 2-96

$$\text{โพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยจากโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน (\%)} = \frac{\text{โพแทสเซียมที่ปลดปล่อยที่ 2 – 96 ชั่วโมง}}{\text{โพแทสเซียมทั้งหมดในดิน}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลสมบัติดินและรูปโพแทสเซียมมาวิเคราะห์ค่าต่ำสุด-สูงสุดของข้อมูล และหาค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มเนื้อดิน จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างร้อยละการตรึงและการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินระหว่างกลุ่มเนื้อดินด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ $P \leq 0.05$

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติดินและชนิดแร่ในอนุภาคดินเหนียวของดินปลูกยางพารา

เนื้อดินของแต่ละดินที่ใช้ศึกษามีผลวิเคราะห์สอดคล้องกับการจัดกลุ่มเนื้อดิน (Table 1) ทั้งนี้ดินปลูกยางพาราทั้ง 3 กลุ่มเนื้อดินมีพีเอชเป็นกรดรุนแรงถึงกรดเล็กน้อย (5.15-6.54) และค่าการนำไฟฟ้าต่ำ (0.01-0.02 dS m^{-1}) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และไนโตรเจนทั้งหมดใกล้เคียงกัน (Table 2) แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณอนุภาคดินเหนียวที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนและอินทรีย์วัตถุในดินที่พบว่า มีค่าสูงในกลุ่มดินเนื้อละเอียด ปานกลาง และหยาบ ตามลำดับ ส่วนแร่ในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินทั้ง 3 กลุ่ม โดยเฉพาะในกลุ่มดินเนื้อหยาบ และปานกลางส่วนใหญ่มีแร่เคลไอลีนต์เป็นองค์ประกอบหลักมากกว่าร้อยละ 60 (Table 1) พบโอลิไต์และมอนต์มอริลโลไนต์น้อยกว่าร้อยละ 10 ขณะที่กลุ่มดินเนื้อละเอียดมีแร่ดินเหนียวชนิดโอลิไต์และมอนต์มอริลโลไนต์ตั้งแต่ร้อยละ 5-60

Table 1 Mineralogy of clay fractions in studied soils

Soil textural groups	Soil series	Soil texture	Kao	Ill	Ill-Mont	Ver	Gib	Ant	Qtz	etc
Coarse	Kh	Sandy loam	xxxx	xx	x	-	-	-	tr	-
	Bc*	Sand	-	-	-	-	-	-	-	-
	Km	Sandy loam	xxxx	-	x	-	-	-	tr	-
	Nat	Sandy loam	xxxx	-	x	-	-	-	tr	-
Medium	Fd	Sandy Clay Loam	xxxx	-	x	-	-	-	tr	-
	Bu	Loam	xxx	xx	-	-	-	-	x	-
	LI	Sandy Clay Loam	xxxx	x	-	-	-	-	-	x
	Hy	Sandy Clay Loam	xxxx	x	-	-	-	-	tr	-
Fine	Ak	Clay	xxx	-	-	-	xx	x	-	x
	Ntn	Clay Loam	xx	xx	xxx	-	-	-	-	-
	Ro	Clay Loam	xx	xx	xxx	-	-	-	-	-
	Ptl	Clay	xxxx	x	x	-	-	-	-	-

Remark: xxxx = > 60%; xxx = 40–60%; xx = 20–40%; x = 5–20%; and tr = <5%. Kao = kaolin; Ill = illite; Ill-Mont = illite-montmorillonite; Ver = vermiculite; Gib = gibbsite; Ant = anatase; Qtz = quartz. Bc* = not analyzed because soil texture contained clay particles less than 6%.

Table 2 Range, mean, and standard deviation (SD) value of soil samples

Soil properties	Value	Soil textural groups		
		Coarse (n=4)	Medium (n=4)	Fine (n=4)
pH (1:5; soil:DI water)	Min-Max	5.02-5.27	4.56-6.99	4.99-7.67
	Mean $\pm$ SD	5.15 $\pm$ 0.11	5.34 $\pm$ 1.14	6.54 $\pm$ 1.12
EC (1:5) (dS m ⁻¹)	Min-Max	0.007-0.014	0.01-0.03	0.01-0.03
	Mean $\pm$ SD	0.01 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.01
OM (g kg ⁻¹)	Min-Max	5.83-11.44	6.55-18.29	17.07-23.02
	Mean $\pm$ SD	8.61 $\pm$ 2.29	13.63 $\pm$ 5.16	21.11 $\pm$ 2.79
Avai. P (mg kg ⁻¹)	Min-Max	3.51-4.83	0.29-7.51	0.17-11.34
	Mean $\pm$ SD	3.90 $\pm$ 0.63	3.48 $\pm$ 3.20	5.48 $\pm$ 5.71
Extr. K (mg kg ⁻¹)	Min-Max	5.39-16.88	18.83-38.35	29.00-81.23
	Mean $\pm$ SD	12.44 $\pm$ 4.93	28.07 $\pm$ 9.80	59.30 $\pm$ 25.35
Extr. Ca (mg kg ⁻¹)	Min-Max	8.65-11.87	7.57-24.68	26.81-766.44
	Mean $\pm$ SD	30.15 $\pm$ 39.65	15.25 $\pm$ 7.29	319.67 $\pm$ 318.30
Extr. Mg (mg kg ⁻¹)	Min-Max	6.06-125.19	4.11-119.11	13.91-796.17
	Mean $\pm$ SD	38.96 $\pm$ 57.73	41.19 $\pm$ 52.61	265.20 $\pm$ 364.51
Total N (g kg ⁻¹)	Min-Max	0.23-0.77	0.59-1.05	0.97-1.55
	Mean $\pm$ SD	0.53 $\pm$ 0.23	0.87 $\pm$ 0.21	1.27 $\pm$ 0.24
CEC (cmol _c kg ⁻¹)	Min-Max	1.01-2.05	3.37-7.78	9.31-12.20
	Mean $\pm$ SD	1.60 $\pm$ 0.44	5.33 $\pm$ 1.90	10.75 $\pm$ 1.19
Sand (%)	Min-Max	69.92-91.00	39.02-56.77	4.12-32.49
	Mean $\pm$ SD	80.19 $\pm$ 8.72	50.66 $\pm$ 8.16	19.93 $\pm$ 13.62
Silt (%)	Min-Max	3.02-14.17	10.94-36.56	11.12-37.18
	Mean $\pm$ SD	8.25 $\pm$ 5.01	23.83 $\pm$ 10.68	28.45 $\pm$ 11.89
Clay (%)	Min-Max	5.98-15.91	22.50-32.29	34.89-75.80
	Mean $\pm$ SD	11.56 $\pm$ 4.18	25.52 $\pm$ 4.59	51.62 $\pm$ 19.37

โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินปลูกยางพารา

ดินปลูกยางพาราทั้ง 3 กลุ่ม พบว่า ในกลุ่มดินเนื้อหยาบ โพแทสเซียมส่วนใหญ่อยู่ในรูป Min-K > Exch-K > Fixed-K > Sol-K ขณะที่กลุ่มดินเนื้อปานกลาง และละเอียด ส่วนใหญ่อยู่ในรูป Min-K > Fixed-K > Exch-K > Sol-K (Table 3) Sol-K และ Exch-K มีแนวโน้มปริมาณเพิ่มขึ้นจากกลุ่มดินเนื้อหยาบ ปานกลาง และละเอียด ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 5.22 ถึง 21.40 mg kg⁻¹ และ 7.22 ถึง 37.89 mg kg⁻¹ ตามลำดับ เช่นเดียวกับ NH₄OAc-K Fixed-K และ Total-K ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นในกลุ่มดินเนื้อหยาบ ปานกลาง และละเอียด ตามลำดับ

Table 3 Potassium speciation in coarse medium and fine textural groups

Soil texture	Value	K speciation (mg kg ⁻¹)						
		Sol-K	Exch-K	NH ₄ OAc-K	Fixed-K	HNO ₃ -K	Min-K	Total-K
Coarse	Min-Max	1.24-7.56	4.15-9.23	5.39-16.88	2.67-10.88	8.85-24.72	674-5416	690-5425
(n=4)	Mean±SD	5.22±2.79	7.22±2.18	12.44±4.93	5.63±3.70	18.07±7.10	2776±2339	2794±2336
Medium	Min-Max	7.57-11.28	10.28-27.07	18.83-38.35	3.43-66.13	35.68-104.48	672-6530	694-6634
(n=4)	Mean±SD	9.13±1.92	18.94±8.41	28.07±9.80	26.07±34.79	54.14±44.11	3463±2938	3517±2981
Fine	Min-Max	1.77-67.48	13.75-64.97	29.00-81.23	1.70-404.33	82.93-452.09	428-14800	511-15252
(n=4)	Mean±SD	21.40±31.26	37.89±22.28	59.30±25.35	143.79±178.03	203.08±169.37	8187±6012	8390±6156

การตรึงโพแทสเซียมในดินปลูกยางพารา

ร้อยละโพแทสเซียมที่ถูกตรึงจากการเติมความเข้มข้นโพแทสเซียมที่ระดับต่าง ๆ พบว่า ไม่แตกต่างกันทั้งในกลุ่มดินเนื้อหยาบ ปานกลาง และละเอียด (Table 4) อย่างไรก็ตาม ร้อยละการตรึงโพแทสเซียมจากดินที่เติมโพแทสเซียมความเข้มข้นต่ำ ๆ (10-50 mg K kg⁻¹) พบว่า กลุ่มดินเนื้อละเอียดมีร้อยละการตรึงโพแทสเซียมสูงกว่ากลุ่มดินเนื้อปานกลางและกลุ่มดินเนื้อหยาบ ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมที่เติมสูงขึ้นส่งผลให้ร้อยละการตรึงโพแทสเซียมในดินลดลง (Table 4)

ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานโพแทสเซียม (BC_K) (Fig 1a) หากค่า BC_K สูง (มีค่าใกล้เคียง 1) ดินมีความสามารถในการตรึงโพแทสเซียมต่ำ ส่งผลให้ดิน ณ ขณะนั้นดินมีปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายดินและที่ถูกดูดซับอยู่มาก ดินกลุ่มเนื้อดินหยาบมีค่า BC_K (0.805) สูงกว่ากลุ่มเนื้อดินปานกลาง (0.802) และกลุ่มเนื้อดินละเอียด (0.779) ทั้งนี้ดินปลูกยางพารากลุ่มดินเนื้อละเอียดมีความสามารถในการตรึงโพแทสเซียมได้สูง และเป็นดินที่สามารถต้านทานการเปลี่ยนระดับโพแทสเซียมในดินได้ดีกว่ากลุ่มดินเนื้อปานกลาง และดินเนื้อหยาบ ตามลำดับ

Table 4 Percentage of fixed K in various different added K concentration

Soil textural groups	Average fixed K (%)							
	Added K (mg kg ⁻¹)							
	10	20	30	40	50	100	200	500
Coarse	76.75	92.98	106.61	97.89	97.80	27.22	48.48	25.20
Medium	87.62	98.75	106.64	100.77	107.69	33.52	58.52	22.48
Fine	114.03	99.01	113.36	108.18	114.27	31.69	47.00	22.16
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	26.23	15.54	14.79	13.49	18.20	44.15	17.13	15.33

Remark: ns = not significantly different (p > 0.05); C.V. = coefficient of variation

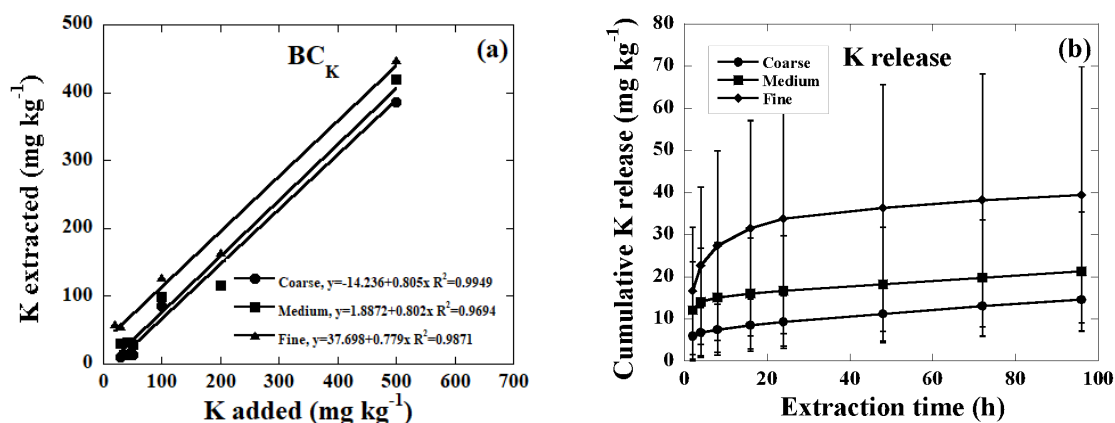


Fig 1 Buffer coefficient for K (a), and the average of cumulative K release in different soil textural groups (b).

การปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินปลูกยางพารา

ดินในกลุ่มดินเนื้อละเอียดมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมสะสมสูงกว่ากลุ่มดินเนื้อปานกลาง และดินเนื้อหยาบ (Fig 1b) ปริมาณโพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยออกมาสูงขึ้นตามลำดับความเข้มข้นโพแทสเซียมที่เติม (Table 5) เมื่อประเมินปริมาณโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยในดิน พบว่า กลุ่มดินเนื้อละเอียดมีร้อยละโพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยสูงสุดเมื่อเทียบกับกลุ่มดินเนื้อปานกลางและดินเนื้อหยาบ โดยกลุ่มดินเนื้อหยาบและปานกลางมีศักยภาพการปลดปล่อยโพแทสเซียมต่ำกว่าร้อยละ 2 ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน ในขณะที่ดินกลุ่มดินเนื้อละเอียดมีศักยภาพถึงร้อยละ 6 (Table 6)

Table 5 Cumulative K release in coarse medium and fine textural soil groups

K added (mg K kg ⁻¹)	Cumulative K release (mg kg ⁻¹)			F-test	C.V. (%)
	Soil textural groups				
	Coarse	Medium	Fine		
0	6.01b	7.30ab	14.85a	**	35.59
20	16.51	18.17	21.99	ns	22.87
40	8.48b	11.35b	20.59a	*	39.76
100	14.03b	19.05ab	33.87a	**	32.92
200	15.00b	25.18b	49.48a	**	26.09
500	27.76b	47.05b	96.21a	**	33.69

Remark: a-b Different letters within each row are significantly different, * and ** are significant at the $p \leq 0.05$ and 0.01 levels, ns is not significant at the $p > 0.05$ level.

Table 6 Percentage of K release from total K concentration

K added (mg kg ⁻¹)	Percentage K release from Total K (%)				
	Textural soil groups			F-test	C.V. (%)
	Coarse	Medium	Fine		
0	0.41	0.18	0.84	ns	174.39
20	1.14	0.67	1.46	ns	144.41
40	0.54	0.37	1.42	ns	190.65
100	0.97	0.73	2.45	ns	233.60
200	1.11	0.83	3.28	ns	193.49
500	2.00	1.54	6.06	ns	194.60

Remark: ns letters is not significant at the $p > 0.05$.

สมบัติดินปลูกยางพารา

ดินที่ปลูกยางพาราทั้ง 3 กลุ่มเนื้อดินมีพีเอชเฉลี่ยเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (5.15-6.54) ยางพาราสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีพีเอช 3.8–8.0 (Karthikakuttyamma et al., 2000) สอดคล้องกับค่าพีเอชดินที่เหมาะสมในการปลูกยางพาราในประเทศไทยที่อยู่ในช่วง 4.5-5.5 (Rubber Research Institute of Thailand, 2018) นอกจากนั้น ดินมีอินทรีย์วัตถุต่ำถึงปานกลาง (8.61–21.11 g kg⁻¹) เพราะภาคใต้เป็นเขตร้อนชื้นทำให้เกิดการสลายตัวของซากพืชได้ดี สอดคล้องกับอินทรีย์วัตถุแปลงปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลา (Poonpakdee et al., 2013) และปัตตานี (Damrongrak et al., 2015) ที่พบว่า อินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง การยกระดับอินทรีย์วัตถุในดินจำเป็นต้องเพิ่มการใช้วัสดุอินทรีย์หรือปุ๋ยอินทรีย์ มีรายงานว่าแปลงยางพาราที่มีการปลูกต้นตะเคียนและผักเหลียงร่วมมีอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นเนื่องจากการร่วงหล่นของใบและส่วนของพืช (Saeteaw et al., 2021) ดินปลูกยางพาราที่ศึกษามีไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และแคลเซียมที่สกัดได้ต่ำในกลุ่มดินเนื้อหยาบและปานกลาง ในขณะที่กลุ่มดินเนื้อละเอียดอยู่ในระดับปานกลาง (Table 2) รวมถึงแมกนีเซียมที่สกัดได้ พบว่า ดินทั้ง 3 กลุ่มเนื้อดินอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับระดับที่เหมาะสม (Kungpisdan, 2011) ดินปลูกยางพารามีการสูญเสียธาตุอาหารไปกับผลผลิตโดยในน้ำยางพารา 1 ต้นมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ 20, 5, 25, และ 5 กิโลกรัมตามลำดับ (Kungpisdan, 2009; Rubber Research Institute of Thailand, 2018) ดังนั้น จึงส่งผลให้ดินปลูกยางพาราในภาคใต้มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเช่นเดียวกับดินปลูกปาล์มน้ำมัน (Sanputawong et al., 2017) และดินปลูกไม้ผลต่าง ๆ (Ntlopo et al., 2022) ในประเทศไทยที่พบว่ามีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

การตรึงและปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินปลูกยางพารา

ดินปลูกยางพาราที่ศึกษาตรึงโพแทสเซียมได้ดี เนื่องจากดินภาคใต้ส่วนใหญ่เป็นดินพัฒนาการสูงและถูกจัดอยู่ในอันดับ Ultisols ดินมีแร่เคโอลิไนต์ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวที่มีกิจกรรมต่ำเป็นแร่องค์ประกอบหลัก (Table 1) อย่างไรก็ตาม ร้อยละการตรึงโพแทสเซียมของดินที่เพิ่มความเข้มข้นโพแทสเซียมที่ระดับต่ำ ๆ (10-50 mg K kg⁻¹) มีค่าสูงกว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูง (Table 4) ในดินกลุ่มดินเนื้อละเอียดมีร้อยละการตรึงโพแทสเซียมสูงกว่าในกลุ่มดินเนื้อปานกลาง และหยาบ ตามลำดับ เนื่องจากในดินเนื้อละเอียดมีร้อยละของแร่โอลิไต์และแร่สมระหว่างโอลิไต์และมอนมอริลโลไนต์สูงกว่าในกลุ่มดินเนื้อปานกลางและหยาบ แร่ดินเหนียวชนิด 2:1 เช่น เวอร์มิคิวไลต์ (-200 ถึง -100 cmol_c kg⁻¹) มอนต์มอริลโลไนต์ (-150 ถึง -80 cmol_c kg⁻¹) มีประจุไฟฟ้าลบสุทธิสูงกว่าเคโอลิไนต์ (-15 ถึง -1 cmol_c kg⁻¹) แร่ดินเหนียวชนิด 2:1 ยังมีความสามารถในการยึดดูดตัวสูงกว่า จึงทำให้เกิดการตรึงโพแทสเซียมระหว่างช่องว่างของแร่ดินเหนียวได้ดีกว่าแร่ดินเหนียวชนิด 1:1 (Brady and Weil, 2008) แต่เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นโพแทสเซียมที่ระดับ 100, 200 และ 500 mg K kg⁻¹ พบว่า ดินมีร้อยละการตรึงโพแทสเซียมลดลง ทั้งนี้ ดินที่ศึกษามีแร่ดินเหนียวเคโอลิไนต์ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำกัดจึงทำให้การดูดซับโพแทสเซียมได้จำกัด ดังนั้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นโพแทสเซียมที่เติมในดินจึงส่งผลให้ร้อยละการดูดซับโพแทสเซียมได้ลดลง (Table 4) กลุ่มดินเนื้อละเอียดมีอนุภาคดินเหนียวและปริมาณอินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นแหล่งประจุลบในดินสูงกว่ากลุ่มดินเนื้อปานกลางและหยาบ ส่งผลให้กลุ่มดินเนื้อละเอียดมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง (Table 2) สอดคล้องกับดินเนื้อปูนที่มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนและปริมาณร้อยละดินเหนียวสูงพบว่าตรึงโพแทสเซียมได้ดี (Najafi and Abtahi, 2012) ค่า BC_k ของดินเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความสามารถของดินในการตรึงโพแทสเซียมในดิน โดยค่าดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับปริมาณประจุไฟฟ้าลบระหว่างชั้นของแร่ดินเหนียว (inter layer) (Wivutvongvana, 2003) นอกจากนั้น การแห้งสลับเปียกของดินยังส่งเสริมให้เกิดการตรึงและการปลดปล่อยโพแทสเซียมมากขึ้น (Shakeri and Abtahi, 2019)

กลุ่มดินเนื้อละเอียดมีความสามารถในการตรึงและปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีกว่ากลุ่มดินเนื้อปานกลางและกลุ่มดินเนื้อหยาบ (Table 7) กลุ่มดินเนื้อละเอียดมีแร่ดินเหนียว 2:1 เช่น แร่โอลิไต์ (100-200 m² g⁻¹) มอนต์มอริลโลไนต์ (700-800 m² g⁻¹) ซึ่งมีพื้นที่ผิวสูงกว่าแร่ดินเหนียวชนิด 1:1 เช่น เคโอลิไต์ (10-20 m² g⁻¹) (Wivutvongvana, 2003) ซึ่งพบมากในกลุ่มดินเนื้อปานกลางและเนื้อหยาบ (Table 1) จึงส่งผลให้กลุ่มดินเนื้อละเอียดมีสมบัติในการตรึงและปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีกว่ากลุ่มดินเนื้อหยาบ ดังนั้น โดยทั่วไปคำแนะนำปุ๋ยในดินเนื้อหยาบจึงมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าในดินเนื้อละเอียด เช่นเดียวกับคำแนะนำปุ๋ยสำหรับยางพาราก่อนเปิดกรีดที่ปลูกในดินเนื้อหยาบ (20-10-17) และดินเนื้อละเอียด (20-10-12) ในเขตปลูกยางใหม่ของประเทศ (Rubber Research Institute of Thailand, 2018) ดินที่มีแร่ดินเหนียวโอลิไต์และมอนโมริลโลไนต์สูงมีความสามารถในการปลดปล่อยโพแทสเซียมสูงกว่าดินที่มีแร่เคโอลิไนต์เป็นองค์ประกอบหลัก (Darunsontaya et al., 2010) ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าศักยภาพความจุบัฟเฟอร์ของโพแทสเซียม (potential buffering capacity of K; PBC_k) ซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนระดับโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน หากค่า PBC_k สูง แสดงว่าดินสามารถรักษาระดับปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินได้ดี (Saleque et al., 2009) พบว่า ค่าดังกล่าวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณอินทรีย์วัตถุและค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Suttanukool et al., 2019) นอกจากนั้น ความสามารถของดินในการ

เป็นแหล่งให้โพแทสเซียมแก่พืชดาซีโอ (*Pistacia vera* L.) ที่ปลูกในดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม พบว่า พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี แต่โพแทสเซียมที่ถูกตรึงในดินบริเวณโคนรากพืชมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง เนื่องจากดินปลดปล่อยโพแทสเซียมจากรูปที่ถูกตรึงซึ่งไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชทันทีให้ออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์และพืชสามารถดูดนำไปใช้ได้ (Hosseini et al., 2010)

มีการใช้แร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบมาบดให้มีขนาดเล็กเพื่อใช้เป็นแหล่งให้โพแทสเซียมแก่หญ้าไรซ์ (*Lolium perenne* L.) ที่ปลูกในดินที่มีโพแทสเซียมต่ำ พบว่า หญ้าไรซ์สามารถเจริญเติบโตและมีการดูดใช้โพแทสเซียมสูงกว่าการไม่ใส่แร่ดังกล่าว (Li et al., 2015) เช่นเดียวกับการใช้แร่ไบโอไทต์ โพลโกไทต์ และไมโครคลายน์เป็นแหล่งให้โพแทสเซียมแก่พืช พบว่า ต้นหอมมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และการเจริญเติบโตดีขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ใส่ อีกทั้งไม่ได้ส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นหอมมีความแตกต่างเมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (Manning et al., 2017; Mohammed et al., 2014) แม้ว่าดินมีความสามารถในการรักษาระดับโพแทสเซียม แต่การปลูกพืชในดินที่มีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนระดับโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูง พบว่า ดินมีโพแทสเซียมทั้งหมดลดลงและเกิดการเสียสมดุลโพแทสเซียมมากกว่าดินที่ปลูกพืชและมีการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียม (Li et al., 2020) ดังนั้น ดินที่ใช้ทำการเกษตรจึงควรใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมให้เพียงพอต่อความต้องการของพืชเพื่อรักษาสสมดุลโพแทสเซียมในดิน

Table 7 Average the amount of fixed K and released K in various K added in soils

Soil textural group	K average (mg kg ⁻¹)	
	Fixed K	Cumulative K release
Coarse	61.58	16.36 b
Medium	64.60	24.16 b
Fine	65.40	44.88 a
F-test	ns	**
C.V. (%)	67.09	71.68

Remark: a-b different script letters within each column are significantly different, ** is significant at the $p \leq 0.01$ level, ns is not significant at the $p > 0.05$ level.

แนวทางการจัดการโพแทสเซียมในดินปลูกยางพาราในภาคใต้ของประเทศไทย

ดินปลูกยางพาราทั้ง 3 กลุ่มเนื้อดินมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Table 3) ต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม (40–80 mg kg⁻¹) (Rubber Research Institute of Thailand, 2018) สอดคล้องกับการศึกษาความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินปลูกยางพาราในภาคใต้ที่พบว่าอยู่ในระดับต่ำ (Damrongrak et al., 2015; Kongmak et al., 2017) ดินปลูกยางพาราในภาคใต้มีโพแทสเซียมที่ถูกตรึงซึ่งเป็นแหล่งสำรองโพแทสเซียมต่ำ ทั้งนี้ภาคใต้เป็นเขตปลูกยางพาราเดิมมีการปลูกยางพาราเป็นรอบที่ 2-3 ดังนั้น การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมให้เพียงพอต่อความต้องการของยางพาราจึงเป็นสิ่งจำเป็นโดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังเปิดกรีดที่ยางพาราจำเป็นต้องนำโพแทสเซียมไปใช้ในการสร้างน้ำยาง สถาบันวิจัยยางได้แนะนำปุ๋ยผสมสูตร 29-5-18 อัตรา 1 kg tree⁻¹ year⁻¹ คิดเป็นโพแทสเซียมที่ใส่ในดิน 11.35 kg rai⁻¹ year⁻¹ (76 tree rai⁻¹) และยางพารามีการดูดใช้โพแทสเซียมสร้างมวลและน้ำยาง 7.23 kg rai⁻¹ year⁻¹ (ข้อมูลจากสวนยางพาราที่ให้ผลผลิตเนื้อยางแห้ง 400 kg rai⁻¹ year⁻¹) ต้นยางพารามีการใช้โพแทสเซียมในการสร้างมวลและน้ำยาง 95.2 g tree⁻¹ year⁻¹ (Yingjajaval and Bangjan, 2006) เห็นได้ว่าโพแทสเซียมที่ใส่และที่สูญเสียไปกับน้ำยางมีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ความสามารถในการตรึงและการปลดปล่อยโพแทสเซียมในกลุ่มดินเนื้อหยาบ ปานกลาง และละเอียดมีแตกต่างกัน นอกจากนั้น ปุ๋ยโพแทสเซียมเมื่อใส่ลงไปในดินมีประสิทธิภาพให้พืชดูดนำไปใช้ได้เพียงร้อยละ 20-40 (Baligar and Bennett, 1986) ดังนั้น การแบ่งใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในปริมาณน้อยแต่บ่อยครั้ง ร่วมกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ จึงเป็นแนวทางเพิ่มความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินและการปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของดินโดยเฉพาะในกลุ่มดินเนื้อหยาบ ซึ่งมีความสามารถในการตรึงโพแทสเซียมได้ต่ำ (Fig 1a) ทั้งนี้สถาบันวิจัยยางแนะนำปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 3-5 kg tree⁻¹ year⁻¹ (Rubber Research Institute of Thailand, 2018)

โพแทสเซียมในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูป Min-K มากกว่าร้อยละ 95 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน (Table 3) โพแทสเซียมในรูปนี้เป็นแหล่งสำรองโพแทสเซียมแก่ยางพาราในอนาคต มีรายงานว่ายางพารามีกลไกในการหลั่งกรดออกซาลิก (oxalic acid) ให้ออกมาบริเวณราก (Onthong and Osaki, 2006) นอกจากนั้น แบคทีเรียที่สามารถละลายแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ

(K solubilizing bacteria; KSB) ก็สามารถสร้างและปลดปล่อยกรดออกซาลิก ซิทริก (citric acid) และมาลิก (malic acid) (Chen et al., 2022) ให้ออกมาในดินได้เช่นเดียวกัน กรดอินทรีย์ดังกล่าวจะไปละลายโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่เป็นองค์ประกอบของแร่ซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ให้ออกมาและกลายเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ ดังนั้น การประยุกต์ใช้แบคทีเรียกลุ่ม KSB ซึ่งสามารถสร้างกรดอินทรีย์รวมทั้งการกระตุ้นให้ยางพาราสามารถหลั่งกรดอินทรีย์ดังกล่าวออกมาจะส่งผลให้โพแทสเซียมบริเวณรากพืชเป็นประโยชน์มากขึ้น ดังนั้น หากสามารถละลายโพแทสเซียมจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชทันทีให้เป็นประโยชน์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมและปุ๋ยอินทรีย์ในดินปลูกยางพารา จึงน่าจะเป็นแนวทางในการจัดการโพแทสเซียมในดินปลูกยางพาราอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยเฉพาะในช่วงที่ปุ๋ยโพแทสเซียมมีราคาแพงในสภาวะปัจจุบัน

สรุปผลการศึกษา

โพแทสเซียมในดินส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 95 อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที ในขณะที่โพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลางและมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากดินในกลุ่มดินเนื้อหยาบ ปานกลาง และเนื้อละเอียด ตามลำดับ การตรึงและปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินปลูกยางพารา พบว่า การตรึงโพแทสเซียมในดินเกิดได้ดีในกลุ่มดินเนื้อละเอียดซึ่งมีแร่ดินเหนียวชนิด 2:1 เด่น ดินปลูกยางพาราในภาคใต้ทั้ง 3 กลุ่มเนื้อดินมีค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานโพแทสเซียม (BC_K) สูงอยู่ในช่วง 0.779-0.805 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า เมื่อมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมลงไปในดิน โพแทสเซียมส่วนใหญ่ร้อยละประมาณ 80 อยู่ในสภาวะละลายดินและรูปที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ในขณะที่ร้อยละ 20 ของปริมาณที่เติมลงไปถูกตรึงไว้ในดิน ในขณะที่มีความสามารถในการปลดปล่อยโพแทสเซียม พบว่า โพแทสเซียมมีการปลดปล่อยได้ดีในดินกลุ่มดินเนื้อละเอียดสูงกว่ากลุ่มดินเนื้อปานกลาง และหยาบ ตามลำดับ ดินปลูกยางพาราในภาคใต้มีศักยภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากโพแทสเซียมที่เป็นแหล่งสำรองได้ต่ำ ดังนั้น ดินปลูกยางพาราในภาคใต้จึงควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมและปุ๋ยอินทรีย์ร่วมด้วยเพื่อเป็นแหล่งให้โพแทสเซียม นอกจากนั้น ควรมีการประยุกต์ใช้แบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนโพแทสเซียมจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้พืชสามารถดูดนำไปใช้ได้ร่วมกับการวิจัยเพิ่มเติมถึงแนวทางในการกระตุ้นให้ยางพาราสามารถหลั่งกรดอินทรีย์เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์โพแทสเซียมในดิน

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ (สัญญารับทุนเลขที่ RGNS 63-254) ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: อาริรัตน์ ชูเมฆา, จักรกฤษณ์ พูนภักดี. การปฏิบัติกรวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: อาริรัตน์ ชูเมฆา, จักรกฤษณ์ พูนภักดี, ขวัญตา ขาวมี. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: อาริรัตน์ ชูเมฆา, จักรกฤษณ์ พูนภักดี. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: จักรกฤษณ์ พูนภักดี, ขวัญตา ขาวมี, จำเป็น อ่อนทอง. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript: อาริรัตน์ ชูเมฆา, จักรกฤษณ์ พูนภักดี. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครุภัณฑ์: จักรกฤษณ์ พูนภักดี.

เอกสารอ้างอิง

- Baligar, V. C., & Bennett, O. L. (1986). NPK-fertilizer efficiency—a situation analysis for the tropics. **Fertilizer Research**, 10(1), 147-164.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). **The Nature and Properties of Soils**. Pearson Education.
- Chen, Y., Yang, H., Shen, Z., & Ye, Y. (2022). Whole-genome sequencing and potassium-solubilizing mechanism of *Bacillus aryabhattai* SK1-7. **Frontiers in Microbiology**, 12(1), 1-9.
- Damrongrak, I., Damrongrak, P., & Pangsuban, S. (2015). Soil properties, plant nutrient status in rubber leaf and its growth in abandoned paddy field. **Songklanakarin Journal of Plant Science**, 2(3), 17-22. (in Thai).
- Darunsontaya, T., Jaroenpong, C., Jindaluang, W., & Jaroenchasri, R. (2018). Potassium adsorption characteristics of sugarcane growing soils in Sa Kaeo province. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 46(2), 277-288. (in Thai).
- Darunsontaya, T., Suddhiprakarn, A., Kheoruenromne, I., & Gilkes R. J. (2010). The kinetics of potassium release to sodiumtetra phenylboron solution from the clay fraction of highly weathered soils. **Applied Clay Science**, 50(3), 376-385.
- Darunsontaya, T., Thasanon, P., Jindaluang, W., & Poomsong, K. (2019). Kinetics of potassium release of lowland soils in central plain of Thailand. **Journal of Agriculture**, 36(1), 123-133.
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. In Klute, A. (Ed.), **Method of Soil Analysis Part 1**, pp. 383-411. Soil Science Society of American Society of Agronomy.
- Helmke, P. A., & Sparks, L. D. (1996). Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium and Cesium. In Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soiltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., & Summer, M. E. (Ed.), **Method of Soil Analysis Part 3**, pp. 551-573. Soil Science Society of American Society of Agronomy.
- Hosseinifard, J. S., Khademi, H., & Kalbasi, M. (2010). Different forms of soil potassium as affected by the age of pistachio (*Pistacia vera* L.) trees in Rafsanjan, Iran. **Geoderma**, 155(1), 289-297.
- Jacob, J. L., Prevot, J. C., & Kekwick, R. G. O. (1989). General metabolism of *Hevea brasiliensis* latex (with the exception of isoprenic anabolism). In d' Auzac, J., Jacob, J. L. & Chrestin, H. (Ed.), **Physiology of Rubber Tree Latex**, pp. 101-144. CRC Press.
- Karthikakuttyamma, M., Joseph, M., & Nair, A. S. N. (2000). Soils and nutrition. In George, P. J. & Jacob, C. K. (Ed.), **Natural Rubber: Agromanagement and Crop Processing**, pp. 170-198. Rubber Research Institute of India.
- Kheoruenromne, I., & Vijansorn, P. (2003). **Soil Taxonomy of Thailand**. Kasetsart University Press. (in Thai).
- Kitprasong, P., Khawmee, K., Poonpakdee, C., & Onthong, J. (2020). Soil magnesium: status and ratios on potassium and calcium in economic crop planted soils of southern Thailand. **Thai Science and Technology Journal**, 29(3), 483-497.
- Kongmak, P., Khawmee, K., & Onthong, J. (2017). Status and K/Mg ratio in soil and leaves of rubber trees grown in lowland and upland areas. **Songklanakarin Journal of Plant Science**, 4(4), 66-72. (in Thai).
- Kungpisdan, N. (2007). **Efficient Use of Fertilizers with Rubber After Opening Based on Soil Analysis**. Rubber Research Institute, Department of Agriculture.
- Kungpisdan, N. (2008). **Fertilizer Usage Based on Soil Analysis**. Rubber Research Institute, Department of Agriculture.
- Kungpisdan, N. (2009). **Sustainable Management of Rubber Plantations**. Rubber Research Institute, Department of Agriculture.
- Kungpisdan, N. (2011). **Recommendation for the Use Rubber Fertilizer**. Rubber Research Institute Department of Agriculture.
- Li, C., Zhao, X., Liu, X., Lu, D., Chen, X., Wang, H., & Zhou, J. (2020). Rice and wheat yield and soil potassium changes in response to potassium management in two soil types. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 117(1), 121-130.
- Li, T., Wang, H., Wang, J., Zhou, Z., & Zhou, J. (2015). Exploring the potential of phyllosilicate minerals as potassium fertilizers using sodium tetraphenylboron and intensive cropping with perennial ryegrass. **Scientific Reports**, 5(1), 1-7.
- Manning, D. V., Joana, B., Mallely, S. L., & Brandt, K. (2017). Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. **Science of the Total Environment**, 574(1), 476-481.
- Mohammed, S. O. M., Brandt, K., Gray, N. D., Whit, M. L., & Manning, D. A. C. (2014). Comparison of silicate minerals as sources of potassium for plant nutrition in sandy soil. **European Journal of Soil Science**, 65(5), 653-662.
- Najafi, G. M., & Abtahi, A. (2012). Factors affecting potassium fixation in calcareous soils of southern Iran. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 58(5), 335-352.
- Ntlopo, K. Z., Onthong, J., & Poonpakdee, C. (2022). Magnesium fractionation in different textural groups and commercial crop cultivations of Thai soils. **Science Asia**, 48(1), 223-230.
- Office of Agricultural Economics. (2021). **Agricultural Statistics of Thailand 2021**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Onthong, J., & Osaki, M. (2006). Adaptations of tropical plants to acid soils. **Tropics**, 15(4), 337-347.
- Onthong, J., & Poonpakdee, C. (2020). **Soil and Plant Analysis Guide**. Department of Earth Science Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University. (in Thai).
- Pongthai, T., Onthong, J., & Khawmee, K. (2017). Effect of magnesium on nutrient concentration and growth of rubber tree sapling, **Journal of Agricultural Research and Extension**, 34(1), 1-12.

- Poonpakdee, C., Onthong, J., Khawmee, K., & Duangthong, S. (2013). Potassium forms in upland and lowland rubber growing soils in Songkhla province. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 41(2), 21-32. (in Thai).
- Rubber Research Institute of Thailand. (2018). **Academic Information of Rubber in 2018**. Rubber Research Institute Department of Agriculture. (in Thai).
- Saeteaw, W., Onthong, J., & Khawmee, K. (2021). Soil properties and organic carbon composition using infrared techniques in rubber growing soil under different rubber-based intercrops. **Thai Science and Technology Journal**, 29(5), 880-892. (in Thai).
- Saleque, M. A., Anisuzzaman, M., & Moslehuddin, A. Z. M. (2009). Quantity–intensity relationships and potassium buffering capacity of four Ganges river floodplain soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 40(1), 1333-1349.
- Sanputawong, S., Chansathean, K., Peakchantuk, N., & Chuiruy, C. (2017). Study of Proper Fertilizer Management on Growth and Yield of Oil Palm (*Eleais guineensis Jacq.*). **International Journal of Agricultural Technology**, 13(7), 2631-2639.
- Shakeri, S., & Abtahi, A. (2019). Potassium fixation capacity of some highly calcareous soils as a function of clay minerals and alternately wetting-drying. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 66(4), 445-457.
- Sirichomchun, S. (2009). **Revising Methods of Estimating K Fertilizer Requirements on Smectitic Maize Soils**. Master of Science (Soil Science), Department of Soil Science, Kasetsart University.
- Suttanukool, P., Darunsontaya, T., & Jindaluang, W. (2019). A study on the quantity/intensity relationships of potassium of sugarcane growing soils eastern Thailand. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 50(2), 153–163.
- Thomas, G. W. (1982). Exchangeable cations. In Page, A. L., **Methods of Soil Analysis Part 2, Chemical and Microbiological Properties**, pp. 159-165. American Society of Agronomy.
- Whitting, L. D. (1965). X-ray Diffraction Techniques for Mineral Identification and Mineralogical. In Black, C. A., Evans, D. D., Ensminger, L. E., White, J. L., Clark, F. E., & Dinauer, R. C. (Ed.), **Method of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling**, pp. 671-696. Soil Science Society of American Society of Agronomy.
- Wivutvongvana, P. (2003). **Soil Chemistry**. Chiangmai Pimsuay Ltd., part.
- Yingjajaval, S., & Bangjan, J. (2006). Major plant nutrient contents in para rubber (RRIM 600). **Agricultural Science Journal**, 37(4), 353-364.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์และคุณลักษณะทางกายภาพของดาร์กช็อกโกแลตเพื่อการใช้ผลโกโก้อย่างยั่งยืน

Product Development and Physical Characteristics of Dark Chocolate for Sustainable Use of Cocoa Fruit

Patchaniya Akepach^{1*}, Nuttida Srirachya² และศราวุธ ทองเนื้อห้า³

Received date: 10 มี.ค. 66 Revised date: 3 ก.ย. 66 Accepted date: 29 ก.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.002>

บทคัดย่อ

โกโก้และช็อกโกแลตเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอย่างมาก การศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่ความเข้มข้นของน้ำตาลแตกต่างกันสามระดับ ได้แก่ ชนิดร้อยละ 60 ร้อยละ 80 และร้อยละ 100 พบว่าชุดการทดลองดาร์กช็อกโกแลตชนิดร้อยละ 80 ได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงสุดที่ระดับ 8 ขอบมากที่สุดในด้านกลิ่นรส รสชาติและความชอบรวมจากผู้บริโภค นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์นี้มีค่าสีที่สม่ำเสมอและมีค่า a_w อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษา การวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ (volatile compounds) โดย Headspace-Solid Phase Microextraction (HS-SPME) Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) ปรากฏสารที่โดดเด่น คือสารประกอบในกลุ่ม Butanal, 3-methyl- ($C_5H_{10}O$), Pentanoic acid ($C_5H_{10}O_2$), Acetic acid, 2-phenylethyl ester ($C_{10}H_{12}O_2$) และ Benzeneethanol ($C_8H_{10}O$) ตามลำดับ ข้อมูลโภชนาการสำหรับผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตชนิดร้อยละ 80 ให้คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบรรจุภัณฑ์ (30 กรัม) เมื่อรับประทานตามปริมาณที่กำหนดจะได้รับพลังงาน 180 กิโลแคลอรี น้ำตาล 8 กรัม ไขมัน 10 กรัม โดยค่าพลังงาน น้ำตาล ไขมัน ที่ได้รับคิดเป็น ร้อยละ 8 ร้อยละ 12 และร้อยละ 15 ของปริมาณสูงสุดที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน ผลลัพธ์ที่ได้ชี้ให้เห็นว่าดาร์กช็อกโกแลตชนิดร้อยละ 80 เป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการลดการบริโภคน้ำตาลแต่ยังคงได้รับรสชาติที่เป็นที่นิยม งานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางสำคัญสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตเพื่อสุขภาพในอนาคต

คำสำคัญ: โกโก้ ดาร์กช็อกโกแลต สารประกอบที่ระเหยได้ คุณค่าทางโภชนาการ

Abstract

Cocoa and chocolate are commercial products of great economic importance. Some physical properties of dark chocolate products were studied at three levels of different sugar concentrations: 60%, 80% and 100%. It was found that dark chocolate of 80% sugar concentration had the highest satisfaction at level 8 in terms of flavor, taste and preferences from consumers. Additionally, this formulation exhibited consistent colour properties and an optimal water activity (a_w) range for storage stability. Analysis of volatile compounds by Headspace-Solid Phase Microextraction (HS-SPME) Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) revealed outstanding compounds, which are Butanal, 3-methyl- ($C_5H_{10}O$), Pentanoic acid ($C_5H_{10}O_2$), Acetic acid, 2-phenylethyl ester ($C_{10}H_{12}O_2$) and Benzeneethanol ($C_8H_{10}O$), respectively. As for the nutritional information of 80% dark chocolate products, the nutritional values per package unit (30 grams), when consumed in specified amount, are 180 kilocalories of energy, 8 grams of sugar, and 10 grams of fat. These nutritional values amount to 8%, 12% and 15% of the maximum recommendation for daily intakes. These findings suggest that 80% dark chocolate is an optimal choice for consumers seeking reduced sugar intake while maintaining desirable taste

¹ สาขาวิชาศิลปการประกอบอาหารไทยและอาหารนานาชาติ วิทยาลัยนานาชาติการท่องเที่ยว (โครงการจัดตั้งสถาบันพัฒนาการท่องเที่ยวและ สหวิทยาการ สมุย) มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี, 84320

² สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี, 84100

³ สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

¹ Thai and International Culinary Arts Department, International College of Tourism (Samui Interdisciplinary School and Tourism and Development), Surat Thani Rajabhat University, Surat Thani 84320

² Industrial Technology Department, Faculty of Science and Technology, Surat Thani Rajabhat University, Surat Thani 84100

³ Economics Department, Faculty of Management Sciences, Surat Thani Rajabhat University, Surat Thani 84100

* Corresponding author Email: Patchaniya.akepach@sru.ac.th

characteristics. This research provides valuable insights for the future development of health-oriented chocolate products.

Keywords: cocoa, dark chocolate, volatile compounds, nutritional value.

คำนำ

โกโก้ (Cocoa) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Theobroma cacao* L. จัดอยู่ในตระกูล Sterculiaceae เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง ต้นโกโก้สามารถเจริญเติบโตได้ทั่วไปแต่จะเติบโตได้ดีบริเวณแถบเส้นศูนย์สูตรไม่เกิน 20 องศาเหนือและใต้ มีอุณหภูมิระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียส และต้องการปริมาณน้ำฝนสม่ำเสมอตลอดปี (Afoakwa, 2014; Rakitikun et al., 2022; Ramsey, 2016) โกโก้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตช็อกโกแลต อุตสาหกรรมลูกอมและลูกกวาด อุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ช็อกโกแลต อุตสาหกรรมเบเกอรี่ อุตสาหกรรมยา ซึ่งเป็นสารผสมเพื่อให้รสทั้งยาเม็ด ยาน้ำ และใช้เคลือบยาเม็ด เป็นการลบความขม เช่น ยาคิวินิน และอุตสาหกรรมยาสูบ ทำให้กลิ่นหอมมากขึ้น อุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ใช้เนยโกโก้ในการทำลิปสติก (Wansiri, 1989)

ตลาดช็อกโกแลตซึ่งใช้โกโก้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปทั่วโลกมีอัตราการเติบโตร้อยละ 6 ต่อปี มูลค่ามากกว่า 3.6 ล้านบาท และพื้นที่ที่บริโภคส่วนใหญ่ไม่สามารถปลูกโกโก้ได้เนื่องจากสภาพภูมิอากาศไม่เหมาะสม ประเทศไทยสามารถปลูกโกโก้ได้เกือบทั่วประเทศ จึงถือเป็นโอกาสของประเทศไทยในอุตสาหกรรมดังกล่าว (Broadwin, 2018; Rakitikun et al., 2022; Scott, 2016) ประเทศไทยนำเข้าโกโก้ปีละเกือบ 50,000 ตันในขณะที่ประเทศไทยผลิตได้เพียง 200 ตัน (Rakitikun et al., 2022) และในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนตุลาคม 2561 ประเทศไทยนำเข้าโกโก้จากต่างประเทศจำนวน 1,337 ล้านบาท โดยแหล่งนำเข้าสูงสุด 5 อันดับแรกจากมาเลเซีย 967.70 ล้านบาท อินโดนีเซีย 137.55 ล้านบาท สิงคโปร์ 79.26 ล้านบาท กานา 39.90 ล้านบาท ฝรั่งเศส 32.52 ล้านบาท (Ministry of Commerce, 2018) จากข้อมูลข้างต้นสะท้อนให้เห็นว่าปริมาณความต้องการโกโก้ในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มปริมาณสูงมาก

กรรมวิธีการแปรรูปโกโก้มีหลายขั้นตอนและซับซ้อนเพื่อให้ได้เมล็ดโกโก้แห้งและช็อกโกแลตที่มีคุณภาพ (Gibson, 2018) โดยรสชาติของช็อกโกแลตที่ดีไม่ได้เป็นผลมาจากกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งเพียงอย่างเดียว (Ilgantileke et al., 1991) แต่เป็นผลมาจากการดำเนินการหลากหลายขั้นตอน โดยสองกระบวนการหลักในการบ่มเมล็ดโกโก้คือการหมักและการตากแห้ง (De Vuyst and Weckx, 2016; Guda et al., 2017) เกษตรกรแต่ละพื้นที่ที่มีกระบวนการหมักที่หลากหลาย รวมถึงสภาวะอากาศพื้นที่ที่แตกต่างกันทำให้เมล็ดโกโก้ที่ได้มีคุณภาพแปรผัน (De Vuyst and Weckx, 2016) ณ อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ได้มีการปลูกโกโก้ผสมสวนยาง สวนปาล์ม และเชิงเตี้ย โดยมีต้นโกโก้พันธุ์พื้นเมืองของท้องถิ่น (PA7 NA32) ซึ่งในอดีตย้อนไปเมื่อ 30 ปีก่อนมีการนำเข้าต้นแม่พันธุ์ของสายพันธุ์นี้จากรัฐซาราวัก ประเทศมาเลเซีย เพื่อมาเพาะปลูกในท้องถิ่น โดยยังคงมีการเพาะปลูกสายพันธุ์ดั้งเดิมอยู่ในพื้นที่จนถึงปัจจุบัน การแปรรูปผลิตผลจากโกโก้สายพันธุ์ดั้งเดิมให้เป็นผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตจึงเป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าเพิ่มแก่โกโก้ที่ปลูกในประเทศไทยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีในท้องถิ่นให้ไปสู่สากล

ช็อกโกแลตเป็นผลิตภัณฑ์จากโกโก้ซึ่งผลิตได้จากเมล็ดโกโก้กะเทาะเปลือก (cocoa nib) เนือโกโก้บด (cocoa mass) หรือผงโกโก้ (cocoa powder) อาจใส่ไขมันโกโก้ (cocoa butter) น้ำตาล นมผง สารให้กลิ่นรส และ/หรือ ส่วนประกอบอื่น เช่น ผลไม้แห้งเยยม ถั่วลิสง นัท (Srisattabut, 2018) อย่างไรก็ตามช็อกโกแลตโดยทั่วไปมีจำหน่ายทั่วไปมีปริมาณน้ำตาลและไขมันในสูตรส่วนประกอบสูงซึ่งจะลดสรรพคุณเชิงบวกที่ผู้บริโภคจะได้รับ ดาร์กช็อกโกแลตจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคที่รักสุขภาพ โดยปรับเปลี่ยนสูตรเพื่อลดการบริโภคน้ำตาลได้ดาร์กช็อกโกแลตมีสรรพคุณบรรเทาโรคหลอดเลือดหัวใจ ความดันโลหิตสูง ควบคุมน้ำตาลในเลือดและอินซูลิน ลดความเสี่ยงต่อโรคเบาหวาน เป็นต้น (Nazir and Azaz Ahmad Azad., 2016)

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตจากโกโก้สายพันธุ์พื้นเมืองของท้องถิ่น (PA7 NA32) เพื่อทราบถึงอัตราส่วนของปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ รวมถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลต

วิธีการศึกษา

การศึกษาสูตรส่วนประกอบที่เหมาะสมในการแปรรูปดาร์กช็อกโกแลต

เมล็ดโกโก้แห้งจากต้นโกโก้พันธุ์พื้นเมืองของท้องถิ่น (PA7 NA32) ผ่านกระบวนการหมัก ตากแห้งและการแปรรูปโดยการคั่วที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องต้นแบบ จากนั้นนำโกโก้บดที่ได้มาวัดด้วยเครื่องวัด (ยี่ห้อ Premier, รุ่น NAVI, บริษัท Diamond Custom Machines Corp, ประเทศที่ผลิตสหรัฐอเมริกา) นาน 48 ชั่วโมง โดยเติม

น้ำตาลทรายขาวปน (Coster Sugar) (ยี่ห้อลิน) ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ เท่ากับ 0 กรัม (ดาร์กช็อกโกแลตชนิดร้อยละ 100), 25 กรัม (ดาร์กช็อกโกแลตชนิดร้อยละ 80), 66.67 กรัม (ดาร์กช็อกโกแลต ชนิดร้อยละ 60) เทช็อกโกแลตลงพิมพ์พอลิคาร์บอเนต น้ำหนัก 40 กรัม / แท่ง นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นนำมาเคาะออกจากพิมพ์ หุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 17–20 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจสอบคุณภาพต่าง ๆ ต่อไป

การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลต

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ค่าความหวาน โดยเครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์ และค่าสี (L^* , a^* and b^*) ด้วย Hunter Lab (Color QUEST II DPERE, Hunter Associates Laboratory, Inc, USA.)

วิเคราะห์การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตแห่งทำโดยการทำการทดสอบความชอบรวมแบบ 9 – point Hedonic scale ทางด้านสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ รสชาติ และความชอบรวม เพื่อคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด

คัดเลือกชุดการทดลองที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุดหนึ่งชุดการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ของช็อกโกแลตแห่ง คือ วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตแห่งโดยตรวจสอบปริมาณโปรตีน (crude protein content) ปริมาณไขมันทั้งหมด (crude fat content) ด้วยวิธีการของ (soxhlet Extraction Method) ปริมาณความชื้น (moisture content) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ปริมาณเถ้า (ash content) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber TDF) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณวิตามิน (วิตามิน A, B1, B2) ตามวิธีการ Association of Official Agricultural Chemists (1995)

วิเคราะห์ปริมาณออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) ในเมล็ดโกโก้ ตามวิธีการของ Singleton & Rossi (1965)

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ของผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตแห่งโดย Headspace-Solid Phase Microextraction (HS-SPME) Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองทั้งหมดใช้การออกแบบแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (CRD) ทำการทดลองสามซ้ำทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองด้วย Duncan (Steel and Torrie, 1980) การวิเคราะห์ดำเนินการโดยใช้แพ็คเกจ SPSS (SPSS 11.0 สำหรับ windows, SPSS Inc, Chicago, IL)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลต

การศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่ความเข้มข้นของน้ำตาลแตกต่างกันสามระดับ คือ ร้อยละ 60 ร้อยละ 80 และร้อยละ 100 พบว่าค่า a_w มีค่าระหว่าง 0.56–0.59 โดยค่า a_w ของชุดการทดลอง D60 มีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ เนื่องจากชุดการทดลอง D60 มีปริมาณน้ำตาลสูงถึง 66.67 กรัม ซึ่งค่า a_w บ่งบอกถึงอัตราส่วนของน้ำที่มีอิสระต่อน้ำทั้งหมด โดยช็อกโกแลตจัดเป็นอาหารแห้ง (dried food) เนื่องจาก a_w น้อยกว่า 0.6 ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกชุดการทดลอง ($p \leq 0.05$) โดยค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของ D60 มากกว่า D80 มากกว่า D100 โดยมีเท่ากับ 76.00 ± 0.00 , 70.00 ± 0.00 และ 24.1 ± 0.17 °Brix ตามลำดับของแข็งทั้งหมดบ่งบอกถึงปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ในอาหารเมื่อระเหยน้ำอิสระออกไปทั้งหมด ของแข็งนี้จะมีทั้งของแข็งที่ละลายได้ในน้ำและของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำรวมกัน จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นสอดคล้องกับสูตรส่วนประกอบของช็อกโกแลตที่ระดับน้ำตาลแตกต่างกัน โดยพื้นฐานแล้วช็อกโกแลตคือมวลโกโก้และน้ำตาลที่แขวนลอยอยู่ในโกโก้เมทริกซ์เนย สภาวะการเก็บรักษาที่หลากหลายอาจนำไปสู่การก่อตัวไม่ว่าจะเป็น Fat bloom หรือ Sugar bloom ซึ่งแต่ละปรากฏการณ์กระทบต่อคุณลักษณะภายนอกและคุณภาพเนื้อสัมผัส อีกทั้งเป็นสาเหตุหลักของการสูญเสียคุณภาพช็อกโกแลต (Andrae-Nightingale et al., 2009) Sugar bloom เกิดขึ้นโดยการสะสมน้ำจากอากาศลงบนช็อกโกแลตและละลายน้ำตาลบนผิวหน้าช็อกโกแลต เมื่อระเหยกลับไปสู่อากาศ น้ำตาลจะตกผลึกอีกครั้ง พื้นผิวของช็อกโกแลตมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ เกิดเป็นผลึกน้ำตาลบนผิวนอก นอกจากนี้ Sugar bloom เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะที่ช็อกโกแลตแช่แข็งละลาย โดยด้านนอกจะเกิดการควบแน่นจนน้ำตาลละลายและในที่สุดระเหยออกไปทิ้งผลึกน้ำตาลไว้เบื้องหลัง (Andrae-Nightingale et al., 2009) จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการยืนยันคุณภาพกระบวนการผลิตและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่ระดับน้ำตาลแตกต่างกัน

การศึกษาค่าสีพบว่า ค่า L^* , a^* และ b^* ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสำหรับทุกชุดการทดลอง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 29.25-28.59, 6.64-7.85 และ 1.31-3.27 ตามลำดับ (Table 1) สีของช็อกโกแลตมีอิทธิพลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่รับรู้และคาดหวัง การเปลี่ยนแปลงสีของช็อกโกแลตเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างในพารามิเตอร์การประมวลผลและองค์ประกอบ ความสว่างที่ต่ำกว่าบ่งบอกถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เข้มข้น (Aidoo et al., 2014)

Table 1 The physical properties of dark chocolate bars are listed

Treatments	a_w	Color			Total Solid (°brix)
		L^*	a^*	b^*	
D60	0.56±0.02 ^b	29.25±1.97 ^a	7.85±1.14 ^a	3.27±2.17 ^a	76.00±0.00 ^a
D80	0.59±0.01 ^a	28.42±0.38 ^a	7.05±0.14 ^a	1.77±0.07 ^a	70.00±0.00 ^b
D100	0.59±0.34 ^a	28.59±0.34 ^a	6.64±0.09 ^a	1.31±0.08 ^a	24.10±0.17 ^c

Data represents Mean ± Standard Deviation from three replicates. Difference letters in the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$). English letters represent different sets of experiments. D60: 60% dark chocolate, D80: 80% dark chocolate, D100: 100% dark chocolate.

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตในชุดการทดลองที่แตกต่างกันคือ D60 D80 และ D100 (Figure 1) ลักษณะปรากฏพบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจชุดการทดลอง D60 โดยคะแนนการยอมรับสูงที่ระดับ 8 คือชอบมากที่สุด ค่าสีชุดการทดลอง D60 และ D100 มีคะแนนความพึงพอใจสูงสุดที่ระดับ 8 คือชอบมากที่สุด ค่าเนื้อสัมผัสชุดการทดลอง D60 มีคะแนนความพึงพอใจสูงสุดที่ระดับ 8 คือชอบมากที่สุด D80 ได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงสุดที่ระดับ 8 คือชอบมากที่สุด ในด้านกลิ่นรส รสชาติและความชอบรวมจากผู้บริโภคจึงได้รับการคัดเลือกสำหรับการทดลองในขั้นตอนต่อไป โดยทั่วไปคุณภาพของช็อกโกแลตจะถูกกำหนดตามคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส เนื่องจากการยอมรับของผู้บริโภคเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมความสำเร็จทางการค้าในตลาด (Belcak-Cvitanovic et al., 2015) แม้จะมีการกล่าวอ้างด้านสุขภาพ แต่ผู้บริโภคก็ยังไม่ตัดสินใจซื้อช็อกโกแลตหากสูตรส่วนผสมที่ใช้ให้รสชาติที่ไม่พึงประสงค์ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อคุณลักษณะของช็อกโกแลต อันได้แก่ ความชอบ และการยอมรับของผู้บริโภคเป็นประเด็นสำคัญ (Selvasekaran and Chidambaram., 2021)

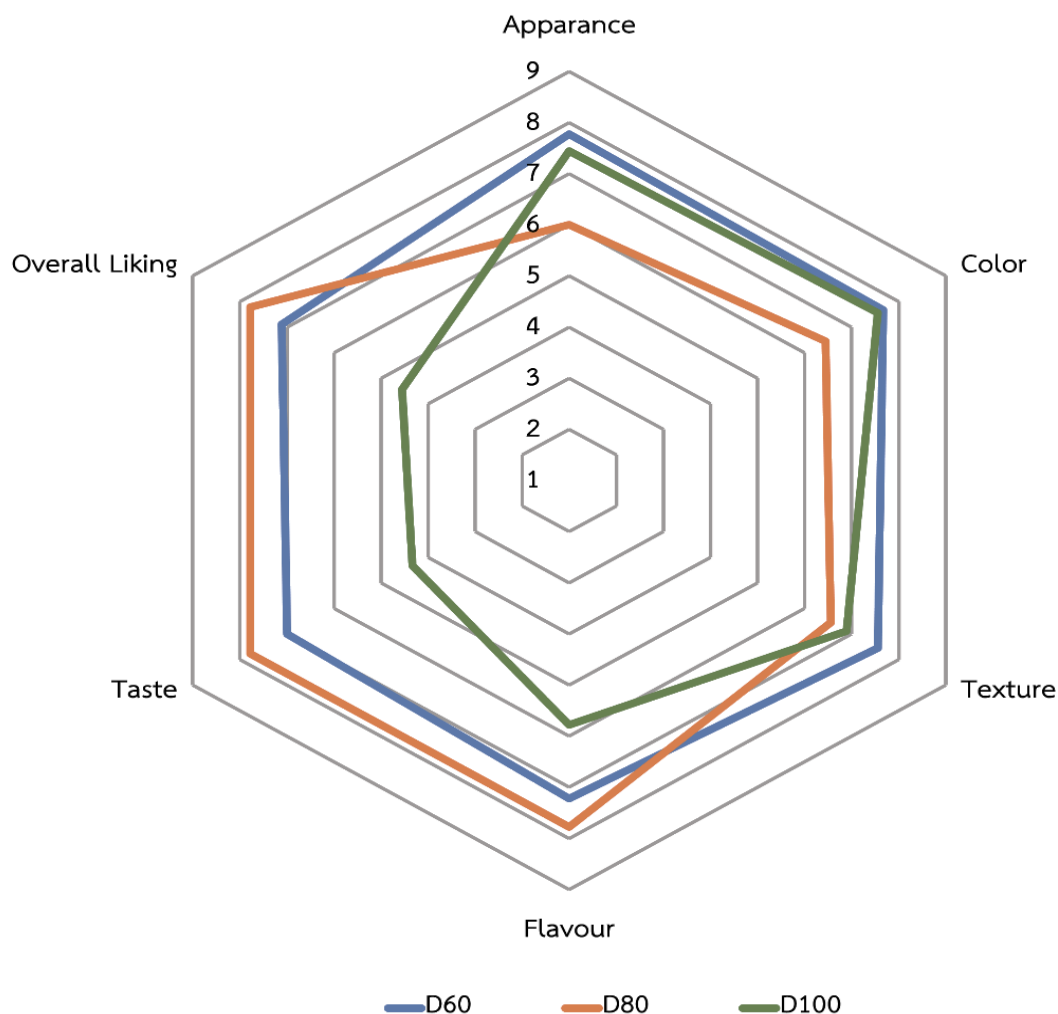


Figure 1 The sensory test results of dark chocolate products. D60: 60% dark chocolate, D80: 80% dark chocolate, D100: 100% dark chocolate.

การวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้โดย Headspace-Solid Phase Microextraction (HS-SPME) Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) ของผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตชนิดร้อยละ 80 (Figure 2) พบว่าผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตชนิดร้อยละ 80 ปรากฏสารประกอบที่ระเหยได้ที่สำคัญเด่น ณ Retention time (RT) เท่ากับ 2.9509, 19.8354, 29.5663, 34.6234 และ 37.9293 คือสารประกอบในกลุ่ม Butanal, 3-methyl- ($C_5H_{10}O$), Pentanoic acid ($C_5H_{10}O_2$), Acetic acid, 2-phenylethyl ester ($C_{10}H_{12}O_2$) และ Benzeneethanol ($C_8H_{10}O$) ตามลำดับ สารประกอบ Acetic acid และ propanoic acid บ่งบอกถึงกลิ่นกรดน้ำส้ม และกลิ่นนม สารประกอบในกลุ่ม benzene ethanol แสดงความเป็นกลิ่นแอลกอฮอล์ กลิ่นดอกไม้ และกลิ่นน้ำผึ้ง (Caporaso et al., 2021)

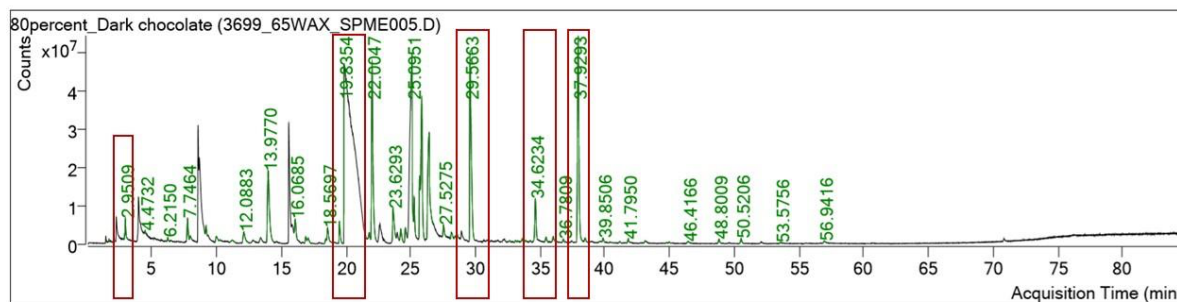


Figure 2 The volatile compound graphs for 80% dark chocolate.

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของดาร์กช็อกโกแลตแท่ง

การแสดงผลการโภชนาการอย่างย่อโดยนำข้อมูลของสารอาหาร 4 ชนิด คือ พลังงาน (กิโลแคลอรี) น้ำตาล (กรัม) ไขมัน (กรัม) และโซเดียม (มิลลิกรัม) ให้ผู้บริโภคเห็นได้อย่างชัดเจนและอ่านง่ายเพื่อจะได้เปรียบเทียบและเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการดีกว่าหรือเหมาะสมกว่า โดยเฉพาะกลุ่มที่ต้องระมัดระวังเรื่องโภชนาการหรือควบคุมน้ำหนัก (Figure 3) โดยฉลากโภชนาการอย่างย่อบอกให้ทราบคุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบรรจุภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตชนิดร้อยละ 80 คือ 1 แท่ง ควรแบ่งรับประทานจำนวน 1 ครั้ง เมื่อรับประทานตามปริมาณที่กำหนดทั้งแท่ง จะได้รับพลังงาน 180 กิโลแคลอรี น้ำตาล 8 กรัม ไขมัน 10 กรัม โดยค่าพลังงาน น้ำตาล ไขมัน ที่ได้รับคิดเป็น ร้อยละ 8 ร้อยละ 12 และร้อยละ 15 ของปริมาณสูงสุดที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน จากรายงานขององค์การอนามัยโลกแนะนำให้จำกัดการบริโภคน้ำตาลให้น้อยกว่าร้อยละ 10 ของการบริโภคน้ำตาลทั้งหมด (Belcak-Cvitanovic et al., 2015) ดาร์กช็อกโกแลตจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับการพัฒนาช็อกโกแลตที่มีน้ำตาลต่ำแก่ผู้บริโภคที่รักสุขภาพ

Nutritional value per sachet

Energy	Sugar	Fat	Sodium
160	8	10	0
(kilocalories)	(gram)	(gram)	(milligram)
*8%	*12%	*15%	*0%

*as a percentage of the maximum amount that can be consumed per day

Figure 3 Nutrition facts and nutrition facts label summary for 80% dark chocolate.

สรุปผลการศึกษา

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตจากโกโก้สายพันธุ์พื้นเมืองของท้องถิ่น (PA7 NA32) พบว่าอัตราส่วนของปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตคือร้อยละ 80 อันแสดงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ รวมถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากผู้บริโภคที่มีต่อการยอมรับของผู้บริโภคสูงสุด โดยหนึ่งหน่วยบรรจุภัณฑ์ (30 กรัม) เมื่อรับประทานตามปริมาณที่กำหนดจะได้รับพลังงาน 180 กิโลแคลอรี

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ภายใต้งานวิจัยเรื่องการบริหารจัดการเพื่อพัฒนา RAINS for Thailand Food Valley รวมถึงขอขอบคุณสถาบันวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานีที่เปิดโอกาสให้มีการขอรับทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับบุคลากรเพื่อนำมาใช้ในการเรียนการสอนและชุมชนท้องถิ่นอย่างต่อเนื่อง

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: พัทธนิยา เอกเพชร, ณัฐธิดา ศรีราชยา, ศราวุธ ทองเนื้อห่า. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: พัทธนิยา เอกเพชร, ณัฐธิดา ศรีราชยา, ศราวุธ ทองเนื้อห่า. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: พัทธนิยา เอกเพชร. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: พัทธนิยา เอกเพชร, ณัฐธิดา ศรีราชยา, ศราวุธ ทองเนื้อห่า. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript: พัทธนิยา เอกเพชร.

เอกสารอ้างอิง

- Afoakwa, E. O. (2014). *Cocoa Production and Processing Technology*. CRC Press.
- Aidoo, R. P., Afoakwa, E. O., & Dewettinck, K. (2014). Optimization of inulin and polydextrose mixtures as sucrose replacers during sugar-free chocolate manufacture - rheological, microstructure and physical quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 126(1), 35–42.
- Andrae-Nightingale, L. M., Lee, S. Y., & Engseth, N. J. (2009). Texture change in chocolate characterized by instrumental and sensory technique. *Journal of Texture Studies*, 40(1), 427–444.
- Association of Official Agricultural Chemists (1995). *Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemistry*. AOAC.
- Belscak-Cvitanovic, A., Komes, D., Dujmovic, M., Karlovic, S., Biskic, M., Brncic, M., & Jezek, D. (2015). Physical, bioactive and sensory quality parameters of reduced sugar chocolates formulated with natural sweeteners as sucrose alternatives. *Food Chemistry*, 167(1), 61–70.
- Broadwin, E. (2018). *World Economic Forum*. Retrieved from: weforum.org/agenda/2018/01/chocolate-is-on-track-to-go-extinct-in-40-years?fbclid=IwAR2HpRBVPESD0B-DoC9xc1JJPEMG60V25WloRFI7hqpAfHXPnykw2TvLPIw.
- Caporaso, N., Whitworth, M. B., & Fisk, I. D. (2021). Total lipid prediction in single intact cocoa beans by hyperspectral. *Food Chemistry*, 344(1), 128663.
- De Vuyst, L., & Weckx, S. (2016). The cocoa bean fermentation process: from ecosystem analysis to starter culture development. *Journal of Applied Microbiology*, 121(1), 5-17.
- Gibson, M. (2018). Chocolate / Cacao. In Gibson, M. (Ed.), *Food Science and the Culinary Arts*, pp. 341-351. Academic Press.
- Guda, P., Gadhe, S., & Jakkula, S. (2017). Drying of cocoa beans by using different techniques. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 5(5), 859-865.
- Ilgantileke, S. G., Wahyudi, T., & Gracia Bailon, M. (1991). Assessment methodology to predict quality of cocoa beans for export. *Journal of Food Quality*, 14(6), 481-496.
- Ministry of Commerce. (2018). Growing "Cocoa" makes 80,000 baht per Rai! Office of Agricultural Economics Promote instead of Rubber - Reduces Imports by 50,000 per Year. Retrieved from: www.thansettakij.com/content/356670. (in Thai).
- Nazira, S., & Azaz Ahmad Azad, Z. R. (2016). Development of a novel calorie controlled and sugar-free dark chocolate enriched with guar gum. *Journal of Food Research and Technology*, 4(2), 39-46.

- Rakitikun, W., Sirita, J., Yossunthon, P., Changruengnam, T., Nanglae, S. (2022). Analysis of chemical composition to determine the identity of cocoa in Chiang Rai province. **Journal of RPRU Science Mathematics and Technology**, 1(1), 20-34. (in Thai).
- Ramsey, D. (2016). **Chocolate**. Penguin Random House.
- Scott, M. (2016). **Climate & Chocolate**. Retrieved from: <https://www.climate.gov/news-features/climate-and/climate-chocolate>.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, 16(3), 144-158.
- Srisattabut P. (2018). A study of the amount of fresh butter and the amount of dried longan affecting the acceptance of the sensory quality of longan chocolate products. **Journal of Vocational Institute of Agriculture**, 2(2), 48-55. (in Thai).
- Wansiri, S. (1989). **Cocoa Plantation**. Thanakaset Press. (in Thai).

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหมักคีเฟอร์เพื่อผลิตคีเฟอร์น

Optimization of Kefir Fermentation for Kefiran Production

เบญจมาส เชียร์ศิลป์^{1*}, จริญญา สทนัสต์¹ และรัตนพรณ ภูมิไชยา¹
Benjamas Cheirsilp^{1*}, Jariya Stansat¹ and Rattanapan Phomchaiya¹
Received date: 4 เม.ย. 66 Revised date: 27 ส.ค. 66 Accepted date: 29 ก.ย. 66
DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.003>

บทคัดย่อ

คีเฟอร์เป็นนมหมักพื้นเมืองที่มีต้นกำเนิดจากชาวคอเคซัส (Caucasian) มีคุณสมบัติที่มีประโยชน์ มีรสเปรี้ยว และมีแอลกอฮอล์ผสมอยู่ด้วย ซึ่งเกิดจากการหมักโดยแบคทีเรียและยีสต์ที่ฝังตัวอยู่ในก้อนเชื้อที่เรียกว่าคีเฟอร์เกรน โดยการหมักคีเฟอร์จะทำให้เชื้อแบคทีเรียแลคติกในก้อนเชื้อผลิตสารเมือกเหนียวที่เรียกว่าคีเฟอร์น จากการศึกษากการผลิตคีเฟอร์นโดยการหมักคีเฟอร์เกรนสองแบบ คือ คีเฟอร์เกรนน้ำที่เลี้ยงด้วยน้ำมะพร้าวและคีเฟอร์เกรนนมที่เลี้ยงด้วยนมสด พบว่าคีเฟอร์เกรนนมมีความสามารถในการผลิตคีเฟอร์นและกรดแลคติกได้มากกว่าคีเฟอร์เกรนน้ำมะพร้าว ในขณะที่คีเฟอร์น้ำมะพร้าวให้การผลิตเอทานอลสูงกว่า และพบว่าการหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำให้คีเฟอร์เกรนน้ำมะพร้าวผลิตคีเฟอร์น กรดแลคติก และเอทานอลสูงกว่าการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในขณะที่คีเฟอร์เกรนนมให้การผลิตคีเฟอร์นและกรดแลคติกใกล้เคียงกันทั้งที่อุณหภูมิ 30 และ 37 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้การผลิตเอทานอลสูงกว่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และพบว่าปริมาณหัวเชื้อคีเฟอร์เกรนนมเริ่มต้นที่ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักคีเฟอร์เกรนเปียกต่อปริมาตรนม และการหมักแบบไม่เขย่า ให้การผลิตคีเฟอร์นได้สูงสุดเท่ากับ 73.63 มิลลิกรัมต่อปริมาตรนม 120 มิลลิลิตร ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการผลิตคีเฟอร์นโดยการหมักคีเฟอร์ได้

คำสำคัญ: คีเฟอร์ คีเฟอร์น คีเฟอร์เกรน นมสด น้ำมะพร้าว

Abstract

Kefir is native fermented milk derived from the Caucasian. It has sour taste and alcoholic qualities caused by the fermentation of yeast and bacteria embedded in kefir grain. By fermenting the kefir, lactic acid bacteria in the grain produce the viscous polymer called kefiran. Kefiran was produced from kefir grains via fermentation with coconut juice or fresh milk. It was found that kefir grains in milk produced higher amounts of kefiran and lactic acid than kefir grains in coconut juice while kefir grains in coconut juice produced higher amount of ethanol. It was also found that at 30°C, kefir grains in coconut juice produced higher amount of kefiran, lactic acid and ethanol than at 37 °C. Additionally, the initial seed inoculum of kefir grains in milk at 1% of kefir grain wet weight by milk volume in static condition yielded the highest amount of kefiran at 73.63 mg per 120 mL of milk. The optimal conditions obtained in this study may contribute to the production of kefiran through kefir fermentation.

Keywords: kefir, kefiran, kefir grains, fresh milk, coconut juice

คำนำ

คีเฟอร์เป็นนมหมักพื้นเมืองที่มีต้นกำเนิดจากชาวคอเคซัส (Caucasian) มีคุณสมบัติที่มีประโยชน์ มีรสเปรี้ยว และมีแอลกอฮอล์ผสมอยู่ด้วย ซึ่งเกิดจากการหมักโดยยีสต์และแบคทีเรียที่ฝังตัวอยู่ในสารเมือกเหนียวที่เรียกว่าคีเฟอร์น มีลักษณะเป็นก้อนตะปุ่มตะป่ำคล้ายดอกกะหล่ำสีขาวเรียกหัวเชื้อในการหมักนี้ว่า คีเฟอร์เกรน มีขนาดตั้งแต่ 5-20 มิลลิเมตร ขณะที่ก้อนเชื้ออยู่ในน้ำนมเชื้อจุลินทรีย์จะมีการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนอย่างต่อเนื่องพร้อมกับมีการสร้างสารคีเฟอร์นควบคู่กันไป ดังนั้นคีเฟอร์เกรนจึงเป็นเสมือนก้อนเชื้อผสมที่ตรึงตัวเองอยู่บนก้อนสารเมือก ทำให้สามารถใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตได้อย่างต่อเนื่องไม่สิ้นสุด (Zajšek and Goršek, 2010; Arslan, 2015) ซึ่งคีเฟอร์นี้สามารถใช้ทำไบโอบน้าเพื่อช่วยกระชับรูขุมขน ทำให้ไบโอบน้าดูอ่อนเยาว์ แต่ง

¹ ศูนย์วิจัยความเป็นเลิศนวัตกรรมเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อการใช้ประโยชน์ทรัพยากรชีวภาพอย่างยั่งยืน คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

¹ Center of Excellence in Innovative Biotechnology for Sustainable Utilization of Bioresources, Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University, Songkhla 90110

* Corresponding author, Email: benjamas.che@psu.ac.th

ตั้ง และยังช่วยขจัดสิว สำหรับคิเฟอร์สามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นในอุตสาหกรรมอาหารที่สามารถใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวในอาหาร สารทดแทนไขมัน และเป็นสารทำให้เกิดเจล สำหรับอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอางหรือเภสัชกรรม คิเฟอร์สามารถนำมาทำเครื่องสำอาง เนื่องจากคิเฟอร์มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถต่อต้านริ้วรอย อีกทั้งสามารถประยุกต์ใช้ในการแพทย์เนื่องจากมีคุณสมบัติในการต้านแบคทีเรีย เชื้อรา และมีกิจกรรมการต้านเนื้องอก (Dailin et al., 2015; Dimitreli et al., 2016; Fels et al., 2018) จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีความจำเป็นในการพัฒนาการผลิตคิเฟอร์ระดับอุตสาหกรรม การผลิตคิเฟอร์จากเชื้อผสมที่อยู่ในคิเฟอร์เกรนสามารถใช้นมสดเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อเรียกว่าคิเฟอร์นม สำหรับคิเฟอร์ที่ใช้น้ำหวานหรือน้ำผลไม้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อเรียกว่าคิเฟอร์น้ำ โดยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการผลิตและคุณภาพคิเฟอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้น และสภาวะในการหมัก (Zajšek et al., 2013; Laureys and De Vuyst, 2017; Apar et al., 2017) โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาการผลิตคิเฟอร์โดยเปรียบเทียบการใช้หัวเชื้อที่เป็นคิเฟอร์เกรนนมและคิเฟอร์เกรนน้ำ และศึกษาผลของสภาวะในการหมัก เพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าไปต่อยอดสู่การขยายขนาดการผลิตต่อไป

วิธีการศึกษา

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของก้อนเชื้อคิเฟอร์เกรนน้ำและคิเฟอร์เกรนนม

ก้อนเชื้อคิเฟอร์น้ำและก้อนเชื้อคิเฟอร์เกรนนมซื้อจากร้านค้าขายคิเฟอร์ในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร กระตุ้นก้อนเชื้อโดยนำก้อนเชื้อคิเฟอร์เกรนน้ำมาเลี้ยงในน้ำมะพร้าวอ่อนในอัตราส่วนร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำก้อนเชื้อคิเฟอร์เกรนนม 2 สายพันธุ์ที่มาจากต่างแหล่งกัน (G1 และ G2) มาเลี้ยงในนมสดยูเอชทีที่อัตราส่วนร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการศึกษาลักษณะปรากฏภายนอกของก้อนเชื้อคิเฟอร์เกรนน้ำและคิเฟอร์เกรนนม และส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในภายในก้อนเชื้อ และใช้ก้อนเชื้อในการศึกษาขั้นต่อไป

การศึกษามวลของอุณหภูมิต่อการหมักคิเฟอร์เพื่อผลิตคิเฟอร์

ทำการศึกษามวลของอุณหภูมิต่อการหมักคิเฟอร์น้ำโดยใช้น้ำมะพร้าวและผลของอุณหภูมิต่อการหมักคิเฟอร์นมโดยใช้นมสด ทำการเติมหัวเชื้อคิเฟอร์เกรนลงในอาหารหมักคิเฟอร์ที่กำหนดปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 2 ที่อัตราส่วนหัวเชื้อคิเฟอร์เกรนร้อยละ 0.5 ในอาหารหมักคิเฟอร์ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30 และ 37 องศาเซลเซียส ทำการหมักและเปลี่ยนอาหารหมักคิเฟอร์ทุกวัน เป็นเวลา 6 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมดเพื่อนำมาวัดปริมาณกรดแลคติกและปริมาณเอทานอล และวัดปริมาณหัวเชื้อคิเฟอร์เกรนที่เพิ่มขึ้น และทำการสกัดคิเฟอร์จากทั้งหัวเชื้อและในน้ำหมัก

การศึกษามวลของปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นต่อการหมักคิเฟอร์เพื่อผลิตคิเฟอร์

การศึกษามวลของปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นต่อการหมักคิเฟอร์ ทำการเติมหัวเชื้อคิเฟอร์เกรนลงในอาหารหมักคิเฟอร์ที่กำหนดปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 2 ที่อัตราส่วนหัวเชื้อคิเฟอร์เกรนร้อยละ 0.5 และ 1.0 ในอาหารหมักคิเฟอร์ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น ทำการหมักและเปลี่ยนอาหารหมักคิเฟอร์ทุกวัน ทำการหมักซ้ำเป็นเวลา 6 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมดเพื่อวิเคราะห์ค่าต่างๆ ตามการทดลองข้างต้น

การศึกษามวลของการเขย่าต่อการหมักคิเฟอร์เพื่อผลิตคิเฟอร์

การศึกษามวลของการเขย่าต่อการหมักคิเฟอร์ ทำการเติมหัวเชื้อคิเฟอร์เกรนลงในอาหารหมักคิเฟอร์ที่กำหนดปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 2 ที่อุณหภูมิและอัตราส่วนหัวเชื้อคิเฟอร์เกรนที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น ทำการหมักแบบไม่เขย่า และเขย่าที่ความเร็วรอบ 60 และ 120 รอบต่อนาที และเปลี่ยนอาหารหมักคิเฟอร์ทุกวัน เป็นเวลา 6 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมดเพื่อวิเคราะห์ค่าต่างๆ ตามการทดลองข้างต้น

การศึกษามวลของระยะเวลาในการหมักคิเฟอร์เพื่อผลิตคิเฟอร์

การศึกษามวลของระยะเวลาในการหมักคิเฟอร์ ทำการเติมหัวเชื้อคิเฟอร์เกรนลงในอาหารหมักคิเฟอร์ที่กำหนดปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 2 ที่สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น เก็บตัวอย่างที่วันที่ 1, 2 และ 3 ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมดเพื่อวิเคราะห์ค่าต่างๆ ตามการทดลองข้างต้น

วิธีการวิเคราะห์

การวัดน้ำหนักแห้งของก้อนเชื้อคิเฟอร์เกรน

เก็บเกี่ยวก้อนเชื้อคิเฟอร์เกรนโดยการกรองและล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง แล้วนำตะกอนไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ คือประมาณ 48-72 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์ปริมาณคีเฟอร์

วัดปริมาณค่าคีเฟอร์ในรูปของคีเฟอร์ในคีเฟอร์เกรนและในส่วนใสของอาหารเลี้ยงเชื้อตามวิธีของ Cheirsilp and Radchabut (2011) การวัดปริมาณคีเฟอร์ในส่วนใส นำส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงแยกเซลล์ตกตะกอนคีเฟอร์ด้วยเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 (-20 องศาเซลเซียส) ในอัตราส่วน 1:1 ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แยกส่วนใสออกจากตะกอน ละลายตะกอนที่ได้ด้วยน้ำกลั่น นำสารละลายดังกล่าวปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบเท่าเดิมนาน 10 นาที แยกส่วนใสออกจากตะกอนที่ไม่ละลายน้ำซึ่งเป็นตะกอนโปรตีน ตกตะกอนส่วนใสซ้ำอีกครั้งด้วยเอทานอลที่มีความเข้มข้นเท่าเดิม ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบเท่าเดิมนาน 10 นาที แยกส่วนใสออกจากตะกอนละลายตะกอนที่ได้ด้วยน้ำกลั่น เจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมเพื่อวิเคราะห์ปริมาณคีเฟอร์โดยการวัดน้ำตาลทั้งหมด

สำหรับตัวอย่างที่เป็นนม ทำการตกตะกอนโปรตีนนมตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Zajšek et al. (2013) ด้วย Trichloroacetic acid (TCA) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ในอัตราส่วน 1:1 ผสมให้เข้ากันและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการแยกตะกอนโปรตีนโดยการปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แยกส่วนใสออกจากตะกอนแล้วนำส่วนใสที่ได้มาตกตะกอนคีเฟอร์ดังที่กล่าวในข้างต้น

สำหรับการวัดปริมาณคีเฟอร์ในคีเฟอร์เกรน ทำการสกัดคีเฟอร์จากคีเฟอร์เกรนโดยนำก้อนเชื้อคีเฟอร์เกรนแห้งใส่น้ำกลั่นแล้วนำไปต้มในน้ำเดือดนาน 30 นาที ปั่นเหวี่ยงสารผสมที่ได้ด้วยความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แยกสารละลายคีเฟอร์ที่สกัดได้ออกจากตะกอน วิเคราะห์ปริมาณคีเฟอร์เช่นเดียวกับการวัดปริมาณคีเฟอร์ในส่วนใส

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธีแอนโทรน (Cheirsilp et al., 2003) เตรียมสารละลายที่ใช้วัดโดยชั่งแอนโทรน 0.8 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 300 มิลลิลิตร เจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมแล้วดูดสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก เติมสารละลายแอนโทรนปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที ทำให้เย็นทันที วัดค่าการดูดกลืนแสงในความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และคำนวณปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้กับกราฟมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส ลบกับปริมาณคีเฟอร์ที่วัดได้เพื่อคำนวณปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติกและเอทานอล

วิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติกและเอทานอลโดยเทคนิค HPLC โดยดัดแปลงตามวิธีของ Suksawang et al. (2016)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลองอย่างน้อยสองซ้ำ และทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบของตัวอย่างไวน์เมลอนโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS version 16

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะทางกายภาพของก้อนเชื้อคีเฟอร์นํ้าและก้อนเชื้อคีเฟอร์นมนม

ลักษณะทางกายภาพของก้อนเชื้อคีเฟอร์นมจะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่ใช้ในการหมัก แสดงดัง Figure 1 ซึ่งก้อนเชื้อคีเฟอร์นํ้า (Figure 1A) เป็นก้อนวุ้นหลายเหลี่ยมมีสีขาวเหลืองใสกว่าก้อนเชื้อคีเฟอร์นมนม (Figure 1B) ก้อนเชื้อคีเฟอร์นํ้าโดยปกติจะถูกเลี้ยงในอาหารประเภทน้ำผลไม้หรือสารละลายที่มีน้ำตาลซูโครส ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ก้อนเชื้อคีเฟอร์นํ้าที่เลี้ยงในน้ำมะพร้าว เมื่อถ่ายภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า แสดงดัง Figure 2A จะเห็นลักษณะรูปร่างของเซลล์แตกต่างกัน มีทั้งลักษณะเป็นแท่งและรูปทรงกลมรี ทั้งนี้เนื่องจากก้อนเชื้อคีเฟอร์นํ้าประกอบไปด้วยกลุ่มเชื้อของยีสต์แบคทีเรียแลคติก และแบคทีเรียอื่นๆ ซึ่งแบคทีเรียแลคติกจะใช้น้ำตาลซูโครสในการผลิตแอลฟาไกลูแคนและฟรุคแทน (Fels et al., 2018) แต่จะเห็นกลุ่มของแบคทีเรียสายสั้นมากกว่ายีสต์และแบคทีเรียสายยาว

ส่วนลักษณะก้อนเชื้อคีเฟอร์นมนมเป็นเม็ดค่อนข้างกลม มีสีขาวขุ่นจากการเลี้ยงในอาหารประเภทนม เมื่อถ่ายภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า แสดงดัง Figure 2B จะเห็นลักษณะของรูปร่างของเซลล์เป็นแท่งสั้น แท่งยาวและทรงกลมรีเช่นกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการอยู่ร่วมกันของกลุ่มเชื้อแบคทีเรียแลคติกและยีสต์ที่เชื่อมกันเป็นก้อนด้วยเคซีนและโพลีแซคคาไรด์

ไรต์ที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลแลคโตส (Arslan, 2015) โดยจะเห็นได้ว่าจะมีเชื้อยีสต์อยู่กระจัดกระจายพร้อมกับแบคทีเรียสายยาวที่มีรายงานว่าเป็นแบคทีเรียแลคติกที่มีผลิตคีเฟอร์รินและกรดแลคติก (Cheirsilp and Radchabut, 2011)

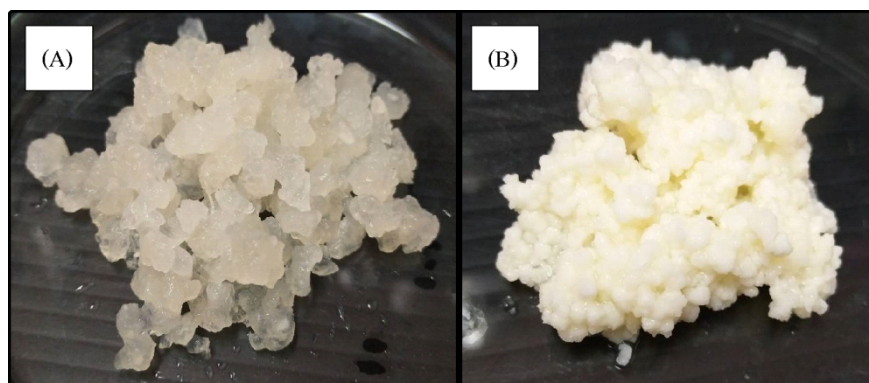


Figure 1 Physical appearance of water kefir grain (A) and milk kefir grain (B).

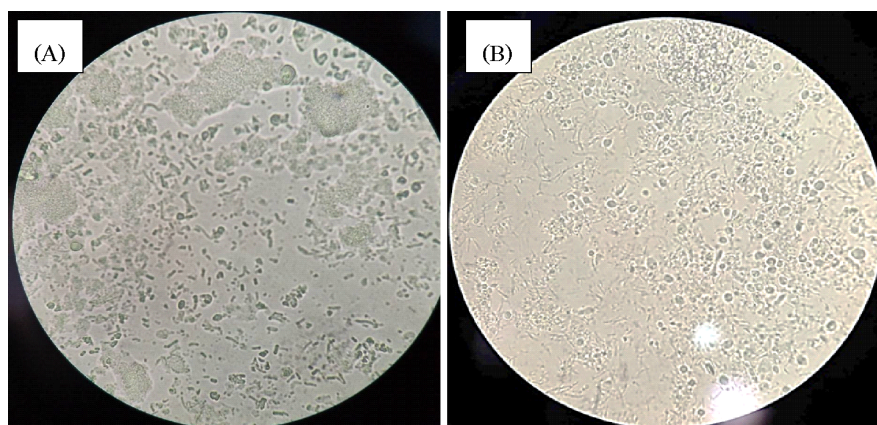


Figure 2 Physical appearances of water kefir grain (A) and milk kefir grain (B) under microscope 100.

ผลของอุณหภูมิต่อการหมักคีเฟอร์น้ำด้วยน้ำมะพร้าว

จากการศึกษาการหมักคีเฟอร์น้ำโดยใช้หัวเชื้อคีเฟอร์กรรน้ำเริ่มต้นร้อยละ 0.5 ในน้ำมะพร้าว 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30 และ 37 องศาเซลเซียส ทำการหมักและเปลี่ยนน้ำมะพร้าวทุกวันเป็นเวลา 6 วัน (รวมใช้น้ำมะพร้าว 120 มิลลิลิตร) จากการสกัดและวัดปริมาณคีเฟอร์รินในก้อนเชื้อคีเฟอร์กรรน้ำ พบว่าก้อนเชื้อคีเฟอร์กรรน้ำที่เลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณคีเฟอร์รินเท่ากับร้อยละ 0.18 ± 0.04 ของน้ำหนักแห้งคีเฟอร์กรรน้ำ ซึ่งมากกว่าการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่ให้ปริมาณคีเฟอร์รินร้อยละ 0.05 ± 0.00 สำหรับปริมาณคีเฟอร์รินในส่วนใสจากการหมักคีเฟอร์น้ำ ทำการวัดจากน้ำหมักที่ถ่ายเปลี่ยนทุกวัน โดยแสดงเป็นปริมาณคีเฟอร์รินที่ละลายน้ำในแต่ละวัน และปริมาณคีเฟอร์รินรวมทั้งจากในก้อนเชื้อและน้ำหมัก (Table 1) ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้การผลิตคีเฟอร์รินรวมสูงกว่าอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 30 และ 37 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณคีเฟอร์รินในส่วนใสรวม 6 วัน เท่ากับ 30.99 และ 19.81 มิลลิกรัมต่อ 120 มิลลิลิตรของน้ำมะพร้าวหมัก ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ากลุ่มเชื้อที่ผลิตคีเฟอร์รินมีกิจกรรมสูงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการศึกษากิจกรรมกรดแลคติกและปริมาณเอทานอลในอาหารเลี้ยงคีเฟอร์กรรน้ำ พบว่าที่อุณหภูมิ 30 และ 37 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณกรดแลคติกไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งเท่ากับ 2.23 ± 0.06 และ 2.12 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่การหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณเอทานอลที่สูงกว่าการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เล็กน้อย คือเท่ากับ 15.50 ± 0.97 และ 12.49 ± 0.11 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งอาจมาจากการทำงานของยีสต์ที่ดีกว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส Laureys and De Vuyst (2017) ได้รายงานการผลิตกรดแลคติกและเอทานอลของคีเฟอร์กรรน้ำใน

อาหาร water kefir simulation medium (WKSM) เป็นเวลา 192 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณกรดแลคติกอยู่ในช่วง 1.93-2.36 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีปริมาณเอทานอลอยู่ในช่วง 27.04-34.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะเห็นได้ว่าการเลี้ยงคีเฟอร์กรนน้ำด้วยน้ำมะพร้าวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้น้ำหนักแห้งและปริมาณคีเฟอร์รวมมากกว่าการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จึงเลือกสภาวะการเลี้ยงคีเฟอร์กรนน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ไปใช้ในการทดลองต่อไป

ผลของอุณหภูมิต่อการหมักคีเฟอร์นมด้วยนมสด

จากการศึกษาการเลี้ยงคีเฟอร์กรนนม 2 สายพันธุ์ G1 และ G2 ที่ปริมาณหัวเชื้อร้อยละ 0.5 ในนมสด 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30 และ 37 องศาเซลเซียส ทำการหมักและเปลี่ยนนมสดทุกวันเป็นเวลา 6 วัน (รวมใช้นมสด 120 มิลลิลิตร) ผลการทดลองแสดงดัง Table 2 พบว่าการเลี้ยงคีเฟอร์กรนนมสายพันธุ์ G1 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณคีเฟอร์ในส่วนใสทั้งหมดเท่ากับ 46.50 มิลลิกรัมต่อนม 120 มิลลิลิตร ซึ่งน้อยกว่าปริมาณคีเฟอร์ของการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่ 51.73 มิลลิกรัมต่อนม 120 มิลลิลิตร แต่ในคีเฟอร์กรนนมสายพันธุ์ G2 พบว่าการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 และ 37 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณคีเฟอร์ไม่แตกต่างกันมากนัก คือ เท่ากับ 50.1 และ 48.48 มิลลิกรัมต่อนม 120 มิลลิลิตร ผลของอุณหภูมิต่อการผลิตคีเฟอร์ที่ต่างกันของคีเฟอร์กรนสองสายพันธุ์อาจมาจากปริมาณและกลุ่มเชื้อในคีเฟอร์กรนที่ต่างกัน จากงานวิจัยของ Apar *et al.* (2017) ที่ทำการศึกษาสภาวะในการเจริญของคีเฟอร์กรนในทางนมที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเลี้ยงสูงขึ้นจาก 17 องศาเซลเซียส เป็น 27 และ 37 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณของก้อนเชื้อเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วง 6-7 ชั่วโมงแรก จากนั้นจะเริ่มคงที่ไปจนถึงชั่วโมงที่ 24 โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการศึกษากิจกรรมกรดแลคติกและปริมาณเอทานอลในอาหารเลี้ยงคีเฟอร์กรนนม พบว่าการเลี้ยงคีเฟอร์กรนนม G1 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณกรดแลคติกเท่ากับ 4.16 ± 1.03 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งสูงกว่าการเลี้ยงคีเฟอร์กรนนมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เล็กน้อย แต่มีปริมาณเอทานอลไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 1.3-1.61 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งต่างกับคีเฟอร์กรนนมสายพันธุ์ G2 ที่ให้ปริมาณกรดแลคติกไม่แตกต่างกันอยู่ที่ 4.1-4.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แต่อุณหภูมิที่ต่างกันให้ปริมาณเอทานอลต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณเอทานอลเท่ากับ 2.47 ± 1.53 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณเอทานอลเพียง 0.46 ± 0.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณและความหลากหลายของสายพันธุ์ของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ในคีเฟอร์กรน โดยปริมาณเอทานอลจะเกิดจากกิจกรรมของยีสต์ หากมีปริมาณยีสต์มากและทำการหมักภายใต้สภาวะที่เหมาะสมกับการทำงานของยีสต์ก็จะทำให้เกิดการผลิตเอทานอลได้สูงกว่า (Zajsek and Gorsek, 2010)

Table 1 Effect of temperature on water kefir grain fermentation in coconut juice

Temperature	Kefiran in broth (mg/20 mL)						Total kefiran (mg/120 mL)	Lactic acid (mg/mL)	Ethanol (mg/mL)
	B1	B2	B3	B4	B5	B6			
30°C	3.77	5.31	4.55	3.01	4.67	9.59	30.90	2.23 ± 0.06^a	15.50 ± 0.97^a
37°C	4.28	4.44	1.63	3.28	3.17	3.01	19.81	2.12 ± 0.03^a	12.49 ± 0.11^b

B1-B6 represents each batch of cultivation. Different superscript letters indicate significant differences between treatments.

Table 2 Effect of temperature on milk kefir grain fermentation in milk

Kefir grain /Temperature	Kefiran in broth (mg/20 mL)						Total kefiran (mg/120 mL)	Lactic acid (mg/mL)	Ethanol (mg/mL)
	B1	B2	B3	B4	B5	B6			
G1/30°C	9.61	6.59	6.48	8.25	8.60	6.97	46.5	3.84 ± 0.25^a	1.61 ± 0.00^a
G1/37°C	8.70	9.83	11.15	7.59	7.28	7.18	51.73	4.16 ± 1.03^a	1.30 ± 0.10^a
G2/30°C	12.17	10.44	8.62	6.45	6.80	5.62	50.10	4.51 ± 0.64^a	2.47 ± 1.53^a
G2/37°C	11.34	7.80	6.76	7.59	6.68	8.31	48.48	4.13 ± 1.28^a	0.46 ± 0.33^b

B1-B6 represents each batch of cultivation. Different superscript letters indicate significant differences between treatments.

จะเห็นได้ว่าการเลี้ยงคีเฟอร์กรนนมให้ปริมาณคีเฟอร์และกรดแลคติกที่สูงกว่าการเลี้ยงคีเฟอร์กรนน้ำ ในขณะที่การเลี้ยงคีเฟอร์กรนน้ำให้ปริมาณเอทานอลสูงกว่าคีเฟอร์นมมาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลุ่มเชื้อและการทำงานของกลุ่มเชื้อต่อสารอาหาร

ที่แตกต่างกัน โดยปกติในคีเฟอร์เกรนจะมีทั้งเชื้อแบคทีเรียแลคติกและยีสต์ หากแบคทีเรียแลคติกมีปริมาณมากหรือทำงานได้ดีก็จะทำให้เกิดการผลิตคีเฟอร์และกรดแลคติกมากขึ้น ในขณะที่หากยีสต์มีปริมาณมากหรือทำงานได้ดีก็จะทำให้เกิดการผลิตเอทานอลได้สูงกว่า (Setiawati et al., 2021) เนื่องจากการหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นการหมักที่อุณหภูมิห้อง ทำให้สามารถลดต้นทุนการใช้ตู้บ่ม และสายพันธุ์ G2 ให้ปริมาณคีเฟอร์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สูงกว่าสายพันธุ์ G1 จึงเลือกคีเฟอร์เกรนนมสายพันธุ์ G2 ภายใต้การเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ไปทำการศึกษาก่อนเชื้อเริ่มต้นในการทดลองต่อไป

ผลของปริมาณก้อนเชื้อเริ่มต้นต่อการหมักคีเฟอร์เพื่อผลิตคีเฟอร์

จากการศึกษาปริมาณก้อนเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ต่อการเลี้ยงคีเฟอร์เกรนน้ำในน้ำมะพร้าวอ่อน 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำการหมักและเปลี่ยนน้ำมะพร้าวทุกวันเป็นเวลา 6 วัน ผลแสดงดัง Table 3 พบว่าปริมาณก้อนเชื้อและการผลิตคีเฟอร์หลังการเลี้ยงเพิ่มขึ้น โดยที่การใช้ก้อนเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 ทำให้ก้อนเชื้อมีปริมาณคีเฟอร์ร้อยละ 0.18 ± 0.04 และ 0.37 ± 0.04 ของน้ำหนักแห้งคีเฟอร์เกรน ตามลำดับ ในส่วนใสของคีเฟอร์น้ำที่ใช้ปริมาณก้อนเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 เป็นระยะเวลา 6 วัน พบว่าปริมาณก้อนเชื้อที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณคีเฟอร์รวมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่ากับ 30.99 และ 32.96 มิลลิกรัมต่อ 120 มิลลิลิตรของน้ำมะพร้าวหมัก ตามลำดับ เมื่อทำการศึกษากิจกรรมกรดแลคติกและเอทานอลในอาหารเลี้ยงคีเฟอร์เกรนน้ำ พบว่าการเพิ่มปริมาณก้อนเชื้อเริ่มต้นทำให้มีการผลิตปริมาณกรดแลคติกและเอทานอลลดลง โดยที่การใช้ก้อนเชื้อเริ่มต้นที่ร้อยละ 0.5 ให้ปริมาณกรดแลคติกและเอทานอลเท่ากับ 2.23 ± 0.06 และ 15.50 ± 0.97 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ สำหรับการเพิ่มปริมาณก้อนเชื้อเริ่มต้นเป็นร้อยละ 1.0 ให้ปริมาณกรดแลคติกและเอทานอลเท่ากับ 0.96 ± 0.37 และ 4.77 ± 0.76 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากเมื่อปริมาณหัวเชื้อที่เป็นของแข็งเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดข้อจำกัดของการถ่ายโอนมวล และการเข้าถึงสารอาหารของสายพันธุ์ที่ผลิตกรดแลคติกและเอทานอล (Zajšek and Goršek, 2010)

ผลของปริมาณก้อนเชื้อเริ่มต้นต่อการหมักคีเฟอร์นมโดยใช้นมสด จากการศึกษาก่อนเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ของการหมักคีเฟอร์นมในนมสด 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำการหมักและเปลี่ยนนมทุกวันเป็นเวลา 6 วัน ผลการทดลองแสดงดัง Table 4 พบว่าการเพิ่มปริมาณก้อนเชื้อเริ่มต้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 1.0 ทำให้การผลิตคีเฟอร์ในก้อนเชื้อลดลงเล็กน้อย แต่ในส่วนใสของคีเฟอร์นมหลังการเลี้ยงด้วยปริมาณก้อนเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 เป็นระยะเวลา 6 วัน พบว่ามีปริมาณคีเฟอร์รวมเพิ่มขึ้นจาก 33.04 เป็น 73.63 มิลลิกรัมต่อ 120 มิลลิลิตรของนมหมัก เมื่อทำการศึกษากิจกรรมกรดแลคติกและปริมาณเอทานอลในคีเฟอร์นม พบว่าการเพิ่มก้อนเชื้อคีเฟอร์เกรนนมให้การผลิตกรดแลคติกและเอทานอลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Table 3 Effect of inoculum size on water kefir cultivation in coconut juice

Inoculum size	Kefiran in grain		Kefiran in broth (mg/20 mL)								Total kefiran (mg/120 mL)	Lactic acid (mg/mL)	Ethanol (mg/mL)
	%(w/w)	(mg/20 mL)	B1	B2	B3	B4	B5	B6					
0.5%	0.18 ± 0.04^b	0.11 ± 0.01^a	3.77	5.31	4.55	3.01	4.67	9.59	30.99		2.23 ± 0.06^a	15.50 ± 0.97^a	
1.0%	0.37 ± 0.04^a	0.08 ± 0.02^a	4.22	6.41	2.91	7.32	6.89	5.10	32.96		0.96 ± 0.37^b	4.77 ± 0.76^b	

B1-B6 represents each batch of cultivation. Different superscript letters indicate significant differences between treatments.

Table 4 Effect of inoculum size of grain G2 on milk kefir cultivation in milk

Inoculum size	Kefiran in grain		Kefiran in broth (mg/20 mL)								Total kefiran (mg/120 mL)	Lactic acid (mg/mL)	Ethanol (mg/mL)
	%(w/w)	(mg/20 mL)	B1	B2	B3	B4	B5	B6					
0.5%	0.84 ± 0.38^a	0.25 ± 0.06^a	6.21	5.62	5.27	5.75	5.51	4.43	33.04		3.73 ± 1.03^a	0.66 ± 0.21^a	
1.0%	0.70 ± 0.10^a	0.28 ± 0.06^a	11.47	14.82	14.14	11.86	10.05	11.01	73.63		4.15 ± 0.56^a	0.59 ± 0.06^a	

B1-B6 represents each batch of cultivation. Different superscript letters indicate significant differences between treatments.

ผลของการให้อากาศต่อการหมักคีเฟอร์เพื่อผลิตคีเฟอร์

จากการศึกษาการให้อากาศต่อการหมักคีเฟอร์น้ำด้วยการเขย่าที่ความเร็วรอบ 0, 60 และ 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน โดยใช้ก้อนเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 1.0 ผลการทดลองแสดงดัง Table 5 พบว่าการเขย่าด้วยความเร็วรอบ 60 และ 120 รอบต่อนาที ให้ปริมาณคีเฟอร์ในก้อนเชื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และสูงกว่าการไม่เขย่าเล็กน้อย ในส่วนของน้ำหมักคีเฟอร์น้ำ พบว่าการเพิ่มความเร็วย่อมมีผลทำให้ปริมาณคีเฟอร์รวมในอาหารลดลง โดยมีปริมาณคีเฟอร์เท่ากับ 32.86, 23.88 และ 18.05 มิลลิกรัมต่อ 120 มิลลิลิตร ตามลำดับ และพบว่าปริมาณกรดแลคติกและเอทานอลสูงสุดเมื่อมีการเขย่าที่ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการถ่ายโอนออกซิเจนที่เหมาะสมทำให้ส่งเสริมกิจกรรมของกลุ่มเชื้อผลิตกรดแลคติกและเอทานอล (Setiawati et al., 2021)

จากการศึกษาการให้อากาศคีเฟอร์เกรนด้วยการเขย่าที่ความเร็วรอบ 0, 60 และ 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน โดยใช้ก้อนเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 1.0 ต่อปริมาตรอาหาร ผลการทดลองแสดงดัง Table 6 พบว่าการเขย่าให้ปริมาณคีเฟอร์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่าการเพิ่มความเร็วในการเขย่ามีผลทำให้ปริมาณคีเฟอร์ในอาหารลดลง โดยที่การเลี้ยงแบบไม่เขย่าให้ปริมาณคีเฟอร์เท่ากับ 73.63 มิลลิกรัมต่อ 120 มิลลิลิตร รองลงมาเป็นการเขย่าที่ความเร็วรอบ 60 และ 120 รอบต่อนาที ที่ให้ปริมาณคีเฟอร์เท่ากับ 68.38 และ 53.41 มิลลิกรัมต่อ 120 มิลลิลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการให้อากาศมีผลทำให้การผลิตคีเฟอร์ในอาหารลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแบคทีเรียกรดแลคติกมีการเจริญและผลิตคีเฟอร์ได้ดีภายใต้สภาวะที่ไม่มีอากาศ เมื่อทำการศึกษาปริมาณของกรดแลคติกและเอทานอลพบว่าการใช้ความเร็วในการเขย่าที่ 120 รอบต่อนาที ให้ปริมาณกรดแลคติกสูงสุดเท่ากับ 8.55 ± 0.43 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แต่การเขย่าที่ 60 รอบต่อนาที ให้การผลิตเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 1.74 ± 0.41 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่งานวิจัยของ Zajšek et al. (2013) ที่ทำการศึกษาสภาวะในการผลิตคีเฟอร์ของคีเฟอร์เกรน พบว่าการเลี้ยงคีเฟอร์เกรนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และเขย่าด้วยความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ได้ปริมาณคีเฟอร์สูงสุดเท่ากับ 7.14 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมากกว่าการเลี้ยงแบบไม่เขย่าที่มีปริมาณคีเฟอร์เพียง 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลุ่มเชื้อที่แตกต่างกันในก้อนเชื้อคีเฟอร์เกรน

Table 5 Effect of agitation on water kefir fermentation in coconut juice

Agitation n	Kefiran in grain		Kefiran in broth (mg/20 mL)						Total kefiran (mg/120 mL)	Lactic acid (mg/mL)	Ethanol (mg/mL)
	% (w/w)	(mg/20 mL)	B1	B2	B3	B4	B5	B6			
0 rpm	0.11 ± 0.12^b	0.01 ± 0.01^c	4.22	6.41	2.90	7.32	6.89	5.10	32.85	0.96 ± 0.37^b	4.77 ± 0.76^b
60 rpm	0.30 ± 0.04^a	0.10 ± 0.01^a	3.01	3.41	3.14	3.66	7.20	3.37	23.88	1.60 ± 0.33^a	13.79 ± 4.47^a
120 rpm	0.40 ± 0.05^a	0.07 ± 0.01^b	2.31	2.30	1.81	3.17	4.45	3.92	18.05	0.66 ± 0.11^b	8.28 ± 0.69^a

B1-B6 represents each batch of cultivation. Different superscript letters indicate significant differences between treatments.

Table 6 Effect of agitation on milk kefir fermentation in milk

Agitation	Kefiran in grain		Kefiran in broth (mg/20 mL)						Total kefiran (mg/120 mL)	Lactic acid (mg/mL)	Ethanol (mg/mL)
	% (w/w)	(mg/20mL)	B1	B2	B3	B4	B5	B6			
0 rpm	0.70 ± 0.10^a	0.25 ± 0.06^b	11.4	14.8	14.1	11.8	10.0	11.0	73.35	4.15 ± 0.56^b	0.59 ± 0.06^b
60 rpm	0.54 ± 0.16^a	0.27 ± 0.07^b	11.51	11.22	12.50	11.01	10.79	11.08	68.38	3.18 ± 0.88^b	1.74 ± 0.41^a
120 rpm	0.76 ± 0.22^a	0.51 ± 0.10^a	10.47	10.76	4.24	9.08	8.69	9.65	53.41	8.55 ± 0.43^a	0.66 ± 0.03^b

B1-B6 represents each batch of cultivation. Different superscript letters indicate significant differences between treatments.

การศึกษาผลของระยะเวลาในการหมักคีเฟอร์เพื่อผลิตคีเฟอร์

เนื่องจากการศึกษาในข้างต้นพบว่า ปริมาณคีเฟอร์ในหัวเชื้อคีเฟอร์เกรนจะมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณคีเฟอร์ในน้ำหมักมาก ซึ่งการผลิตคีเฟอร์จะเกิดขึ้นจากเชื้อแบคทีเรียที่อยู่ในคีเฟอร์เกรน มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะละลายออกมาในอาหารที่ใช้หมัก และมีเพียงส่วนน้อยที่เกาะอยู่ที่ผนังเซลล์ (Cheirsilp et al., 2003) ในการทดลองนี้จึงศึกษาผลของระยะเวลาในการหมักต่อการผลิตคีเฟอร์ในน้ำหมัก โดยจากการศึกษาผลของระยะเวลาในการหมักคีเฟอร์น้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2 และ 3 วัน ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการหมักคีเฟอร์น้ำทำให้ได้ปริมาณคีเฟอร์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยอยู่ในช่วง 6-7 มิลลิกรัม และให้กรดแลคติกในช่วง 2.18-2.52 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และให้ปริมาณเอทานอลในช่วง 10-12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับการหมักคีเฟอร์นม พบว่าการเพิ่มระยะเวลาการหมัก ทำให้ปริมาณคีเฟอร์ลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากข้อจำกัดในการถ่ายโอนมวล เนื่องจากหัวเชื้อคีเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยการหมักเป็นเวลา 1 วัน ให้การผลิตคีเฟอร์สูงสุดอยู่ในช่วง 11-14 มิลลิกรัมต่อ 20 มิลลิลิตรต่อวัน สำหรับปริมาณกรดแลคติกและเอทานอลพบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการหมักไม่มีผลต่อปริมาณกรดแลคติกและเอทานอล โดยเชื่อมีการผลิตกรดแลคติกและเอทานอลเท่ากับ 3.5-4.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 0.5-0.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

สรุปผลการศึกษา

จากการหมักคีเฟอร์น้ำโดยใช้นมมะพร้าวและการหมักคีเฟอร์นมโดยใช้นมสด พบว่าคีเฟอร์เกรนนมโดยเฉพาะสายพันธุ์ G2 มีความสามารถในการผลิตคีเฟอร์ได้มากกว่าคีเฟอร์เกรนนมมะพร้าว และจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหมักคีเฟอร์พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมักคีเฟอร์ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์คีเฟอร์เกรนที่นำมาเลี้ยง ในงานวิจัยนี้เลือกคีเฟอร์เกรนที่สามารถผลิตคีเฟอร์ได้สูงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และพบว่าปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นที่ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักคีเฟอร์เกรนเปียกต่อปริมาตรนม และการเลี้ยงแบบไม่เขย่าให้การผลิตคีเฟอร์ได้มากที่สุด ผลจากงานวิจัยนี้ทำให้ได้ข้อมูลกระบวนการผลิตคีเฟอร์และคีเฟอร์ที่มีประสิทธิภาพ ที่สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีทำให้ผู้ประกอบการเพื่อนำไปสู่การขยายขนาดการผลิตและนำไปสู่การผลิตระดับอุตสาหกรรมต่อไปได้

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการวิจัยถ่ายทอดเทคโนโลยี/องค์ความรู้ และนวัตกรรมจากผลการวิจัยภายใต้ทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภายใต้รหัสโครงการวิจัย AGR062-STP60

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ริเริ่มงานวิจัย กำหนดสมมุติฐานงานวิจัย ออกแบบการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูล แปรผล วิพากษ์วิจารณ์ผล และเขียน Manuscript: เบญจมาศ เชียรศิลป์. ส่วนร่วมในการออกแบบการทดลอง ปฏิบัติการวิจัย วิเคราะห์ข้อมูล แปรผล วิพากษ์วิจารณ์ผล และเขียน Manuscript: จริยา สาทนัสต์. ส่วนร่วมในการเขียน Manuscript: รัตนพรณ ภูมิไชยา.

เอกสารอ้างอิง

- Apar, D. K., Demirhan, E., Özel, B., & Özbek, B. (2017). Kefir grain biomass production: Influence of different culturing conditions and examination of growth kinetic models. *Journal of Food Process Engineering*, 40(1), e12332.
- Arslan, S. (2015). A review: chemical, microbiological and nutritional characteristics of kefir. *CyTA-Journal of Food*, 13(3), 340-345.
- Cheirsilp, B., & Radchabut, S. (2011). Use of whey lactose from dairy industry for economical kefir production by *Lactobacillus kefirifaciens* in mixed cultures with yeasts. *New Biotechnology*, 28(6), 574-580.
- Cheirsilp, B., Shoji, H., Shimizu, H., & Shioya, S. (2003). Interactions between *Lactobacillus kefirifaciens* and *Saccharomyces cerevisiae* in mixed culture for kefir production. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 96(3), 279-284.
- Dailin, D. J., Elsayed, E. A., Othman, N. Z., Malek, R. A., Ramli, S., Sarmidi, M.R., Aziz, R., Wadaan, M. A., & El Enshasy, H. A. (2015). Development of cultivation medium for high yield kefir production by *Lactobacillus kefirifaciens*. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(3), 159-163.
- Dimitreli, G., Exarhopoulos, S., Goulas, A., Antoniou, K. D., & Raphaelides, S. N. (2016). Effect of kefir and milk proteins addition on the rheological behavior of glucono-delta-lactone induced milk gels. *Journal of Food Research*, 5(1), 121-128.

- Fels, L., Jakob, F., Vogel, R. F., & Wefers, D. (2018). Structural characterization of the exopolysaccharides from water kefir. **Carbohydrate Polymers**, 189(1), 296-303.
- Laureys, D., & De Vuyst, L. (2017). The water kefir grain inoculum determines the characteristics of the resulting water kefir fermentation process. **Journal of Applied Microbiology**, 122(3), 719-732.
- Setiawati, A. E., Sari, I. N. I., & Hasyati, N. (2021). Effect of temperature and time storage towards alcohol level in cow milk kefir. In **International Conference on Green Agro-industry and Bioeconomy**, pp. 012108. Faculty of Agricultural Technology, Universitas Brawijaya.
- Suksawang, S., Cheirsilp, B., & Yeesang, J. (2016). Production of kefir from molasses and spent yeast cells by *Lactobacillus kefiranofaciens* JCM 6985. **Asia-Pacific Journal of Science and Technology**, 21(2), 59-67.
- Zajšek, K., & Goršek, A. (2010). Mathematical modelling of ethanol production by mixed kefir grains yeast population as a function of temperature variations. **Biochemical Engineering Journal**, 49(1), 7-12.
- Zajšek, K., Goršek, A., & Kolar, M. (2013). Cultivating conditions effects on kefir production by the mixed culture of lactic acid bacteria imbedded within kefir grains. **Food Chemistry**, 139(1-4), 970-977.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไวน์เมล่อนและการหมักแบบกะซ้ำ

Development of Melon Wine Products and Repeated-Batch Fermentation

เบญจมาส เชียรศิลป์^{1*}, อภิสรา เอียดเจริญ¹ และรัตนพรรณ ภูมิไชยา¹Benjamas Cheirsilp^{1*}, Apisara Iadcharoen¹ and Rattanapan Phomchaiya¹

Received date: 4 เม.ย. 66 Revised date: 3 ก.ย. 66 Accepted date: 29 ก.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.004>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้สนใจนำเมล่อนมาทำการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้เป็นผลิตภัณฑ์ไวน์โดยใช้เทคโนโลยีการหมัก โดยศึกษาผลของการใช้เมล่อนสองสายพันธุ์ คือ สายพันธุ์โมโม (เนื้อสีส้ม) และสายพันธุ์คิมจิ (เนื้อสีเขียว) ผลของสัดส่วนของน้ำเมล่อนสกัดต่อน้ำที่ 1:0, 1:1 และ 1:2 และผลของระยะเวลาในการหมักที่ 2, 3, 5 และ 7 วัน จากการทดลองพบว่าน้ำเมล่อนเนื้อสีเขียวสามารถหมักได้เร็วกว่าน้ำเมล่อนเนื้อสีส้ม และพบว่าการเจือจางน้ำเมล่อนสกัดต่อน้ำที่สัดส่วน 1:2 และหมักด้วยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ทางการค้า เป็นเวลา 2 วัน ให้ผลผลิตไวน์ที่ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยที่ 7 คะแนน จากคะแนนเต็ม 9 คะแนน ซึ่งแสดงถึงการได้รับการยอมรับโดยผู้ทดสอบชิม และพบว่าสามารถหมักไวน์เมล่อนแบบกะซ้ำโดยใช้เชื้อยีสต์จากการหมักเดิมเป็นหัวเชื้อสำหรับการหมักในรอบถัดไปได้ถึง 4 รอบ โดยที่ยังให้ประสิทธิภาพในการหมักสูง ซึ่งวิธีนี้สามารถลดต้นทุนการเตรียมหัวเชื้อและยังสามารถลดระยะเวลาการหมักได้อีกด้วย และจากการศึกษาการปรับปรุงรสชาติโดยการผสมไวน์เมล่อนสีเขียวกับน้ำเมล่อนสกัดเข้มข้นในอัตราส่วน 2:1 ทำให้ไวน์มีรสชาติหวาน กลิ่นหอม และได้คะแนนการยอมรับเพิ่มขึ้นเป็น 7.3 คะแนน

คำสำคัญ: ไวน์เมล่อน การหมักไวน์ การหมักแบบกะซ้ำ การพัฒนาผลิตภัณฑ์

Abstract

This study aimed to develop melon wine through fermentation technology in order to increase the value of melon. Two varieties of melon, Momo (orange pulp) and Kimoji (green pulp), were used for wine production. The effect of dilution of extracted melon juice by water at 1:0, 1:1 and 1:2 ratio and fermentation duration at 2, 3, 5 and 7 days were studied. It was found that green-pulp melon juice could be processed into wine product faster than orange-pulp melon juice. The optimal conditions were dilution ratio of extracted melon juice with water at 1:2 and fermented with commercial yeast *Saccharomyces cerevisiae* for 2 days. The melon wine received an average liking score of 7 on a nine-point scale indicating acceptable sensory quality. This study also attempted to increase wine fermentation efficiency and reduce the cost of inoculum preparation by performing repeated-batch fermentation. The repeated-batch fermentation using the culture broth as the inoculum for the following batch could be performed up to 4 cycles with high fermentation efficiency. This method not only reduces the inoculum preparation cost but also shorten the fermentation time. To improve the taste, the green melon wine was formulated by adding concentrated melon juice at wine to juice ratio of 2:1. The formulated green melon wine showed better taste and received higher average liking score of 7.3.

Keywords: melon wine, wine fermentation, repeated-batch fermentation, product development

คำนำ

ประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติ ทำให้สามารถปลูกผลไม้ได้หลากหลายชนิด ซึ่งเมล่อนเป็นผลไม้ในตระกูล Cucurbitaceae ได้ชื่อว่าเป็น “ราชินีแห่งพืชตระกูลแตง” เพราะเป็นผลไม้ที่มีรสชาติหวาน กลิ่นหอม อร่อย โดยเมล่อนจะมีเนื้อสีที่แตกต่างกันทั้งสีเขียวและสีส้ม เปลือกจะมีลักษณะเป็นตาข่ายสานกันเป็นลายนูน และมีขนาดเล็กกว่าแคนตาลูป เมล่อนมีสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในปริมาณสูง มีวิตามินซี วิตามินเอ เบต้าแคโรทีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และธาตุเหล็ก ไม่มีไขมัน และคอเลสเตอรอล อีกทั้งยังแคลอรีต่ำ นอกจากนี้ยังมีความเชื่อว่าเอนไซม์ในน้ำเมล่อน Superoxide dismutase (SOD) มี

¹ ศูนย์วิจัยความเป็นเลิศนวัตกรรมเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อการใช้ประโยชน์ทรัพยากรชีวภาพอย่างยั่งยืน คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

¹ Center of Excellence in Innovative Biotechnology for Sustainable Utilization of Bioresources, Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University, Songkhla 90110

* Corresponding author, Email: benjamas.che@psu.ac.th

สรรพคุณช่วยต้านอนุมูลอิสระ และลดกระบวนการทางเคมีที่ส่งผลให้สามารถลดระดับความเครียดได้ (Johnson and Giulivi, 2005) เมล่อนเดิมมีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบทวีปแอฟริกา แต่ในปัจจุบันเกษตรกรไทยส่วนใหญ่หันมาปลูกเมล่อนมากขึ้น เนื่องจากผลผลิตมีราคาสูง ปลูกง่าย จนทำให้ผลผลิตเมล่อนเพิ่มสูงขึ้น โดยในปี 2559 มีรายงานพื้นที่ปลูกเมล่อนในประเทศไทยอยู่ที่ 6,040.25 ไร่ มีผลผลิตเก็บเกี่ยวได้ 9.39 ล้านกิโลกรัม คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ที่ 2,000 กิโลกรัม โดยพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ที่จังหวัดอยุธยา นนทบุรี จันทบุรี และนครราชสีมา ราคาขายเฉลี่ยกิโลกรัมละ 30 บาท (Suphan buri provincial agriculture and cooperatives office, 2017) แต่บางครั้งทำให้เกิดภาวะเมล่อนล้นตลาด ราคาต่ำลง และเกิดผลผลิตที่สุกงอมเกินไป ซึ่งในทางอุตสาหกรรมยังไม่ค่อยมีการนำเมล่อนมาแปรรูปเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม หลายกลุ่มเกษตรกรเริ่มเห็นความสำคัญของการนำผลผลิตทางการเกษตรมาแปรรูปเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและยืดอายุการเก็บรักษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจนำเมล่อนมาทำการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าโดยใช้เทคโนโลยีการหมัก การหมักเป็นกระบวนการที่เกิดจากการทำงานของยีสต์ในน้ำผลไม้หรือยีสต์ที่เพิ่มเข้าไปทำให้เกิดการผลิตแอลกอฮอล์และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ไวน์ ไวน์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 15 ปัจจุบันพบว่ามีความนิยมดื่มไวน์กันมากขึ้น เนื่องจากไวน์มีประโยชน์ต่อการทำงานของหัวใจ ในทางการแพทย์ ไวน์เป็นอาหารบำบัดความเจ็บปวดเล็กๆ น้อยๆ และสามารถใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน การที่จะหมักไวน์ให้มีรสชาติและคุณภาพดีนั้น ต้องมีการเลือกวัตถุดิบที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลและสารอาหารที่เหมาะสมกับการทำงานของยีสต์ มีการควบคุมสภาวะและระยะเวลาในการหมัก (Gómez et al., 2008; Suyotha and Bunrung, 2021) งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการหมักไวน์โดยใช้เมล่อนสองสายพันธุ์ คือ สายพันธุ์โมโมะ (เนื้อสีส้ม) และสายพันธุ์คิโมจิ (เนื้อสีเขียว) โดยศึกษาสัดส่วนของน้ำเมล่อนสกัดต่อน้ำที่เหมาะสม ระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสม รวมทั้งศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักไวน์และลดต้นทุนการเตรียมหัวเชื้อโดยการหมักแบบกะขี้ จากนั้นจึงศึกษาผลการเติมน้ำเมล่อนผสมกับไวน์เมล่อนเพื่อปรับสี กลิ่น และรสชาติเพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด

วิธีการศึกษา

การเตรียมตัวอย่างน้ำเมล่อนสกัดเข้มข้น

นำเนื้อเมล่อนสีส้มและสีเขียวมาปั่นด้วยเครื่องสกัดเย็นจนเนื้อกลายเป็นน้ำเมล่อนสกัดและวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเมล่อน หลังจากนั้นเตรียมหัวเชื้อยีสต์ผง *Saccharomyces cerevisiae* ทางการค้า (Lalvin ICV K1-V1116, Lalvin, Canada) โดยแบ่งน้ำเมล่อนมา 10 มิลลิลิตร และเติมหัวเชื้อ 0.25 กรัม และเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้เป็นหัวเชื้อในการหมักไวน์ต่อไป

การศึกษามลของการเจือจางน้ำเมล่อนสกัดเข้มข้นต่อการหมักไวน์และผลของระยะเวลาการหมักไวน์เมล่อน

นำน้ำเมล่อนสกัดเข้มข้นมาผสมน้ำในอัตราส่วนที่ 1:0, 1:1, 1:2 ปรับพีเอชด้วยกรดซิตริกร้อยละ 0.4 ให้พีเอชได้เท่ากับ 4.5 เติมน้ำตาลทราย ให้ได้ค่าน้ำตาลเริ่มต้น 22 องศาบริกซ์ จากนั้นนำน้ำเมล่อนเทลงในเหยือก 1.5 ลิตร ฆ่าเชื้อด้วยสารโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ที่เตรียมไว้ 0.18 กรัมต่อลิตร ตั้งทิ้งไว้ก่อนเติมเชื้อ 24 ชั่วโมง จากนั้นหมักไวน์เมล่อนในขวดแก้วใสปริมาตร 700 มิลลิลิตร ปริมาตรน้ำเมล่อน 500 มิลลิลิตร เติมหหัวเชื้อยีสต์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เก็บตัวอย่างที่วันที่ 1, 2, 3, 5 และ 7 เพื่อนำน้ำหมักที่ได้มาวัดปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่อง Ebulliometer (Alla France, ประเทศฝรั่งเศส) วัดพีเอชด้วยเครื่องวัดพีเอช (Mettler Toledo รุ่น F20 FiveEasy™ ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) และวัดปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดด้วยเครื่อง Refractometer (ATAGO รุ่น Master-93H ประเทศญี่ปุ่น) มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{Brix}$) วัดปริมาณแอลกอฮอล์ และวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Chroma meter) ระบบ C.I.E. L^* , a^* , b^* , C^* และทดสอบความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไวน์เมล่อนที่หมักเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยใช้วิธีการให้คะแนน ความชอบ 9 คะแนน (9-Point Hedonic Scales) (9 คะแนน = ชอบมากที่สุด และ 1 คะแนน = ไม่ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน (ผู้ชาย 15 คน, ผู้หญิง 15 คน) การเสิร์ฟตัวอย่างพร้อมแบบสอบถามให้กับผู้ทดสอบ โดยเสิร์ฟตัวอย่างปริมาตรละ 5 มิลลิลิตร มีการควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างที่ไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเสิร์ฟน้ำดื่มเพื่อให้ผู้ทดสอบทำความสะอาดช่องปากก่อนทดสอบตัวอย่างถัดไป จากนั้นให้ผู้ทดสอบชิมและประเมินความชอบในคุณลักษณะ ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติและความชอบโดยรวม จากนั้นคัดเลือกสูตรที่มีความเป็นไปได้มาเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป

การหมักไวน์เมล่อนแบบกะขี้

ทำการหมักไวน์เมล่อนแบบกะขี้โดยใช้น้ำเมล่อนที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้นและความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น 22 องศาบริกซ์ พีเอช 4.5 พร้อมทั้งเปรียบเทียบการหมักโดยใช้หัวเชื้อยีสต์จากการเตรียมหัวเชื้อแบบไม่เขย่าและเขย่าที่ความเร็วรอบที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส ทำการเติมหหัวเชื้อในน้ำเมล่อนเจือจางที่ฆ่าเชื้อแล้ว

หมักเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นทำการเติมน้ำหมักออกร้อยละ 90 แล้วจึงเติมน้ำเมล็ดใหม่เข้าไปที่ความเข้มข้นน้ำตาลเท่าเดิม ทำการหมักแบบกะซ้ำทั้งหมด 4 รอบ

การศึกษาการเติมน้ำเมล็ดเพื่อปรับรสชาติไวน์เมล็ด

นำไวน์เมล็ดที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น มาเติมน้ำเมล็ดสกัดเข้มข้นในอัตราส่วนไวน์เมล็ดต่อน้ำเมล็ดสกัดที่ 1:0, 2:1, 1:1 และ 1:2 จากนั้นนำมาวัดปริมาณแอลกอฮอล์ พีเอช และปริมาณน้ำตาลในรูปของแข็งทั้งหมด และทดสอบความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไวน์เมล็ด

การวิเคราะห์/ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไวน์ผลไม้

นำไวน์เมล็ดที่ได้จากการเติมน้ำเมล็ดเพื่อปรับรสชาติไวน์เมล็ด ทดสอบสารต้องห้ามตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไวน์ผลไม้ ได้แก่ SO₂, Copper, Iron, Lead, Arsenic และ Ferrocyanide (Ministry of Industry, 2003) โดยส่งตรวจ ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ทางสถิติโดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบของตัวอย่างไวน์เมล็ดโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS version 16

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของการเจือจางน้ำเมล็ดสกัดเข้มข้นต่อการหมักไวน์

จากการศึกษาผลของการเจือจางน้ำเมล็ดสกัดที่สัดส่วนของน้ำเมล็ดสกัดต่อน้ำที่ 1:0, 1:1 และ 1:2 แล้วปรับความเข้มข้นน้ำตาลให้เท่ากับน้ำตาลทราย (น้ำตาลซูโครส) ที่ร้อยละ 22 และทำการเติมกรดเพื่อปรับพีเอชให้เท่ากับ 4.5 (Figure 1) ทำการหมักเป็นเวลา 7 วัน ผลการทดลองการหมักน้ำเมล็ดสีส้มและสีเขียวแสดงใน Figure 2 และ Figure 3 ตามลำดับ พบว่าทั้งสามสูตรให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงใกล้เคียงกันในช่วงร้อยละ 12 – 13 โดยปริมาตร ($p>0.05$) ซึ่งได้ตามมาตรฐาน มพข.2/2556 คือไม่เกินร้อยละ 15 โดยปริมาตร และพบว่าทั้งสามสูตรมีปริมาณน้ำตาลเหลือในวันที่ 7 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการหมักพบว่าในช่วง 2 วันแรกของการหมัก ชุดที่ใช้ น้ำเมล็ดสีเขียวทำให้ยีสต์มีการใช้น้ำตาลอย่างรวดเร็วและมีการผลิตแอลกอฮอล์ได้เร็วกว่าชุดที่ใช้ น้ำเมล็ดสีส้ม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณสารอาหารและน้ำตาลเริ่มต้นในน้ำคั้นเมล็ดที่แตกต่างกัน โดยชุดที่ใช้ น้ำเมล็ดสีเขียวจะมีความหวานเริ่มต้นจากน้ำตาลกลูโคสในเมล็ดสูงถึง 16-18 องศาบริกซ์ ซึ่งน้ำตาลกลูโคสเป็นน้ำตาลที่ยีสต์สามารถใช้ในการเจริญและผลิตเอทานอลได้ดี (Erian and Sauer, 2022) ในขณะที่ชุดที่ใช้ น้ำเมล็ดสีส้มจะมีการเติมน้ำตาลทรายซึ่งเป็นน้ำตาลซูโครส เพื่อปรับความเข้มข้นน้ำตาล ทำให้ยีสต์จะมีการใช้น้ำตาลและการผลิตเอทานอลช้ากว่า และพบว่าการเจือจางน้ำเมล็ดสีส้มทำให้ยีสต์มีการใช้น้ำตาลและผลิตเอทานอลได้ช้ากว่า และค่าพีเอชมีการลดลงช้ากว่าด้วย ซึ่งอาจเนื่องจากการเจือจางทำให้สารอาหารที่จำเป็นสำหรับยีสต์เจือจางไปด้วย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Suyotha and Bunrung (2021) ที่ศึกษาอัตราส่วนเนื้อสละและชนิดของยีสต์ที่เหมาะสมต่อการผลิตไวน์ และพบว่าการใช้ปริมาณเนื้อสละที่อัตราส่วนต่ำ มีผลทำให้ระยะเวลาในการหมักไวน์เกิดขึ้นช้ากว่าการใช้เนื้อสละที่อัตราส่วนสูง

สำหรับการประเมินความชอบ ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมของไวน์เมล็ด แสดงผลดัง Table 1 พบว่าทั้งสามสูตรได้รับคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าไวน์เมล็ดทั้งสองสายพันธุ์ได้รับคะแนนการยอมรับมากกว่าร้อยละ 60 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไวน์ผลไม้ จากงานวิจัยของ Gómez et al. (2008) ที่ศึกษาการใช้วัตถุดิบเมล็ดที่ผ่านการวิธีการเตรียมแตกต่างกัน คือ น้ำเมล็ดจากการคั้น เนื้อเมล็ดบดที่ปอกเปลือกก่อน และเนื้อเมล็ดบดที่ไม่ปอกเปลือก พบว่าวิธีการที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดคือ น้ำเมล็ดจากการคั้นและเนื้อเมล็ดบดที่ปอกเปลือกก่อน และชุดที่ปรับพีเอชให้เป็น 3.8 ก่อนหมักจะให้แอลกอฮอล์ที่สูงและมีกลิ่นรสที่ดีกว่าการไม่ปรับพีเอช เนื่องจากการปรับพีเอชจะส่งผลให้สามารถคงสารระเหยไวน์ไวน์ได้ดีกว่า ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำน้ำเมล็ดจากการคั้นและมีการปรับพีเอชก่อนการหมัก จึงทำให้ไวน์เมล็ดที่ได้มีกลิ่นหอม ซึ่งผลจากการทดลองครั้งนี้ได้เลือกน้ำเมล็ดเนื้อสีเขียว เนื่องจากมีอัตราการผลิตแอลกอฮอล์เร็วกว่าการใช้น้ำเมล็ดเนื้อสีส้ม และเลือกใช้สัดส่วนน้ำเมล็ดต่อน้ำ 1:2 เนื่องจากมีต้นทุนวัตถุดิบต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น

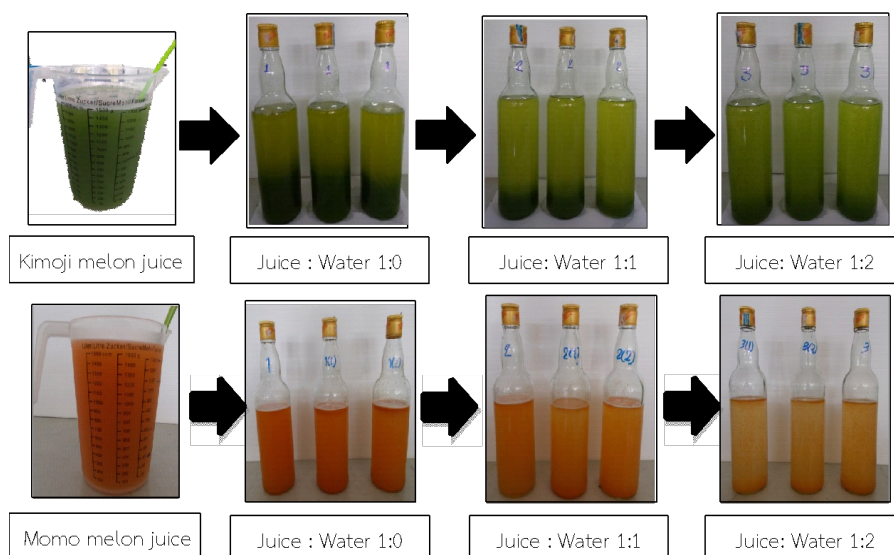


Figure 1 Preparation of melon juice for wine fermentation.

Table 1 Sensory evaluation results of melon wine with different ratio of melon juice to water

Ratio of melon juice to water	Sensory evaluation results				
	Appearance	Color	Odor	Flavor	Overall
Green melon					
1:0	7.17±1.41 ^a	6.90±1.42 ^a	6.47±1.64 ^a	5.43±1.28 ^a	5.37±1.62 ^a
1:1	7.00±1.31 ^a	7.83±1.30 ^a	6.26±1.63 ^a	5.93±1.80 ^a	6.47±1.06 ^a
1:2	7.43±0.84 ^a	7.30±1.27 ^a	6.43±1.20 ^a	6.70±1.13 ^a	6.93±1.06 ^a
Orange melon					
1:0	7.00±1.39 ^a	7.13±1.41 ^a	6.00±1.79 ^a	5.40±1.65 ^a	6.17±1.57 ^a
1:1	7.37±1.11 ^a	7.27±1.15 ^a	6.53±1.69 ^a	5.93±1.84 ^a	6.43±1.50 ^a
1:2	6.50±1.54 ^a	6.30±1.72 ^a	6.57±1.26 ^a	6.67±1.60 ^a	6.87±1.38 ^a

Different superscript letters in the same column indicate significant differences between 6 treatments ($p \leq 0.05$).

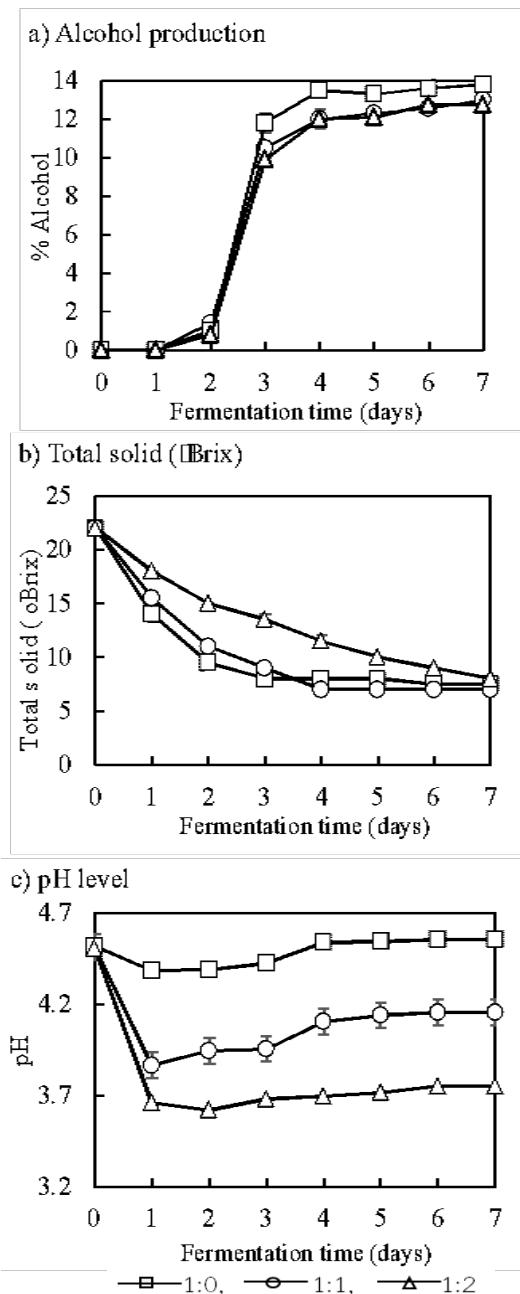


Figure 2 Effect of melon juice ratio on fermentation of orange melon wine at room temperature for 7 days. There was no significant difference between treatments for alcohol and total solid at day 7 ($p>0.05$).

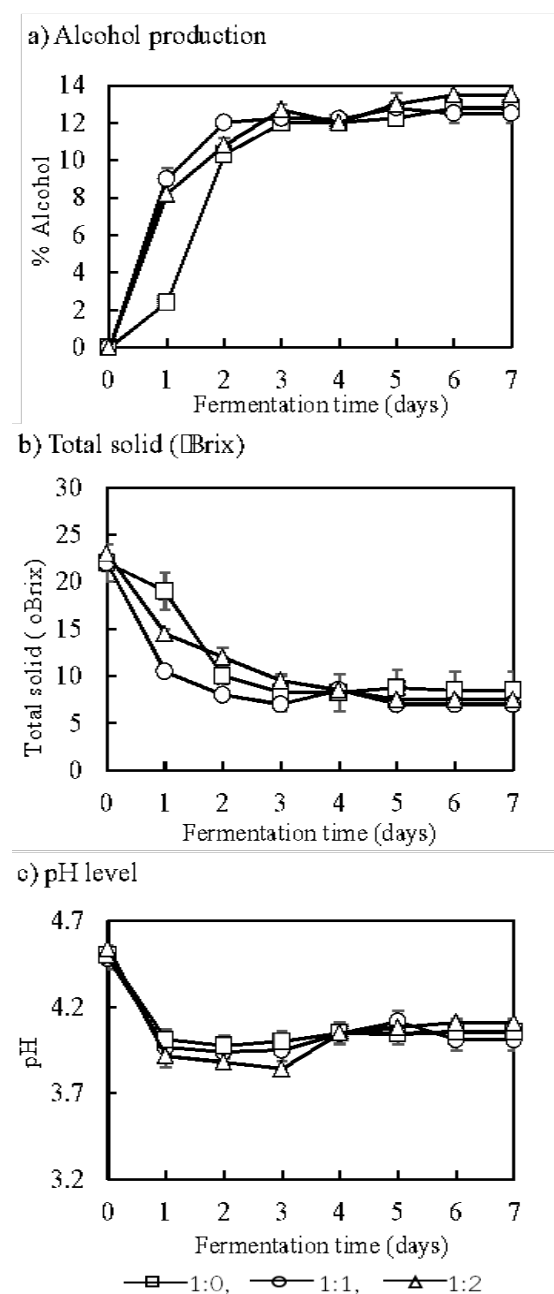


Figure 3 Effect of melon juice ratio on fermentation of green melon wine at room temperature for 7 days. There was no significant difference between treatments for alcohol and total solid at day 7 ($p>0.05$).

ผลของระยะเวลาในการหมักไวน์เมล่อนเนื้อสีเขียว

จากการทดลองก่อนหน้านี้พบว่าการใช้เมล่อนเนื้อสีเขียวให้ผลการผลิตไวน์เร็วกว่า และสูตรที่ใช้สัดส่วนน้ำเมล่อนต่อน้ำที่ 1:2 มีต้นทุนต่ำสุด จึงทำการวิเคราะห์ผลของระยะเวลาต่อการหมักไวน์ที่ใช้สัดส่วนน้ำเมล่อนต่อน้ำที่ 1:2 ใน Figure 2 และ Figure 3 พบว่ายีสต์ผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงตั้งแต่การหมักในวันที่ 2 ที่ร้อยละ 10.80 ± 0.40 โดยปริมาตร และมีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นร้อยละ 12.70 ± 0.30 ถึง 13.50 ± 0.10 โดยปริมาตร ในวันที่ 3 ถึง 7 สำหรับปริมาณน้ำตาลพบว่าในวันที่ 2 มีน้ำตาลเหลืออยู่ 12.00 ± 1.00 องศาบริกซ์ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการหมักขึ้นเป็น 3 ถึง 7 วัน ทำให้ยีสต์มีการใช้น้ำตาลมากขึ้น และ

ทำให้มีน้ำตาลเหลือน้อยลงเป็น 7.50 ± 0.50 องศาบริกซ์ และพบว่าค่าพีเอชของน้ำเมลอนลดลงใกล้เคียงกันในช่วง 3.88 - 4.11 จากการเปรียบเทียบลักษณะปรากฏของไวน์เมลอนที่ได้ พบว่าค่าสีและความขุ่นที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับผลการประเมินความชอบในคุณลักษณะ ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติและความชอบโดยรวม แสดงดัง Table 2 พบว่าการหมักเป็นเวลา 2 วัน ทำให้ไวน์เมลอนได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ซึ่งคะแนนอยู่ในช่วงการยอมรับที่ร้อยละ 60 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไวน์ผลไม้ ทั้งนี้เนื่องจากหมักเป็นเวลา 2 วัน ยังมีน้ำตาลเหลือในน้ำหมักมากกว่า ทำให้มีรสชาติหวานมากกว่า

Table 2 Sensory evaluation results of green melon wine with ratio of melon juice to water at 1:2

Incubation time (days)	Sensory evaluation results				
	Appearance	Color	Odor	Flavor	Overall
2	6.96 ± 1.35^a	6.93 ± 1.31^a	6.56 ± 1.49^a	7.06 ± 1.33^a	7.10 ± 1.19^a
3	6.73 ± 1.36^a	7.03 ± 1.47^a	6.23 ± 1.94^a	5.96 ± 1.55^b	6.50 ± 1.40^b
5	6.76 ± 1.40^a	6.76 ± 1.30^a	6.33 ± 1.63^a	5.36 ± 1.60^b	5.60 ± 1.11^b
7	6.66 ± 1.44^a	6.86 ± 1.35^a	6.00 ± 1.50^a	5.60 ± 1.68^b	5.63 ± 1.53^b

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

ผลการหมักไวน์เมลอนแบบกะช้า

การหมักแบบกะช้าเป็นกระบวนการที่ดองน้ำหมักออกในช่วงเวลาที่น้ำหมักถูกเชื้อใช้น้ำตาลเกือบหมดและคงเชื้อส่วนหนึ่งไว้เป็นหัวเชื้อสำหรับการหมักในกะต่อไป โดยการหมักแบบกะช้าสามารถเพิ่มผลผลิตและมีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเทียบกับการหมักแบบกะเดียว ได้แก่ ลดต้นทุนการเตรียมหัวเชื้อ เพิ่มผลผลิตผลิตภัณฑ์ได้ สามารถลดระยะเวลาในการหมักได้เนื่องจากความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นที่สูงส่งผลให้สามารถเพิ่มอัตราการผลิตผลิตภัณฑ์ และยังสามารถลดการเกิดการยับยั้งโดยผลิตภัณฑ์ได้ (Dashti and Abdesahian, 2016) ในการทดลองนี้ได้ทำการหมักไวน์เมลอนแบบกะช้าทั้งหมด 4 รอบ ผลการทดลองดังแสดงใน Table 3 ผลการทดลองพบว่าการใช้หัวเชื้อที่เตรียมโดยการเขย่ามีผลทำให้เชื้อยีสต์ใช้น้ำตาลและผลิตแอลกอฮอล์ในการหมักกะที่ 1 สูงกว่าการใช้หัวเชื้อยีสต์ที่เตรียมโดยไม่ได้เขย่า ทั้งนี้เนื่องจากมาจากยีสต์มีการเจริญได้ดีกว่าในสภาวะที่มีออกซิเจน ทำให้ได้ปริมาณเซลล์เริ่มต้นสูงกว่า ซึ่งยีสต์มีการผลิตแอลกอฮอล์สูงถึงร้อยละ 12.57 ± 0.05 โดยปริมาตร ในช่วงเวลาที่ 48 และสามารถหมักต่อได้ถึงรอบที่ 4 ซึ่งยังคงให้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่สูงใกล้เคียงกับการหมักในรอบที่ 1 ที่ร้อยละ 12.13 ± 0.19 โดยปริมาตร ซึ่งสูงกว่าการหมักไวน์ที่ใช้หัวเชื้อที่เตรียมโดยไม่ได้เขย่าเชื้อ โดยยีสต์ผลิตแอลกอฮอล์ในช่วงเวลาที่ 48 ได้ร้อยละ 11.33 ± 0.47 โดยปริมาตร แต่มีการผลิตเพิ่มขึ้นในกะที่ 2 ซึ่งผลิตแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 12.00 ± 0.00 โดยปริมาตร และผลิตแอลกอฮอล์ได้ลดลงในกะที่ 3 และ 4 อยู่ที่ร้อยละ 10.00 ± 0.00 , 10.22 ± 0.25 โดยปริมาตร ตามลำดับ ซึ่งการหมักแบบกะช้าในการศึกษานี้ให้ประสิทธิภาพในการหมักที่สูงทั้ง 4 รอบ ในขณะที่ Liu et al. (2021) ที่ศึกษาการหมักไวน์ greengage แบบกะช้า 3 รอบ พบว่าร้อยละแอลกอฮอล์ที่ยีสต์ผลิตได้ลดลง 2 และ 4 เท่าเมื่อทำการหมักซ้ำในรอบที่สองและสาม ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากสายพันธุ์ของยีสต์ที่ใช้และองค์ประกอบในน้ำผลไม้ที่ต่างกัน

Table 3 Repeated-batch fermentation on melon wine fermentation using shaken and non-shaken inoculum

Batch No.	Use of shaken inoculum for the 1 st batch				Use of static inoculum for the 1 st batch			
	Residual sugar (°Brix)		Ethanol (%)		Residual sugar (°Brix)		Ethanol (%)	
	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
1	13.67 ± 0.47^a	6.33 ± 0.47^b	7.67 ± 0.12^c	12.57 ± 0.05^a	16.33 ± 1.25^a	9.00 ± 0.00^a	4.97 ± 0.05^c	11.33 ± 0.47^b
2	12.00 ± 0.00^b	7.00 ± 0.00^a	9.00 ± 0.00^a	12.00 ± 0.00^b	13.00 ± 0.00^b	8.00 ± 0.00^b	9.80 ± 0.16^a	12.00 ± 0.00^a
3	12.00 ± 0.00^b	7.00 ± 0.00^a	8.00 ± 0.00^b	12.00 ± 0.19^b	13.00 ± 0.00^b	9.00 ± 0.00^a	8.00 ± 0.00^b	10.00 ± 0.00^c
4	10.00 ± 0.00^c	7.00 ± 0.00^a	8.00 ± 0.00^b	12.13 ± 0.19^b	10.00 ± 0.00^c	9.00 ± 0.00^a	10.00 ± 0.00^a	10.33 ± 0.25^c

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

ผลการเติมน้ำเมล่อนสกัดเข้มข้นเพื่อปรับรสชาติไวน์เมล่อน

เนื่องจากกระหว่างการหมัก ยีสต์มีการใช้น้ำตาลเพื่อผลิตแอลกอฮอล์ ทำให้ปริมาณน้ำตาลลดลง จึงทำการปรับปรุงกลิ่นรส โดยเติมน้ำเมล่อนสกัดที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ในสัดส่วนไวน์ต่อน้ำเมล่อนสกัดที่ 1:0, 2:1, 1:1, 1:2 ผลการทดลองแสดงดัง Table 4 พบว่าเมื่อเติมน้ำเมล่อนสกัดผสมกับไวน์เมล่อนทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปริมาณกรดถูกเจือจาง เช่นเดียวกับค่าความหวานที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากน้ำเมล่อนที่เดิมเป็นเมล่อนเข้มข้นที่มีน้ำตาลเริ่มต้นที่ 22 องศาบริกซ์ ในขณะที่ปริมาณแอลกอฮอล์มีค่าลดลงเนื่องจากไวน์ถูกเจือจางด้วยน้ำเมล่อนสกัด โดยที่สัดส่วนไวน์ต่อน้ำเมล่อนที่ 2:1 ให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดที่ร้อยละ 7.6±0.10 สำหรับที่สัดส่วนไวน์ต่อน้ำเมล่อนที่ 1:1 ให้ปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 6.15±0.15 ซึ่งจัดเป็นเครื่องดื่มไซเดอร์ที่มีแอลกอฮอล์อยู่ในช่วงร้อยละ 1.2-8.5 (Liu et al., 2022) และมีความหวานมากกว่าไวน์ทั่วไป สำหรับการผสมในสัดส่วนไวน์ต่อน้ำเมล่อนที่ 1:2 นั้นมีปริมาณแอลกอฮอล์น้อยที่สุด และจากผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส พบว่าการผสมไวน์ต่อน้ำเมล่อนทุกอัตราส่วน 2:1 ได้รับคะแนนในแต่ละด้านไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Table 5)

Table 4 Effect of melon juice blend with green melon wine

Ratio of wine melon to melon juice	pH	Total acid (%)	°Brix	Alcohol (%)
1:0	3.89±0.01 ^d	0.30±0.00 ^a	9±0.00 ^d	12.05±0.05 ^a
2:1	4.06±0.01 ^c	0.18±0.02 ^b	12±0.00 ^c	7.60±0.10 ^b
1:1	4.30±0.01 ^b	0.13±0.02 ^c	14±0.00 ^b	6.15±0.15 ^c
1:2	4.54±0.01 ^a	0.10±0.00 ^d	17±0.00 ^a	3.35±0.15 ^d

Different superscript letters in the same column indicate significant differences between treatments ($p \leq 0.05$).

Table 5 Sensory evaluation results of melon juice blend with green melon wine

Ratio of wine melon to melon juice	Appearance	Color	Odor	Flavor	Overall
1:0	6.77±1.43 ^a	6.57±1.52 ^a	6.73±1.24 ^a	6.17±1.65 ^a	6.43±1.36 ^a
2:1	6.57±1.52 ^a	6.63±1.56 ^a	7.13±1.31 ^a	7.10±1.22 ^a	7.30±1.19 ^a
1:1	6.80±1.37 ^a	6.87±1.45 ^a	6.77±1.27 ^a	6.43±2.01 ^a	6.76±1.17 ^a
1:2	6.60±1.52 ^a	6.63±1.54 ^a	6.73±1.28 ^a	5.93±1.93 ^a	6.33±1.47 ^a

Different superscript letters in the same column indicate significant differences between treatments ($p \leq 0.05$).

ผลการวิเคราะห์/ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไวน์ผลไม้

จากการผลิตไวน์เมล่อนและไวน์เมล่อนผสมน้ำเมล่อนสกัดจะต้องได้รับการตรวจสอบสารต้องห้ามเพื่อเป็นการยืนยันต่อผู้บริโภค ซึ่งการทดสอบครั้งนี้ได้มีการนำไปทดสอบสารต้องห้ามได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว สารหนู และเพอร์โรไซยาไนด์ ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารที่อันตรายต่อผู้บริโภคและเป็นการทวนสอบถึงวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเนื่องจากเป็นผลผลิตจากการเกษตร นั่นคือเมล่อนปลอดสารพิษโดยสามารถระบุได้ถึงการดูแล บำรุงรักษาของผลผลิตทางการเกษตรว่าปลอดภัยต่อผู้บริโภคหรือไม่ พบว่าทั้งสองผลิตภัณฑ์ไวน์เมล่อนที่ไม่ผสมและผสมน้ำเมล่อนผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดตามมาตรฐาน มผช.2/2556 คือ ไม่เกินร้อยละ 15 โดยปริมาตร ดังแสดงใน Table 6 ซึ่งแสดงถึงความปลอดภัยของกระบวนการปลูกเมล่อนซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักของการผลิตตลอดจนถึงกระบวนการแปรรูปไวน์เมล่อน

Table 6 Comparison with the Thai community product standard (Ministry of Industry, 2003)

Chemicals	Criteria	Melon wine	Melon wine blend with melon juice
SO ₂	< 300 mg/L	ND	ND
Copper	< 5 mg/L	0.170 mg/L	0.140 mg/L
Iron	< 15 mg/L	1.550 mg/L	1.190 mg/L
Lead	< 0.2 mg/L	0.020 mg/L	0.030 mg/L
Arsenic	< 0.1 mg/L	0.020 mg/L	0.020 mg/L
Ferrocyanide	0 mg/L	ND	ND

ND means not detected.

สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองพบว่าเมล่อนสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ไวน์ได้ทั้งผลเมล่อนเนื้อสีเขียวและเนื้อสีส้ม โดยการใช้น้ำเมล่อนเนื้อสีเขียวมีอัตราการผลิตแอลกอฮอล์เร็วกว่าการใช้น้ำเมล่อนเนื้อสีส้ม ในขณะที่การใช้สัดส่วนน้ำเมล่อนต่อน้ำที่ 1:0, 1:1 และ 1:2 ให้ผลการทดสอบชิมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่การใช้สัดส่วนน้ำเมล่อนต่อน้ำ 1:2 จะมีต้นทุนวัตถุดิบต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น และพบว่าคะแนนทดสอบชิมสูงกว่าร้อยละ 60 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไวน์ผลไม้ และพบว่าการหมักเป็นเวลา 2 วัน ทำให้ไวน์เมล่อนได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมสูงกว่าชุดการทดลองอื่น จากการศึกษาการหมักแบบกะช้าพบว่าสามารถหมักไวน์เมล่อนได้ถึง 4 รอบ ทำให้สามารถลดต้นทุนการเตรียมหัวเชื้อได้ และจากการปรับปรุงรสชาติพบว่าอัตราส่วนน้ำเมล่อนที่ใช้ผสมกับไวน์ไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการผสมไวน์กับน้ำเมล่อนทำให้รสชาติไวน์หวานและมีแอลกอฮอล์น้อยลงสามารถจัดเป็นผลิตภัณฑ์ไฮเดอร์ได้

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการวิจัยถ่ายทอดเทคโนโลยี/องค์ความรู้ และนวัตกรรมจากผลการวิจัยภายใต้ทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่มงานวิจัย กำหนดสมมุติฐานงานวิจัย ออกแบบการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูล แปรผล วิพากษ์วิจารณ์ผล และเขียน Manuscript: เบญจมาศ เชียรศิลป์. ส่วนร่วมในการออกแบบการทดลอง ปฏิบัติการวิจัย วิเคราะห์ข้อมูล แปรผล วิพากษ์วิจารณ์ผล และเขียน Manuscript: อภิสรา เอียดเจริญ. ส่วนร่วมในการเขียน Manuscript: รัตนพรณ ภูมิไชยา.

เอกสารอ้างอิง

- Dashti, M. G., & Abdesahian, P. (2016). Batch culture and repeated-batch culture of *Cunninghamella bainieri* 2A1 for lipid production as a comparative study. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 13(2), 172-180.
- Erian, M. A., & Sauer, M. (2022). Utilizing yeasts for the conversion of renewable feedstocks to sugar alcohols - a review. *Bioresource Technology*, 346(4), 126296.
- Gómez, L. F. H., Úbeda, J., & Briones, A. (2008). Characterization of wines and distilled spirits from melon (*Cucumis melo* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 43(4), 644-650.
- Johnson, F., & Giulivi, C. (2005). Superoxide dismutases and their impact upon human health. *Molecular Aspects of Medicine*, 26(4-5), 340-352.
- Liu, J., Liu, M., Ye, P., He, C., Liu, Y., Zhang, S., Huang, J., Zhou, J., Zhou, R., & Cai, L. (2021). Characterization of the metabolite profile and microbial community of repeated batch and coculture-fermented greengage wine. *Process Biochemistry*, 109(1), 117-129.
- Liu, L., Zhao, P. T., Hu, C. Y., Tian, D., Deng, H., & Meng, Y. H. (2022). Screening low-methanol and high-aroma-produced yeasts for cider fermentation by transcriptive characterization. *Frontiers in Microbiology*, 13(1), 1042613.

- Ministry of Industry. (2003). Community product standard of fruit wine. **Document of CPS at 2/2003**. Agro Product Standard Office, Bangkok.
- Suphan Buri Provincial Agriculture and Cooperatives Office. (2017). **General information of melon**. Information for the Development of Agriculture and Cooperatives for Each Product of the Province. Retrieved from: <https://www.opsmoac.go.th/suphanburi-dwl-files-391691791817> (in Thai).
- Suyotha, W., & Bunrung, S. (2021). Study on Ratio of Salak Fruit and Strain of Yeast Suitable for Wine Production. **King Mongkut's Agricultural Journal**, 39(2), 156-164.

ผลของระดับความเค็มและการฉีดพ่นปุเทรสซินต่อผลผลิตและปริมาณแอนโดรกราโฟไลด์ในฟ้าทะลายโจร
Effects of Salt Level and Foliar Putrescine on Yield and Andrographolide Content of
Andrographis paniculata

บุญยิสา ตระกูลยิ่งเจริญ^{1*} และกนกกร สินมา¹

Punyisa Trakoonyingcharoen^{1*} and Kanokkorn Sinma¹

Received date: 20 มี.ค. 66 Revised date: 13 ก.ย. 66 Accepted date: 1 ต.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.005>

บทคัดย่อ

ความเค็มของดินนับเป็นปัจจัยแวดล้อมที่สำคัญมากในการจำกัดผลผลิตและปริมาณสารสำคัญของพืชหลายชนิด สารปุเทรสซินเป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยหมู่อะมิโน 2 หมู่ มีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการลดความเครียดของพืชหลายชนิด งานวิจัยจึงศึกษาถึงผลของการฉีดพ่นสารปุเทรสซินในฟ้าทะลายโจรที่ได้รับ ความเครียดจากความเค็มระดับต่างๆ ออกแบบการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์โดยจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial in CRD) จำนวน 5 ซ้ำ 2 ปัจจัย ในดินชุดกำแพงแสน กำหนดปัจจัย A เป็นระดับความเค็ม ได้แก่ 0, 5 และ 10 เดซิซีเมนส์/เมตร และ ปัจจัย B คือความเข้มข้นของสารปุเทรสซินที่ใช้ฉีดพ่นทางใบ ได้แก่ 0, 150 และ 300 พีพีเอ็ม ทำการเก็บเกี่ยวหลังปลูกฟ้าทะลายโจรได้ 120 วัน และบันทึกน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และสารแอนโดรกราโฟไลด์ ผลการทดลองพบว่าระดับความเค็มส่งผลให้ฟ้าทะลายโจรมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลดลงแต่ปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อได้รับการฉีดพ่นปุเทรสซินทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นและ H_2O_2 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับฟ้าทะลายโจรที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นสารปุเทรสซิน นอกจากนี้ยังพบว่าความเค็มทำให้ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์สะสมมากในฟ้าทะลายโจรเมื่อฉีดพ่นสารปุเทรสซินที่ระดับความเข้มข้น 150 พีพีเอ็ม ทำให้ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ต่อหน่วยน้ำหนักและปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ทั้งต้นสะสมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 80.7 และ 307.1 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ : ฟ้าทะลายโจร สารแอนโดรกราโฟไลด์ ความเครียดจากความเค็ม ความเข้มข้นสารปุเทรสซิน

Abstract

Salt stress is considered the most environmental factor for limiting yield and metabolite content of many plant species. Putrescine is an organic substance consisting of two amine groups. Putrescine plays an important role in many processes in plant growth and stress responds. This study investigated the effects of foliar application of putrescine ($C_4H_{12}N_2$) on yield and andrographolide content of *Andrographis paniculata* under different salinity levels. The research was designed with completely randomized experimental plan (Factorial in CRD) replicating 5 times with 2 factors in Kamphaeng Saen soil experimental sample. Factor A indicated salinity level which were at 0, 5, and 10 dS/m, and Factor B indicated putrescine concentration which were at 0, 150, and 300 ppm. Harvest was 120 days after planting. Dry and fresh weight of the shoots, H_2O_2 , and andrographolide content were recorded. The results indicated that salinity level caused a significant decrease in fresh and dry weight of the shoot but there was an increase in H_2O_2 content. The application of Putrescine foliar significantly increased the weight and decreased H_2O_2 content compared to no Putrescine application. It was also found that the salinity caused the accumulation of andrographolide in *Andrographis paniculata*. The cumulative amount of andrographolide was significantly at the highest at 150 ppm of Putrescine at 80.7 and 307.1 mg/g, respectively.

Keywords: *Andrographis paniculata*, andrographolide, salinity stress, putrescine concentration

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ม.เกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม 73140

¹ Soil Science Department, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Nakhonpathom 73140

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

คำนำ

ความเค็มของดิน (soil salinity) เป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของการผลิตพืช การกระจายของพื้นที่ดินเค็มในโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้เนื่องจากสาเหตุ 3 ประการ คือ (1) การชลประทานด้วยน้ำที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน (2) การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ ซึ่งมีผลให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น และ (3) ช่วงแล้งต่อเนื่องยาวนานกว่าเดิมทำให้การระเหยน้ำจากดินมากขึ้น จึงมีการเคลื่อนย้ายของเกลือจากดินชั้นล่างมาสะสมในดินชั้นบน ดังนั้นการจัดการสภาพแวดล้อมให้พืชเจริญได้ใกล้เคียงสภาพปกติภายใต้สภาพความเค็ม จึงเป็นการศึกษาที่มีความสำคัญ ความเค็มกระทบต่อสรีระและเมแทบอลิซึมของพืช 3 ประการ ดังนี้ ประการที่ 1 ความเค็มทำให้มีอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น อนุมูลอิสระที่พบมากคือ ออกซิเจนชนิดไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species; ROS) รูปที่พบบ่อยทั่วไปคือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในภาวะปกติหรือภาวะที่มีความเครียดเล็กน้อย ROS เกิดขึ้นเพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ เพื่อให้เซลล์พืชปรับตัวทั้งด้านสรีรวิทยา และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน ทำให้เกิดการสังเคราะห์สารต้านออกซิเดชันและสารเมแทบอลิต์อื่นๆ ที่เป็นสารประกอบออกฤทธิ์เชิงชีวภาพ เช่น สารแอนโดรกราโฟไลด์ แต่ถ้าพืชได้รับความเครียดรุนแรงหรือยาวนาน ทำให้ออกซิเจนชนิดไวต่อปฏิกิริยามีมาก จะทำลายเซลล์ด้วยการออกซิไดส์ดีเอ็นเอ และโมเลกุลของสารที่สำคัญอื่นๆ ทำให้เซลล์ตายในที่สุด (Osotsapa, 2017) ประการที่ 2 ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินลดลง ทำให้ปริมาณน้ำในพืชน้อยลง และประการที่ 3 พืชสะสมไอออนแอมโมเนียมและคลอไรด์ไอออนในเซลล์มากเกินไปจนเกิดภาวะไม่สมดุลของไอออนต่าง ๆ ในเซลล์ (ionic imbalance) และเกิดความเป็นพิษของไอออนแอมโมเนียมและคลอไรด์ไอออนต่อพืช ความเค็มจึงส่งผลกระทบต่อกระบวนการสำคัญต่างๆ ภายในเซลล์พืช รวมไปถึงเมแทบอลิซึมของชีวโมเลกุลต่างๆ (Kumar et al., 2017)

ข้อมูลพื้นที่ดินเค็มกับการผลิตพืชหลายโรรมีไม่มากนัก แต่พบว่ามีแหล่งผลิตสำคัญในจังหวัดนครปฐม ราชบุรี เพชรบุรี และชลบุรี เป็นพื้นที่ที่สามารถได้รับอิทธิพลจากความเค็มของน้ำใต้ดิน บนดิน หรือเกลือในดินได้ Talei et al. (2013) พบว่าพืชหลายโรรมีความทนเค็มได้ระดับหนึ่ง แต่ผลผลิตพืชหลายโรรมีลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อได้รับความเค็มตั้งแต่ 4 เดซิซีเมนส์/เมตร สำหรับปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อได้รับความเค็มไม่เกิน 5 เดซิซีเมนส์/เมตร แต่มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย (Rajpar et al., 2011) อย่างไรก็ตามพืชหลายโรรมีไม่สามารถงอกได้เลยเมื่อวัสดุปลูกมีความเค็ม 12 เดซิซีเมนส์/เมตร (Rajpar et al., 2007) ปัจจุบันนี้ปัญหาด้านความเค็มทั้งจากดินเค็มและน้ำเค็มมีมากขึ้น จึงน่าสนใจในการแก้ปัญหาผลผลิตและคุณภาพของพืชหลายโรรมี ซึ่งเป็นสมุนไพรที่นิยมใช้กันแพร่หลาย

พืชหลายโรรมีเป็นสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีการใช้บริโภคเพื่อรักษาโรคหลายชนิด เนื่องจากประกอบด้วยสารเมแทบอลิต์ที่สำคัญ คือ สารกลุ่มไดเทอร์พีนแลคโตน (diterpene lactones) ซึ่งมีสารแอนโดรกราโฟไลด์เป็นองค์ประกอบหลัก สารแอนโดรกราโฟไลด์มีฤทธิ์ลดไข้ ต้านการอักเสบ ต้านเชื้อไวรัส รสขม ละลายน้ำได้น้อยแต่ละลายในแอลกอฮอล์ได้ดี (Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, 2022) มีสูตรโมเลกุล $C_{20}H_{30}O_5$ มวลโมเลกุล 350.455 กรัม/โมล ปัจจุบันพืชหลายโรรมีเป็นทางเลือกหนึ่งในการรักษาโรคโควิด 19 เพราะสามารถลดอาการข้างเคียงจากไวรัสในระบบทางเดินหายใจส่วนต้นได้ จึงเป็นทางเลือกให้ประชาชนที่ต้องการหลีกเลี่ยงการใช้ยาสังเคราะห์ทางเคมีด้วยการใช้สมุนไพรแทน แต่ต้องรับประทานพืชหลายโรรมีให้ได้ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์เพียงพอต่อการควบคุมโรคได้ ตามบัญชียาหลักแห่งชาติ (National Drug System Development Committee, 2021) กำหนดให้ใช้ผงจากส่วนเหนือดินของพืชหลายโรรมี ที่มีสารสำคัญคือสารแอนโดรกราโฟไลด์ให้ผู้ป่วยโควิดอาการไม่รุนแรงทาน 180 มิลลิกรัมต่อวัน ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์จึงเป็นสารกำหนดคุณภาพของพืชหลายโรรมี โดยพบว่าในส่วนของใบพืชหลายโรรมีมีปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์สูงที่สุดและสูงในช่วงเริ่มออกดอกไม่เกิน 50% งานวิจัยในปัจจุบันพบว่าสารแอนโดรกราโฟไลด์จากพืชหลายโรรมีใช้เป็นสารหลักในการผลิตสเปรย์ไถ่ยุงธรรมชาติได้ผลดีมาก จึงเห็นได้ว่าแนวโน้มการใช้ประโยชน์จากสารแอนโดรกราโฟไลด์มีมากขึ้นและความเข้มข้นสารที่สูงมากพอเป็นปัจจัยสำคัญในการต่อยอดผลิตภัณฑ์ Pholphana et al. (2013) พบว่าการผลิตพืชหลายโรรมีในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย มีความเข้มข้นสารแอนโดรกราโฟไลด์แตกต่างกันตามพื้นที่ บางพื้นที่ผลิตได้ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ต่ำกว่ามาตรฐาน (Chuenim et al., 2006) ส่งผลต่อคุณภาพของผงสกัดพืชหลายโรรมี

งานวิจัยจำนวนมากพบว่าสารฟลูโพรสซินในการปลูกพืชภายใต้สภาพความเค็ม สามารถเพิ่มความทนทาน ความเครียดจากความเค็มได้ (Abd Elbar et al., 2019; Ghalati et al., 2020; Ma et al., 2022; Tang and Newton, 2005) เนื่องจากฟลูโพรสซินทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระดับเซลล์ สามารถควบคุมแรงดันออสโมซิส (Gill and Tuteja, 2010) เพิ่มการทำงานของปากใบ กระตุ้นการสังเคราะห์แสง เพิ่มปริมาณสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) และเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ที่ช่วยสลายออกซิเจนชนิดไวต่อปฏิกิริยา เช่น เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดีสมิเนส จึงช่วยลดปริมาณ ROS ในเซลล์พืชไม่ได้รับอันตราย อย่างไรก็ตามผลของสารฟลูโพรสซินในการปลูกพืชหลายโรรมีภายใต้สภาพความเค็มยังไม่เคยปรากฏการวิจัยมาก่อนทั้งในและ

ต่างประเทศ จึงมีแนวคิดในการศึกษาผลของความเข้มข้นปุ๋ยทรูสซินที่เหมาะสมต่อผลผลิตและสารแอนโดรกราโฟไลด์ในฟ้าทะลายโจรที่ได้รับความเค็มระดับต่าง ๆ ผลการทดลองที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการเพิ่มผลผลิตและสารสำคัญที่มีผลต่อการออกฤทธิ์ของฟ้าทะลายโจรและสมุนไพรชนิดอื่นที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มต่อไป

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบ Factorials in completely randomized design มี 2 ปัจจัยคือ ระดับความเค็ม (ปัจจัย A) และความเข้มข้นของสารปุ๋ยทรูสซิน (ปัจจัย B) โดยปัจจัยระดับความเค็ม กำหนดเป็น 0, 5 และ 10 เดซิซีเมนส์/เมตร และปัจจัยความเข้มข้นของสารปุ๋ยทรูสซินกำหนดเป็น 0, 150 และ 300 พีพีเอ็ม รวมเป็น 9 ตำรับการทดลอง การทดลองละ 5 ซ้ำ ทำการทดลองในกระถางที่บรรจุดินกำแพงแสน 5 กิโลกรัม วิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นก่อนปลูกพบว่า ดินมีไนโตรเจนทั้งหมดต่ำมาก 0.04% อินทรีย์วัตถุต่ำมาก 0.8 % ปฏิกริยาดินเป็นกลาง pH 7.3 และไม่เป็นดินเค็มซึ่งมีค่า EC 0.07 เดซิซีเมนส์/เมตร ทำการเพาะกล้าฟ้าทะลายโจรจากเมล็ดพันธุ์กำแพงแสน ย้ายปลูกเมื่อมีอายุกล้า 30 วัน และใส่ปุ๋ยสูตรเสมอ (15-15-15) ตามคำแนะนำกรมวิชาการเกษตรที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง เมื่อฟ้าทะลายโจรอายุ 60 วันและ 90 วัน หลังการย้ายกล้าลงกระถาง 1 สัปดาห์ ทำการรดน้ำที่มีความเค็มตามที่กำหนด กระถางละ 500 มิลลิลิตร วันละครึ่ง การรดน้ำที่ระดับความเค็ม 10 เดซิซีเมนส์/เมตร (เตรียมจาก NaCl 6 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร) จะทยอยเพิ่มระดับความเค็มของน้ำที่รดในต้นฟ้าทะลายโจรเพื่อป้องกันการช็อคของฟ้าทะลายโจร การรดน้ำสัปดาห์แรกจะให้น้ำที่ระดับความเค็ม 5 เดซิซีเมนส์/เมตร หลังจากนั้นรดน้ำที่ระดับความเค็ม 10 เดซิซีเมนส์/เมตร การฉีดพ่นสารปุ๋ยทรูสซินทำการฉีดตามความเข้มข้นที่กำหนดหลังย้ายกล้าไปแล้ว 20 และ 50 วัน เมื่อฟ้าทะลายโจรอายุ 120 วัน จึงเก็บผลผลิต แล้ววิเคราะห์น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน ปริมาณสารออกฤทธิ์แอนโดรกราโฟไลด์ วิเคราะห์จากใบอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอน สกัดด้วยเครื่อง soxhlet extractor ตัวทำละลายที่ใช้คือ เอทานอล ระยะเวลาในการสกัด 4 ชั่วโมง 15 นาที แล้ววัดด้วยเครื่อง High-performance liquid chromatography (Pump Delta 600E, USA) (Wongkittipong et al., 2004) แล้วนำไปคำนวณเป็นสารแอนโดรกราโฟไลด์ต่อต้น สำหรับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) สกัดจากใบสดด้วย 1% trichloro acetic acid (TCA) สารละลายที่ได้จากการเซนติฟิวส์ ถูกวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 390 นาโนเมตร (Velikova et al., 2000)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) ของข้อมูลผลผลิตฟ้าทะลายโจรและปริมาณสารสำคัญ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเหล่านี้ด้วยวิธี Duncan's multiple range tests (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS (University license)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. น้ำหนักสดและมวลแห้งส่วนเหนือดิน

เมื่อพิจารณาผลของปัจจัย A (ระดับความเค็ม) ต่อน้ำหนักสดของฟ้าทะลายโจร พบว่าน้ำหนักสดลดลงเมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น จาก Table 1 แสดงให้เห็นว่าฟ้าทะลายโจรมีน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงสุดเมื่อไม่ได้รับความเค็ม (18.31 กรัม/ต้น) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับฟ้าทะลายโจรที่ได้รับความเค็มระดับ 10 เดซิซีเมนส์/เมตร แสดงให้เห็นว่าฟ้าทะลายโจรที่ได้รับความเค็มจากโซเดียมไอออนที่ความเข้มข้นสูงส่งผลต่อผลผลิตฟ้าทะลายโจร เนื่องจากโซเดียมไอออนในดินที่มีความเข้มข้นสูง ทำให้รากพืชดูดน้ำไปใช้ได้ยาก เซลล์พืชขาดน้ำง่าย นำไปสู่การทำลายโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ การลดกิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ และระบบการสังเคราะห์แสง (Kumar et al., 2017)

เมื่อพิจารณาผลของปัจจัย B (ความเข้มข้นของปุ๋ยทรูสซิน) ต่อน้ำหนักสดของฟ้าทะลายโจรพบว่าน้ำหนักสดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของปุ๋ยทรูสซินเพิ่มขึ้น จาก Table 1 แสดงให้เห็นว่าฟ้าทะลายโจรมีน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงสุดเมื่อได้รับปุ๋ยทรูสซิน (16.60 กรัม/ต้น) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักสดเฉลี่ยที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นปุ๋ยทรูสซิน การฉีดพ่นสารปุ๋ยทรูสซิน ซึ่งจัดเป็นสารออสโมไลต์ชนิดหนึ่งทำหน้าที่ควบคุมแรงดันออสโมติกระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ (Suleiman et al., 2002) ทำให้ฟ้าทะลายโจรที่ได้รับความเค็มสามารถดำเนินกิจกรรมได้ปกติ สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ปลูกพืชในดินเค็มและฉีดพ่นด้วยสารปุ๋ยทรูสซิน ปรากฏว่าผลผลิตมากกว่าการไม่ฉีดพ่นสารปุ๋ยทรูสซิน (Elbar et al., 2019; Suleiman et al., 2002; Zapata et al., 2004)

หากพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างระดับความเค็มและความเข้มข้นของสารปุ๋ยทรูสซิน ที่ใช้ในการปลูกฟ้าทะลายโจรพบว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักสด พบว่าการฉีดพ่นสารปุ๋ยทรูสซินที่ระดับความเข้มข้น 150 พีพีเอ็มในฟ้าทะลายโจรที่ไม่ได้รับความ

เคมี ส่งผลให้น้ำหนักสดเฉลี่ยฟัทะลายโจรสูงที่สุด 20.91 กรัม/ต้น แตกต่างจากการไม่ได้รับการฉีดพ่นสารพทุเทสซินอย่างมีนัยสำคัญ เป็นเพราะสารพทุเทสซินช่วยลดผลกระทบความเครียดจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่ไม่ได้มีแต่ความเครียดจากความเค็มได้ (Gill and Tuteja, 2010) และหากได้รับความเค็มสูงที่ EC ไม่เกิน 5 เดซิซีเมนส์/เมตร การฉีดพ่นสารพทุเทสซินที่ระดับความเข้มข้น 150 พีพีเอ็ม สามารถทำให้น้ำหนักสดไม่แตกต่างจากฟัทะลายโจรที่ปลูกในสภาพปกติ (สภาพไม่ได้รับความเค็มและไม่ฉีดพ่นสารพทุเทสซิน) แต่ถ้าฟัทะลายโจรได้รับความเค็มสูงถึง EC 10 เดซิซีเมนส์/เมตร จำเป็นต้องเพิ่มความเข้มข้นของสารพทุเทสซินถึงระดับ 300 พีพีเอ็ม จึงจะมีผลให้น้ำหนักสดไม่แตกต่างจากฟัทะลายโจรที่ปลูกในสภาพปกติ

สำหรับมวลแห้งเฉลี่ยต่อต้นได้แสดงข้อมูลไปในทิศทางเดียวกับน้ำหนักสด แสดงใน Table 1 กล่าวคือฟัทะลายโจรที่ไม่ได้รับความเค็มให้มวลแห้งสูงที่สุด คือ 4.47 กรัม/ต้น ฟัทะลายโจรที่ได้รับความเค็มมีมวลแห้ง 2.47-3.45 กรัม/ต้น แตกต่างจากฟัทะลายโจรที่ไม่ได้รับความเค็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การฉีดพ่นพทุเทสซินทั้งสองระดับความเข้มข้น ทำให้มวลแห้งสูงแตกต่างจากไม่ฉีดพ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบปัจจัยร่วมระหว่างสองปัจจัย

Table 1 Mean of shoot fresh weight and dry weight at different salinity level and putrescine concentration

EC (dS/m)	Shoot fresh weight (g/plant)			Mean ¹ (Factor A = salinity level)
	Putrescine (ppm)			
	0	150	300	
0	17.66bc	20.91c	16.34bc	18.31B
5	9.63ab	17.67bc	15.76bc	14.36AB
10	4.29a	11.23abc	14.26bc	9.93A
Mean ² (Factor B = Putrescine conc.)	10.53A	15.45B	16.60B	ns

	Shoot dry weight (g/plant)			
0	4.60cd	5.09d	3.73bcd	4.47 B
5	2.13ab	4.54cd	3.67abc	3.45 A
10	1.27a	2.55abc	3.58bcd	2.47 A
Mean ² (Factor B = Putrescine conc.)	2.66A	3.89B	3.66B	ns

P-value (shoot fresh weight)			P-value (shoot dry weight)	
-EC	0.01 (*)		-EC	0.07 (*)
-putrescine	0.54 (ns)		-putrescine	0.64 (ns)
-interaction	0.44 (ns)		-interaction	0.12 (ns)
-CV (%)	40		-CV (%)	37

¹Means followed by different vertical capital letters are significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

²Means followed by different horizontal capital letters are significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

ns = not significant

2. ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

การตรวจวัดอนุมูลอิสระในรูป H_2O_2 มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Figure 1 แสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของ H_2O_2 ตามระดับความเค็ม และลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการฉีดพ่นสารพทุเทสซิน ด้วย P-value ต่ำกว่า 0.00 และสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน 27% แสดงให้เห็นว่าดินที่ได้รับความเค็มทำให้พืชสังเคราะห์อนุมูลอิสระปริมาณมากขึ้น และอนุมูลอิสระลดลงได้เมื่อมีการฉีดพ่นสารพทุเทสซิน อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่าพืชที่ไม่ได้รับความเค็ม พืชที่สังเคราะห์ H_2O_2 ปริมาณเล็กน้อยอยู่แล้วเนื่องจากในสภาพปกติเซลล์พืชมีการสร้างอนุมูลอิสระโดยเฉพาะประเภทออกซิเจนชนิดไวต่อปฏิกิริยา (Reactive Oxygen Species; ROS) เพื่อใช้กระตุ้นกระบวนการเมแทบอลิซึมในพืช (Osotsapa, 2017) แต่เมื่อพืชอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่ปกติจนพืชมี

ความเครียดและไม่ได้รับการฉีดพ่นสารพืชรสขื่น พืชจะสังเคราะห์อนุมูลอิสระ (H_2O_2) ปริมาณสูงขึ้นมาก จาก 4.33 เป็น 6.90-7.63 ไมโครโมล/มิลลิกรัม แต่เมื่อมีการฉีดพ่นสารพืชรสขื่น ทำให้ H_2O_2 ลดลง เนื่องจากสารพืชรสขื่นเป็นสารที่มีประจุบวกมาก (polycationic compound) จึงสามารถจับกับโมเลกุลที่เป็นประจุลบของออกซิเจนชนิดไวต่อปฏิกิริยา ทำให้เปลี่ยนอนุมูลอิสระไปเป็นสารที่ไม่อันตรายต่อเซลล์ (Gill and Tuteja, 2010)

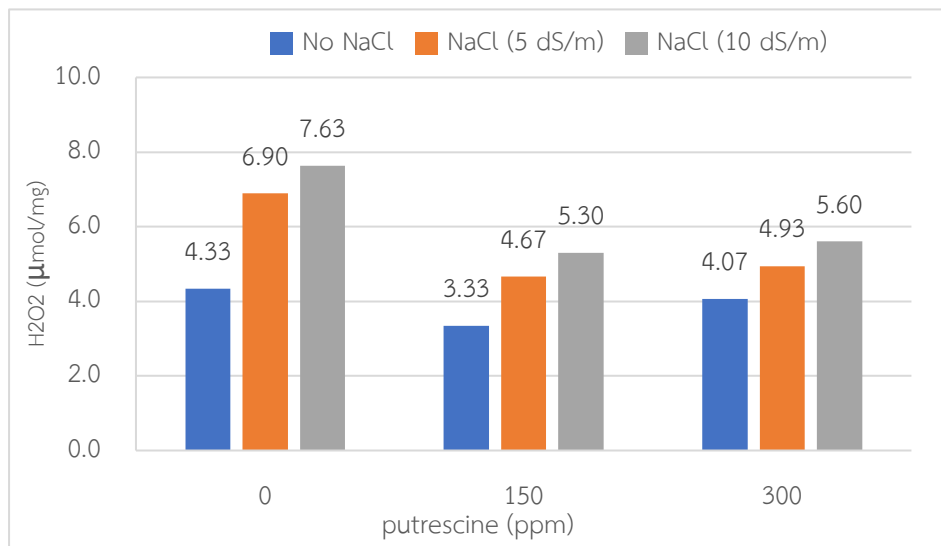


Figure 1 The influence of putrescine concentration on the H_2O_2 content under different salinity levels.

3. ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์

ระดับความเค็มทำให้ฟ้าทะลายโจรมีปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ต่อหน่วยน้ำหนักแห้งสูงมากกว่าที่ไม่ได้รับผลจากความเค็ม (Table 2) และมีค่ามากที่สุด (82.1 มิลลิกรัม/กรัม) เมื่อได้รับความเค็มสูงที่สุดที่ EC 10 เดซิเมนต์/เมตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อได้รับความเค็มที่ EC 5 เดซิเมนต์/เมตร สำหรับฟ้าทะลายโจรที่ไม่ได้รับความเค็มมีการสังเคราะห์แอนโดรกราโฟไลด์สะสมในใบน้อยที่สุด คือ 44.6 มิลลิกรัม/กรัม เนื่องจากธรรมชาติของฟ้าทะลายโจรสามารถสังเคราะห์สารแอนโดรกราโฟไลด์ได้ระดับหนึ่งอยู่แล้ว แต่เมื่อได้รับความเค็มมากขึ้นจะทำให้เกิดสภาพความเครียดซึ่งกระตุ้นให้พืชสังเคราะห์อนุมูลอิสระสูงขึ้น ในสภาพที่อนุมูลอิสระมากขึ้นพืชจะสร้างกลไกการปรับตัว 2 ทางคือ 1) ปรับสรีระภายนอก เช่น ลดขนาดใบ ทำให้ความเข้มข้นของสารแอนโดรกราโฟไลด์ต่อพื้นที่ใบสูง 2) สร้างสารเมแทบอลิต์ทุติยภูมิมาสะสมเพื่อดักจับหรือทำลายอนุมูลอิสระให้ลดลงไม่ให้มีมากจนเกิดอันตรายกับเซลล์พืช (Abd Elbar et al., 2019)

Table 2 Andrographolide content by dry weight and by dry plant weight

EC (dS/m)	Andrographolide mg/g (w/w)			Mean ¹ (salinity level)
	Putrescine conc. (ppm)			
	0	150	300	
0	34.7a	47.6ab	51.3ab	44.56A
5	68.7bc	83.1c	66.9bc	72.9B
10	63.0abc	111.3d	71.8cd	82.1B
Mean ² (Putrescine conc.)	55.5A	80.7B	63.4A	*

Andrographolide in plant (mg/dry shoot weight)				
0	165.7ab	246.9abc	194.8ab	202.4
5	144.5ab	400.9c	182.4ab	242.6
10	73.4a	273.5bc	236.7abc	194.5
Mean ² (Putrescine conc.)	127.8A	307.1B	204.6AB	ns

P-value (Andrographolide mg/g (w/w))		P-value (Andrographolide in plant)		
-EC	0.03 (*)	-EC	0.54 (ns)	
-putrescine	0.02 (*)	-putrescine	0.00 (*)	
-interaction	0.49 (*)	-interaction	0.31 (ns)	
-%CV	36	-%CV	46	

¹Means followed by different vertical capital letters are significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's multiple range test

²Means followed by different horizontal capital letters are significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's multiple range test

ns = not significant

ผลวิเคราะห์ใน Table 2 แสดงให้เห็นว่าการฉีดพ่นสารปุ๋ยเทรสซิน ทำให้ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลต์ต่อน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้น (Table 2) และมีปริมาณสารมากที่สุดเมื่อฉีดพ่นสารปุ๋ยเทรสซินที่ระดับความเข้มข้น 150 พีพีเอ็ม แตกต่างจากพืชละลายไจโรที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นและได้รับการฉีดพ่นที่ 300 พีพีเอ็ม เนื่องจากหน้าที่ของสารปุ๋ยเทรสซินส่งเสริมกระบวนการสังเคราะห์แสง กระตุ้นการสังเคราะห์เมแทบอลิต์และสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น สารแคโรทีนอยด์ กลูตาไทโอน แอนโทไซยานิน (Ben-Asher et al., 2006; Tian et al., 2009; Verma and Mishra, 2005) จึงเป็นไปได้ว่าสารปุ๋ยเทรสซินสนับสนุนการสังเคราะห์สารแอนโดรกราโฟไลต์ในพืชละลายไจโรได้ แต่การใช้สารปุ๋ยเทรสซินที่ความเข้มข้นมากเกินไป อาจกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์อาร์จินีนดีคาร์บอกซิเลส (arginine decarboxylase) ทำให้เกิดการขาด K^+ (Islam et al., 2021) การที่พืชขาดโพแทสเซียมส่งผลให้การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในคลอโรพลาสต์เกิดขึ้นมากเกินไป อิเล็กตรอนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบริเวณนั้น เกิดเป็นอนุมูลอิสระพวกออกซิเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species, ROS) และเข้าทำลายคลอโรพลาสต์ ซึ่งเป็นอวัยวะที่มีสารคลอโรฟิลล์บรรจุอยู่ คลอโรฟิลล์จึงถูกทำลายจำนวนมาก การขาด K^+ ยังทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมซิสระหว่างเซลล์กับเซลล์ข้างเคียงอย่างรุนแรง เนื่องจากเซลล์คุมจะปั๊มเอาโพแทสเซียมไอออนออกไปจากเซลล์ ศักย์ของน้ำในเซลล์คุมสูงกว่าน้ำ จึงไหลออกจากเซลล์คุมไปเซลล์ข้างเคียง ทำให้แรงดันภายในเซลล์คุมจะลดลง นำไปสู่การปิดปากใบเป็นเวลานาน จึงลดการสังเคราะห์แสง และเกิดการสลายคลอโรฟิลล์ ในที่สุดจึงเกิดภาวะพร่องคลอโรฟิลล์ จะสังเกตเห็นสีใบซีด การตายของเนื้อใบบางส่วน ดังแสดงใน Figure 2



a) EC 10 dS/M with putrescine 300 ppm



b) EC 10 dS/M without putrescine

Figure 2 Chlorosis symptom on *Andrographis paniculata* under EC 10 dS/m a) treated with 300 ppm of putrescine 300 ppm and b) without putrescine.

เมื่อคำนวณปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ต่อต้นพบว่า ระดับความเค็มไม่มีผลต่อสารแอนโดรกราโฟไลด์ทั้งต้น แต่การพ่นปุ๋ยเทรสซินมีผลให้ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ทั้งต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ฟ้ายะลายโจรที่ได้รับความเค็ม การฉีดพ่นสารปุ๋ยเทรสซินที่ระดับความเข้มข้น 150 พีพีเอ็ม มีผลต่อปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ทั้งต้นสูงที่สุด รองลงมาคือฟ้ายะลายโจรที่ฉีดพ่นสารปุ๋ยเทรสซินที่ระดับความเข้มข้น 300 พีพีเอ็ม ส่วนฟ้ายะลายโจรที่ไม่ได้การฉีดพ่นสารปุ๋ยเทรสซินมีปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ทั้งต้นต่ำที่สุดโดยเฉพาะฟ้ายะลายโจรที่ได้รับความเค็มสูงที่ EC 10 เดซิซีเมนส์/เมตร

สรุปผลการศึกษา

การปลูกฟ้ายะลายโจรในพื้นที่ได้รับผลกระทบจากความเค็ม ทำให้ผลผลิตฟ้ายะลายโจรลดลงมาก แต่ทำให้พืชมีการปรับตัวในการสังเคราะห์สารเมแทบอไลต์เพิ่มขึ้น ในที่นี้คือสารแอนโดรกราโฟไลด์ และเมื่อมีการฉีดพ่นสารปุ๋ยเทรสซินที่ระดับความเข้มข้น 150 พีพีเอ็ม จะช่วยให้ผลผลิตและปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์สูงขึ้นมากแตกต่างจากไม่ได้ฉีดพ่นหรือฉีดพ่นปุ๋ยเทรสซินที่ระดับความเข้มข้นสูงคือ 300 พีพีเอ็ม

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (idea) และ สมมติฐาน, การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria, การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล, การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม, การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript: ปุณณิศา ตระกูลยิ่งเจริญ. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการเก็บข้อมูล, การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: กนกกร สีนมา.

เอกสารอ้างอิง

- Elbar, O. A., Farag, R. E., & Shehata, S. A. (2019). Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.aas.2019.10.001>
- Ben-Asher, J., Tsuyuki, I., Bravdo, B.-A., & Sagih, M. (2006). Irrigation of grapevines with saline water: I. Leaf area index, stomatal conductance, transpiration and photosynthesis. *Agricultural Water Management*, 83(1), 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.01.002>
- Chuenim, N., Boonsuk, S., & Poopailool, P. (2006). The determination of total lactone contents in andrographis herb from various locations. In *Proceedings of the 44th Kasetsart University*, pp. 534-538. Kasetsart University. (in Thai).
- Ghalati, R. E., Shamili, M., & Homaei, A. (2020). Effect of putrescine on biochemical and physiological characteristics of guava (*Psidium guajava* L.) seedlings under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 261(1), 108961. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108961>
- Department of Thai Traditional and Alternative Medicine. (2022). **Precaution about Using “Andrographolide” in the Product “Fah Talai Joan” for “Treatment of COVID-19**. Beyond Publishing Ltd. (in Thai).
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Polyamines and abiotic stress tolerance in plants. *Plant Signaling Behavior*, 5(1), 26-33. <https://doi.org/10.4161/psb.5.1.10291>
- Islam, M. J., Ryu, B. R., Azad, M. O. K., Rahman, M. H., Rana, M. S., Lim, J. D., & Lim, Y. S. (2021). Exogenous putrescine enhances salt tolerance and ginsenosides content in Korean ginseng (*Panax ginseng* Meyer) sprouts. *Plants*, 10(7), 1313. <https://doi.org/10.3390/plants10071313>
- Kumar, J., Singh, S., Singh, M., Srivastava, P. K., Mishra, R. K., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2017). Transcriptional regulation of salinity stress in plants: A short review. *Plant Gene*, 11(1), 160-169. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.04.001>
- Ma, S., Zhou, X., Jahan, M. S., Guo, S., Tian, M., Zhou, R., & Shu, S. (2022). Putrescine regulates stomatal opening of cucumber leaves under salt stress via the H₂O₂-mediated signaling pathway. *Plant Physiology and Biochemistry*, 170(1), 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.028>
- National Drug System Development Committee. (2021). **Thai Government Gazette 138**. Retrieved from: <http://dmsic.moph.go.th/index/download/852> (in Thai).
- Osotsapa, Y. (2017). Plant stress and alleviate. *Thai Journal of Soils and Fertilizers*, 38(1), 47-78. (in Thai).
- Pholphana, N., Rangkadilok, N., Saehun, J., Ritruethai, S., & Satayavivad, J. (2013). Changes in the contents of four active diterpenoids at different growth stages in *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Nees (*Chuanxinlian*). *Chin Med*, 8(1), 2. <https://doi.org/10.1186/1749-8546-8-2>
- Rajpar, I., Khanif Y. M., & Saad, M. S. (2007). Salt tolerance in *Andrographis Paniculata* accessions. *Society for Southeast Asian Agricultural Sciences*, 13(1), 1-9.
- Rajpar, I., Yusop, M. K., Ul-hassan, Z., Shah, A. N. Arshad, M., & Galani, S. (2011). Growth, herb yield and phytochemical contents in a medicinal herb *Andrographis paniculata* under saline irrigation. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(23), 5528-33
- Suleiman, S., Wilson, C., & Grieve, C. M. (2002). Effect of salinity and exogenously applied polyamines on growth and ion relations in spinach. *Journal of Plant Nutrition*, 25(12), 2705-2717. <https://doi.org/10.1081/PLN-120015533>
- Talei, D., Valdiani, A., Maziah, M., Sagineedu, S. R., & Saad, M. S. (2013). Analysis of the anticancer phytochemicals in *Andrographis paniculata* Nees. under salinity stress. *BioMed Research International*, 2013(1), 319047. <https://doi.org/10.1155/2013/319047>
- Tang, W., & Newton, R. J. (2005). Polyamines reduce salt-induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia Pine. *Plant Growth Regulation*, 46(1), 31-43. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-6395-0>
- Tian, Y., Wang, Q., Zhang, L., Kang, G., Yang, L., Hao, H., & Cong, P. (2009). Promotion effect of exogenous putrescine on anthocyanin accumulation in ‘Red Fuji’. *Apple Fruits*, 44(03), 310-316. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-3466.2009.03.007>
- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, 151(1), 59-66. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1)
- Verma, S., & Mishra, S. N. (2005). Putrescine alleviation of growth in salt stressed Brassica juncea by inducing antioxidative defense system. *Journal of Plant Physiology*, 162(6), 669-677. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.08.008>
- Wongkittipong, R., Prat, L., Damronglerd, S., & Gourdon, C. (2004). Solid-liquid extraction of andrographolide from plants—experimental study, kinetic reaction and model. *Separation and Purification Technology*, 40(2), 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2004.02.002>
- Zapata, P. J., Serrano, M. a., Pretel, M. T., Amorós, A., & Botella, M. Á. (2004). Polyamines and ethylene changes during germination of different plant species under salinity. *Plant Science*, 167(4), 781-788. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.05.014>

ผลของระดับโปรตีนในอาหารผสมครบส่วนต่อการกินได้ การย่อยได้
และสมรรถภาพการเจริญเติบโตในลูกแพะนมเมื่อได้รับกระถินหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ
Effects of Protein Levels in Total Mixed Rations on Feed Intake Digestibility and Growth
Performance in Dairy Goats when Fed with *Leucaena leucocephala* Silage as Roughage
Source

จิระวัลย์ โคตรศักดิ์^{1*}, เฉลิมพล เยื้องกลาง¹, ไกรสิทธิ์ วสุเพ็ญ¹, ศศิพันธ์ วงศ์สุทธาวาส¹, เบญจมาศ คนแข็ง¹
Jiravan Khotsakdee^{1*}, Chalermpon Yuangklang¹, Kraisit Vasupen¹, Sasiphan Wongsuthavas¹, Benjamad Khonkhaeng¹

Received date: 21 มิ.ย. 65 Revised date: 4 ต.ค. 66 Accepted date: 5 ต.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.006>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระดับโปรตีนในอาหารผสมครบส่วนต่อการกินได้ การย่อยได้ และสมรรถภาพการเจริญเติบโตในลูกแพะนมเมื่อได้รับกระถินหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ ใช้แพะนมลูกผสมชาแนล จำนวน 8 ตัว แบ่งเป็นเพศเมีย 4 ตัว และเพศผู้ 4 ตัว แะถูกขังในคอกขังเดี่ยว แะถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่มการทดลอง คือ กลุ่มที่1 (T1) ระดับโปรตีนรวมต่ำ 8% และ และกลุ่มที่2 (T2) ระดับโปรตีนรวมสูง 10% โดยให้อาหารในรูปแบบอาหารผสมครบส่วน โดยมีกระถินหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบหลัก โดยมีสัดส่วนระหว่าง อาหารหยาบ (60) ต่ออาหารข้น (40) ผลการทดลองพบว่าระดับโปรตีนรวมในสูตรอาหารมีผลต่อปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการแลกเนื้อในแพะไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อแพะได้รับอาหารผสมครบส่วนที่มีระดับโปรตีนรวมสูงและต่ำ มีค่าการกินได้เท่ากับ 706 และ 678 กรัมวัตถุดิบแห้งต่อวัน ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตต่อวันมีค่าเท่ากับ 100.80 และ 112.90 กรัมต่อวัน ตามลำดับ และอัตราการแลกเนื้อมีค่าเท่ากับ 6.96 และ 6.57 ตามลำดับ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าระดับโปรตีนในอาหารผสมครบส่วน ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันและอัตราการแลกเนื้อ และค่าการย่อยได้โภชนะของแพะ เมื่อได้รับกระถินหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

คำสำคัญ: กระถินหมัก โปรตีน การเจริญเติบโต อาหารผสมครบส่วน

Abstract

This experiment aimed to study the effects of protein levels in total mixed rations on feed intake digestibility and growth performance in dairy goats when fed with *Leucaena leucocephala* silage as roughage source. Eight goats (four females and four males) were divided into two groups (each group consisted of two female and two male goats). There were two treatment groups; T1 = 8.0% CP in total diet and T2 = 10% CP in total diet. *Leucaena* silage was used as a roughage source. The ratio between roughage to concentrate was set at 40:60. The results showed that protein level in mixed ration affecting the feed intake, average daily gain, and feed conversion had no statistically significant difference ($P>0.05$). When the goats were fed with total mixed rations (TMR) containing high and low protein, the feed intakes were 708 and 678 gDM/d, respectively. The average daily gain in goats that were fed with TMR containing high and low protein were 100.80 and 112.90 g/d, respectively ($P>0.05$), and the feed conversion ratio (FCR) in goats were 6.96 and 6.57, respectively ($P>0.05$). Based on experimental data, it can be concluded that protein level in total mixed ration did not influence feed intake, average daily gain, feed conversion ratio and nutrient digestibility in dairy goats fed with *Leucaena* silage as a roughage source.

Keywords: *Leucaena leucocephala* silage, protein, growth performance, total mixed rations

¹ สาขาสัตวศาสตร์ คณะวนัตกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000

¹ Animal science, Faculty of Agricultural Innovation and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon ratchasima 30000

Corresponding Author, Email: jiravan.kh@rmuti.ac.th

คำนำ

แพะเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็กมีระบบการกินการย่อยอาหารคล้ายกับโค สามารถเปลี่ยนอาหารที่มีคุณภาพต่ำให้เปลี่ยนเป็นเนื้อได้ แต่อย่างไรก็ตามการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องในเขตร้อนจึงมีความจำเป็นต้องมีการเสริมแหล่งอาหารโปรตีนและพลังงานเพื่อให้จุลินทรีย์ ในกระเพาะรูเมนที่ทำหน้าในการย่อยอาหารเยื่อใยและเป็นแหล่งโปรตีนที่ได้จากจุลินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง การจัดการด้านอาหารจึงมีความสำคัญ เมื่อคิดจากต้นทุนทั้งหมด พบว่า เป็นต้นทุนค่าอาหารประมาณร้อยละ 60 - 70 ของต้นทุนทั้งหมดในการเลี้ยงสัตว์ กระณิน (*Leucaena leucocephala*) เป็นพืชอาหารสัตว์เขตร้อนมีคุณค่าทางอาหารสูงสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารโปรตีนสำหรับสัตว์และหาได้ง่ายในท้องถิ่นที่ใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบได้ กระณินมีโปรตีนรวมเป็นองค์ประกอบร้อยละ 17 - 24.4 (Harun et al., 2017) มีอัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักร้อยละ 36 นอกจากนี้ยังมีแทนนินช่วยทำให้การใช้ประโยชน์ของโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีประสิทธิภาพในการใช้โปรตีนจากวัตถุดิบอาหารได้เพิ่มมากยิ่งขึ้น โดยการป้องกันการเกิด bloat และเพิ่ม by pass ของ non-ammonia nitrogen และ amino acid ส่งผลต่อการเพิ่ม microbial protein ที่ไหลผ่านมายังลำไส้เล็ก (Saha et al., 2008) เนื่องจากสารแทนนินเป็นสารประกอบโพลีฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพยาธิตัวกลมในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ได้ (Romero et al., 2018) แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีสารพิษไมโมซิน (Mimosine) ที่มีผลทำให้ความเข้มข้นของฮอร์โมนจากต่อมธัยรอยด์ลดลง ส่งผลให้สัตว์ไม่อยากกินอาหารและการเจริญเติบโตต่ำลง (Sharma et al., 2011) แต่ปัจจุบันพบว่ามีจุลินทรีย์ *Synergistes jonesii* ในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่ง จุลินทรีย์ชนิดนี้สามารถทำลายพิษของไมโมซินได้ (Derakhshani et al., 2016) ดังนั้นจึงสามารถนำกระณินมาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับแพะได้ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกช่วยลดต้นทุนในการผลิตแพะ และยังสามารถเสริมคุณค่าทางอาหารให้กับสัตว์ได้ ทำให้มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Zayed et al., 2018) จากรายงานพบว่า การเพิ่มกระณินในระดับร้อยละ 1 ร่วมกับอาหารชั้นร้อยละ 1 ทำให้คุณภาพของอาหารดีขึ้น โดยแพะสามารถเพิ่มน้ำหนักและการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม (8.76 และ 9.02 กก. และ 92.21 และ 94.91 กรัม/ตัว/วัน) (Maksiri et al., 2017) อย่างไรก็ตามการจัดการการให้อาหารสัตว์มีหลายแบบ การให้ในรูปแบบอาหารผสมครบส่วนเป็นอีกวิธีที่ช่วยลดการสูญเสีย การเลือกกินของสัตว์และยังเป็นการช่วยปรับความสมดุลของความเป็นกรด ด่างในกระเพาะรูเมน จากการศึกษาพบว่าอาหารผสมครบส่วนมีการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุในโคที่ได้รับอาหารผสมครบส่วนหมักมีค่าสูงกว่าโคที่ได้รับอาหารผสมครบส่วน และการหมักช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารในโคนมเพศผู้ดีขึ้น (Vasupen et al. 2006) การศึกษาการใช้อาหารผสมครบส่วนหมักในโคนมที่ไม่ให้ผลผลิต Yuangklang et al. (2004) พบว่าโคนมที่ได้รับอาหารผสมครบส่วนหมัก มีปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของโภชนะสูงกว่าโคนมที่ได้รับอาหารผสมครบส่วน

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของระดับโปรตีนในอาหารผสมครบส่วนต่อการกินได้การย่อยได้ และสมรรถภาพการเจริญเติบโตในลูกแพะนมลูกผสมซาเนนเมื่อได้รับกระณินหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

วิธีการศึกษา

สัตว์ทดลองและอาหาร

แพะนมลูกผสมซาเนน อายุเฉลี่ย 5 เดือน ทั้งหมดจำนวน 16 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 16.25 กิโลกรัม (สัตว์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์แล้วเลขที่ใบอนุญาตใช้สัตว์ คือ U1-05114- 2559) เลี้ยงในกรงขังเดี่ยว ก่อนทำการทดลองให้สัตว์กินอาหารควบคุมเป็นเวลา 7 วัน เพื่อสัตว์ได้คุ้นเคยกับอาหารที่จะทดสอบ หลังจากนั้นให้แพะได้รับอาหารทดลองในแต่ละสูตร โดยใช้กระณินหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบและอาหารชั้นที่ระดับโปรตีนที่ต่างกัน 2 ระดับ คือ กลุ่มที่ 1 (T1) ระดับโปรตีนรวมต่ำร้อยละ 8 และกลุ่มที่ 2 (T2) ระดับโปรตีนรวมสูงร้อยละ 10 โดยให้อาหารในรูปแบบอาหารผสมครบส่วน โดยมีอัตราส่วนของอาหารหยาบ (60) ต่ออาหารชั้น (40) ระยะเวลาในการเลี้ยง 90 วัน จาก Table 1 ผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการอาหารของอาหารที่ใช้เลี้ยงแพะอยู่ในระดับที่สามารถใช้เลี้ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากอาหารที่ใช้เลี้ยง ควรมีระดับโปรตีนไม่น้อยกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ จึงจะมีระดับโปรตีนที่เพียงพอสำหรับการดำรงชีพ หากแพะได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนหยาบที่ต่ำกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลต่อการกินอาหารลดลง ทำให้การทำงานของกระเพาะรูเมนไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากระดับโปรตีนในอาหารที่ต่ำ มีผลทำให้จำนวนจุลินทรีย์ลดน้อยลงไม่เพียงพอในการย่อยอาหาร ทำให้แพะใช้ประโยชน์จากอาหารได้ลดลงและอาจทำให้แพะได้รับโภชนะได้ไม่เพียงพอ (Pralomkarn, 1995) โดยสัตว์ได้รับอาหารทุกสูตรได้คำนวณให้มีระดับโภชนะตามความต้องการของแพะ ตามคำแนะนำของ NRC (1981) (Table 1) แพะทุกตัวก่อนนำเข้างานทดลองมีการถ่ายพยาธิภายใน และการกำจัดพยาธิภายนอก

Table 1 The ingredient and chemical composition of diet in the experiment (g/kg DM)

	Leucaena silage	Concentrate 12%	Concentrate 16%
Ingredient, % dry matter			
Soybean meal		8.0	15.0
Cassava chip		55.5	48.0
Corn distillers dried grains		10.0	10.0
Rice bran		10.0	10.0
Dried Cassava leaves		10.0	10.0
Urea		1.5	2.0
Molasses		4.0	4.0
Salt		0.5	0.5
Mineral and vitamin mixture ^{1/}		0.5	0.5
.....%Dry matter basis.....			
Ash	6.8	15.5	15.5
Crude protein	8.0	12.0	16.0
Ether extract	2.5	2.0	3.9
Neutral detergent fiber	63.0	29.0	27.0
Acid detergent fiber	31.0	14.0	13.5
^{2/} ME (MJ/kg DM)	ns	12.42	12.51

^{1/}Mineral and vitamin mix: provided per kg of concentrate including vitamin A, 5000 IU; vitamin D3, 2,200 IU; vitamin E, 15 IU; Ca 8.5 g; P, 6 g; K, 9.5 g; Mg 2.4 g, Na 2.1 g, Cl 3.4 g, S 3.0 g, Co 0.16 mg, Cu 100 mg, I 1.3 mg, Mn 64 mg, Zn 64 mg, Fe 64 mg, Se 0.45 mg

^{2/}= ME (MJ/kg DM) = 0.015x DOMD (g/kg DM) (Morgan and Barber, 1979)

แผนการทดลองและการให้อาหารสัตว์ทดลอง

โดยวางแผนการทดลองและการให้อาหารสัตว์แบบทดลองสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างหนึ่งกลุ่มกับประชากรหรือเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่ม แบบ T-test อาหารทดลองที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารผสมครบส่วน โดยอาหารผสมครบส่วนที่มีสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นในอัตราส่วน 60:40 และให้กินแบบเต็มที แบ่งการให้อาหาร 2 ช่วง คือ ในช่วงเช้าเวลา 07.00 น. ในช่วงเย็นเวลา 16.00 น. ปริมาณอาหารที่ให้ในแต่ละครั้งจะชั่งน้ำหนักก่อน และอาหารที่เหลือจะชั่งออกทุกวันก่อนให้อาหารใหม่ในเวลาเช้าวันถัดไป และมีน้ำสะอาดให้แพะกินตลอดเวลา ฉีด AD3E และมีแร่ธาตุก้อนให้แพะทุกคอกให้เพียง 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณการกินได้ทั้งหมดในช่วงระยะปรับสัตว์ เพื่อให้สัตว์ทดลองกินอาหารหมดตาม สัดส่วนที่กำหนดในกลุ่มทดลอง

การเก็บข้อมูล

เก็บปริมาณการกินได้ โดยชั่งอาหารก่อนให้และชั่งออกในตอนเย็น จดบันทึกปริมาณอาหารที่เหลือ และคำนวณปริมาณอาหารที่กินได้ในแต่ละวัน และเก็บอาหารที่เหลือเพื่อนำมาวิเคราะห์ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์วัตถุแห้ง เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณการกินได้ ส่วนที่ 2 นำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง และนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 0.1 ตารางมิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาเถ้า ไขมันและโปรตีนหยาบ ตามวิธีการ AOAC (1990) และวิเคราะห์หาเยื่อใย NDF และ ADF ตามวิธีการของ Van Soest et al. (1991) สุ่มเก็บมูลทั้งหมดในช่วงวันที่

25-30, 55-60 และ 85-90 เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมี (AOAC, 1990) และนำไปคำนวณหาค่าการย่อยได้ของโภชนา (Yuangklang et al., 2004)

การคำนวณค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Gain, ADG) สามารถคำนวณจากสมการ ดังต่อไปนี้

$$ADG = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{ระยะเวลาการเลี้ยง}}$$

การคำนวณอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Feed conversion Ratio, FCR) อัตราการแลกเนื้อ สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$FCR = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด (ก.ก.)}}{\text{น้ำหนักสุดท้ายของสัตว์ (ก.ก.)}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทดสอบสมมติฐานโดยใช้ t-test โดยใช้ SPSS version 16 และเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกลุ่มอาหารทดลอง โดยใช้ Student's t test (Steel and Torries, 1980)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของลูกแพะหลังหย่านมเมื่อแพะได้รับกระถินหมักและอาหารชั้นที่แตกต่างกัน

จากการทดลอง พบว่าการใช้กระถินหมักเป็นแหล่งอาหารหย่านมร่วมกับอาหารชั้นที่ระดับโปรตีนแตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ต่อปริมาณการกินได้ของลูกแพะหลังหย่านมที่ได้รับกระถินหมักร่วมกับอาหารชั้นสูตรที่มีระดับโปรตีนสูง มีปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ (g/d DM) เท่ากับ 678.92 กรัมต่อวัน และแพะรุ่นได้รับกระถินหมักร่วมกับอาหารชั้นสูตรที่มีระดับโปรตีนต่ำมีปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบเท่ากับ 706 กรัมต่อวัน ผลของการเสริมโปรตีนที่ระดับแตกต่างกันมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตต่อวัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อลูกแพะได้รับกระถินหมักร่วมกับอาหารชั้นสูตรที่มีระดับโปรตีนสูง เท่ากับ 100.80 กรัมต่อวัน และได้รับกระถินหมักร่วมกับอาหารชั้นสูตรที่มีระดับโปรตีนต่ำเท่ากับ 112.90 กรัมต่อวัน อัตราการแลกเนื้อ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อแพะรุ่นได้รับกระถินหมักร่วมกับอาหารชั้น สูตรที่มีระดับโปรตีนสูงจะมีอัตราการแลกเนื้อสูงกว่าสูตรที่มีระดับโปรตีนต่ำมีค่าเท่ากับ 6.57 และระดับโปรตีนสูง 6.96 (Semae and Kraiprom, 2018) มีการทดแทนกระถินเป็นแหล่งอาหารหย่านมทำให้โปรตีนในอาหารทดลองเพิ่มขึ้น แพะมีน้ำหนักเริ่มต้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีน้ำหนักเริ่มต้นระหว่าง 16.40 - 18.20 กิโลกรัม ซึ่งการทดลองของ Cherdthong et al. (2016) ได้ศึกษาการใช้กระถินหมักเป็นแหล่งอาหารหย่านมในโคพื้นเมืองไทยเพศเมียพบว่ากระถินหมักมีปริมาณโปรตีนหย่านมสูงส่งผลต่อการนำไปใช้ประโยชน์ของโคเนื้อได้ดีในการเจริญเติบโต เช่นเดียวกันกับงานทดลองของ Chewprecha et al. (2012) การขุนโคด้วยการเสริมกระถินหมัก 3 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน เป็นแหล่งโปรตีนมีแนวโน้มทำให้โคมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันสูงกว่าการขุนโคด้วยการเสริมกระถินสดหรือการขุนโคโดยไม่เสริมกระถิน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Polsiri et al. (2012) ได้ศึกษาเรื่องประสิทธิภาพการขุนแพะเนื้อโดยใช้กระถินตากแห้ง พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของแพะเนื้อไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) การใช้กระถินตากแห้งแทนอาหารชั้นสำเร็จรูปในการขุนแพะเนื้อมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าการขุนด้วยอาหารชั้นสำเร็จรูป และผลของการเสริมกระถินแห้งและหมักเลี้ยงโคเนื้อ พบว่าโคที่ได้รับการเสริมกระถินหมักและได้รับการเสริมกระถินสด 3 กิโลกรัมต่อวัน มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สำหรับการเจริญเติบโตของแพะรุ่นเมื่อได้รับกระถินหมักและอาหารชั้นสองสูตร พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

Table 2 Effects of Protein Levels in Total Mixed Rations on Feed Intake and Nutrient intake (g/day) in Dairy Goats when fed with *Leucaena leucocephala* Silage as Roughage Source

Items	TMR 8	TMR 10	SEM	P-value
Feed intake				
g/d	706.00	678.92	36.59	0.72
% BW	4.27	4.07	0.22	0.66
g/kg BW ^{0.75}	82.12	82.23	4.23	0.66
ADG, g/d	112.90	100.80	8.94	0.52
FCR	6.57	6.96	0.62	0.76
Nutrient intake, g/day				
Organic matter	638.42	601.82	22.13	0.57
Crude protein	66.37	74.49	2.13	0.07
Ether extract	16.32	18.14	0.60	0.68
Neutral detergent fiber	360.61	336.94	14.41	0.42
Acid detergent fiber	196.57	182.73	7.20	0.35

TMR 8อาหารผสมครบส่วน 8 % ในอาหาร และ TMR 10 อาหารผสมครบส่วน 10 % โปรตีนในอาหาร, FCR = Feed Conversion Ratio

SEM=standard error of the mean; P<0.05

ผลของการศึกษาระดับโปรตีนในอาหารผสมครบส่วนต่อการปริมาณกินของแพะ เมื่อได้รับกระถินหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

จากการศึกษาผลของการใช้กระถินหมักและอาหารชั้นที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกันต่อปริมาณการกินได้ในแพะ (Table 2) การกินได้ของอินทรีย์วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ (CP) ไขมัน (EE) เยื่อใยที่ละลายได้ในสารละลายที่เป็นกลาง (NDF) และ เยื่อใยที่ละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรด (ADF) พบว่าแพะที่ได้รับอาหารชั้นโปรตีนสูง และโปรตีนต่ำ มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งเฉลี่ย 692.46 กรัมต่อวัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) อาหารผสมครบส่วนร้อยละ 8 ในอาหาร และ TMR 10 อาหารผสมครบส่วนร้อยละ 10 โปรตีนในอาหารซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Devendra and Burns (1983) รายงานว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อได้รับระดับระดับโปรตีนของอาหารชั้น เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ สอดคล้องกับรายงานของ Semae and Kraiprom, 2018 พบว่ามีการทดแทนกระถินเป็นแหล่งอาหารหยาบทำให้โปรตีนในอาหารทดลองเพิ่มขึ้นแต่ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) Chewprecha et al. (2012) ศึกษาการใช้กระถินหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบในโคพื้นเมืองไทยพบว่ากระถินมีปริมาณโปรตีนหยาบสูงอาจส่งผลให้สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้ดีแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

Table 3 Effects of Protein Levels in Total Mixed Rations on Digestibility in Dairy Goats when fed with *Leucaena leucocephala* Silage as Roughage Source

Items	TMR 8	TMR 10	SEM	P-value
Digestibility, %				
Dry matter	81.55	82.22	0.66	0.77
Organic matter	82.83	83.43	0.59	0.93
Crude protein	79.57	77.16	0.61	0.06
Ether extract	79.76	77.88	1.97	0.68
Neutral detergent fiber	71.47	71.90	1.08	0.98
Acid detergent fiber	47.52	49.46	1.46	0.85

SEM=standard error of the mean; P<0.05; TMR 8อาหารผสมครบส่วน 8 % ในอาหาร และ TMR 10 อาหารผสมครบส่วน 10 % โปรตีนในอาหาร

ผลของระดับโปรตีนในอาหารผสมครบส่วนต่อการปริมาณการย่อยได้ของโภชนะ

ผลของการใช้กระถินหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบในลูกแพะรุ่นต่อปริมาณการย่อยได้ (Table 3) พบว่าแพะได้รับแหล่งอาหารชั้นที่ระดับโปรตีนที่สูงและระดับโปรตีนต่ำ มีค่าการย่อยได้เฉลี่ย 81.88 กรัมต่อวัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในแพะโดยที่แพะได้รับอาหารชั้นที่ระดับโปรตีนต่างกันพบว่า มีค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุคิดเฉลี่ยต่อปริมาณวัตถุแห้งเท่ากับ 81.50 กรัมต่อวัน Chewprecha et al. (2012) ทำการศึกษาการเสริมกระถินหมักเป็นแหล่งโปรตีนมีแนวโน้มทำให้มีการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุสูงขึ้นแต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม สำหรับการย่อยได้ของแพะเมื่อได้รับอาหารชั้นที่ระดับโปรตีนต่างกันพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($P>0.05$) จากการศึกษาผลของการใช้กระถินหมักและอาหารชั้นที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกันต่อปริมาณการกินได้ในแพะ (Table 2) การกินได้ของอินทรีย์วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ (CP) ไขมัน (EE) เยื่อใยที่ละลายได้ในสารละลายที่เป็นกลาง (NDF) และ เยื่อใยที่ละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรด (ADF) พบว่าแพะที่ได้รับอาหารชั้นโปรตีนสูง และโปรตีนต่ำ มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งเฉลี่ย 692.46 กรัมต่อวัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) อาหารผสมครบส่วนร้อยละ 8 ในอาหาร และ TMR 10 อาหารผสมครบส่วนร้อยละ 10 โปรตีนในอาหารซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Devendra and Burns (1983) รายงานว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อได้รับระดับโปรตีนของอาหารชั้น เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ สอดคล้องกับรายงานของ Semae and Kraiprom (2018) พบว่าการทดแทนกระถินเป็นแหล่งอาหารหยาบทำให้โปรตีนในอาหารทดลองเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) Chewprecha et al. (2012) ศึกษาการใช้กระถินหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบในโคพื้นเมืองไทยพบว่า กระถินมีปริมาณโปรตีนหยาบสูงอาจส่งผลให้สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้ดีแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาผลของระดับโปรตีนในอาหารผสมครบส่วนต่อการกินได้การย่อยได้ และสมรรถภาพการเจริญเติบโตในลูกแพะนมเมื่อได้รับกระถินหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ ระดับโปรตีนในอาหารผสมครบส่วน (อัตราส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารชั้นเท่ากับ 60:40) ที่ระดับ 8 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวและค่าการย่อยได้โภชนะของแพะ เมื่อได้รับกระถินหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (idea) และ สมมุติฐาน: จิระวัลย์ โคตรศักดิ์. การปฏิบัติการวิจัย: การทดลอง จิระวัลย์ โคตรศักดิ์. การจัดเก็บข้อมูล: จิระวัลย์ โคตรศักดิ์ ไกรสิทธิ์ วสุเพ็ญ, ศศิพันธ์ วงศ์สุทธาวาส. การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: ไกรสิทธิ์ วสุเพ็ญ, ศศิพันธ์ วงศ์สุทธาวาส, เบญจมาศ คนแข็ง. การวิพากษ์วิจารณ์ผล: จิระวัลย์ โคตรศักดิ์, เฉลิมพล เยื้องกลาง. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript: จิระวัลย์5 โคตรศักดิ์ , เฉลิมพล เยื้องกลาง.

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. (1990). **Official Methods of Analysis**. 15th Ed. Association of Official Analytical Chemist.
- Cherdthong, A., Rakwongrit, D., Saising, T., Wachirapakorn, C., Haitook, T., Khantharin, S., Wongphitak, K., Tangmutthapattarakun, G., Seankamsorn, A., & Supapong, C. (2016). Effect of concentrate levels and protein source supplementation in Thai native cattle on intake, rumen fermentation and average daily gain. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 44(Suppl 1), 540-545. (in Thai).
- Chewprecha, W., Paladpom, A., Singpol, W., Chopamitkun, P., Ruangprim, T., & Sawanon, S. (2012). Effect of *Leucaena leucocephala* supplementation on feedlot performance, carcass characteristic and production cost of Kamphaengsaen steers. In **Proceedings of 50th Kasetsart University Annual Conference: Animals, Veterinary Medicine, Fisheries**, pp. 144-152. The Thailand Research Fund, Bangkok. (in Thai).
- Derakhshani, H., Corley, S. W., & Jassim, R. (2016). Isolation and characterization of mimosine, 3, 4 DHP and 2,3 DHP degrading bacteria from a commercial rumen inoculum. **Journal Basic Microbiology**, 56(5), 580-585.
- Devendra, C., & Burns, M. (1983). **Goat Production in Tropics**. 2nd Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham House: Farnham Royal.
- Harun, N. L. A., Alimon, A. R., Jahromi, M. F., & Samsudin, A. A. (2017). Effects of feeding goats with *Leucaena leucocephala* and *Manihot esculenta* leaves supplemented diets on rumen fermentation profiles, urinary purine derivatives and rumen microbial population. **Journal of Applied Animal Research**, 45(1), 409-416.
- Maksiri, W., Tudsri, S., Thiengham, J., & Prasanpanich, S. (2017). Supplementation of forage sorghum with meal concentrate and *Leucaena leucocephala* on goat performance with particular reference to meat essential fatty acid contents. **Agricultural Technology and Biological Sciences**, 14(11), 855-864.
- Morgan, D. E., & Barber, W. P. (1979). The advisor's approach to predicting the metabolizable energy value of feeds for ruminants. In **Recent Advances in Animal Nutrition**, pp. 93-106. Faculty of Agricultural Sciences, University of Nottingham.
- NRC. (1981). **Feeding Value of Ethanol Production By-Products**. Committee on Animal Nutrition. National Academy Press.
- Polsiri, N., Padunglerk, A., & Kongmun, P. (2012). Study of feedlot efficiency in goat meat by using dry *Leucaena leucocephala*. In **Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Plants, Animals, Veterinary Medicine, Fisheries, Agricultural Extension and Home Economics**, pp. 769-776. Kasetsart University. (In Thai).
- Pralomkarn, W. (1995). **Feed and Feeding of Goats**. Department of Animal Science Faculty of Natural resources, Prince of Songkla University.
- Romero, J. J., Zarate, M. A., Ogunade, I. M., Arriola, K. G., & Adesogan, A. T. (2018). Tropical plant supplementation effects on the performance and parasite burden of goats. **Asian-Australia Journal of Animal Sciences**, 31(2), 208-217.
- Saha, H. M., Kahindi, R. K., & Muinga, R. W. (2008). Evaluation of manure from goats fed Panicum basal diet and supplemented with Madras thorn, *Leucaena* or *Gliricidia*. **Tropical Subtropical Agroecosystem**, 8(3), 251-257.
- Semae, S., & Kraiprom, T. (2018). Effects of *Leucaena leucocephala* as roughage source on goat performance and economic worthiness. **Prince of Naradhiwas University Journal**, 10(2), 140-146. (in Thai).
- Sharma, N., Sharma, K. P., Gaur, R. K., & Gupta, V. K. (2011). Role of chitinase in plant defense. **Asian Journal Chemistry**, 6(1), 29-37.
- Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1980). **Principle and Procedures of Statistics**. 2nd Ed. McGraw-Hill Book Company.
- Vasupen, K., Yuangklang, C., Sarnklong, C., Wongsuthavas, S., Mitchaothai, J., & Srenanul, P. (2006). Effects of total mixed ration and fermented total mixed ration on voluntary feed intake, digestion nutrients digestibility, and milk production in lactating dairy cows. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 34(1), 75-82.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, 74(10), 3583- 3597.
- Yuangklang, C., Vasupen, K., Wittayakun, S., Srinanaun, P., & Sukho, C. (2004). Effect of total mixed ration and fermented total mixed ration on feed intake, ruminal fermentation, nutrient digestibility and blood metabolites in dairy cows. In **Proceeding of the 11th AAP Congress "New Dimensions and Challenges for Sustainable Livestock Farming" The Asian-Australasian Association of Animal Production Societies**, pp. 18-20. Malaysian Society of Animal Production.
- Zayed, M. Z., Sallam, S. M. A., & Shetta, N. D. (2018). Review article on *Leucaena leucocephala* as one of the miracle timber trees. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, 10(1), 1-7.

ผลของอายุการเก็บเกี่ยวต่อปริมาณสารคอร์ไดเซปินและอะดีโนซีนของถั่วงอก
Influence of Harvesting Age on Cordycepin and Adenosine Yields in *Cordyceps militaris*
Fruit Bodies

ณัฐพัชร ศรีหะนัต^{1*}, ธนภักษ์ อินยอด², ขนิษฐา ชวานนรเศรษฐ²,
ธนภัทร เต็มอารมณ² และชาตรี กอนี³

Natthapach Srihanant^{1*}, Tanapak Inyod², Khanitha Chawanorasest²,
Thanapat Termarom² and Chatree Konee³

Received date: 30 ก.ย. 65 Revised date: 26 ต.ค. 66 Accepted date: 30 ต.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.007>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบอายุการเก็บเกี่ยวถั่วงอกและเปรียบเทียบสูตรอาหารที่มีผลต่อปริมาณสารคอร์ไดเซปินและอะดีโนซีน แบ่งชุดการทดลองตามสูตรอาหาร 3 สูตร ได้แก่ ข้าวสังข์หยดผสมน้ำเปล่า (สูตรที่ 1) ข้าวสังข์หยดผสมน้ำต้มมันฝรั่ง (สูตรที่ 2) และข้าวสังข์หยดผสมผักกาดปลั่ง (สูตรที่ 3) ร่วมกับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ 60, 70, 80 และ 90 วัน วางแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 10 ขวด ผลการศึกษาพบว่าผลผลิต ปริมาณสารสารคอร์ไดเซปินและสารอะดีโนซีนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยอาหารสูตร 3 อายุการเก็บเกี่ยว 80 วัน ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงสุด 66.97 ± 1.80 และ 7.68 ± 0.58 กรัมต่อขวด ตามลำดับ อีกทั้งยังให้ผลผลิตร้อยละเฉลี่ยสูงสุด 14.40 ± 0.82 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารคอร์ไดเซปินและสารอะดีโนซีนในถั่วงอกด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่าอาหารสูตร 3 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 80 วัน มีปริมาณสารคอร์ไดเซปินเฉลี่ยสูงสุด $1,506.80 \pm 18.12$ มิลลิกรัม /100 กรัม ในขณะที่สูตร 2 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 60 วัน มีปริมาณสารอะดีโนซีนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 118.70 ± 0.82 มิลลิกรัม /100 กรัม การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวถั่วงอกคือ ที่อายุ 80 วัน ส่วนสูตรอาหารที่ให้สารคอร์ไดเซปินสูงที่สุดคือ สูตรข้าวสังข์หยดผสมกับผักกาดปลั่ง และสูตรอาหารที่ให้สารอะดีโนซีนที่สูงคือ สูตรข้าวสังข์หยดผสมกับน้ำต้มมันฝรั่ง

คำสำคัญ: ถั่วงอก คอร์ไดเซปิน อะดีโนซีน อายุการเก็บเกี่ยว ข้าวสังข์หยด

Abstract

The purpose of this study was to examine the effect of *Cordyceps militaris* mushroom's harvesting age and to compare the influence of different culture formulas that influences on cordycepin and adenosine concentrations when grown in a synthetic medium. Three formulas were employed to prepare the synthetic media: Sangyod rice (*Oryza sativa* L.) mixed with water (formula 1), Sangyod rice combined with potato aqueous extract (formula 2), and Sangyod rice blended with pupae (formula 3). Samples were harvested at 60, 70, 80, and 90 days. The experiment was arranged using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with four replications (10 bottles/formula). The results revealed statistically significant differences ($p < 0.05$) in cordycepin and adenosine concentrations. At 80 days of harvest, formula 3 provided the maximum average fresh and dry mushroom weight with 66.97 ± 1.80 and 7.68 ± 0.58 g/bottle, respectively, yielding $14.40 \pm 0.82\%$. Cordycepin and adenosine contents were analyzed using HPLC. It showed that formula 3 yielded the highest cordycepin amount ($1,506.80 \pm 18.12$ mg/100 g) at 80 days of harvest. At 60 days of harvest, formula 2 revealed the highest quantity of adenosine (118.70 ± 0.82 mg/100 g). In conclusion, the ideal harvesting period for *C. militaris* was found to be 80 days, *O. sativa* mixed with blended pupae provided the highest cordycepin contents whereas *O. sativa* combined with potato aqueous extract resulted in the highest adenosine levels.

Keywords: *Cordyceps militaris*, cordycepin, adenosine, harvesting age, Sangyod rice

¹ สาขานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ. สงขลา 90110

² สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จ.ปทุมธานี 12120

³ สถานีวิจัยและพัฒนาอาชีพแก่เกษตรกร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.ลพบุรี 15250

¹ Pest Management, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkla 90110

² Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), Pathum Thani 12120

³ Research Center (Pa-Niet), Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Lop Buri 15250

*corresponding author, E-mail: srihanant.n@gmail.com

คำนำ

ถั่งเช่าทิเบต (*Cordyceps sinensis*) หรือถั่งเช่าแท้ เป็นถั่งเช่าที่เก็บจากธรรมชาติบริเวณที่ราบสูง เจริญได้ดีในแถบเทือกเขาหิมาลัย มีสรรพคุณทางยา และมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ แพทย์แผนจีนใช้เป็นยาอายุวัฒนะ แต่เนื่องจากเห็ดถั่งเช่าชนิดนี้หาได้ยาก ต้องการอากาศเย็น จึงทำให้มีราคาที่สูงมาก (Holliday and Cleaver, 2008) แต่ยังมีเห็ดถั่งเช่าอีกชนิดหนึ่งที่มีสรรพคุณทางยาสูง สามารถเพาะเลี้ยงและควบคุมสภาวะได้ มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเช่นเดียวกัน และไม่เป็นพิษต่อผู้บริโภค คือถั่งเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*) จัดอยู่ในสกุล *Cordyceps* เป็นเห็ดที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งในกลุ่มเห็ดเป็นยา ในวงศ์ Clavicipitaceae ลักษณะเด่นของถั่งเช่าสีทอง จะมีสีเหลืองทองหรือสีเหลืองอมส้มไปจนถึงสีส้ม ถั่งเช่าสีทองจัดเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่มีประโยชน์ มีส่วนประกอบของสารอาหาร วิตามิน เกลือแร่ และแร่ธาตุ โดยเห็ดถั่งเช่าสีทองนี้ ถือเป็นเห็ดตระกูลเดียวกับถั่งเช่าทิเบต แต่ต่างสายพันธุ์หรือสปีชีส์ สำหรับการเพาะเลี้ยงถั่งเช่าสีทองในปัจจุบันนี้มีอยู่ 2 รูปแบบคือ การเพาะด้วยหนอน และอาหารสังเคราะห์ (Winkler, 2008)

ถั่งเช่าสีทองสามารถผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ คือ สารคอร์โดเซปิน (Cordycepin) และสารอะดีโนซีน (Adenosine) (Du et al., 2012; Wang et al., 2015) ซึ่งสารอะดีโนซีนมีคุณสมบัติช่วยต้านการแข็งตัวของเลือด ลดไขมันในเส้นเลือด ลดอาการเหนื่อยล้า และเพิ่มประสิทธิภาพในการไหลเวียนของเลือด (Chen et al., 2008; Das et al., 2010) ส่วนสารคอร์โดเซปินช่วยปรับและกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย เสริมสร้างสมรรถนะทางเพศ และมีกลไกการออกฤทธิ์ของถั่งเช่านี้มีหลายรูปแบบที่นำไปสู่การต่อต้านเซลล์มะเร็งที่ได้ผล เช่น การกระตุ้นภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะเจาะจง กระตุ้นกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอม และการสังเคราะห์โปรตีนเช่นเดียวกับสารต้านอนุมูลอิสระ (Xiao and Zhong, 2007; Buenz et al., 2005; Zhou et al., 2009) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yoshikawa et al. (2007) ได้ศึกษาศึกษาภาพของสารคอร์โดเซปินจากถั่งเช่าในการยับยั้งเซลล์ตั้งต้นของมะเร็งเม็ดเลือดขาวของมนุษย์ (promyelocytic leukaemia) (HL 60) พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตได้ อีกทั้งมีการศึกษาผลของคอร์โดเซปินจากถั่งเช่าในการเหนี่ยวนำการตายของเซลล์มะเร็งเต้านมของมนุษย์ คือ MDA-MB-231 และ MCF-7 ผลปรากฏว่าสารคอร์โดเซปิน สามารถทำลายเซลล์มะเร็งเต้านมทั้ง 2 ชนิด ได้เป็นอย่างดี (Choi et al., 2011) จึงทำให้ปัจจุบันถั่งเช่าสีทองได้รับความสนใจจากผู้บริโภคที่รักสุขภาพ เนื่องจากประโยชน์ที่หลากหลายทำให้ถั่งเช่าเป็นที่ต้องการในตลาด ส่งผลให้มีผลิตภัณฑ์ถั่งเช่าในหลากหลายรูปแบบ เช่น แคปซูลอาหารเสริม ถั่งเช่าผงชุป และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่งเช่า เป็นต้น ถือว่าเป็นเห็ดเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอีกชนิดของไทย ซึ่งการซื้อ - ขาย เห็ดถั่งเช่าสีทองจะอยู่ในรูปแบบอบแห้ง ราคาอยู่ที่ 15,000 บาท/กิโลกรัม และขายในระยะสั้นๆเพื่อนำไปผลิตยา โดยราคาค่อนข้างอยู่กับปริมาณสารคอร์โดเซปินและสารอะดีโนซีน ซึ่งปริมาณสารที่มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยประกอบกัน เช่น ระยะเวลาการเก็บผลผลิต อาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง และแสง เป็นต้น (Tapingka, 2012)

เนื่องจากถั่งเช่าสีทองเป็นที่ต้องการของตลาด ปัญหาของผู้ผลิต คือ ปริมาณสารสำคัญที่ไม่แน่นอนในแต่ละรอบการผลิต สาเหตุอาจเกิดได้หลายอย่าง เช่น ระยะเวลาการเก็บผลผลิต อาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง และแสง เป็นต้น เพื่อให้สามารถวางแผนการผลิตให้ผลผลิตมีความแน่นอนหรือสามารถคาดการณ์ปริมาณสารในแต่ละรอบการผลิตได้ ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาสูตรอาหารสังเคราะห์โดยใช้ข้าวสังข์หยดเป็นอาหารเพาะหลัก และระยะเวลาเป็นจำนวนวันในการเก็บผลผลิตที่ให้ปริมาณสารคอร์โดเซปินและสารอะดีโนซีนสูงสุด สามารถพัฒนาสูตรอาหารที่มีศักยภาพเพิ่มการเจริญเติบโตของเส้นใยถั่งเช่าสีทอง รวมถึงการลดต้นทุนการผลิต ก่อให้เกิดประโยชน์สำหรับผู้ประกอบการและผู้สนใจเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองต่อไปในอนาคต

วิธีการศึกษา

การแยกหัวเชื้อถั่งเช่าสีทองให้บริสุทธิ์บนอาหารวุ้น (Modified PDA)

เตรียมต้นถั่งเช่าสีทองที่เจริญเติบโตเต็มที่มีลักษณะสูง ไม่แคระ สีส้มอมเหลือง ไม่อ่อนและไม่แก่จนเกินไป เหมาะสำหรับการคัดแยก นำใบมีด เข็มเย็บเชื้อ และปากคีบลงไฟเพื่อฆ่าเชื้อ จากนั้นนำปากคีบตักถั่งเช่ามา 1 ต้น ตัดส่วนหัวและส่วนท้ายของต้นถั่งเช่าออกเพื่อป้องกันการปนเปื้อน นำส่วนตรงกลางของลำต้นมาวางลงในขวดอาหารแบบ (Modified PDA) ระวังอย่าให้ชิ้นส่วนถั่งเช่าที่วางเคลื่อนที่ นำไปบ่มในที่มืด อุณหภูมิ 22-25 องศาเซลเซียส บ่มจนเส้นใยเจริญเต็มผิวหน้าอาหาร

การเตรียมหัวเชื้อถั่งเช่าในอาหารชนิดเหลว (Modified Broth)

ปอกเปลือกมันฝรั่งหั่นเป็นลูกเต๋าวางขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักมันฝรั่ง 200 กรัม ต่อน้ำปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร นำไปล้างให้สะอาด นำไปต้มจนมันฝรั่งสุกนิ่ม กรองเฉพาะน้ำด้วยผ้าขาวบาง ปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ใส่น้ำตาลกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร, เปปโตน 5 กรัมต่อลิตร และยีสต์ 5 กรัมต่อลิตร ต้มจนละลายแล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน บรรจุสารลงใน Flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ปิดจุกสาลีแล้วหมักด้วยกระดาษหรือลूमินิยมพอยต์ทับอีกครั้ง นำไปนึ่ง

ฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลา 35 นาที เมื่ออาหารเหลวเย็น ใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร เจาะบริเวณรัศมีรอบนอกของเส้นใยบนจานอาหาร ใช้เข็มเย็บเย็บติดชิ้นวัน จำนวน 3 ชิ้น ลงในขวดอาหารเหลว บ่มบน Shaker โดยบ่มแบบเขย่า 150 รอบต่อนาที โดยเขย่า 3 ชั่วโมง พัก 3 ชั่วโมง ที่ อุณหภูมิ 22-25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ในที่มืด เพื่อให้เส้นใยเจริญ

การเตรียมอาหารเพาะเลี้ยง แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ดังนี้

สูตรที่ 1 ข้าวสังข์หยดผสมน้ำเปล่า ตวงเมล็ดข้าวสังข์หยด 30 กรัม ลงในขวดเพาะเลี้ยงขนาด 16 ออนซ์ เติมน้ำสะอาด ปริมาตร 75 มิลลิลิตร/ขวด

สูตรที่ 2 ข้าวสังข์หยดผสมน้ำต้มมันฝรั่ง (มันฝรั่ง 200 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร) เตรียมมันฝรั่งปอกเปลือกล้างให้สะอาด หั่นมันฝรั่งเป็นครึ่งวงกลมชิ้นละเท่าๆ กัน ปริมาณ 200 กรัม นำไปต้มในน้ำจนมันฝรั่งสุกนุ่ม จากนั้นกรองเอาเฉพาะน้ำแล้วปรับปริมาตร ให้ครบ 1 ลิตร ตวงเมล็ดข้าวสังข์หยด 30 กรัม ลงในขวดเพาะเลี้ยงขนาด 16 ออนซ์ เติมน้ำต้มมันฝรั่งปริมาตร 75 มิลลิลิตร/ขวด

สูตรที่ 3 ข้าวสังข์หยดผสมดักแด่ป่น (ดักแด่ 200 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร) ชั่งดักแด่ 200 กรัม นำไปปั่นในเครื่องปั่นจนละเอียด นำดักแด่ที่ปั่นละเอียดผสมกับน้ำเปล่าปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ตวงเมล็ดข้าวสังข์หยด 30 กรัม ลงในขวดเพาะเลี้ยงขนาด 16 ออนซ์ เติมน้ำดักแด่ป่น ปริมาตร 75 มิลลิลิตร/ขวด

จากนั้นนำฟางขุดที่ปิดรูด้วยเทปมาปิดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ นำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 นาที พักไว้ให้ขวดคลายความร้อนจนกระทั่งขวดเย็น เก็บเข้าห้องที่อุณหภูมิ 22-25 องศาเซลเซียส เพื่อลดการทำงานของจุลินทรีย์ระหว่างการรอการฉีดเชื้อ

การถ่ายหัวเชื้อเหลวลงในอาหารเพาะเลี้ยง

เพื่อป้องกันการปนเปื้อนทำความสะอาดฟางขุดเพาะเลี้ยง และเข็มถ่ายเชื้อด้วยแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ ถ่ายหัวเชื้อเหลวด้วยเข็มถ่ายเชื้อลงในขวดอาหารเพาะเลี้ยง ปริมาตร 3 มิลลิลิตรต่อขวด จากนั้นนำไปบ่มในที่มืด อุณหภูมิ 22 - 25 องศาเซลเซียส จนเส้นใยเจริญเต็มผิวหน้าอาหาร ประมาณ 7 วัน เมื่อเส้นใยเจริญเต็มผิวหน้าอาหาร นำไปให้แสงด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่อุณหภูมิ 22 - 24 องศาเซลเซียส เพื่อกระตุ้นให้เกิดตุ่มดอกและเป็นดอกต่อไป

การเก็บเกี่ยวผลผลิต

เมื่อถึงเข้าสีทองมีอายุครบ 60, 70, 80 และ 90 วัน ก่อนการเก็บเกี่ยวให้ทำความสะอาดอุปกรณ์และภาชนะ ฆ่าเชื้อด้วยแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ เปิดฟางขุดเพาะเลี้ยงแล้วใช้ปากคีบคีบตั้งต้นถึงเข้าออกมาวางที่ละต้นวางบนภาชนะที่เตรียมไว้ โดยดึงบริเวณโคนต้นถึงเข้าเพื่อให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ที่สุด เมื่อเก็บเสร็จนำถังเข้าไปชั่งน้ำหนักสดต่อหนึ่งขวดเพาะเลี้ยง และคำนวณผลผลิตร้อยละ (%Yield) โดยใช้สูตรดังนี้

$$\%Yield = \frac{\text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักสด}} \times 100$$

แล้วนำไปผึ่งลมให้แห้งประมาณ 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปอบความร้อนที่ 48 องศาเซลเซียส หลังจากอบนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง และให้เก็บผลผลิตไว้ในบรรจุภัณฑ์ภายใต้สภาพสุญญากาศ

การวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณสารคอร์โดเซปินและสารอะดีโนซีน ที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยวิทยาศาสตร์เกษตรและเทคโนโลยีหลังเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรธรรมชาติและเทคโนโลยีสหวิทยาเขตเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณสารคอร์โดเซปินและอะดีโนซีน ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เก็บข้อมูลจากการศึกษาปริมาณสารออกฤทธิ์สารคอร์โดเซปินและสารอะดีโนซีน วางแผนการทดลองสุ่มแบบสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่อาหารเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกันจำนวน 3 สูตร และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ 60, 70, 80 และ 90 วัน ทำทั้งหมด 4 ซ้ำๆ ละ 10 ขวด นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SAS version 9.1 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีทางสถิติ Duncan's New Multiple Range Test ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการแยกหัวเชื้อให้บริสุทธิ์และผลการเตรียมหัวเชื้อเหลว

ผลการคัดแยกเชื้อบริสุทธิ์จากถังเข้าสีทองบนอาหารแข็ง (PDA) พบว่าเส้นใยมีลักษณะแผ่ออกเป็นวงกว้างจากชิ้นส่วนเนื้อเยื่อเริ่มต้น มีลักษณะฟู หนาแน่น เปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลืองอมส้ม เส้นใยสามารถเจริญเต็มผิวหน้าอาหารเพาะเลี้ยงใช้ระยะเวลาประมาณ

20 วัน (Figure 1 A) ส่วนผลการเตรียมหัวเชื้อเห็ด (PDB) เมื่อนำชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยของถั่งเช่าสีทองเจริญเต็มที่แล้ว ซึ่งได้จากขั้นตอนการคัดแยกหัวเชื้อให้บริสุทธิ์ เชื้อลงไปในอาหารเหลว บ่มบน Shaker เขย่า 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 22-25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ในที่มืด พบว่าเส้นใยสามารถเจริญเต็มในขวดอาหารเหลว มีลักษณะเป็นเกล็ดวุ้น สีขาวขุ่น (Figure 1 B) โดยทั่วไปการผลิตดอกเห็ดถั่งเช่าบนผิวหน้าอาหารเหลว และอาหารแข็งที่ใช้ธัญพืชเป็นวัสดุปลูกมี 3 ระยะ คือ ระยะการเจริญของเส้นใย ระยะการเกิดตาดอก (primordial initiation stage) และระยะการเจริญเป็นดอกเห็ด (Liang et al., 2014) โดยแต่ละระยะต้องการองค์ประกอบของอาหารที่แตกต่างกันไป จากการเตรียมหัวเชื้อเห็ดถั่งเช่าบนอาหารเหลวที่ใช้ก่อนการนำไปถ่ายลงแต่ละชุดการทดลอง พบเส้นใยเจริญเต็มในขวดอาหารเหลวได้ดี โดยอาหารดังกล่าวมีแหล่งคาร์บอนได้แก่ มันฝรั่ง และน้ำตาลกลูโคส ส่วนแหล่งไนโตรเจน คือ เปปโตน และยีสต์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดรา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tongaram (2015) พบว่าการใช้อาหารเหลวที่มีส่วนผสม มันฝรั่ง ยีสต์สกัด เปปโตน และน้ำตาลกลูโคส เส้นใยมีการเจริญเติบโตเต็มอาหารเหลวใช้เวลาประมาณ 4.3 วัน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Chioza and Ohga (2013) การเพิ่มเปปโตนสามารถเพิ่มผลผลิตของดอกเห็ดได้อย่างมีนัยสำคัญ พบว่าสูตรอาหารที่ประกอบด้วย กลูโคส 0.325 กรัม น้ำตาลซูโครส 0.65 กรัม เปปโตน 2 กรัม และ corn steep liquor 65 มิลลิกรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร เพาะเลี้ยงที่ อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ในสภาวะไม่ให้แสงเส้นใยเจริญดีที่สุด ในขณะที่ Lan et al. (2015) พบว่าการผลิตเส้นใยของ *Cordyceps sinensis* UM01 ในอาหารเหลวโดยใช้ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 150 รอบต่อนาที ส่งผลต่อการเจริญของเส้นใยมากที่สุด

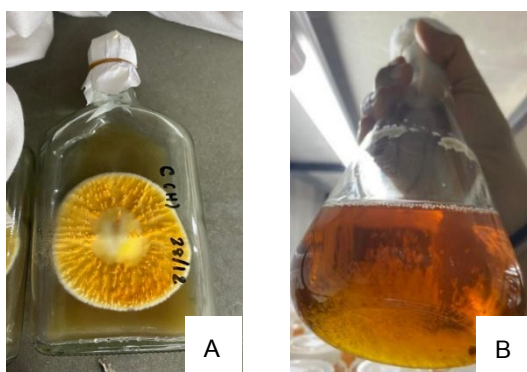


Figure 1 Mycelium growth of *C. militaris* on (A) solid medium (at day 20) and (B) submerge medium (at day 7)

ผลการเจริญของเส้นใยเห็ดถั่งเช่าสีทองภายหลังถ่ายหัวเชื้อเห็ดลงในอาหารเพาะเลี้ยง 3 ชนิด

ผลจากการถ่ายหัวเชื้อเห็ดลงในอาหารเพาะเลี้ยง และนำไปบ่มในที่มืดประมาณ 7 วัน พบว่าสูตรที่ 1 (ข้าวสังข์หยดผสม น้ำเปล่า) และสูตรที่ 2 (ข้าวสังข์หยดผสมน้ำตาลมันฝรั่ง) เส้นใยสีขาว ฟู เจริญเต็มผิวหน้าอาหารเพาะเลี้ยงได้ดีพอสมควร ในขณะที่อาหารสูตร 3 (ข้าวสังข์หยดผสมดักแด้น) เส้นใยสีขาว ฟู มีความหนาแน่นของเส้นใยมากกว่า สามารถเจริญเต็มผิวหน้าอาหารเพาะเลี้ยงได้ดีที่สุด (Figure 2 A, B และ C) ภายหลังจากให้แสงด้วยแสงฟลูออเรสเซนต์เพื่อกระตุ้นเส้นใยให้เป็นตุ่มดอก พบว่าอาหารเพาะเลี้ยงทั้ง 3 สูตร เส้นใยเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลืองอมส้มใช้ระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง แต่ไม่เกิดก้านดอกเห็ด (fruiting body) ในขณะที่อาหารสูตรที่ 3 มีการเปลี่ยนสีของเส้นใยเห็นได้ชัดเจน เส้นใยสามารถพัฒนาเป็นตุ่มดอกได้เร็วที่สุดใช้ระยะเวลาเพียง 3 วัน (Figure 2 F) ในขณะที่ในสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ใช้ระยะเวลาประมาณ 4 วัน (Figure 2 D และ E) เนื่องจากอาหารสูตรที่ 3 มีส่วนประกอบของข้าวสังข์หยดผสมดักแด้น ซึ่งอุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดอะมิโนสูง เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้างเซลล์ และมีคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของเชื้อราขึ้นสูง (Kim and Yun, 2005) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hong et al. (2010) ได้ฉีดเชื้อเห็ดถั่งเช่าสีทองเข้าไปในดักแด้นไหม (*Bombyx mori*) พบว่าสามารถพัฒนาเกิดเป็นก้านดอกเห็ดได้สมบูรณ์ และผลการศึกษาของ Waraporn (2013) พบว่าการเลี้ยงถั่งเช่าสีทอง (*C. militaris*) บนดักแด้นไหมเกิดเป็นตุ่มดอก และตุ่มดอกสามารถพัฒนาเป็น stroma อีกทั้งงานวิจัยของ Sornprasert et al. (2016) ได้เพาะเลี้ยงถั่งเช่าสีทองบนข้าวหอมนิลที่เติมอาหารเสริมผสมดักแด้น พบว่าให้จำนวนดอกหรือ stroma สูงสุด จากผลทดลองจึงสามารถกล่าวได้ว่าอาหารสูตร 3 มีส่วนประกอบของข้าวสังข์หยดผสมดักแด้นไหมมีความเหมาะสมสำหรับเพาะเลี้ยงถั่งเช่าสีทอง (*C. militaris*) โดยเส้นใยสามารถพัฒนาเป็นตุ่มดอกได้ดีที่สุด

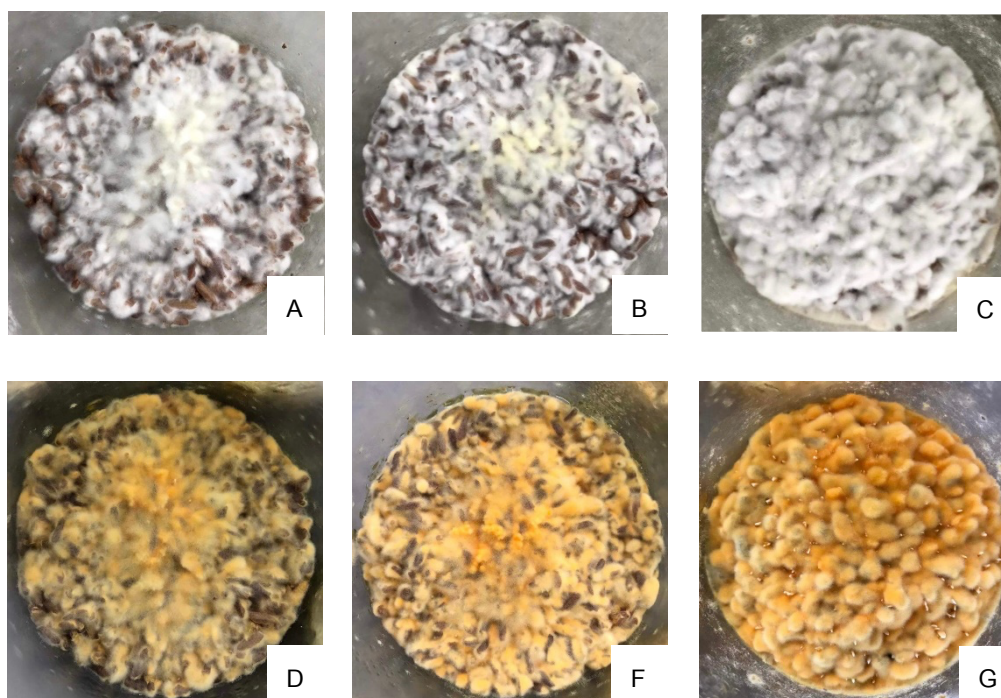


Figure 2 Morphology of *C. militaris* mycelium after 7 days in darkness (A, B, and C) and after additional 3 days in light (D, E, and F). The meadua used were Sangyod rice with water (A, D), Sangyod rice with potato (B, F) and Sangyod rice with silk pupa (C, G).

ผลการเก็บเกี่ยวผลผลิตถึงเข้าสู่ห้องที่เพาะเลี้ยงบนอาหาร 3 ชนิด อายุ 60, 70, 80 และ 90 วัน

ผลการเก็บเกี่ยวถึงเข้าสู่ห้องที่เพาะเลี้ยงในอาหารแตกต่างกัน 3 สูตร ที่อายุการเก็บเกี่ยว 60, 70, 80 และ 90 วัน (Figure 3) พบว่าสูตรอาหารสามารถพัฒนาเป็นตุ่มดอกและพัฒนาต่อเป็น stroma รูปทรงกระบอก ลักษณะสีเหลืองอมส้ม หลังจากให้นำไปชั่งน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และคำนวณผลผลิตร้อยละ พบว่าสูตรอาหารมีผลต่อน้ำหนักสดของเห็ดถึงเข้าสู่ความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 3 (ข้าวสังข์หยดผสมดักแด้น) ให้ผลต่อน้ำหนักสดมากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติต่อน้ำหนักแห้ง และผลผลิตร้อยละ ในขณะที่ช่วงอายุการเก็บเกี่ยว พบว่าถึงเข้าสู่ห้องที่อายุ 80 วัน ให้ผลของน้ำหนักสดมากที่สุด 58.01 ± 3.69 กรัมต่อขวด ในขณะที่อิทธิพลร่วมระหว่างสูตรอาหารและช่วงอายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อผลผลิตของถึงเข้าสู่ห้องแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.05$) พบว่าอาหารสูตรที่ 3 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 80 วัน ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งถึงเข้าสู่ห้องเฉลี่ยสูงสุด 66.98 ± 1.80 และ 7.68 ± 0.58 กรัมต่อขวด ตามลำดับ ในขณะที่สูตร 2 (ข้าวสังข์หยดผสมน้ำต้มมันฝรั่ง) อายุการเก็บเกี่ยว 70 วัน ให้ผลผลิตต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่ำที่สุด 43.21 ± 2.63 และ 5.60 ± 0.41 กรัมต่อขวด เมื่อนำมาคำนวณผลผลิตร้อยละของถึงเข้าสู่ห้อง พบว่าอาหารสูตร 3 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 80 วัน มีค่าเฉลี่ยร้อยละสูงสุดเท่ากับ 14.40 ± 0.82 เปอร์เซ็นต์ (Table 1) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าถึงเข้าสู่ห้องสามารถเจริญได้บนอาหารดักแด้นไหม (*Bombyx mori*) อยู่ในอันดับ Lepidoptera ประกอบกับดักแด้นไหมอุดมไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของเส้นใยถึงเข้าสู่หาได้ง่ายในท้องถิ่น และมีทุกฤดูกาล ดังนั้นอาหารสูตร 3 ที่มีส่วนประกอบของข้าวสังข์หยดผสมดักแด้นไหม ให้ผลต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และผลผลิตร้อยละมากกว่าสูตรอื่น อันเนื่องมาจากดักแด้นไหมมีองค์ประกอบของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ความชื้น และกากใย มีปริมาณเท่ากับ 55.9, 13.7, 8.5, 12.5 และ 5.6 กรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่แมลงชนิดอื่นมีปริมาณน้อยกว่า (Aramwit et al., 2014) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khumsaensr et al. (2019) ได้ศึกษาผลของการใช้แมลงกินได้เป็นส่วนผสมในอาหารต่อการเจริญเติบโตของเห็ดถึงเข้าสู่ห้อง *C. militaris* หลังจากให้แสงครบ 5 สัปดาห์ พบว่าก้อนดอกเห็ดจากการรวมวิธีที่ผสมดักแด้นไหม มีความสูงเฉลี่ยของก้อนดอกเห็ด และน้ำหนักมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mu et al. (2010) ทำการเพาะเลี้ยงถึงเข้าสู่ห้องด้วยปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เติมอาหารเสริมผสมดักแด้นไหม พบว่ามีการพัฒนาของตุ่มดอกที่มีสีส้มเข้มและให้น้ำหนักดอกสดมากที่สุด

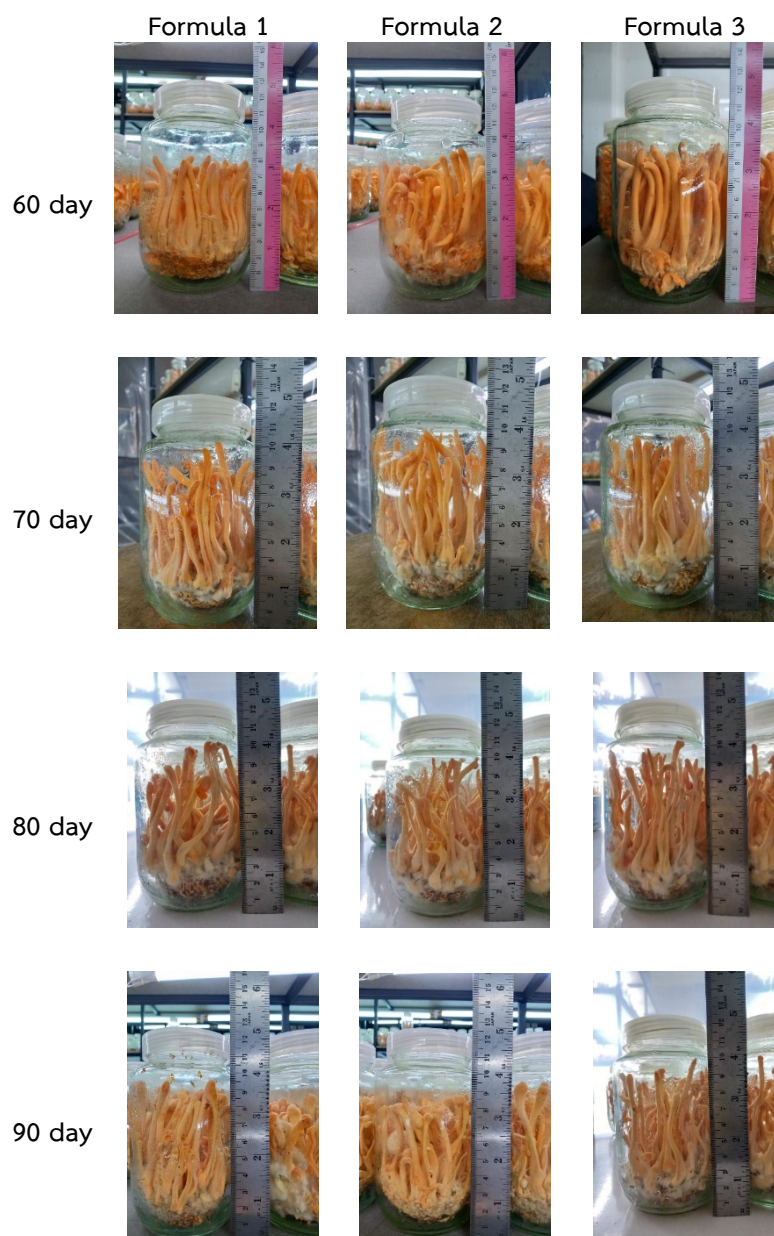


Figure 3 Fruiting bodies of *C. militaris* on different substrates, cultured for 60, 70, 80 and 90 days with exposure to light for the final 3 days.

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารคอร์ไดเซปินและอะดีโนซีนในถังเช่าสีทองที่อายุการเก็บเกี่ยว 60 70 80 และ 90 วัน

ผลการวิเคราะห์สารคอร์ไดเซปินและอะดีโนซีนในถังเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ต่างกัน 3 สูตร ที่อายุการเก็บเกี่ยว 60 70 80 และ 90 วัน พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างสูตรอาหารและช่วงอายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากการวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คือสารคอร์ไดเซปินและสารอะดีโนซีน โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี พบว่าถังเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงในสูตร 3 (ข้าวสังข์หยดผสมดักแด่ป่น) ที่อายุการเก็บเกี่ยว 80 วัน มีปริมาณสารคอร์ไดเซปินสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,506.80 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งอาหารเพาะเลี้ยงสูตรที่ 3 ประกอบด้วยวัตถุดิบที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของถังเช่าสีทอง โดยเฉพาะข้าวสังข์หยดอุดมไปด้วย กากใย ธาตุเหล็ก และมีวิตามินสูง (Itharat et al., 2016) ส่วนดักแด่ใหม่มีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และความชื้นสูงซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมการเจริญของ fruiting body รวมถึงปริมาณผลผลิตและปริมาณสารคอร์ไดเซปิน (Aramwit et al., 2014) ในขณะที่อาหารสูตร 1 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 60 วัน มีปริมาณสารคอร์ไดเซปินน้อยที่สุด 608.80 มิลลิกรัม/100 กรัม เนื่องจากมีส่วนประกอบเพียงข้าวสังข์หยดผสมน้ำเปล่า อีกทั้งยังเก็บเกี่ยวในระยะเวลาที่สั้นกว่าทำให้การผลิตสารออกฤทธิ์ได้ปริมาณต่ำกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Oh et al., (2019) รายงาน

ว่าถึงเข้าสีทองเมื่อเก็บเกี่ยวที่ระยะที่ 1-3 หรืออายุ 2-4 สัปดาห์ พบชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์น้อยกว่าถึงเข้าในระยะที่ 4 (10-11 สัปดาห์) ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณสารอะดีโนซีน พบว่าอาหารสูตรที่ 2 (ข้าวสังข์หยดผสมน้ำต้มมันฝรั่ง) ที่อายุ 60 วัน มีปริมาณสารอะดีโนซีนสูงสุดเท่ากับ 118.70 มิลลิกรัม/100 กรัม รองลงมาคืออายุการเก็บเกี่ยวที่อายุ 80 วัน มีปริมาณสารอะดีโนซีนเท่ากับ 112.30 ± 0.82 มิลลิกรัม/100 กรัม (Table 1) จะเห็นได้ว่านอกจากสูตรอาหารแล้ว อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพทั้ง 2 ชนิด โดยปริมาณสารคอร์โดเซปินที่ได้จากอาหารแต่ละสูตร เมื่ออายุมากขึ้นปริมาณสารจะเพิ่มขึ้น และพบปริมาณสูงสุดที่อายุการเก็บเกี่ยว 80 วัน จากนั้นจะลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวที่ 90 วัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hsieh et al. (2005) รายงานว่าปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ได้จะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นกับหลายปัจจัย ได้แก่สายพันธุ์เห็ด สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง ความเป็นกรด-เบสของอาหาร สภาวะแวดล้อมในการเพาะเลี้ยง ระยะเวลาที่เพาะเลี้ยงและเก็บผลผลิต รวมถึงวิธีการวิเคราะห์สาร (Huang et al., 2009) ดังนั้น สูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงถึงเข้าสีทองที่ให้ปริมาณสารคอร์โดเซปินและที่ให้สารอะดีโนซีนสูงสุด คือ สูตรอาหารที่ใช้ข้าวสังข์หยดผสมกับดักแด่ป่น (สูตรที่ 3) และข้าวสังข์หยดผสมน้ำต้มมันฝรั่ง (สูตรที่ 2) และช่วงอายุที่ 80 วัน เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บเกี่ยว เพื่อให้ได้ผลผลิตและปริมาณสารออกฤทธิ์สูง อีกทั้งทำให้ทราบระยะเวลา รอบการผลิตที่แน่นอนและเกิดประโยชน์ในกระบวนการผลิตต่อไป

สรุปผลการศึกษา

การวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าผลผลิตและปริมาณสารออกฤทธิ์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สูตรอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง อุณหภูมิ แสง และช่วงอายุการเก็บเกี่ยว เป็นต้น จากการทดลองสูตรอาหารในการเพาะเลี้ยงและอายุการเก็บเกี่ยวถึงเข้าสีทองที่เหมาะสมต่อปริมาณผลผลิต สารคอร์โดเซปินและสารอะดีโนซีน คือ อาหารสูตรที่ 3 ที่มีส่วนประกอบของข้าวสังข์หยดผสมดักแด่ป่น อายุการเก็บเกี่ยว 80 วัน ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงสุด 66.97 ± 1.80 และ 7.68 ± 0.58 กรัมต่อขวด ตามลำดับ อีกทั้งยังให้มีปริมาณสารคอร์โดเซปินเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ $1,506.80 \pm 18.12$ มิลลิกรัม /100 กรัม ในขณะที่สูตร 2 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 60 วัน มีปริมาณสารอะดีโนซีนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 118.70 ± 0.82 มิลลิกรัม /100 กรัม ทำให้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเพาะเลี้ยงถึงเข้าสีทองให้ได้ผลผลิตและให้ปริมาณสารออกฤทธิ์สูงและมีคุณภาพ จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเวลาที่เหมาะสม อีกทั้งสามารถลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยงและส่งเสริมศักยภาพในการพัฒนาการเพาะถึงเข้าสีทองในประเทศไทยต่อไป

Table 1 Effects of different formulations and harvest times on the production of fruiting bodies, cordycepin and adenosine in *C. militaris*

Factor		Fresh body (g/ bottle)	Dry body (g/ bottle)	Yields (%)	Cordycepin (mg/100 g)	Adenosine (mg/100 g)
Formula (A)						
Sangyod rice with water		57.55±3.65 ^a	6.20±0.87	11.02±0.69	806.28±93.01 ^b	58.20±6.25 ^c
Sangyod rice with potato		48.31±2.24 ^b	6.01±0.75	12.49±0.70	990.40±61.86 ^{ab}	90.98±16.29 ^b
Sangyod rice with silk pupa		57.58±2.82 ^a	6.72±0.94	11.73±1.01	1159.83±91.11 ^a	111.07±5.45 ^a
F-test		**	ns	ns	**	**
CV (%)		9.83	14.26	12.59	25.70	12.70
Harvest times (B)						
60 day		50.73±1.41 ^b	5.92±0.81	11.69±0.62	675.37±30.40 ^c	99.60±12.70
70 day		53.48±5.17 ^{ab}	6.16±0.83	11.85±0.63	863.51±71.14 ^b	86.37±12.94
80 day		58.01±3.69 ^a	6.85±0.94	11.96±1.13	1243.93±120.70 ^a	86.34±14.21
90 day		55.69±2.90 ^{ab}	6.31±0.79	11.48±1.02	1159.20±127.81 ^a	74.70±12.13
F-test		*	ns	ns	**	ns
CV (%)		12.02	14.21	13.79	17.90	27.57
Formula (A)	Harvest times (B)					
Sangyod rice with water	60 day	51.35±1.77 ^e	6.19±0.88 ^{ab}	12.05±0.82 ^{bcd}	608.80±18.89 ^l	68.80±0.83 ^f
	70 day	52.34±1.84 ^{de}	5.83±0.82 ^b	11.74±0.43 ^{cd}	690.01±17.10 ^j	56.10±0.82 ^h
	80 day	64.90±1.82 ^b	6.95±0.33 ^{ab}	10.45±1.07 ^{de}	995.30±12.47 ^e	53.30±0.82 ⁱ
	90 day	59.54±1.47 ^c	5.84±0.82 ^b	9.82±0.67 ^e	931.00±18.16 ^h	54.60±0.82 ^{hi}
Sangyod rice with potato	60 day	47.60±1.42 ^f	5.86±0.80 ^b	12.31±0.82 ^{bcd}	679.80±14.86 ^k	118.70±0.82 ^a
	70 day	43.21±2.63 ^g	5.60±0.41 ^b	12.96±0.57 ^{abc}	964.40±11.51 ^f	109.60±0.93 ^c
	80 day	53.73±1.82 ^d	5.92±0.82 ^b	11.02±0.80 ^{de}	1229.70±18.21 ^c	112.30±0.82 ^b
	90 day	48.69±1.90 ^f	6.65±0.44 ^{ab}	13.66±0.75 ^{ab}	1087.70±11.07 ^d	103.70±0.76 ^d
Sangyod rice with silk pupa	60 day	53.24±1.86 ^{de}	5.71±0.65 ^b	10.72±0.82 ^{de}	737.50±18.16 ⁱ	111.30±0.82 ^{bc}
	70 day	53.33±2.00 ^{de}	7.05±0.16 ^{ab}	10.86±0.90 ^{de}	936.10±13.68 ^g	93.40±0.81 ^e
	80 day	66.97±1.80 ^a	7.68±0.58 ^a	14.40±0.82 ^a	1506.80±18.12 ^a	93.42±0.84 ^e
	90 day	58.84±1.96 ^c	6.44±0.82 ^{ab}	10.95±0.80 ^{de}	1458.90±19.21 ^b	65.80±0.82 ^g
F-test		**	**	**	**	**
CV (%)		4.03	12.94	8.20	24.32	13.18

Mean in the same column, followed by the same latter are not significantly different by DMRT at P=0.05.

**, * Significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively. ,ns non-significant

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม: ญัฐพัชร ศรีหะนัลต. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบการทดลอง วิธีการเก็บข้อมูล: ญัฐพัชร ศรีหะนัลต, ธนภักษ์ อินยอต. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผล: ธนภักษ์ อินยอต, ธนภัทร เต็มอารมณ์, ชาตรี กอนี. การวิพากษ์วิจารณ์ผล: ญัฐพัชร ศรีหะนัลต. การมีส่วนร่วมในการเขียน: ญัฐพัชร ศรีหะนัลต, ธนภักษ์ อินยอต, ขนิษฐา ขวณะนรเศรษฐ์, ชาตรี กอนี. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ และห้องปฏิบัติการ: ขนิษฐา ขวณะนรเศรษฐ์.

เอกสารอ้างอิง

- Aramwit, P., Bang, N., Ratanavaraporn, J., Nakpheng, T., & Teerapol, S. (2014). An anti-cancer cordycepin produced by *Cordyceps militaris* growing on the dead larva of *Bombyx mori* silkworm. *Journal of Agricultural Science*, 6(6), 41-53. (in Thai).
- Buenz, E. J., Bauer, B. A., Osmundson, T. W., & Motley, T. J. (2005). The traditional chinese medicine *Cordyceps sinensis* and its effects on apoptotic homeostasis. *Journal of Ethnopharmacology*, 96(1-2), 19-29.
- Chen, X. M., Lu, J. X., Zhang, Y. D., He, J. T., Guo, X. Z., Tian, G. Y., & Jin, L. Q. (2008). Studies of macrophage immuno-modulating activity of polysaccharides isolated from *Paecilomyces tenuipes*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 43(3), 252-256.
- Choi, S., Lim, M. H., Kim, K. M., Jeon, B. H., Song, W. O., & Kim T. W. (2011). Cordycepin induced apoptosis and autophagy in breast cancer cells are independent of the estrogen receptor. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 257(2), 165-168.
- Chioza, A., & Ohga, S. (2013). Mycelial growth of *paecilomyces hepiali* in various agar media and yield of fruit bodies in rice based media. *Advances in Microbiology*, 3(1), 529-536.
- Du, L., Song, J., Wang, H., Li, P., Yang, Z., Meng, L., & Teng, L. (2012). Optimization of the fermentation medium for *Paecilomyces tenuipes* N45 using statistical approach. *African Journal of Microbiology Research*, 6(32), 6130-6141.
- Das, S. K., Masuda, M., Sakurai, A., & Sakakibar, M. (2010). Medicinal use of the mushroom *Cordyceps militaris*: Current state and prospects. *Filtoterapia*, 81(8), 961-968.
- Hong, I. P., Kang, P. D., Kim, K. Y., Nam, S. H., Lee, M. Y., Choi, Y. S., Kim, N. S., Kim, H. K., Lee, K. G. & Humber, R. A. (2010). Fruit body formation on silkworm by *Cordyceps militaris*. *Mycobiology*, 38(2), 128-132.
- Holliday, J., & Cleaver, M. (2008). Medicinal value of caterpillar fungi species of the genus *Cordyceps* (Fr.) Link (Ascomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 10(3), 219-234.
- Hsieh, C., Tsai, M., Hsu, T., Chang, D., & Lo, C. (2005) Medium optimization for polysaccharide production of *Cordyceps sinensis*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 120(2), 145-157.
- Huang, L., Li, Q., Chen, Y., Wang, X., & Zhou, X. (2009). Determination and analysis of cordycepin and adenosine in the products of *Cordyceps* spp. *African Journal of Microbiology Research*, 3(12), 957-961.
- Itharat, A., Uttama, S., & Makchuchit, S. (2016). Anti-inflammatory activities of constituents in sang yod rice extracts, γ -oryzanol, vitamins E, B1, B2 and B3, using inhibitory effects on nitric oxide (NO) production in lipopolysaccharide (LPS) activated RAW 264.7 murine macrophage cells. *Medicinal and Aromatic Plants*, 5(3), 1-6.
- Khumsaensr, S., Kulsarin, J., Tapingkae, T., Buranapanichpan, S., & Kumpiro, S. (2019). Effects of edible insects as ingredient in sabouraud dextrose broth and culture media on growth of gold *Cordyceps*, *Cordyceps militaris* (L.) Link. *Journal of Agriculture*, 35(3), 365-374. (in Thai).
- Kim, H. O., & Yun, J. W. (2005). A comparative study on the production of exopolysaccharides between two entomopathogenic fungi *Cordyceps militaris* and *Cordyceps sinensis* in submerged mycelial cultures. *Journal of Applied Microbiology*, 99(4), 728-738.
- Lan, Y. W., Kit, C. D., Lan, M. J., & Zhao, S. P. (2015). Fermentation optimization for the production of bioactive polysaccharides from *Cordyceps sinensis* fungus UM01. *International Journal of Biological Macromolecules*, 79(1), 180-185.
- Liang, Z. C., Liang, C. H., & Wu, C. Y. (2014). Various grain substrates for the production of fruiting bodies and bioactive compounds of the medicinal caterpillar mushroom, *Cordyceps militaris* (Ascomycetes). *International Journal of Medical Sciences Mushrooms*, 16(6), 569-578.
- Mu, X., Fa, J. C., Shuai, C., Yu, L. C., Xing, L., Jiao, L., Xue, H., & Hong, L. X. (2010). Effects of Light Hours on Growth and Development of *Cordyceps militaris*. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 14(12), 160-170.

- Oh, J., Yoon, D., Shrestha, B., Choi, H., & Sung, G. (2019). Metabolomic profiling reveals enrichment of cordycepin in senescence process of *Cordyceps militaris* fruit bodies. **Journal of Microbiology**, 57(1), 54-63.
- Sornprasert, R., Hambananda, A., & Aroonsrimorakot, S. (2016). Cultivation of *Cordyceps militaris* Using Different Cereal Geains and Local Insects and Inhibitory Efficiency Against *Trichophyton rubrum* and *Staphylococcus aureus*. **The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok**, 26(2), 239-251. (in Thai).
- Tapingka, T. (2012). Cordyceps mushroom cultivation. **Kehakaset**, 36(4), 113-117.
- Tongaram, Y. (2015). A comparative study of *Cordyceps militaris* (Tung Chao) culture from liquid and solid inoculation on growth medium mixed with thai millet. **CRMA Journal**, 13(1), 87-99. (in Thai).
- Wang, J., Kan, L., Nie, S., Chen, H., Cui, S. W., & Phillips, A. O. (2015). A comparison of chemical composition, bioactive components and antioxidant activity of natural and cultured *Cordyceps sinensis*. **Food Science and Technology**, 63(1), 2-7.
- Waraporn, S. (2013). Development of culture media inducing stroma production of *Cordyceps sp.* **Khon Kaen Agriculture Journal**, 20(Suppl 1), 492-497. (in Thai).
- Winkler, D. (2008). Yartsa gunbu (*Cordyceps sinensis*) and the fungal commodification of Tibet's rural economy. **Journal of Economic and Taxonomic Botany**, 6(1), 291-305.
- Xiao, J. H., & Zhong, J. J. (2007). Secondary metabolites from Cordyceps species and their antitumor activity studies. **Recent Patents on Biotechnology**, 1(2), 123-137.
- Yoshikawa, N., Nakamura, K., Yamaguchi, Y., Kagota, S., Shinozuka, K., & Kunitoma, M. (2007). Cordycepin and *Cordyceps sinensis* reduce the growth of human promyelocytic leukaemia cells through the Wnt signalling pathway. **Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology**, 34(1), 61-63.
- Zhou, X., Gong, Z., Su, Y., Lin, J. & Tang, K. (2009). Cordyceps fungi: Natural products, pharmacological functions and developmental products. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, 61(3), 279-291.

อัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรในเขตภาคกลาง Digital Intelligence Quotient for Operation of Agricultural Extension Officers in The Central Region, Thailand

วัชรภรณ์ ประทุมโพธิ์^{1*}, พิชัย ทองดีเลิศ¹ และพัชราวดี ศรีบุญเรือง¹
Watcharaporn Prathumpo^{1*}, Pichai Tongdeelert¹ and Patcharavadee Sriboonruang¹

Received date: 17 ต.ค. 66 Revised date: 27 ต.ค. 66 Accepted date: 27 ต.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.008>

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) อัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร และ 2) เปรียบเทียบอัจฉริยภาพทางดิจิทัลทั้ง 8 ด้าน จำแนกตามลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล และลักษณะการใช้งานเทคโนโลยีดิจิทัล บางประการ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ คือ นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรในเขตภาคกลางจำนวน 9 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร ชัยนาท นนทบุรี ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา ลพบุรี สระบุรี สิงห์บุรี และอ่างทอง ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย จำนวน 231 คน เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม โดยมีความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.851 ในช่วงเดือนสิงหาคม - กันยายน พ.ศ. 2566 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบสมมติฐานด้วยค่า t-test, F-test และวิเคราะห์ความแตกต่างรายคู่ด้วยวิธี LSD ผลการวิจัย พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรมีอัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานส่งเสริมการเกษตรโดยรวมอยู่ในระดับมาก (= 2.41) ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีเพศและระดับการศึกษาแตกต่างกันจะมีอัจฉริยภาพทางดิจิทัลที่แตกต่างกันที่ระดับ 0.05 ส่วนอายุและการรู้จักช่องทางสื่อดิจิทัลที่ใช้งานแตกต่างกันมีอัจฉริยภาพทางดิจิทัลที่แตกต่างกันที่ระดับ 0.01 ปัญหาอัจฉริยภาพทางดิจิทัลของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร คือ การเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วของเทคโนโลยีดิจิทัล ทำให้นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีอายุมากมีปัญหาเรื่องการติดตามใช้เทคโนโลยี ซึ่งทำให้เกิดความล่าช้าในการปฏิบัติงาน ทั้งนี้ นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรควรตระหนักถึงภัยจากโลกดิจิทัลด้วยการเฝ้าหาความรู้ ด้านรักษาความเป็นส่วนตัว ด้านการจัดสรรเวลาหน้าจอ และด้านการบริหารจัดการข้อมูลของผู้ใช้งานมีการทิ้งร่องรอยไว้บนโลกออนไลน์

คำสำคัญ: อัจฉริยภาพทางดิจิทัล เทคโนโลยีดิจิทัล นักส่งเสริมการเกษตร เขตภาคกลาง

Abstract

The objectives of this study were to study 1) digital intelligence quotient of operations of agricultural extensionists, and 2) comparison of 8 aspects of digital intelligence, classified according to basic personal characteristics and some characteristics of digital technology usage. The sample group used were agricultural extensionists in the central region of 9 provinces, namely Bangkok, Chainat, Nonthaburi, Pathum Thani, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Lopburi, Saraburi, Singburi, and Ang Thong, using Simple Random Sampling, totaling 231 people. Data were collected by questionnaire with a confidence value of 0.851 during August - September 2023. Statistics used in the analysis include frequency, percentage, mean, and standard deviation. Hypothesis was tested by t-test, F-test, and pairwise difference analysis by LSD method. The results showed that the digital intelligence quotient of agricultural extensionists was in high level. (= 2.41). From the hypothesis, it was found that agricultural extensionists with different gender and educational levels differed in digital intelligence quotient at the statistically significant level of 0.05. As for age and media literacy, the difference was at the statistically significant level of 0.01. The problem of digital intelligence quotient for agricultural extensionists was rapid changes in digital technology which gave older agricultural extensionists a hard time to follow. However, agricultural extensionists should be aware of the dangers of the digital world by pursuing more knowledge in the topics of Privacy Management, Screen Time Management, and Digital footprints.

Keywords: Digital Intelligence Quotient, digital technology, agricultural extensionist, the Central Thailand

¹ ภาควิชาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Agricultural Extension and Communication, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

*Corresponding author: agrpct@ku.ac.th

คำนำ

ในปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกมีแนวโน้มของการพัฒนาของเทคโนโลยีอย่างก้าวกระโดด (The Office of the National Economic and Social Development Council, 2022) สอดคล้องแนวคิดประเทศไทย 4.0 ที่มีการกำหนดทิศทางปรับเปลี่ยนภาครัฐเป็นรัฐบาลดิจิทัล และพัฒนากำลังคนให้พร้อมเข้าสู่ยุคสังคมดิจิทัล สอดคล้องกับข้อมูลการพัฒนาดิจิทัลคนไทย พบว่ามีผู้รับบริการออนไลน์จากภาครัฐเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตและการปรับเป็นรัฐบาลดิจิทัล (Digital Government) เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการใช้งาน (Office of the National Digital Economy and Society Commission, 2013) ส่งผลให้กรมส่งเสริมการเกษตรที่มีภารกิจหลักในการรับผิดชอบงานส่งเสริมการเกษตร ซึ่งมีนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรเป็นตัวแทนประสานในการปฏิบัติงานกับเกษตรกรทั่วประเทศ ปรับกระบวนการทำงานเพิ่มเติม โดยเน้นให้อยู่บนระบบออนไลน์ แอปพลิเคชัน และการทำงานผ่าน Platform ต่างๆ ทำให้เข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและเป็นปัจจุบัน (Department of Agricultural Extension, 2018)

การมีอัจฉริยภาพทางดิจิทัล (Digital Intelligence Quotient) จึงเป็นกรอบแนวคิดสำคัญที่ครอบคลุมชุดของความสามารถทางเทคนิค ความรู้ความเข้าใจ อภิปัญญา และความสามารถทางสังคมและอารมณ์ที่มีพื้นฐานมาจากค่านิยมทางศีลธรรมสากลและช่วยให้บุคคลสามารถเผชิญกับความท้าทายและใช้ประโยชน์จากโอกาสของชีวิตดิจิทัล (DQ Institute, 2021) ซึ่งในช่วงทศวรรษที่ 1980 เรานิยมวัดความฉลาดจากความฉลาดทางปัญญา (Intelligence Quotient, IQ) และในช่วงกลางทศวรรษที่ 90 เรานิยมวัดด้วยความฉลาดทางอารมณ์ (Emotional Intelligence Quotient, EQ/EI) ซึ่งในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้เข้าสู่ยุคของอัจฉริยภาพทางดิจิทัล (Digital Intelligence Quotient, DQ/DI) เนื่องจากเป็นชุดกลุ่มความสามารถทางสังคม อารมณ์ และการรับรู้ รวมถึงความรู้ ทักษะและค่านิยมที่จำเป็นในยุคดิจิทัล (Wisniewska-Paz, 2018) และมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับนักส่งเสริมการเกษตรที่ต้องปฏิบัติงานกับเทคโนโลยีดิจิทัลมากขึ้น ประกอบกับสำนักงานส่งเสริมและพัฒนากการเกษตรที่ 1 จังหวัดชัยนาท มีพื้นที่ทั้งหมด 12.69 ล้านไร่ และมีพื้นที่ทางการเกษตร จำนวน 7.625 ล้านไร่ ครอบคลุมทั้ง 9 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร ชัยนาท นนทบุรี ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา ลพบุรี สระบุรี สิงห์บุรี และอ่างทอง (Office of Agricultural Extension and Development No. 1, 2022) ซึ่งอยู่ในเขตภาคกลาง และเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณการใช้งานนวัตกรรมและเทคโนโลยีดิจิทัลในการทำงานของนักส่งเสริมการเกษตรมากที่สุด (Agritech and Innovation Center, 2022)

จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยมองเห็นความจำเป็นในการพัฒนาอัจฉริยภาพทางดิจิทัลของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร เพื่อให้การปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Seeniang et al., n.d.) ได้ทำการศึกษาความคิดเห็นของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรต่อระบบส่งเสริมการเกษตร: กรณีศึกษาพื้นที่ภาคกลาง พบว่า การพัฒนาศักยภาพบุคลากรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเป็นสิ่งสำคัญ รวมถึงการพัฒนาด้านความรู้ด้านเทคโนโลยี และเทคนิควิธีในการเข้าถึงและแก้ไขปัญหาทางการเกษตร และสอดคล้องกับทักษะด้านดิจิทัลของข้าราชการและบุคลากรภาครัฐ (Office of the Civil Service Commission, 2019) กล่าวว่า การพัฒนาทักษะความเข้าใจและใช้เทคโนโลยีนั้น มีข้าราชการเป็นแกนหลักของการพัฒนาประเทศ ข้าราชการต้องปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลง ป้องกันไม่ให้เกิดความตื่นตระหนกทางวัฒนธรรม (Culture Shock) จากการเปลี่ยนผ่านของเทคโนโลยีและป้องกันความเสี่ยงจากการใช้เทคโนโลยีที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรจึงจำเป็นต้องปรับตัวให้สอดคล้องกับบริบทของการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้การถ่ายทอดองค์ความรู้ทางวิชาการในการทำงานและปฏิบัติงานในการส่งเสริมการเกษตรให้แก่เกษตรกรในพื้นที่ที่รับผิดชอบอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรในเขตพื้นที่ภาคกลางจำนวน 9 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร ชัยนาท นนทบุรี ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา ลพบุรี สระบุรี สิงห์บุรี และอ่างทอง ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของสำนักงานส่งเสริมและพัฒนากการเกษตรที่ 1 จังหวัดชัยนาท จำนวน 545 ราย (Personnel Division of Department of Agricultural Extension, 2023) คำนวณขนาดตัวอย่าง (Sample Size) โดยใช้สูตรการคำนวณของ (Yamane, 1973) ที่ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.05 จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ได้ คือ 231 ราย แบ่งกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิตามสัดส่วน (Proportional Stratified Sampling) แล้วทำการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) โดยให้สำนักงานเกษตรจังหวัดในเขตภาคกลางทั้ง 9 จังหวัด เป็นผู้สุ่มเลือกผู้ตอบแบบสอบถามให้

เครื่องมือและการทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ แบบสอบถามปลายปิดและปลายเปิด จำนวน 4 ตอน คือ ตอนที่ 1 ลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล ตอนที่ 2 ลักษณะการใช้งานเทคโนโลยีดิจิทัล ตอนที่ 3 อัจฉริยภาพทางดิจิทัล และตอนที่ 4 ปัญหาและข้อเสนอแนะ ทั้งนี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงเดือนสิงหาคม – กันยายน พ.ศ. 2566

การทดสอบเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้ ดำเนินการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน และแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำ จากนั้นทำการทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability) โดยนำแบบสอบถามไปทดสอบ (Try out) กับตัวแทนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง คือ นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่อยู่นอกการดูแลของสำนักงานส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรที่ 1 จังหวัดชัยนาท จำนวน 30 ตัวอย่าง แล้ววิเคราะห์ความเชื่อมั่นโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค (Cronbach's alpha Coefficient) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค เท่ากับ 0.70 ขึ้นไป โดยแบบสอบถามนี้ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.851

การวิเคราะห์ข้อมูล

อัจฉริยภาพทางดิจิทัลของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรในเขตภาคกลาง ทำการวัดแบบวัดมาตรฐาน (Rating scale) วัดจากอัจฉริยภาพทางดิจิทัล 8 ด้าน (Inthanon, 2020) ด้านละ 5 ข้อ จำนวน 40 ข้อ ได้แก่ 1) ด้านการรักษาอัตลักษณ์ที่ดีของตนเอง (Digital Citizen Identity) 2) ด้านการคิดวิเคราะห์มีวิจารณ์ญาติที่ดี (Critical Thinking) 3) ด้านการรักษาความปลอดภัยของตนเองในโลกไซเบอร์ (Cybersecurity Management) 4) ด้านการรักษาข้อมูลส่วนตัว (Privacy Management) 5) ด้านการจัดสรรเวลาหน้าจอ (Screen Time Management) 6) ด้านการบริหารจัดการข้อมูลที่มีผู้ใช้งานมีการทิ้งไว้บนโลกออนไลน์ (Digital Footprints) 7) ด้านการรับมือกับการกลั่นแกล้งบนโลกไซเบอร์ (Cyberbullying Management) และ 8) ด้านการใช้เทคโนโลยีอย่างมีจริยธรรม (Digital Empathy)

ซึ่งผู้วิจัยแบ่งการวัดเป็น 3 ระดับ โดยแบ่งคะแนนขึ้นตามวิธีวัดมาตรฐาน (Rating scale) โดยวัดจากการปฏิบัติ ได้แก่ ปฏิบัติทุกครั้ง 3 คะแนน, ปฏิบัติบางครั้ง 2 คะแนน และไม่เคยปฏิบัติเลย 1 คะแนน และการแปลผลคะแนนพิจารณาตามเกณฑ์ของเบสท์ (Best, 1977) โดยใช้ค่าคะแนนสูงสุดลบด้วยค่าคะแนนต่ำสุด และนำมาหารด้วยจำนวนขั้น จะได้คะแนนเฉลี่ยระดับอัจฉริยภาพทางดิจิทัลดังนี้ อัจฉริยภาพระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 2.36 – 3.00, อัจฉริยภาพระดับปานกลาง มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 1.68 – 2.35 และอัจฉริยภาพระดับน้อย มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 1.00 – 1.67

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วยสถิติเชิงพรรณนาหาความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) ประกอบด้วย ค่าสถิติ t-test, F-test และการวิเคราะห์ความแตกต่างรายคู่ด้วยวิธี LSD (Least Significant Difference) (Niyamangkul, 2013)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคลของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร

ผลการวิจัยพบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 64.50 โดยมีอายุอยู่ในช่วง 31 – 40 ปี ร้อยละ 58.90 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ร้อยละ 60.20 เป็นข้าราชการ ร้อยละ 76.20 มีประสบการณ์ทำงานมากกว่า 6 ปี ร้อยละ 45.90 และไม่ได้รับผิดชอบตำบล/อำเภอ ร้อยละ 57.14 ส่วนใหญ่เคยเข้าร่วมอบรมเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลของหน่วยงาน 1 – 3 ครั้ง ร้อยละ 64.93 ดังแสดงใน Table 1

ลักษณะการใช้งานเทคโนโลยีดิจิทัลของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร

จากการวิจัย พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรส่วนใหญ่มีความถี่ในการใช้สื่อดิจิทัลในการทำงานมากกว่า 5 ชั่วโมง/วัน ร้อยละ 42.40 โดยใช้สมาร์ทโฟนเป็นอุปกรณ์หลักในการเข้าใช้งานเทคโนโลยีดิจิทัล ร้อยละ 52.40 และมีประสบการณ์การใช้เทคโนโลยีดิจิทัล 11 – 15 ปี ร้อยละ 33.30 นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรร้อยละ 58.00 เข้าใช้งานเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อค้นคว้าหาข้อมูล/สืบค้นข้อมูล ส่วนใหญ่รู้จักช่องทางสื่อดิจิทัลที่ใช้งานอยู่โดยสมัครด้วยตนเอง ร้อยละ 62.80 ดังแสดงใน Table 2

Table 1 Number and Percentage of Agricultural Extensionist Classified by Personal Characteristics

n =231

Personal Characteristics of Agricultural Extensionist	Number	Percent
Gender		
Male	82	35.50
Female	149	64.50
Age (Years)		
21 – 30 Years old	55	23.80
31 – 40 Years old	136	58.90
More than or equal to 41 Years old	40	17.30
Education		
Bachelor's degree	139	60.20
Higher than Bachelor's degree	92	39.80
Position		
Government employee	55	23.80
Government officer	176	76.20
Work experience		
Less than or equal to 3 years	89	38.50
4 – 6 Years	36	15.60
More than 6 Years	106	45.90
Responsible (sub-district/district)		
Not responsible	132	57.14
1 - 2 subdistrict/district	59	25.54
More than 2 subdistrict/district	40	17.32
Attended training on the use of digital technology		
Never	41	17.75
1 - 3 times	150	64.93
More than 3 times	40	17.32

อัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร

จากข้อมูล Table 3 พบว่า อัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรในภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (= 2.41) โดยด้านที่มีอัจฉริยภาพทางดิจิทัลอยู่ในระดับมาก จำนวน 5 ด้าน ได้แก่ ด้านการรักษาอัตลักษณ์ที่ดีของตนเอง (= 2.63) ด้านการคิดวิเคราะห์มีวิจารณ์ญาติที่ดี (= 2.59) ด้านการใช้เทคโนโลยีอย่างมีจริยธรรม (= 2.49) ด้านการรับมือกับการกลั่นแกล้งบนโลกไซเบอร์ (= 2.47) และด้านการรักษาความปลอดภัยของตนเองในโลกไซเบอร์ (= 2.42) ตามลำดับ

ส่วนอัจฉริยภาพทางดิจิทัลอยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการบริหารจัดการข้อมูลที่ใช้งานมีการทิ้งร่องรอยไว้บนโลกออนไลน์ (= 2.25) ด้านการรักษาข้อมูลส่วนตัว (= 2.23) และด้านการจัดสรรเวลาหน้าจอ (= 2.22) ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sukkasem et al. (2017) ได้ทำการศึกษา เรื่อง การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในงานส่งเสริมการเกษตรของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร จังหวัดนครพนม มุกดาหาร และสกลนคร พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีสารสนเทศและความสามารถในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศอยู่ในระดับปานกลาง ส่งผลให้ด้านการบริหารจัดการข้อมูลที่ดี

ผู้ใช้งานมีการทิ้งร่องรอยไว้บนโลกออนไลน์ ด้านการรักษาข้อมูลส่วนตัว และด้านการจัดสรรเวลาหน้าจอมีระดับอัจฉริยภาพทางดิจิทัลในระดับปานกลาง

Table 2 Number and Percentage of Agricultural Extensionist Classified by using Digital Technology Characteristics

n =231

Using Digital Technology Characteristics of Agricultural Extensionist	Number	Percent
Frequency of using Digital Technology for work		
Less than or equal to 3 hours/day	61	26.40
4 – 5 hours/day	72	31.20
More than 5 hours/day	98	42.40
Main equipment for accessing Digital Technology		
Smartphone	121	52.40
Computer/Notebook	110	47.60
Digital Technology's experience		
Less than or equal to 10 years	51	22.10
11 – 15 years	77	33.30
16 – 20 years	55	23.80
more than 20 years	48	20.80
Purpose of using Digital Technology		
To research/find information	134	58.00
To following the news / contact people you may know	43	18.60
For entertainment / playing games	22	9.50
To send document files/ for work	32	13.90
How to know your Digital Technology		
Apply by yourself	145	62.80
Recommended by friends/others	52	22.50
From teaching/training at work	34	14.70

Table 3 Mean and standard deviation of Agricultural Extensionist's Digital Intelligence Quotient

n=231

Digital intelligence Quotient		S.D.	Level
1. Digital Citizen Identity	2.63	0.274	High
2. Critical Thinking	2.59	0.335	High
3. Cybersecurity Management	2.42	0.332	High
4. Privacy Management	2.23	0.359	Moderate
5. Screen Time Management	2.22	0.316	Moderate
6. Digital Footprints	2.25	0.369	Moderate
7. Cyberbullying Management	2.47	0.405	High
8. Digital Empathy	2.49	0.341	High
Total	2.41	0.217	High

การเปรียบเทียบอัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรในเขตภาคกลาง

จำแนกตามลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคลบางประการใน Table 4 พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีเพศแตกต่างกัน มีอัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานในภาพรวมแตกต่างกัน (ที่ระดับ 0.05) เมื่อพิจารณาในรายด้าน พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรเพศชายมีอัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานมากกว่าเพศหญิงในด้านการคิดวิเคราะห์ มีวิจารณญาณที่ดี และด้านการจัดสรรเวลาหน้าจอ อาจเป็นเพราะว่าเพศชายมีความสนใจในเรื่องของการใช้เทคโนโลยีมากกว่าเพศหญิง สอดคล้องกับ Pethcharut and Kongsila (2017) ได้ทำการศึกษา เรื่อง ความต้องการการพัฒนาทักษะการถ่ายทอดความรู้ทางการเกษตรของผู้ปฏิบัติงานส่งเสริมการเกษตร การยางแห่งประเทศไทย พบว่า ผู้ปฏิบัติงานส่งเสริมการเกษตรส่วนใหญ่เป็นเพศชาย และมีความต้องการพัฒนาทักษะการถ่ายทอดความรู้ทางการเกษตรในด้านการสื่อสาร ได้แก่ การตีความ เข้าใจเนื้อหาของสารที่ต้องการสื่อ ด้านทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ได้แก่ การใช้อินเทอร์เน็ตในการค้นหาข้อมูล การใช้คอมพิวเตอร์เพื่อติดต่อสื่อสาร อยู่ในระดับมาก

นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีอายุแตกต่างกันมีอัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานในภาพรวมแตกต่างกัน (ที่ระดับ 0.01) เมื่อพิจารณาในรายด้าน พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีช่วงอายุ 31 - 40 มีอัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานมากกว่าช่วงอายุ 21 - 30 และช่วงอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 41 ปี ตามลำดับในด้านการรักษาอัตลักษณ์ที่ดีของตนเอง ด้านการคิดวิเคราะห์ มีวิจารณญาณที่ดี ด้านการรักษาความปลอดภัยของตนเองในโลกไซเบอร์ ด้านการรักษาข้อมูลส่วนตัว ด้านการบริหารจัดการข้อมูล ที่ผู้ใช้งานมีการทิ้งร่องรอยไว้บนโลกออนไลน์ ด้านการรับมือกับการกลั่นแกล้งบนโลกไซเบอร์ และด้านการใช้เทคโนโลยีอย่างมีจริยธรรม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nuntasan and Intaruccomporn (2018) เรื่อง ความรู้และความสามารถในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงราย พบว่า นักวิชาการที่มีอายุ 40 ปี ขึ้นไป ไม่มีความชำนาญมากในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ ส่วนกลุ่มที่มีอายุ 40 ปี ลงมาจะเป็นกลุ่มที่มีความชำนาญทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศมากกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Keawlerittakul et al. (2018) ได้ทำการศึกษาเรื่องการปฏิบัติในระบบการส่งเสริมการเกษตรมิติใหม่ (MRCF SYSTEM) ของนักส่งเสริมการเกษตรในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีอายุมากต้องอาศัยระยะเวลาในการปรับตัวและทำความเข้าใจกับกระบวนการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Thongmuller and Vichitthamaros (2017) ได้ทำการศึกษา เรื่องการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับและการใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์ในสังคมไทย พบว่าประชาชนที่มีอายุเพิ่มขึ้นจะมีโอกาสในการยอมรับและการใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์ลดลง

นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีระดับการศึกษาแตกต่างกันมีอัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานในภาพรวมแตกต่างกัน (ที่ระดับ 0.05) เมื่อพิจารณาในรายด้าน พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีระดับการศึกษาสูงกว่าปริญญาตรีมีอัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานมากกว่าระดับปริญญาตรี ในด้านการรับมือกับการกลั่นแกล้งบนโลกไซเบอร์ ไม่สอดคล้องกับ Konkhayun et al. (2021) ได้ทำการศึกษาความต้องการในการพัฒนาตนเองของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรกรมส่งเสริมการเกษตร พบว่า ระดับการศึกษา ไม่มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองโดยนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มี

ระดับการศึกษาปริญญาตรีและสูงกว่าปริญญาตรีมีหน้าที่งานรับผิดชอบที่เกี่ยวข้องที่เหมือนกันในหน้าที่นักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ส่วนนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีตำแหน่งงาน ประสบการณ์ทำงาน การมีตำบล/อำเภอที่รับผิดชอบและการเข้าร่วมอบรมของหน่วยงานแตกต่างกันมีอรรถิยาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานในภาพรวมไม่แตกต่างกัน

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอรรถิยาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรในเขตภาคกลาง

จำแนกตามลักษณะการใช้งานเทคโนโลยีดิจิทัลบางประการใน Table 5 พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่รู้จักเทคโนโลยีดิจิทัลที่ใช้งานในปัจจุบันแตกต่างกันมีอรรถิยาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานในภาพรวมแตกต่างกัน (ที่ระดับ 0.05) เมื่อพิจารณาในรายด้าน พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่รู้จักเทคโนโลยีดิจิทัลที่ใช้งานในปัจจุบันจากการสมัครด้วยตนเองมีอรรถิยาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานมากกว่ากับการรู้จักจากเพื่อน/ผู้อื่นแนะนำ และจากการสอน/อบรมของหน่วยงานตามลำดับ ในด้านการรักษาข้อมูลส่วนตัว ด้านการรับมือกับการกลั่นแกล้งบนโลกไซเบอร์แตกต่างกัน (ที่ระดับ 0.01) ส่วนด้านการรักษาความปลอดภัยของตนเองในโลกไซเบอร์และด้านการจัดสรรเวลาหน้าจอแตกต่างกัน (ที่ระดับ 0.05) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในทุกวันนี้การเรียนรู้ไม่มีที่สิ้นสุด โลกอินเทอร์เน็ตเปิดกว้างให้กับทุกเพศวัย ทำให้การเข้าใช้เทคโนโลยีดิจิทัลที่ใช้งานในปัจจุบันนั้นเข้าถึงได้ด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับ Office of the Basic Education Commission (1999) กล่าวในพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 มาตราที่ 25 ความว่า กำหนดให้รัฐมีหน้าที่ส่งเสริมการดำเนินงานการจัดตั้งแหล่งการเรียนรู้ตลอดชีวิตให้ทั่วถึงและพอเพียงรวมถึงแนวโน้มด้านสื่อดิจิทัลในปัจจุบันที่สื่อดิจิทัลครอบคลุมถึงผู้ใช้ถึงร้อยละ 80 ของสื่อทั้งหมด เพราะสื่อดิจิทัลมีการเกิดใหม่ขึ้นเรื่อย ๆ และเข้าใกล้ตัวมากที่สุด จึงทำให้จากสามารถเข้าถึงค้นหาข้อมูลและเรียนรู้เรื่องราวด้านดิจิทัลผ่านอินเทอร์เน็ตได้ง่าย Bansomdejchaopraya Rajabhat University (2022) ส่วนนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีความถนัดในการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการทำงาน การใช้อุปกรณ์หลักที่ใช้งานเทคโนโลยีดิจิทัล ประสบการณ์การใช้เทคโนโลยีดิจิทัล และเหตุผลในการใช้งานเทคโนโลยีดิจิทัลแตกต่างกันมีอรรถิยาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานในภาพรวมไม่แตกต่างกัน

Table 4 Comparison of Digital intelligence Quotient of Agricultural Extensionist Classified by Personal Characteristics

Dependent Variable	Digital Citizen Identity		Critical Thinking		Cybersecurity Management		Privacy Management		Screen Time Management		Digital Footprints		Cyberbullying Management		Digital Empathy		Total		F-test/ t-test
Independent variable	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	
- Gender	1.285	0.200	2.554	0.011*	1.963	0.051	-0.243	0.808	3.122	0.002*	1.492	0.138	0.384	0.702	1.868	0.063	2.078	0.040*	t-test
- Age	3.782	0.024*	9.307	0.000**	7.383	0.001**	7.692	0.001*	0.360	0.698	12.391	0.000**	16.669	0.000**	8.997	0.000**	18.296	0.000**	F-test
- Education	-1.778	0.077	-3.136	0.002**	-0.618	0.537	-1.840	0.067	1.086	0.279	-0.531	0.596	-2.862	0.005**	-0.832	0.406	-2.118	0.035*	t-test
- Position	-0.358	0.721	-3.425	0.001**	-1.014	0.314	-0.852	0.395	1.437	0.155	0.719	0.474	-1.418	0.158	-0.710	0.480	-1.012	0.315	t-test
- Work experience	2.331	0.099	3.697	0.026*	1.831	0.163	0.038	0.963	0.973	0.380	0.206	0.814	1.504	0.224	0.229	0.795	0.034	0.967	F-test
- Responsible (sub-district/district)	0.384	0.682	1.080	0.341	0.219	0.803	3.807	0.024*	3.662	0.027*	2.455	0.088	0.371	0.690	3.822	0.023*	1.307	0.273	F-test
- Attended training	2.210	0.112	2.068	0.129	2.467	0.087	1.639	0.196	2.310	0.102	1.981	0.140	0.274	0.761	0.194	0.824	1.702	0.185	F-test

* = significant at the level 0.05, ** = significant at the level 0.01.

Table 5 Comparison of Digital intelligence Quotient of Agricultural Extensionist Classified by using digital technology Characteristics

Dependent Variable	Digital Citizen Identity		Critical Thinking		Cybersecurity Management		Privacy Management		Screen Time Management		Digital Footprints		Cyberbullying Management		Digital Empathy		Total	F-test/ t-test	
Independent variable	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P- value	F-test/ t-test	P-value	
- Frequency	6.243	0.002**	0.381	0.683	0.085	0.919	0.154	0.858	1.655	0.193	3.644	0.028*	2.724	0.068	0.419	0.658	0.768	0.465	F-test
- Main equipment	0.680	0.497	-2.878	0.004**	0.000	1.000	-0.757	0.450	1.251	0.212	0.971	0.332	-0.917	0.360	0.739	0.460	-0.244	0.807	t-test
- Digital's experience	1.316	0.270	2.679	0.048*	2.530	0.058	1.190	0.314	8.374	0.000**	0.806	0.492	1.142	0.333	3.774	0.011*	0.102	0.959	F-test
- Purpose of using	1.456	0.227	4.893	0.003**	1.328	0.266	0.798	0.496	3.565	0.015*	1.604	0.189	0.753	0.522	1.840	0.141	2.284	0.080	F-test
- How to know	1.653	0.194	0.912	0.403	4.750	0.011*	10.858	0.000**	4.028	0.019*	2.725	0.068	7.617	0.001**	2.012	0.136	4.239	0.016*	F-test

* = significant at the level 0.05, ** = significant at the level 0.01.

สรุปผลการศึกษา

นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรส่วนใหญ่มีระดับอัจฉริยภาพทางดิจิทัลในภาพรวมทั้ง 8 ด้านอยู่ในระดับมาก โดยมีด้านการรักษาอัตลักษณ์ที่ดีของตนเอง ด้านการคิดวิเคราะห์ที่มีวิจารณ์ญาติที่ดี ด้านการใช้เทคโนโลยีอย่างมีประสิทธิภาพ ด้านการรับมือกับการกลั่นแกล้งบนโลกไซเบอร์ และด้านการรักษาความปลอดภัยของตนเองในโลกไซเบอร์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ส่วนด้านการบริหารจัดการข้อมูลของผู้ใช้งานมีการทิ้งไว้บนโลกออนไลน์ ด้านการรักษาข้อมูลส่วนตัว และด้านการจัดสรรเวลา มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคลต่างกันมีอัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานส่งเสริมการเกษตรในภาพรวมแตกต่างกันที่ระดับ 0.05 ได้แก่ เพศ และระดับการศึกษา ส่วนอายุ แตกต่างกันในที่ระดับ 0.01 นอกจากนี้ นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีลักษณะการใช้งานเทคโนโลยีดิจิทัลต่างกัน มีอัจฉริยภาพทางดิจิทัลในการปฏิบัติงานส่งเสริมการเกษตรในภาพรวมแตกต่างกันที่ระดับ 0.05 ในด้านการรู้จักเทคโนโลยีดิจิทัลที่ใช้ในงานในปัจจุบัน

นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรควรตระหนักถึงภัยจากโลกดิจิทัลด้วยการเฝ้าหาความรู้ด้านรักษาความเป็นส่วนตัว ได้แก่ หลีกเลี่ยงการใช้ข้อมูลส่วนตัวในการกรอกรายละเอียดสำหรับบัญชีที่ไม่จำเป็น และการตั้งค่าความเป็นส่วนตัวในส่วนตัวในสื่อออนไลน์ของท่านไม่เป็นสาธารณะ การจัดสรรเวลาหน้าจอให้เหมาะสม ส่วนด้านการบริหารจัดการข้อมูลของผู้ใช้งานมีการทิ้งร่องรอยไว้บนโลกออนไลน์ ผู้ใช้งานควรยกเลิกหรือปิดบัญชีออนไลน์ต่างๆ ที่ไม่ได้ใช้แล้ว และไม่ใช้ระบบช่วยจำจดบัญชีและรหัสผ่าน นอกจากนี้หน่วยงานควรจัดอบรมหรือให้ความรู้การใช้งานเทคโนโลยีดิจิทัลในด้านอื่นๆ ได้แก่ กฎหมายที่ควรรู้ในโลกออนไลน์ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการใช้งานทางด้านดิจิทัลให้กับนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (Idea) และ สมมติฐาน กำหนดโจทย์การวิจัย ปัญหาการวิจัย กรอบการวิจัย ชื่อเรื่องและวัตถุประสงค์การวิจัย: วัชรภรณ์ ประทุมโพธิ์, พิชัย ทองดีเลิศ, พัชราวดี ศรีบุญเรือง. การปฏิบัติกรวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ Criteria ออกแบบระเบียบวิธีวิจัย การกำหนดประชากร กลุ่มตัวอย่าง การสร้างเครื่องมือ การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล: วัชรภรณ์ ประทุมโพธิ์, พิชัย ทองดีเลิศ, พัชราวดี ศรีบุญเรือง. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปรผล เก็บข้อมูล วิเคราะห์และแปรผลข้อมูล: วัชรภรณ์ ประทุมโพธิ์, พิชัย ทองดีเลิศ, พัชราวดี ศรีบุญเรือง. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม เขียนวิพากษ์วิจารณ์ผลการวิจัย การเปรียบเทียบข้อมูล การใช้ทฤษฎีช่วยในการวิจารณ์และสรุปผลการวิจัย: วัชรภรณ์ ประทุมโพธิ์, พิชัย ทองดีเลิศ, พัชราวดี ศรีบุญเรือง. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript ผลงานสร้างสรรค์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์: วัชรภรณ์ ประทุมโพธิ์, พิชัย ทองดีเลิศ, พัชราวดี ศรีบุญเรือง.

เอกสารอ้างอิง

- Agritech and Innovation Center. (2022). **Report on the Use of Innovative Technology in Agriculture in 2022**. Retrieved from: <https://sa-tech.moac.go.th/index.php?nav=report>. (in Thai).
- Bansomdejchaopraya Rajabhat University. (2022). **Digital Media Technology in Every Life**. Retrieved from: <https://animation.bsru.ac.th/digital/eBook/เทคโนโลยีสื่อดิจิทัลในชีวิตประจำวัน.pdf>. (in Thai).
- Best, J. W. (1977). **Research in Education**. 3rd Ed. Prentice Hall, Inc.
- Department of Agricultural Extension. (2018). **Strategic Plan for Agricultural Extension, 20 Years (2017 - 2036)**. Retrieved from: <https://infocenter.doae.go.th/wp-content/uploads/2018/06/ยุทธศาสตร์ส่งเสริมการเกษตรฯ-ระยะ-20-ปี.pdf>. (in Thai).
- DQ Institute. (2021). **DQ-Digital Intelligence**. Retrieved from: <https://www.dqinstitute.org/global-standards/#contentblock1>. (in Thai).
- Inthanon, S. (2020). **DQ: Digital Intelligence**. 3rd Ed. Child and Youth Media Institute.
- Keawlerittakul, R., Kruekum, P., Sakkatat, P., & Boonphod, N. (2018). Practice of agricultural extension worker in the new dimension agricultural extension system (MRCF SYSTEM) in Chiang Mai province. **Journal of Agricultural Research and Extension**, 36(3), 114-125. (in Thai).
- Konkhayun, W., Anusontpornperm, S., & Kongsila, T. (2021). Factors correlated with the need for skills development of agricultural promotions scholars who work for the Department of Agricultural Promotions. **King Mongkut's Agricultural Journal**, 39(2), 119-129. (in Thai).
- Niyamangkul, S. (2013). **Social Science and Statistical Research Methods Used**. Book to You. (in Thai).
- Nuntasen, K., & Intaruccomporn, W. (2018). Knowledge and ability of agricultural extension officers in using information technology and computer, Chiang Rai Agricultural Provincial Extension Office. **Journal of Agriculture**, 34(1), 89-99. (in Thai).
- Office of Agricultural Extension and Development No. 1. (2022). **Annual Report 2022 Office of Agricultural Extension and Development No. 1., Chainat Province**. Office of Agricultural Extension and Development No. 1. (in Thai).
- Office of the Basic Education Commission: OBEC (1999) **National Education in 1999, Section 25**. Retrieved from: https://www.bic.moe.go.th/images/stories/5Porobor_2542pdf.pdf. (in Thai).
- Office of the Civil Service Commission. (2019). **Digital Skills of Civil Servants and Government Personnel to Transform into a Digital Government**. Retrieved from: https://www.ocsc.go.th/sites/default/files/00_khuumuethaksadaandicchithalkhngkhaaraachkaaelabukhlaakrphaakhraht.pdf. (in Thai).
- Office of the National Digital Economy and Society Commission. (2013). **Thailand's Digital Development in 2023**. Retrieved from: https://www.onde.go.th/assets/portals/1/files/01-A5-Infographic_TIME-202242_V11-edit1.pdf. (in Thai).
- Personnel Division of Department of Agricultural Extension. (2023). **Manpower Group Framework**. Retrieved from: <http://www.person.doae.go.th/person2011/node/2180>. (in Thai).
- Pethcharut, P., & Kongsila, T. (2017). Needs for developing knowledge transfer skills in agriculture of agricultural extensionist, rubber authority of Thailand. **Kasalongkham Research Journal**, 11(2), 83-93. (in Thai).
- Seeniang, P., Limson, C., Rit-ananchai, S., & Sinieng, C. (n.d.). Enhance the agricultural extension in the central region: Final research report. (in Thai).
- Sukkasem, P., Yooprasert, B., & Sansem, K. S. (2017). Utilization of information technology in agricultural extension of agricultural extensionist in Nakhon Phanom, Mukdahan and Sakon Nakhon provinces. In **The 8th STOU National Research Conference**, pp. 1014-1026. Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai).
- The Office of the National Economic and Social Development Council. (2022). **The 13th National Economic and Social Development Plan (2023-2027)**. Retrieved from: https://www.nesdc.go.th/download/Plan13/Doc/Plan13_Final.pdf. (in Thai).
- Thongmullek, T., & Vichitthamaros, P. (2017). The study of factors affecting acceptance and use of social network of people in Thailand. **The Journal of Social Communication Innovation**, 5(2), 114-124. (in Thai).
- Wisniewska-Paz, B. (2018). Emotional intelligence vs. digital intelligence in the face of virtual reality. New Challenges for Education for Safety: The Need for "New" Communication and Adaptation Competencies. **Culture e Studi del Sociale-CuSSoc**, 3(2), 167-176. (in Poland).
- Yamane, T. (1973). **Statistics: An Introductory Analysis**. 3rd Ed. Harper and Row Publication.

ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการออกดอกของมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิในจังหวัดเชียงใหม่ Effects of Plant Growth Regulators on Flowering of Mango cv. Dang-Jakkrapad in Chiang Mai Province

ราเชนทร์ ไคร์ครวญ¹, อำพล สอนสระเกษ^{1*} และ นพพร บุญปลอด¹

Rachane Kraikruan¹, Ampol Sornsaket^{1*} and Nopporn Boonplod¹

Received date: 11 ก.ค. 66 Revised date: 20 พ.ย. 66 Accepted date: 21 ธ.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.009>

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการออกดอกของมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิในจังหวัดเชียงใหม่ มีวัตถุประสงค์เพื่อชักนำการออกดอกนอกฤดูของมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิ วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยกำหนดให้ 18 ต้น เป็น 1 บล็อก รวมทั้งหมด 3 บล็อก โดยทำการเปรียบเทียบ 9 กรรมวิธี ผลการทดลองพบว่า การราดทางดินด้วยพาโคลบิวทราโซลอัตรา 1 กรัม ของสารออกฤทธิ์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ใต้ทรงพุ่ม การพ่นสารเมพิควอทคลอไรด์ และคลอร์มีควอทคลอไรด์ ส่งผลให้ต้นมะม่วงมีการออกดอกได้เร็วกว่าชุดควบคุม โดยสามารถออกดอกได้ในระหว่าง 71 - 76 วันหลังใช้สาร ซึ่งการราดทางดินด้วยพาโคลบิวทราโซลอัตรา 1 กรัม ของสารออกฤทธิ์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ใต้ทรงพุ่ม มีการออกดอกสูงถึง 88.83 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะช่อดอกล้วนสูงถึง 87.39 เปอร์เซ็นต์ และมีจำนวนดอกต่อช่อเฉลี่ย 1,526.66 ดอก ดังนั้นการใช้สารพาโคลบิวทราโซลจึงมีความเหมาะสมต่อการชักนำการออกดอกของมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิในจังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากมีผลทำให้มีเปอร์เซ็นต์การออกดอก จำนวนช่อดอกล้วน และจำนวนดอกต่อช่อสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ดังนั้นการศึกษานี้จึงสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิเพื่อให้มีการออกดอกนอกฤดูกาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิในจังหวัดเชียงใหม่

คำสำคัญ: สารชะลอการเจริญเติบโตพืช เมพิควอทคลอไรด์ คลอร์มีควอทคลอไรด์ การออกดอก

Abstract

The study of effects of plant growth regulators on flowering of Mango cv. Dang-Jakkrapad in Chiang Mai Province aimed to induce off-season flowering of mango cv. Dang-Jakkrapad. The experiment employed Randomized Complete Block Design (RCBD) by assigning 18 plants as 1 block, with 3 blocks in total, and comparing 9 methods. The results showed that soil drenched with paclobutrazol at the rate of 1 g a.i./m², foliar spraying with mepiquat chloride and with chlormequat chloride resulted in earlier flowering than the control group. Flowering emerged during 71 - 76 days after the application. Pouring the soil with paclobutrazol at the rate of 1 gram of the active ingredient per square meter of the area under the canopy resulted in flowering as high as 88.83 percent, the inflorescence was as high as 87.39 percent, and the average number of flowers per inflorescence was 1,526.66 flowers. Therefore, the use of paclobutrazol is appropriate for inducing flowering of the mango cv. Dang-Jakkrapad as it affects the percentage of flowering. The total number of inflorescences and the number of flowers per bouquet are higher than other treatments. This study provides guidelines for managing mango cv. Dang-Jakkrapad for effective off-season flowering and increasing grower income in Chiang Mai. This study can therefore be used as a guideline for effectively managing the Mango cv. Dang-Jakkrapad to achieve off-season flowering, thereby helping to increase the income of farmers growing this variety of mango in Chiang Mai province.

Keywords: growth retardant, mepiquat chloride, chlormequat chloride, flowerin

¹ สาขาวิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Division of Horticulture, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

*Corresponding author, e-mail: ampolsornsaket@gmail.com

คำนำ

มะม่วง (Mango) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* L. อยู่ในวงศ์ Anacardiaceae ซึ่งเป็นไม้ผลเขตร้อนชื้นมีถิ่นกำเนิดในแถบอินเดียพม่าและมีการกระจายพันธุ์ไปทั่วโลก (Po-Somboon, 2008) มะม่วงมีความสำคัญทางเศรษฐกิจและได้รับความนิยมนำมาเป็นผลไม้ที่ส่งออกไปยังต่างประเทศ (Saensuk, 2011) โดยในปี 2565 มีรายงานว่า ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการผลิตมะม่วงมากที่สุดเป็นอันดับ 3 ของโลก รองจากอินเดีย และจีน ซึ่งในปี 2564 ประเทศไทยส่งออกมะม่วงทั้งหมดประมาณ 149,151 ตัน คิดเป็นมูลค่า 5,997 ล้านบาท โดยแบ่งออกเป็นมะม่วงสด มะม่วงแช่แข็ง มะม่วงกระป๋อง และมะม่วงอบแห้ง เป็นต้น (Phimmasri, 2022)

ประเทศไทยได้มีการนำยอดพันธุ์มะม่วงแดงจักรพรรดิเข้ามาขยายพันธุ์โดยการเสียบยอด แต่การผลิตมะม่วงในฤดูกาลมักประสบปัญหาการออกดอกติดผลเว้นปี ออกดอกมากแต่ไม่ติดผล คุณภาพของผลผลิตไม่สม่ำเสมอ (Saamsiri et al., 2010) และในช่วงระยะการเก็บเกี่ยวผลผลิต มะม่วงจะมีปริมาณมากจนล้นตลาดและจำหน่ายได้ราคาต่ำ (Pichitpan, 2005) จึงเป็นเหตุกระตุ้นให้ระบบอุตสาหกรรมการผลิตมะม่วงในปัจจุบันสามารถผลิตได้ตลอดทั้งปีโดยใช้สารพาโคลบิวทราโซล ซึ่งเป็นสารชักนำการออกดอกที่ใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย โดยหากเกษตรกรใช้เป็นประจำในระยะเวลาที่ยาวนาน จะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต (Ratchalet and Utumpan, 2010) เช่นเดียวกับ Saamsiri et al. (2010) รายงานว่า มีการตกค้างภายในดินนานหลายเดือน นอกจากนี้ Sharma and Awasthi (2005) พบว่า สารที่ตกค้างในดินอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้โดยมีความเป็นไปได้ว่าในอนาคตอาจมีการกีดกันการส่งออกมะม่วงที่ใช้สารพาโคลบิวทราโซล ปัจจุบันจึงมีการศึกษาการใช้สารชนิดต่างๆ เพิ่มขึ้น โดย Nasee et al. (2014) ได้ทำการศึกษาการใช้เมพิควอทคลอไรด์ความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร คลอร์มีควอทคลอไรด์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พาโคลบิวทราโซลความเข้มข้น 1 กรัม ของสารออกฤทธิ์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ได้ทรงพุ่มและ เมพิควอทคลอไรด์ความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับคลอร์มีควอทคลอไรด์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อการออกดอกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง พบว่า การใช้สารทุกกรรมวิธีสามารถชักนำให้มะม่วงออกดอกได้เร็วกว่ากรรมวิธีควบคุมที่ไม่ใช้สาร และการการใช้สารเมพิควอทคลอไรด์ คลอร์มีควอทคลอไรด์ ในทุกกรรมวิธีมีผลทำให้เกิดการติดผลมากกว่าการใช้พาโคลบิวทราโซล

ด้วยเหตุผลนี้จึงมีความคิดการทดลองนำสารเมพิควอทคลอไรด์และคลอร์มีควอทคลอไรด์ ที่อยู่ในกลุ่มสารชะลอการเจริญเติบโตของพืชประเภทโอเนียม (onium compounds) ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับสารพาโคลบิวทราโซลในการยับยั้งจิบเบอเรลลิน มาทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อชักนำการออกดอกนอกฤดูของมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิ

วิธีการศึกษา

คัดเลือกต้นมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิ อายุ 5-6 ปี ที่มีขนาดทรงพุ่มใกล้เคียงกัน ณ แปลงทดลอง ตำบลชีเหล็ก อำเภอมะนัง จังหวัดเชียงใหม่ แล้วตัดแต่งกิ่งเพื่อกระตุ้นการแตกใบอ่อนพร้อมบำรุงต้นมะม่วงโดยการให้ปุ๋ย (46-0-0 : 15-15-15 อัตรา 1:1) ปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับปุ๋ยคอก จากนั้นคัดเลือกต้นมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิ ที่อยู่ในระยะใบเพสลาดที่มีขนาดต้นใกล้เคียงกันจำนวน 54 ต้น โดยทำการราดสารพาโคลบิวทราโซลทางดิน และพ่นทางใบด้วยเมพิควอทคลอไรด์ คลอร์มีควอทคลอไรด์เพื่อชักนำการออกดอกนอกฤดูตามกรรมวิธีที่กำหนด วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยกำหนดให้ 18 ต้น เป็น 1 บล็อก รวมทั้งหมด 3 บล็อก โดยทำการเปรียบเทียบ 9 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ขุดควบคุม (ไม่ใช้สาร)

กรรมวิธีที่ 2 ราดทางดินด้วยพาโคลบิวทราโซลอัตรา 1 กรัม ของสารออกฤทธิ์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ได้ทรงพุ่ม

กรรมวิธีที่ 3 พ่นทางใบด้วยเมพิควอทคลอไรด์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 4 พ่นทางใบด้วยเมพิควอทคลอไรด์ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 5 พ่นทางใบด้วยเมพิควอทคลอไรด์ 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 6 พ่นทางใบด้วยคลอร์มีควอทคลอไรด์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 7 พ่นทางใบด้วยคลอร์มีควอทคลอไรด์ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 8 พ่นทางใบด้วยคลอร์มีควอทคลอไรด์ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 9 พ่นทางใบด้วยเมพิควอทคลอไรด์ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ คลอร์มีควอทคลอไรด์ 1,000

มิลลิกรัมต่อลิตร

การดำเนินการทดลอง

ดำเนินการทดลองตามกรรมวิธีที่กำหนด โดยราดทางดินด้วยสารพาโคลบิวทราโซลรอบโคนต้น 1 ครั้ง และพ่นทางใบด้วยเมพิควอทคลอไรด์ และคลอร์มีควอทคลอไรด์ จำนวน 3 ครั้งห่างกันครั้งละ 7 วัน (เริ่มฉีดพ่นวันที่ 15 ตุลาคม 2564)

การบันทึกข้อมูล

1. เปอร์เซ็นต์การออกดอก เมื่อต้นมะม่วงเริ่มแทงช่อดอกหรือแทงใบอ่อน ทำการเก็บข้อมูลโดยสุ่มยอดตัวอย่าง

2. คุณภาพช่อดอก เมื่อช่อดอกมะม่วงยืดยาวเต็มที่แล้วบันทึกคุณภาพของช่อดอกในแต่ละกรรมวิธี ดังนี้

2.1) ลักษณะช่อดอก แบ่งลักษณะช่อดอกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ช่อดอกล้วน และช่อดอกปนใบ จากนั้นแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์

$$\text{การคิดลักษณะช่อดอกล้วน (\%)} = (\text{ช่อดอกล้วน} / \text{ช่อดอกทั้งหมด}) \times 100$$

$$\text{การคิดลักษณะช่อดอกปนใบ (\%)} = (\text{ช่อดอกปนใบ} / \text{ช่อดอกทั้งหมด}) \times 100$$

2.2) ขนาดช่อดอก วัดขนาดของช่อดอกทั้งด้านกว้างและด้านยาว หน่วยเป็นเซนติเมตร โดยทำการสุ่มวัดต้นละ 10 ช่อ กระจายทั่วทรงพุ่ม

2.3) จำนวนดอกต่อช่อ และเพศดอก นับจำนวนดอกมะม่วงทั้งหมดในแต่ละช่อดอกของแต่ละกรรมวิธี หน่วยเป็นดอกต่อช่อ จากนั้นแยกลักษณะเพศดอกที่พบในช่อดอก เป็น 2 ชนิด คือ ดอกเพศผู้และดอกสมบูรณ์เพศ และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการศึกษาและวิจารณ์

เปอร์เซ็นต์การออกดอก

เปอร์เซ็นต์การออกดอก เมื่อต้นมะม่วงเริ่มแทงช่อดอก ทำการเก็บข้อมูลโดยสุ่มยอดตัวอย่างผลของการใช้เมพิควอทคลอไรด์ คลอร์มีควอทคลอไรด์ และพาโคลบิวทราโซล พบว่า กรรมวิธีราดทางดินด้วยพาโคลบิวทราโซล มีผลทำให้ต้นมะม่วงออกดอกเร็วที่สุด คือ 71 วัน หลังจากเริ่มทำการทดลอง โดยเริ่มนับตั้งแต่เริ่มแทงช่อดอกแรก และมีเปอร์เซ็นต์การออกดอกเฉลี่ยมากถึงเท่ากับ 88.83 เปอร์เซ็นต์ (Table 1) ในขณะที่กรรมวิธีพ่นทางใบด้วยเมพิควอทคลอไรด์ และกรรมวิธีพ่นทางใบ ด้วยคลอร์มีควอทคลอไรด์ เริ่มแทงช่อดอกเมื่อ 74-76 วันหลังการทดลอง และมีเปอร์เซ็นต์ การออกดอกเฉลี่ย 41.66-62.50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการผสมเมพิควอทคลอไรด์ร่วมกับคลอร์มีควอทคลอไรด์ ต้นมะม่วงเริ่มแทงช่อดอกเมื่อ 74 วัน เช่นเดียวกับ กรรมวิธีที่ 4 พ่นทางใบด้วยเมพิควอทคลอไรด์ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร กรรมวิธีที่ 5 พ่นทางใบด้วยเมพิควอทคลอไรด์ 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร กรรมวิธีที่ 7 พ่นทางใบด้วยคลอร์มีควอทคลอไรด์ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และ กรรมวิธีที่ 8 พ่นทางใบด้วยคลอร์มีควอทคลอไรด์ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการพ่นทางใบด้วยเมพิควอทคลอไรด์ ร่วมกับคลอร์มีควอทคลอไรด์ มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การออกดอกมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 65.83 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามกรรมวิธีควบคุมที่ปล่อยให้ดอกตามธรรมชาติไม่พบการออกดอกในช่วงระยะเวลาเดียวกัน และจะเริ่มแทงช่อดอกประมาณวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 หรือ 181 วันหลังจากเริ่มการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hatsawai (2012) ที่พบว่า การใช้สารพาโคลบิวทราโซล เมพิควอทคลอไรด์ และคลอร์มีควอทคลอไรด์ สามารถส่งเสริมให้ต้นมะม่วงออกดอกได้เร็วกว่าชุดควบคุม ทั้งนี้ การราดพาโคลบิวทราโซล เมพิควอทคลอไรด์ และ คลอร์มีควอทคลอไรด์ อาจมีผลการทดลองที่แตกต่างกัน โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นการใช้เมพิควอทคลอไรด์ที่สูงขึ้นจะส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การออกดอกที่เพิ่มขึ้น ส่วนคลอร์มีควอทคลอไรด์เมื่อเพิ่มความเข้มข้นถึง 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การออกดอกลดลง และเมื่อใช้สารทั้ง 2 ชนิดร่วมกันในความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการพัฒนาของต้นมะม่วงจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การเกิดยอดเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากพืชจะตอบสนองต่อสารแต่ละชนิด และความเข้มข้นที่เหมาะสมแตกต่างกัน ซึ่งสารทั้งสามชนิดเป็นสารชะลอการเจริญเติบโตที่เป็นสารประกอบต่างกลุ่มกัน จึงส่งผลให้มีการตอบสนองที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ Panyakeaw and Naphrom (2010) กล่าวว่า การราดสารทางดินจะมีประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดใบอ่อนได้ดีกว่าวิธีการพ่นทางใบโดย Thongampai (1999) ให้เหตุผลว่าสารพาโคลบิวทราโซล เป็นสารที่มีคุณสมบัติที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในระบบราก จึงส่งผลให้สารสามารถเข้าสู่ท่อลำเลียงได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซึมทางใบ

Table 1 Effects of plant growth regulators on days to flowering and percentage of flowering in mango cv.

Dang-Jakkrapad

Treatments	Days to flowering (days)	Percentage of flowering ^{1/}
Control (un-treat)	181	19.16 c
Paclobutrazol 1 g a.i/m ²	71	88.83 a
Mepiquat Chloride 2,000 mg/l	76	41.66 bc
Mepiquat Chloride 3,000 mg/l	74	48.33 b
Mepiquat Chloride 4,000 mg/l	74	59.16 b
Chlormequat Chloride 500 mg/l	76	48.33 b
Chlormequat Chloride 1,000 mg/l	74	62.50 b
Chlormequat Chloride 1,500 mg/l	74	60.00 b
Mepiquat Chloride 3,000 mg/l + Chlormequat Chloride 1,000 mg/l	74	65.83 ab
F-test	-	**
C.V. (%)	-	17.28

Note: ** = significant difference at $p \leq 0.01$, ^{1/} = Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT.

ลักษณะช่อดอก

ด้านลักษณะช่อดอก พบว่า กรรมวิธีราดทางดินด้วยพาโคลบิวทราโซลและกรรมวิธีพ่นทางใบด้วยเมพิควอทคลอไรด์ และ คลอร์มีควอทคลอไรด์ มีลักษณะช่อดอกล้วนเฉลี่ย 22.54 - 87.39 เปอร์เซ็นต์ โดยการให้พาโคลบิวทราโซลมีเปอร์เซ็นต์ช่อดอกล้วนมากที่สุดคือ 87.39 เปอร์เซ็นต์ และมีลักษณะช่อดอกปนใบ เฉลี่ย 12.61 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกรรมวิธีอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกับการให้พาโคลบิวทราโซลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2) ส่วนขนาดของช่อดอก พบว่า การใช้พาโคลบิวทราโซลส่งผลช่อดอกมะม่วงมีความกว้างน้อยสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.80 เซนติเมตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้เมพิควอทคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 2,000 3,000 และ 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีความกว้างช่อดอกเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.42 - 4.61 เซนติเมตร แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการวิธีอื่นๆ และความยาวของช่อดอก พบว่า การใช้พาโคลบิวทราโซลส่งผลให้ความยาวช่อดอกมะม่วงมีค่าน้อยสุดเฉลี่ย 2.24 เซนติเมตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้เมพิควอทคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 2,000 3,000 และ 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีความยาวช่อดอกเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8.45 - 10.57 เซนติเมตร แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการวิธีอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับ Suppakitjarak and Tongumpai (1989) ที่รายงานว่า การใช้พาโคลบิวทราโซลกับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ห้วย ส่งผลให้ช่อดอกของมะม่วงมีความยาวช่อดอกสั้นกว่ากรรมวิธีควบคุม ซึ่งเมื่อนำมาทดลองการชักนำการออกดอกกับลิ้นจี่พันธุ์ค่อมก็ส่งผลให้ช่อดอกมีขนาดความยาวช่อดอกลดลงเช่นกัน (Angsananiwat, 1990) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากสารเมพิควอทคลอไรด์ และ คลอร์มีควอทคลอไรด์ มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับ สารพาโคลบิวทราโซล ที่มีผลต่อการยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน จึงส่งผลต่อการแบ่งเซลล์ และลดลงของการขยายขนาดของเซลล์ (Hiranpradit et al., 1999) ซึ่ง Nasee et al. (2014) ที่กล่าวว่า การใช้พาโคลบิวทราโซล เมพิควอทคลอไรด์ และ คลอร์มีควอทคลอไรด์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทางด้านลักษณะช่อดอก โดยการใช้สารทั้งสามชนิดส่งผลให้ความยาวช่อดอกมีขนาดสั้นกว่าชุดควบคุม ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าการใช้พาโคลบิวทราโซลจะมีความกว้างและความยาวช่อดอกน้อยที่สุด รองลงมาคือการใช้เมพิควอทคลอไรด์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้คลอร์มีควอทคลอไรด์

Table 2 Effects of plant growth regulators on panicle type and panicle size of mango cv. Dang-Jakkrapad

Treatments	Panicle type (%)		Panicle Size (cm)	
	Full flower ^{1/}	Leafy flower ^{1/}	Width ^{1/}	Length ^{1/}
Control (un-treat)	33.05 b	66.94 a	12.95 a	53.39 a
Paclobutrazol 1 g a.i/m ²	87.39 a	12.61 b	0.80 d	2.24 e
Mepiquat Chloride 2,000 mg/l	41.96 b	58.04 a	3.42 cd	8.45 de
Mepiquat Chloride 3,000 mg/l	29.02 b	70.98 a	4.61 bcd	8.88 de
Mepiquat Chloride 4,000 mg/l	22.54 b	77.46 a	4.07 cd	10.57 de
Chlormequat Chloride 500 mg/l	29.63 b	70.37 a	7.14 bc	15.74 cd
Chlormequat Chloride 1,000 mg/l	25.19 b	74.81 a	5.19 bc	18.10 cd
Chlormequat Chloride 1,500 mg/l	32.53 b	67.47 a	5.80 bc	21.94 c
Mepiquat Chloride 3,000 mg/l + Chlormequat Chloride 1,000 mg/l	25.92 b	74.07a	8.56 b	33.15 b
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	31.58	18.04	28.46	19.71

Note: ** = significant difference at $p \leq 0.01$, ^{1/} = Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT.

จำนวนดอกต่อข้อ เเปอร์เซ็นต์เพศดอกต่อข้อ

จำนวนดอกต่อข้อ เเปอร์เซ็นต์เพศดอกต่อข้อ (Table 3) พบว่า จำนวนดอกต่อข้อของกรรมวิธีราดทางดินด้วยพาโคลบิวทราโซล มีเท่ากับ 1526.66 ดอกต่อข้อ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้เมพิควอทคลอไรด์ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีจำนวนดอกต่อข้อเฉลี่ย 1,014.25 ดอกต่อข้อ แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีอื่นๆ ส่วนกรรมวิธีพ่นทางใบด้วยคลอริมีควอทคลอไรด์มีจำนวนดอกต่อข้อน้อยที่สุดเฉลี่ย 319.00 ดอกต่อข้อ แต่อย่างไรก็ตามกรรมวิธีราดทางดินด้วยพาโคลบิวทราโซล และกรรมวิธีพ่นทางใบ ทั้ง 8 กรรมวิธี มีเปอร์เซ็นต์ดอกเพศผู้ และเปอร์เซ็นต์ดอกสมบูรณ์เพศไม่แตกต่างกัน คือ 64.03-81.60 และ 18.39-35.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ คล้ายกับการศึกษาของ Uthiyasao et al. (2016) ที่พบว่า การราดทางดินด้วยพาโคลบิวทราโซลอัตรา 1 กรัม ของสารออกฤทธิ์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ได้ทรงพุ่มกับอะโวคาโด ส่งผลให้อะโวคาโดมีจำนวนดอกต่อข้อมากที่สุด และสอดคล้องกับ Yeshitela (2004) ที่พบว่า การใช้สารพาโคลบิวทราโซลกับต้นมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ส่งผลให้ต้นมะม่วงมีเปอร์เซ็นต์ดอกสมบูรณ์เพศมากกว่าชุดควบคุม

Table 3 Effects of plant growth regulators on flower number per panicle and the percentage of flower type

Treatments	Flower number per panicle ^{1/}	Flower type (%)	
		Male Flower	Perfect Flower
Control (un-treat)	187.75 c	81.60	18.39
Paclobutrazol 1g a.i./m ²	1526.66 a	71.76	28.24
Mepiquat Chloride 2,000 mg/l	1014.25 ab	73.87	26.12
Mepiquat Chloride 3,000 mg/l	445.75 bc	78.22	21.77
Mepiquat Chloride 4,000 mg/l	319.00 c	74.74	25.25
Chlormequat Chloride 500 mg/l	319.00 c	75.97	24.02
Chlormequat Chloride 1,000 mg/l	335.91 c	70.55	29.44
Chlormequat Chloride 1,500 mg/l	388.50 bc	64.74	35.26
Mepiquat Chloride 3,000 mg/l + Chlormequat Chloride 1,000 mg/l	396.25 bc	64.03	35.97
F-test	*	ns	ns
C.V.(%)	45.55	9.98	26.77

Note: ns = not significantly different, * = significant difference at $p \leq 0.05$, ^{1/} = Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT.

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่มีผลต่อการออกดอกของมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิ พบว่า การใช้สารทั้งสามชนิดส่งผลให้ต้นมะม่วงสามารถออกดอกได้เร็วกว่าปกติ โดยการราดสารพาโคลบิวทราโซล 1 g a.i./m² ส่งผลให้ต้นมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิสามารถออกดอกได้ในระยะเวลา 71 วันหลังการราดสาร และมีเปอร์เซ็นต์การออกดอกสูงถึง 88.83 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการพ่นเมพิควอทคลอไรด์ และคลอร์มีควอทคลอไรด์ ส่งผลให้ต้นมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิสามารถออกดอกได้ในระยะเวลา 74-76 วันหลังการราดสาร โดยการราดทางดินด้วยพาโคลบิวทราโซลอัตรา 1 กรัม ของสารออกฤทธิ์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ได้ทรงพุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการพ่นทางใบด้วยเมพิควอทคลอไรด์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทางด้านจำนวนดอกต่อช่อ และการใช้สารทั้งสามชนิดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทางด้านลักษณะดอกเพศผู้ และดอกสมบูรณ์เพศ ดังนั้นการใช้สารพาโคลบิวทราโซลจึงมีความเหมาะสมต่อการชักนำการออกดอกของมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิในจังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากมีผลทำให้มีเปอร์เซ็นต์การออกดอก จำนวนช่อดอกล้วน และจำนวนดอกต่อช่อสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนนักศึกษาเรียนดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณสวนมะม่วงพันธุ์แดงจักรพรรดิ อำเภอมะเข่ จังหวัดเชียงใหม่ ในการอนุเคราะห์ให้ต้นมะม่วงสำหรับการทดลอง และ สาขาวิชาพืชสวน(ไม้ผล) คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการสำหรับดำเนินการเก็บข้อมูลในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (Idea) และ สมมุติฐาน: ราเชนทร์ ไคร์ครวญ, อำพล สอนสระเกษ, นพพร บุญปลอด. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ Criteria: ราเชนทร์ ไคร์ครวญ, อำพล สอนสระเกษ, นพพร บุญปลอด. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: ราเชนทร์ ไคร์ครวญ, อำพล สอนสระเกษ, นพพร บุญปลอด. การตีพิมพ์วารสาร ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม: ราเชนทร์ ไคร์ครวญ, อำพล สอนสระเกษ, นพพร บุญปลอด. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript ผลงานสร้างสรรค์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์: ราเชนทร์ ไคร์ครวญ, อำพล สอนสระเกษ, นพพร บุญปลอด. การให้การสนับสนุน specimens, study cohort, โลจิสติกส์ ทุนวิจัย เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการครุภัณฑ์: ราเชนทร์ ไคร์ครวญ.

เอกสารอ้างอิง

- Angsananiwat, W. (1990). **Effects of Paclobutrazol on Effects on Growth and Flowering of Kumquat Lychees**. Master's thesis. Kasetsart University. (in Thai).
- Hatsawai, S. (2012). **Effects of Mepiquat Chloride, Chloriguartz Chloride and Paclobutrazol on Flowering of Nam Dok Mai Mango Grown on Highlands**. Bachelor Special Issues Department of Horticulture. Chiang Mai University. (in Thai).
- Hiranpradit, H., Jantarpanika, S., & Salakphet, S. (1999). **Durian Production Technology**. Kasetsart University. (in Thai).
- Nasee, M., Charoenkit, N., Sruamsiri, P., & Naprom, D. (2014). Effects of mepiquat chloride, chlormequat chloride, and paclobutrazol on flowering of mango cv. Nam Dok Mai Si Thong. *Journal of Agriculture*, 30(3), 271-279. (in Thai).
- Panyakeaw, J., & Naphrom, D. (2010). Effects of plant growth regulators on off-season flowering and fruit quality of mandarin cv. Sai Nam Pueng. *Journal of Agriculture*, 26(4), 117-125. (in Thai).
- Phimmasri, R. (2022). **Thailand is the World's Number 1 Mango Exporter, Making 4,500 Million Baht per Year, but That's Not Enough: We Need to Find New Markets**. Retrieved from: <https://plus.thairath.co.th/topic/politics&society/101401>. (in Thai).
- Pichitpan, J. (2005). **Techniques for Off-season Mango Production**. Siam Font Printing. (in Thai).
- Po-Somboon, M. (2008). **Handbook for Agricultural Extension Scholars: Mango**. Bureau of Agricultural Commodities Promotion and Management. (in Thai).
- Ratchalet, T., & Utumpan, R. (2010). **Developing Thai Mangos to the World Market**. Wanidakarnpim. (in Thai).
- Saamsiri, P., Manochai, P., Sringam, K., & Charoenkit, T. (2010). **Project on Fruit Tree Physiology and Prototype Development Of Off-season Fruit Production on Highland Chiang Mai Province under Close Planting Conditions: A Case Study Of Longans, Lychees And Mangoes**. National Research Council of Thailand. (in Thai).
- Saensuk, M. (2011). **Mango, Thai Way of Life Plant Make a Hundred Billion**. Prat Publishing. (in Thai).
- Sharma, D., & Awasthi, M. D. (2005). Uptake of soil applied paclobutrazol in mango (*Mangifera indica* L.) and its persistence in fruit and soil. *Chemosphere*, 60(2), 164-169.
- Suppakitjarak, N., & Tongumpai, P. (1989). Effect of paclobutrazol on flowering, flower and fruit quality of mango cv. Nam Dok Mai Tawai. In **27th Kasetsart University Academic Conference 30 January - 1 February 1989 Research Report on Plant Branches**, pp. 331-339. Ministry of Science, Technology and Energy. (in Thai).
- Thongumpai, P. (1999). Techniques for off-season lemon production. using paclobutrazol. *Agricultural Housing*, 23(9), 66-69. (in Thai).
- Uthiyasao, S., Boonplod, N., & Naprom, D. (2016). Effect of paclobutrazol on flowering of "Buccanear" avocado (*Persea americana* Mill.). *SWU Science Journal*, 32(1), 157-166. (in Thai).
- Yeshitela, T. B. (2004). Effects of various inductive periods and chemicals on flowering and vegetative growth of Tommy Atkins and Keitt mango cultivars. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 32(2), 209-215.

เปรียบเทียบการขุนโคพันธุ์กำแพงแสนกับโคลูกผสมวากิวเพศผู้ตอนที่ได้รับอาหารเข้มข้นอย่างเต็มที่ ต่อสมรรถภาพการขุน ลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ และผลตอบแทนจากการขุนโค

Comparison of Kamphaeng Saen and Crossbred Wagyu Steers Feedlot Fed Concentration Diet *Ad libitum* on Performance, Carcass Characteristics, Meat Quality and Feedlot Return

อัญชลี คงประดิษฐ์¹, คมกฤช เอกฉัตร², ปริมาพิชญ์ เจริญศรี¹, พีระยุทธ อินกล้า²,
ภูมพงศ์ บุญแสน¹, ภาณุวัฒน์ กาลจักร² และสุริยา สะวานนท์^{1*}
Anchalee Khongpradit¹, Komkrit Ekachat², Paramapich Jaroensri¹, Peerayuth Inklam²,
Phoompong Boonsaen¹, Panuwat Kalachak² and Suriya Sawanon^{1*}

Received date: 4 ต.ค. 66 Revised date: 19 ม.ค. 67 Accepted date: 23 ม.ค. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.010>

บทคัดย่อ

สายพันธุ์โคเนื้อและการให้อาหารเข้มข้นที่เหมาะสมมีส่วนสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จในการผลิตเนื้อโคขุนคุณภาพ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการขุนโคพันธุ์กำแพงแสนและโคลูกผสมวากิว (F1 และ F2) เพศผู้ตอนที่ได้รับอาหารเข้มข้นอย่างเต็มที่ต่อสมรรถภาพการขุน ลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ และผลตอบแทนจากการเลี้ยงโคขุน โดยใช้โคพันธุ์กำแพงแสน และโคลูกผสมวากิว (F1 และ F2) กลุ่มละ 8 ตัว (น้ำหนักเฉลี่ย 406.04 กก. และอายุเฉลี่ย 18 เดือน) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โคได้รับอาหารข้นสูตรทางการค้าและหญ้าเนเปียร์หมักอย่างเต็มที่ และเสริมฟางข้าว 1 กก./ตัว/วัน ทำการเลี้ยงโคขุนเป็นเวลา 368 วัน นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้นเป็นตัวแปรร่วม เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลอง ด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของต้นทุน รายได้ และผลตอบแทนจากการเลี้ยงโคขุนระหว่างสองสายพันธุ์ ผลการศึกษาพบว่าโคพันธุ์กำแพงแสน และโคลูกผสมวากิว (F2 และ F1) มีสมรรถภาพการขุน ลักษณะซาก และคุณภาพเนื้อไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่โคลูกผสมวากิว F1 มีเปอร์เซ็นต์ซากต่ำกว่าโคลูกผสมวากิว F2 ในขณะที่โคลูกผสมวากิว F1 มีแนวโน้มที่จะมีการสะสมไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อสันนอกสูงกว่า ($P=0.09$) โคลูกผสมวากิว F2 หรือโคพันธุ์กำแพงแสน อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้การเลี้ยงโคขุนโดยให้อาหารเข้มข้นอย่างเต็มที่ที่ยังไม่มีความเป็นไปได้ในการลงทุน

คำสำคัญ: โคพันธุ์กำแพงแสน โคลูกผสมวากิว สมรรถภาพการขุน คุณภาพเนื้อ ผลตอบแทนจากการขุน

Abstract

Beef cattle breeds and the appropriate feeding of concentrated diet play an important role in the success of quality beef production. The objectives of the present study were to compare feedlot performance, carcass characteristics, meat quality, and feedlot return of Kamphaeng Saen beef vs. crossbred Wagyu (CW-F1 and CW-F2) steers fed concentration *ad libitum*. Kamphaeng Saen and Wagyu crossbred (CW-F1 and CW-F2) steers were divided into two groups with 8 steers each (average initial weight 406.04 kg with 18 months of age). The steers were fed a commercial concentration diet and Napier grass silage *ad libitum*, supplemented with 1 kg of rice straw/day for 368 days throughout the experiment. A completely randomized design was used for this study. The data were analyzed using analysis of covariance (ANCOVA) using initial weight as a covariance. The mean was compared using Tukey's Honesty Significant Difference test (HSD). Production cost, income, and return were compared using the average. The results showed that the feedlot performance, carcass characteristics, and meat quality of Kamphaeng Saen and crossbred Wagyu steers were not significantly different ($P>0.05$), but crossbred Wagyu F1 showed lower carcass percentage than crossbred Wagyu F2 while an intramuscular fat of crossbred Wagyu F1 tended to be higher ($P=0.09$) than crossbred Wagyu F2 or Kamphaeng Saen steers. However, in the present study, *ad libitum* feeding for feedlot steers is infeasible.

Keyword: Kamphaeng Saen beef, crossbred Wagyu, feedlot performance, meat quality, feedlot return

¹ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

² บริษัทเบทาโกร จำกัด (มหาชน) สมุทรปราการ 10130

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

² Betagro Public Company Limited, Samutprakarn 10130

*Corresponding author, e-mail: agrsusa@ku.ac.th

คำนำ

การผลิตเนื้อโคคุณภาพ หรือเนื้อโคพรีเมียม (premium beef) เพื่อให้ได้เนื้อโคที่มีความนุ่ม มีไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อ สูงและมีความปลอดภัยต่อการบริโภค ต้องมีกระบวนการผลิตที่ดีและได้มาตรฐานจนกระทั่งส่งถึงผู้บริโภค ปัจจุบันความต้องการบริโภคเนื้อโคคุณภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มผู้บริโภคที่มีกำลังซื้อสูง หรือนักท่องเที่ยวจากต่างประเทศ การผลิตโคเนื้อเพื่อให้ได้เนื้อโคที่มีไขมันแทรกสูงต้องเริ่มต้นจากการคัดเลือกสายพันธุ์โคที่จะนำเข้าขุนให้เหมาะสมหรือคัดเลือกสายพันธุ์โคที่มีพันธุกรรมในการสะสมไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อได้ดี เช่น โคพันธุ์วากิว โคพันธุ์แองกัส โคพันธุ์กำแพงแสน โคลูกผสมชาร์โรเลส์ หรือโคลูกผสมวากิว (Chaiyahan, 2009; Boonsaen et al., 2017) เมื่อนำเข้ามาเลี้ยงขุนโดยให้โคได้รับอาหาร (อาหารข้นร่วมกับอาหารหยาบ) ในสัดส่วนและปริมาณที่เหมาะสม รวมทั้งระยะเวลาในการขุนต้องเหมาะสมเพื่อให้โคได้มีการสะสมไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อได้ดี ในขณะเดียวกันโคต้องใช้อาหารนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและต้นทุนการผลิตไม่สูงมากจนเกินไป (Boonsaen et al., 2017) อย่างไรก็ตามการเลี้ยงโคขุนเป็นระยะเวลานาน โคในช่วงท้ายของการขุนจะเจริญเติบโตอย่างช้าๆ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้อาหารด้อยลงและทำให้ต้นทุนการผลิตโคสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าโคมีปริมาณไขมันแทรกเพิ่มมากขึ้นการขุนโคนานขึ้นก็อาจจะมีความคุ้มค่าเนื่องจากปริมาณไขมันแทรกที่สูงขึ้นจะทำให้ราคาขายโคขุนเพิ่มสูงขึ้น (Sawanon, 2019) ดังนั้นการคัดเลือกสายพันธุ์โคที่เหมาะสมในการขุนเพื่อให้มีไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อและโคสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมในเขตร้อนขึ้นจึงมีความสำคัญต่อผลตอบแทนที่ผู้ผลิตจะได้รับจากการเลี้ยงโคขุนเป็นอย่างมาก

โคพันธุ์กำแพงแสน เป็นโคเนื้อที่ถูกปรับปรุงพันธุ์ให้มีรูปร่างขนาดใหญ่ มีมัดกล้ามเนื้อที่สมบูรณ์และเนื้อมีคุณภาพดี มีสมรรถภาพการผลิตที่ดีภายใต้สภาพแวดล้อมในเขตร้อนขึ้น (Sangthong, 2006) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพแวดล้อมของโลกในปัจจุบันที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น โคพันธุ์กำแพงแสนจึงเป็นโคอีกสายพันธุ์หนึ่งที่นิยมนำมาเลี้ยงขุนเพื่อผลิตเนื้อโคคุณภาพ รวมทั้งการเลี้ยงโคเนื้อในระบบอินทรีย์หรือเลี้ยงในระบบปล่อยแทะเล็มในแปลงหญ้า (Sawanon, 2013) แต่อย่างไรก็ตามโคพันธุ์กำแพงแสนเมื่อนำมาเลี้ยงขุนปริมาณการสะสมไขมันแทรกมีไม่มากนัก (Boonsaen et al., 2017) ในขณะที่โควากิว โดยเฉพาะอย่างยิ่งโควากิวสีดำ เป็นสายพันธุ์โคเนื้อที่เป็นที่ยอมรับว่ามีการสะสมไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อได้ดีที่สุดพันธุ์หนึ่งของโลก (Ueda et al., 2007; Nade et al., 2005) โควากิวสีดำเป็นโคที่มีการปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์ขึ้นที่ประเทศญี่ปุ่นมาเป็นเวลานานมากกว่าเจ็ดทศวรรษ โดยในช่วงแรกของการพัฒนาและคัดเลือกโควากิวในประเทศญี่ปุ่นจะเน้นที่การคัดเลือกโคให้มีสมรรถภาพการผลิตและอัตราการเจริญเติบโตที่ดี มีมัดกล้ามเนื้อใหญ่และเหมาะในการนำมาปรุงอาหารแบบตะวันตก เช่น การทำสเต็ก และโควากิวของญี่ปุ่นเหล่านี้ได้มีการนำไปเลี้ยงในต่างประเทศ เช่น แคนาดา สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย เมื่อประมาณเกือบห้าสิบปีที่ผ่านมา แต่ในระยะหลังประเทศญี่ปุ่นได้ออกกฎหมายห้ามส่งออกพันธุ์กรรมโควากิว ทั้งโคมีชีวิต น้ำเชื้อ และตัวอ่อนของโควากิวไปยังต่างประเทศ ดังนั้นโควากิวหรือน้ำเชื้อโควากิวที่มีการมาเลี้ยงหรือผสมกับแม่โคในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นโควากิวที่นำเข้ามาจากประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย หรือแคนาดา เป็นหลัก ซึ่งเป็นโควากิวสายพันธุ์ดั้งเดิมของญี่ปุ่น ในขณะที่โควากิวของญี่ปุ่นในปัจจุบันได้มีการพัฒนาและคัดเลือกสายพันธุ์เพื่อให้ไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อสูงเพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันที่นิยมบริโภคเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและมีความนุ่มหรือเมื่อนำมาบริโภคเหมือนกับละลายในปาก (Kahi and Hirooka, 2005) แต่โควากิวสายพันธุ์ที่มีการพัฒนาและคัดเลือกพันธุ์ขึ้นมาในช่วงหลังนี้เกิดขึ้นหลังจากประเทศญี่ปุ่นได้ออกกฎหมายห้ามส่งออกพันธุ์กรรมโควากิวแล้ว ดังนั้นโควากิวที่มีไขมันแทรกสูงเหล่านี้ส่วนใหญ่จึงมีการเลี้ยงกันเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นเท่านั้น (Namikawa, 2011) ดังนั้นปัจจุบันโควากิวพันธุ์แท้ หรือน้ำเชื้อโควากิวที่มีการใช้ในประเทศไทยจึงไม่ได้หมายความว่าโควากิวที่มีการสะสมไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อได้ดีทุกตัว หรือเมื่อนำน้ำเชื้อโควากิวมาผสมกับแม่โคในประเทศไทยก็ไม่ได้หมายความว่าโคลูกผสมวากิวทุกตัวจะให้เนื้อที่มีไขมันแทรกสูง แต่อย่างไรก็ตามก็มีโอกาสเป็นไปได้สูงที่โควากิว หรือโคลูกผสมวากิวที่เลี้ยงขุนในประเทศไทยจะมีปริมาณการสะสมไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อได้มากกว่าโคเนื้อที่ปรับปรุงพันธุ์ขึ้นในประเทศไทย เช่น โคพันธุ์กำแพงแสน ดังนั้นการศึกษารั้วนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสมรรถภาพการขุน ลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ และผลตอบแทนจากการขุนโคพันธุ์กำแพงแสนและโคเนื้อลูกผสมวากิวเพศผู้ที่ได้รับอาหารข้นและอาหารหยาบอย่างเต็มที่

วิธีการศึกษา

สัตว์ โรงเรือนทดลอง การเลี้ยงและการจัดการ

การทดลองใช้โคเพศผู้ตอนสายพันธุ์กำแพงแสน (KPS) น้ำหนักเฉลี่ย 407.00 กก. และโคลูกผสมที่มีสายเลือดวากิว 50 เปอร์เซนต์ (CW-F1) น้ำหนักเฉลี่ย 375.00 กก. จากฟาร์มของฟาร์มโคเนื้อของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ซึ่งมีการบันทึกพันธุ์ประวัติที่ชัดเจน ส่วนโคลูกผสมที่มีสายเลือดวากิว 75 เปอร์เซนต์ (CW-F2) น้ำหนักเฉลี่ย 436.13 กก. ได้มาจาก

ฟาร์มเกษตรกรที่มีการจัดบันทึกประวัติการผสมพันธุ์ที่ชัดเจน นำโคทั้งสามสายพันธุ์ ๆ ละ 8 ตัว มาเลี้ยงขุนในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ภายใต้โรงเรือนเปิดหลังคากระเบื้องยกสูง พื้นคอนกรีต มีพัดลมระบายอากาศ และระบบฟนฝอยไอน้ำ โคลงเลี้ยงในคอกซึ่งเดียวขนาดพื้นที่ 2.5 × 4.5 ตร.ม. มีรางอาหารอยู่ด้านหน้าและอ่างน้ำสะอาดอยู่ด้านหลังคอกที่โคสามารถกินอาหารและน้ำได้ตลอดเวลา ทำความสะอาดโรงเรือนทุกวันโดยการใช้น้ำฉีดล้างมูลลงไปในบ่อพักน้ำเสียและบำบัดน้ำเสียด้วยแบบเปิด น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วนำกลับไปใช้ในการปลูกหญ้าเนเปียร์ โคทุกตัวก่อนเริ่มการทดลองทำการถ่ายพยาธิภายในระบบทางเดินอาหารโดยการกรอกปากด้วยอัลเบนดาโซล (Albendazole) และฉีดด้วยไอโวมิก-เอฟ (Ivomec-F) พร้อมกับการฉีดวัคซีนป้องกันโรคปากและเท้าเปื่อยชนิด 3 ซีโรไทป์ (โอ เอ และเอเซียวัน) จากนั้นทำการฉีดวัคซีนป้องกันโรคปากและเท้าเปื่อยทุก 4 เดือน ทำการเลี้ยงโคขุนเป็นระยะเวลา 12 เดือนที่หน่วยวิจัยสัตว์เคี้ยวเอื้อง ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ภายใต้การกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ACKU63-AGK-017)

อาหารและการให้อาหาร

โคทั้งสามสายพันธุ์ได้รับอาหารชั้นสูตรทางการค้าสำหรับโคขุน และหญ้าเนเปียร์หมัก อย่างเต็มที่ โดยให้อาหารชั้นและหญ้าเนเปียร์หมักแยกส่วนกัน ในแต่ละวันจะต้องมีอาหารชั้นเหลือในรางไม่น้อยกว่า 1.00 กก./วัน และหญ้าเนเปียร์หมักเหลือในรางอาหารไม่น้อยกว่า 3.00 กก./ตัว และเสริมด้วยฟางข้าววันละ 1.00 กก./ตัว คุณค่าทางโภชนาของอาหารอาหารชั้น หญ้าเนเปียร์หมัก และฟางข้าว แสดงใน Table 1

Table 1 Chemical composition of commercial concentrate and roughages diet (% dry matter)

Item	Commercial concentrate	Napier grass silage	Rice straw
Dry matter (%)	89.82	19.46	89.58
Organic matter	90.28	91.07	88.00
Crude protein	14.12	6.58	3.29
Crude Fat	5.20	1.94	1.62
Ash	9.18	8.93	12.00
Calcium	0.91	0.38	0.26
Phosphorus	0.75	0.31	0.05
Neutral detergent fiber (NDF)	25.65	68.35	72.59
Acid detergent fiber (ADF)	15.68	46.04	48.19
Acid detergent lignin (ADL)	2.58	4.85	3.28

ทำการชั่งอาหารชั้นและหญ้าเนเปียร์หมักให้วันละสองมื้อ คือ มื้อเช้าเวลา 7:00-8:00 น. และมื้อเย็นเวลา 16:00-17:00 น. และชั่งฟางข้าวให้ 1.00 กก./ตัว ในมื้อเช้า ก่อนให้อาหารมื้อเช้าในวันถัดไปต้องทำการชั่งอาหาร (อาหารชั้น หญ้าเนเปียร์หมัก และฟางข้าว) ที่เหลือจากการกินของโคทุกตัวในทุกวัน เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณการกินได้ในรูปของวัตถุดิบในแต่ละวัน

การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์

1. สมรรถภาพการขุน ทำการชั่งน้ำหนักโคก่อนเริ่มการทดลอง และทำการชั่งน้ำหนักโคทุก ๆ 1 เดือน ด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิทัล นำมาคำนวณอัตราการเจริญเติบโต (average daily gain; ADG) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (feed conversion ratio; FCR)

2. สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารชั้น หญ้าเนเปียร์หมัก และฟางข้าว เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนา ได้แก่ วัตถุดิบ (Dry matter) โปรตีนรวม (crude protein) ไขมันรวม (ether extract) เถ้า (ash) แคลเซียม (calcium) ฟอสฟอรัส (phosphorus) อินทรีย์วัตถุ (organic matter) (AOAC, 2019; method ISO/IEC 17025) เยื่อใยในรูปผนังเซลล์ (neutral detergent fiber; NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในกรด (acid detergent fiber; ADF) และลิกนิน (Acid detergent lignin; ADL) (AOAC, 2016; method ISO/IEC 17025)

3. หลังจากสิ้นสุดการขุน (12 เดือน) โคถูกส่งเข้าโรงฆ่าสัตว์ที่ได้มาตรฐานและทำการฆ่าโคตามวิธีการฆ่าโคตามหลักสากล บริษัทประกอบบีพี จำกัด ทำการตัดแต่งซากโคแบบสากลที่สหกรณ์เครือข่ายโคเนื้อ จำกัด ทำการเก็บข้อมูลลักษณะซาก ได้แก่ น้ำหนักก่อนเข้าฆ่าหลังจากอดอาหารอย่างน้อย 18 ชั่วโมง น้ำหนักซากอุ่น (hot carcass weight) น้ำหนักซากเย็น (cold carcass weight) หลังจากบ่มซากที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน ทำการตัดแบ่งซากโคซีกซ้ายบริเวณกระดูกซี่โครงคู่ที่ 12 และ 13 เพื่อวัดความหนาไขมันเส้นหลัง วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันด้วยเครื่องวัดแผ่นที่ KOIUMI KP-90N ตามวิธีของ Ferreira et al. (2012) วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียระหว่างการเก็บรักษา (drip loss) (Honikel, 1987) และวัดค่าสีของเนื้อด้วยเครื่อง Hunter Lab's Miniscan EZ

4. การวัดระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ (marbling score) ทำการประเมินการสะสมไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อสันนอก (Longissimus thoracis) ระหว่างกระดูกซี่โครงคู่ที่ 12 และ 13 ภายหลังการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน กำหนดคะแนนระดับไขมันแทรกตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกษ. 6001-2547) (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2004) โดยเจ้าหน้าที่ของสหกรณ์เครือข่ายโคเนื้อ จำกัด ที่มีความเชี่ยวชาญจำนวน 3 คนเป็นผู้ประเมิน

5. การเก็บข้อมูลต้นทุนการผลิตและรายรับจากการเลี้ยงโคขุน ทำการบันทึกข้อมูลด้านต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นจริงเมื่อปี พ.ศ. 2564 ได้แก่ ค่าโคก่อนเข้าขุนเฉลี่ย 100 บาท/กก. ค่าอาหารข้นสูตรทางการค้าเฉลี่ย 11.00 บาท/กก. ค่าหญ้าเนเปียร์หมักเฉลี่ย 1.50 บาท/กก. ค่าฟางข้าวเฉลี่ย 2.00 บาท/กก. ต้นทุนผันแปรอื่น (other variable costs) ได้แก่ ค่ายาถ่ายพยาธิเฉลี่ย 100 บาท (วัคซีนป้องกันโรคปากและเท้าเปื่อยได้รับจากกรมปศุสัตว์โดยไม่มีค่าใช้จ่าย) ค่าแรงงานเฉลี่ยวันละ 5 บาท/ตัว ค่าไฟฟ้าและค่าน้ำประปาเฉลี่ยวันละ 1 บาท/ตัว ค่าวัสดุอุปกรณ์เฉลี่ยวันละ 1 บาท/ตัว ค่าเสื่อมโรงเรือนเฉลี่ย 5 บาท/ตัว และค่าเสียโอกาสในเงินลงทุน (ร้อยละ 6) รายรับคำนวณจากราคาขายซากโคให้กับสหกรณ์เครือข่ายโคเนื้อ จำกัด โดยราคาซื้อขายซากโคเพิ่มขึ้นตามปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสันนอกที่มากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามประกาศราคารับซื้อซากโคขุนจากสมาชิกสหกรณ์เครือข่ายโคเนื้อ จำกัด

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลภายใต้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (analysis of covariance) ของข้อมูลโดยใช้น้ำหนักเริ่มต้นเป็นตัวแปรร่วม (covariance) ข้อมูลค่าเฉลี่ยนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลอง ตามวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) ทางด้านสมรรถภาพการผลิต ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินได้ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ลักษณะซากและคุณภาพเนื้อโค ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โปรแกรม R (R Core Team, 2022) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ระดับ $P < 0.05$ และระดับแนวโน้มที่ $0.05 > P > 0.10$ ในส่วนต้นทุนการผลิต รายได้จากจำหน่ายโคขุน และกำไรหรือขาดทุนแสดงในรูปค่าเฉลี่ย

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมรรถภาพการขุนในช่วง 3 เดือนแรก

สมรรถภาพการขุนโคพันธุ์กำแพงแสน โคลูกผสมวากิว (F1 และ F2) เพศผู้ตอน ที่ได้รับอาหารข้นและหญ้าเนเปียร์หมักอย่างเต็มที่ เป็นเวลา 92 วัน (Table 2) พบว่าโคลูกผสมวากิว F1 มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันสูงกว่าโคลูกผสมวากิว F2 และโคพันธุ์กำแพงแสนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในขณะที่โคลูกผสมวากิว (F1 และ F2) มีปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมด (โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณการกินได้ของหญ้าเนเปียร์หมัก) สูงกว่าโคพันธุ์กำแพงแสนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าโคลูกผสมวากิว F1 มีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม (82.79 บาท/กก.) ต่ำกว่าโคลูกผสมวากิว F2 (100.69 บาท/กก.) และโคพันธุ์กำแพงแสน (107.64 บาท/กก.) ในระยะสามเดือนแรกของการขุนเป็นระยะที่โคมีการตอบสนองต่อการได้รับอาหารชั้นดีที่สุด ทำให้โคมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโคลูกผสมวากิว F1 เจริญเติบโตดีที่สุด

Table 2 Effect of Kamphaeng Saen (KPS) and crossbred Wagyu (CW) steers fed concentration diet *ad libitum* on feedlot performance for the first period (92 days)

Item	KPS	CW-F1	CW-F2	SEM	P-value
Initial weight (kg)	407.00	375.00	436.13	34.07	0.03
Weight gain (kg)	77.42 ^b	113.25 ^a	90.0a ^b	18.23	0.02
ADG (kg/day)	0.84 ^b	1.23 ^a	0.98a ^b	0.19	0.02
FCR	10.38	8.25	9.91	2.03	0.33
Total dry matter intake (kg)	8.44 ^b	9.56 ^a	9.13 ^a	0.59	<0.01
Concentrate intake (kgDM/day)	6.66	7.27	7.02	0.57	0.05
Napier grass silage (kgDM/day)	0.91 ^b	1.42 ^a	1.41 ^a	0.16	<0.01
Rice straw (kgDM/day)	0.88	0.89	0.88	0.09	0.62
Feed cost per gain (Baht)	107.64	82.79	100.69		

^{a,b} Significant difference at $P < 0.05$, SEM = standard error of the mean.

KPS = Kamphaeng Saen beef cattle, CW-F1= crossbred Wagyu F1, CW-F2= crossbred Wagyu F2.

สมรรถภาพการขุนในช่วงระหว่าง 4-6 เดือน

สมรรถภาพการขุนโคพันธุ์กำแพงแสน และโคลูกผสมวากิว (F1 และ F2) ที่ให้อาหารข้นและหญ้าเนเปียร์หมักอย่างเต็มที่ในช่วงเดือนที่ 4-6 ของการขุน (86 วัน) แสดงใน Table 3 พบว่าโคพันธุ์กำแพงแสนและลูกผสมวากิว (F1 และ F2) มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินได้ทั้งหมดในรูปวัตถุดิบ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) และพบว่าโคพันธุ์กำแพงแสนมีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมอยู่ที่ 107.63 บาท/กก. ต่ำกว่าโคลูกผสมวากิว F2 และ F1 (113.52 และ 119.93 บาท/กก. ตามลำดับ) การขุนในระหว่าง 4-6 เดือน โคยังมีการตอบสนองต่อการได้รับอาหารข้นได้ดี แต่น้อยกว่าในระยะสามเดือนแรกของการขุน และการตอบสนองต่ออาหารที่ให้ของโคทั้งสามสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างทั้งอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว

Table 3 Effect of Kamphaeng Saen (KPS) and crossbred Wagyu (CW) steers fed concentration diet *ad libitum* on feedlot performance for the second period (86 days)

Item	KPS	CW-F1	CW-F2	SEM	P-value
Initial weight (kg)	487.71 ^b	488.25 ^b	526.12 ^a	18.23	0.02
Weight gain (kg)	68.00	66.50	69.42	21.97	0.98
ADG (kg/day)	0.78	0.76	0.80	0.25	0.98
FCR	10.23	11.74	12.45	4.66	0.73
Total dry matter intake (kg)	7.85	8.53	8.48	0.98	0.49
Concentrate intake (kgDM/day)	6.24	6.66	6.66	0.86	0.67
Napier grass silage (kgDM/day)	0.74	1.01	0.97	0.16	0.05
Rice straw (kgDM/day)	0.87	0.86	0.85	0.04	0.73
Feed cost per gain (Baht)	107.63	119.93	113.52		

^{a,b} Significant difference at $P < 0.05$, SEM = standard error of the mean.

KPS = Kamphaeng Saen beef cattle, CW-F1= crossbred Wagyu F1, CW-F2= crossbred Wagyu F2.

สมรรถภาพการขุนในช่วงท้ายของการขุน (ตั้งแต่เดือนที่ 7 เป็นต้นไปจนกระทั่งโคเข้าโรงฆ่าสัตว์)

สมรรถภาพการขุนโคพันธุ์กำแพงแสน และโคลูกผสมวากิว (F1 และ F2) ในช่วงท้ายของการขุน (190 วัน) แสดงใน Table 4 พบว่าโคพันธุ์กำแพงแสนและลูกผสมวากิว (F1 และ F2) มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินได้ทั้งหมดในรูปวัตถุดิบ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่พบว่าโคลูกผสมวากิว F2 มีการกินได้ของหญ้าเนเปียร์หมักในรูปวัตถุดิบสูงที่สุด รองลงมาคือ โคลูกผสมวากิว F1 และโคพันธุ์กำแพงแสนกินหญ้าเนเปียร์หมักในรูปวัตถุดิบได้ต่ำที่สุด ในขณะที่โคพันธุ์กำแพงแสนมีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมสูงที่สุดที่ 205.30 บาท/กก. รองลงมาคือ โคลูกผสมวากิว F2 และ F1 (202.94 และ 182.49 บาท/กก. ตามลำดับ) ในช่วงท้ายของการขุน จะเห็นได้ว่าโคมีการตอบสนองต่อการได้รับอาหารชั้นได้ลดลง ทำให้โคมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงเมื่อเทียบกับช่วงแรกของการขุน ในขณะที่ปริมาณการกินอาหารชั้นและอาหารหยาบเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสูงขึ้น และผลที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับโคทั้งสามสายพันธุ์

Table 4 Effect of Kamphaeng Saen (KPS) and crossbred Wagyu (CW) steers fed concentration diet *ad libitum* on feedlot performance for the final period (190 days)

Item	KPS	CW-F1	CW-F2	SEM	P-value
Initial weight (kg)	551.67	554.66	596.20	69.81	0.51
Weight gain (kg)	98.33	129.33	102.25	39.54	0.59
ADG (kg/day)	0.52	0.64	0.54	0.19	0.73
FCR	15.21	16.54	20.65	4.93	0.42
Total dry matter intake (kg)	9.67	10.55	10.00	0.92	0.53
Concentrate intake (kgDM/day)	8.18	8.90	8.22	0.87	0.53
Napier grass silage (kgDM/day)	0.62 ^b	0.78 ^{ab}	0.93 ^a	0.09	<0.01
Rice straw (kgDM/day)	0.87	0.87	0.85	0.02	0.56
Feed cost per gain (Baht)	205.30	182.49	202.94		

^{a,b} Significant difference at $P<0.05$, SEM = standard error of the mean.

KPS = Kamphaeng Saen beef cattle, CW-F1= crossbred Wagyu F1, CW-F2= crossbred Wagyu F2.

สมรรถภาพการขุนตลอดช่วงการทดลอง (12 เดือน)

สมรรถภาพการขุนโคพันธุ์กำแพงแสน และโคลูกผสมวากิว (F1 และ F2) ตลอดช่วงการทดลอง (368 วัน) แสดงใน Table 5 พบว่าโคพันธุ์กำแพงแสนและลูกผสมวากิว (F1 และ F2) มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินได้ทั้งหมดในรูปวัตถุดิบ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าตลอดระยะเวลาการขุนโคลูกผสมวากิว F1 มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 0.84 กก./วัน ในขณะที่โคลูกผสมวากิว F2 และโคพันธุ์กำแพงแสนมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 0.71 และ 0.66 กก./วัน ตามลำดับ และในขณะเดียวกันโคลูกผสมวากิว F1 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวต่ำ อยู่ที่ 11.70 ในขณะที่โคลูกผสมวากิว F1 และโคพันธุ์กำแพงแสนมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว อยู่ที่ 13.28 และ 13.55 ตามลำดับ จึงส่งผลให้โคลูกผสมวากิว F1 มีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมต่ำที่สุด (142.95 บาท/กก.) ในขณะที่โคลูกผสมวากิว F2 และโคพันธุ์กำแพงแสนมีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม อยู่ที่ 156.48 และ 158.06 บาท/กก. ตามลำดับ

Table 5 Effect of Kamphaeng Saen (KPS) and crossbred Wagyu (CW) steers fed concentration diet *ad libitum* on feedlot performance for 368 days

Item	KPS	CW-F1	CW-F2	SEM	P-value
Initial weight (kg)	407.00	375.00	436.13	34.07	0.03
Final weight (kg)	650.75	684.08	697.80	69.81	0.51
Weight gain (kg)	243.68	309.67	261.07	28.58	0.20
ADG (kg/day)	0.66	0.84	0.71	0.20	0.20
FCR	13.55	11.70	13.28	3.18	0.53
Total dry matter intake (kg)	8.94	9.83	9.43	0.68	0.10
Concentrate intake (kgDM/day)	7.35	7.97	7.56	0.77	0.85
Napier grass silage (kgDM/day)	0.72	0.99	1.06	0.12	0.06
Rice straw (kgDM/day)	0.87	0.87	0.86	0.05	0.36
Feed cost per gain (Baht)	158.06	142.95	156.48		

SEM = standard error of the mean.

KPS = Kamphaeng Saen beef cattle, CW-F1= crossbred Wagyu F1, CW-F2= crossbred Wagyu F2.

จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าโคลูกผสมวากิว F1 เป็นโคที่ผสมข้ามระหว่างโคสายพันธุ์เมืองร้อน (โคพันธุ์กำแพงแสน) กับโคเมืองหนาว (โควากิว สายเลือดอเมริกา) ทำให้ลูกโควากิว F1 มีลักษณะของลูกผสมดีเด่น (Heterosis gene) อยู่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของการขุนที่ได้รับอาหารข้นและหญ้าเนเปียร์หมักอย่างเต็มที่ (Table 2) และตลอดช่วงการขุน (Table 5) ก็พบว่าโคลูกผสมวากิว F1 มีการตอบสนองต่อการขุนได้ดีส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตที่ดี (อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน) และต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมต่ำกว่าโคพันธุ์กำแพงแสน หรือโควากิวเลือดสูง (CW-F2) (Utrera and Van Vleck, 2004; Radunz et al., 2009.) ถ้าเป็นโคลูกผสมวากิว F2 ซึ่งมีสายเลือดของโควากิวสูงถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของลูกผสมดีเด่นจะเริ่มลดลง และลักษณะของโคเมืองหนาวจะเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความอดทนต่อสภาพอากาศร้อนในช่วงหน้าร้อน ความชื้นสูงและแมลงต่างๆ ในช่วงฤดูฝนลดน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามถ้าจะเลี้ยงโคลูกผสมวากิว F2 ก็สามารถทำได้โดยการช่วยควบคุมสภาพอากาศภายในโรงเรือนหรือคอกขุนให้เย็นสบาย เช่นในการทดลองนี้รอบๆ โรงเรือนจะมีการปลูกต้นไม้ใหญ่ให้ร่มเงา และภายในโรงเรือนมีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศและระบบพ่นฝอยไอน้ำ โดยจะเปิดระบบในช่วงฤดูร้อน (เปิดเวลา 12.00-16.00 น.) เพื่อให้อากาศภายในโรงเรือนเย็นลงและโคสามารถกินอาหารได้มากขึ้น

การให้อาหารข้นอย่างเต็มที่ตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการขุนพบว่าในระยะ 3 เดือนแรกของการขุนโคกินอาหารข้นในปริมาณมากและโคมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันสูงมาก แต่หลังจากนั้นโคเริ่มกินอาหารข้นได้ลดลงและมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันลดลง สาเหตุน่าจะมาจากเกิดภาวะความเป็นกรดสูงในกระเพาะรูเมน (acidosis) จึงส่งผลให้โคเริ่มปรับสภาพการกินอาหารข้นลดลง (Sawanon, 2018) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าถ้าให้อาหารข้นกินเต็มที่เป็นเวลาานโคจะมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสูงขึ้น ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้อาหารของโคมีค่าต่ำและทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมมีค่าสูงขึ้น (Table 2, 3 and 4)

ลักษณะซากและคุณภาพเนื้อโคพันธุ์กำแพงแสนและโคลูกผสมวากิว

ลักษณะซากและคุณภาพเนื้อโคพันธุ์กำแพงแสน และโคลูกผสมวากิว (F1 และ F2) (Table 6) พบว่าโคลูกผสมวากิว F1 มีเปอร์เซ็นต์ซากอ่อนและซากเย็นต่ำกว่าโคลูกผสมวากิว F2 ($P < 0.01$) แต่อย่างไรก็ตามโคลูกผสมวากิว F1 มีแนวโน้มที่จะมีคะแนนการสะสมไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสันนอกสูงกว่าโคลูกผสมวากิว F2 และโคพันธุ์กำแพงแสน ($P = 0.09$) ในขณะที่ลักษณะซากและคุณภาพเนื้อของโคพันธุ์กำแพงแสน และลูกผสมวากิว (F1 และ F2) ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นค่าการสูญเสียในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าเนื้อโคพันธุ์กำแพงแสนมีการสูญเสียมากกว่าโคลูกผสมวากิว (F1 และ F2) เนื่องจากอาจจะมีผลมาจากลักษณะทางพันธุกรรมของโคลูกผสมวากิวโรเลส์จะมีการสูญเสียในระหว่างการเก็บรักษาสูงกว่าโคลูกผสมวากิว (Cafferky et al., 2019; Poolthajit et al., 2022) ในขณะที่โคพันธุ์กำแพงแสนมีต้นกำเนิดของการพัฒนาพันธุ์มาจากโคสายพันธุ์ชาร์โรเลส์ 50 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้เนื้อโคพันธุ์กำแพงแสนมีการสูญเสียในระหว่างการเก็บรักษามากกว่าโคลูกผสมวากิว และจากการศึกษานี้จะเห็นว่าโคลูกผสมวากิว F1 ซึ่งเกิดจากการใช้น้ำเชื้อของพ่อโคพันธุ์วากิว สายเลือดอเมริกา ที่ได้จากการย้ายฝากตัวอ่อนที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เป็นโคที่มีโครงสร้างใหญ่สามารถเลี้ยงได้ในสภาพอากาศร้อน แต่ต้องเลี้ยง

ในโรงเรือนไม่สามารถปล่อยแพะเล็มในแปลงหญ้าในช่วงอากาศร้อนเหมือนโคพันธุ์กำแพงแสน และได้มีการทดสอบลูก (progeny test) โดยนำมาผสมกับแม่โคพันธุ์กำแพงแสน และลูกโคเพศผู้ (CW-F1) ที่ได้นำมาเลี้ยงขุนและเข้าเชือดที่อายุไม่เกิน 30 เดือน สามารถเพิ่มคะแนนไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อสันนอกได้ประมาณ 1-2 ระดับเมื่อเปรียบเทียบกับโคพันธุ์กำแพงแสน เนื่องจากโคพันธุ์วากิวเป็นโคที่มียืนในการสังเคราะห์ไขมันสะสมไว้ในร่างกายได้ดี (Motoyama et al., 2016) และสามารถถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของการสะสมไขมันแทรกไปยังโคลูกผสมได้ดี (Liu et al., 2021) แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้โคลูกผสมวากิว F2 (สายเลือดโควากิว 75%) กลับพบว่าปริมาณการสะสมไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อสันนอกน้อยกว่าโคลูกผสมวากิว F2 เนื่องจากโคลูกผสมวากิว F2 เป็นโคที่ซื้อจากฟาร์มเกษตรกร ซึ่งมีการใช้น้ำเชื้อโควากิวที่มาจากพ่อที่หลากหลายตั้งแต่ในการผสมเป็นวากิว F1 และ F2 เนื่องจากน้ำเชื้อโควากิวที่มีการนำเข้ามาในประเทศไทยมีความหลากหลายของพันธุกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถในการสะสมไขมันแทรก ประกอบกับการผสมพันธุ์เพื่อผลิตโคลูกผสมวากิว F2 เกษตรกรไม่ได้มีการคัดเลือกสายแม่ (โคลูกผสมวากิว F1) รวมทั้งสายพ่อ (น้ำเชื้อโควากิว) ที่มีพันธุกรรมสะสมไขมันแทรกดีมาใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ จึงส่งผลทำให้ได้โคลูกผสมวากิว F2 มีปริมาณการสะสมไขมันแทรกไม่แตกต่างจากโคกำแพงแสนหรือน้อยกว่าโคลูกผสมวากิว F1 ที่ใช้น้ำเชื้อพ่อวากิวที่มีการทดสอบลักษณะของการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (การสะสมไขมันแทรก) มารุ่นหนึ่งแล้ว ดังนั้นในการผสมพันธุ์เพื่อผลิตโคลูกผสมวากิวที่มีความสามารถในการสะสมไขมันแทรกได้ดี เกษตรกรต้องให้ความสำคัญในการคัดเลือกทั้งสายที่จะนำมาเป็นแม่พันธุ์และน้ำเชื้อวากิวที่จะนำมาผสมจะต้องมียืนหรือประวัติการสะสมไขมันแทรกได้ดี ซึ่งจะส่งผลให้ได้โคลูกผสมวากิวที่มีความสามารถในการสะสมไขมันแทรกได้ดี และเมื่อนำมาเลี้ยงขุนโดยการให้อาหารข้นและอาหารหยาบในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้ยืนสะสมไขมันแทรกแสดงออกมาได้อย่างเต็มที่ จะทำให้ได้เนื้อโคที่มีไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อสูงและตรงกับความต้องการของผู้บริโภค

Table 6 Effect of Kamphaeng Saen (KPS) and crossbred Wagyu (CW) steers fed concentration diet *ad libitum* on carcass characteristics and meat quality

Item	KPS	CW-F1	CW-F2	SEM	P- value
Live weight (kg)	601.17	623.75	612.67	59.24	0.84
Carcass characteristic					
Hot carcass (kg)	346.46	349.45	366.81	38.63	0.59
Hot carcass (%)	57.58 ^{ab}	55.99 ^b	59.80 ^a	1.42	<0.01
Cold carcass (kg)	336.00	337.23	357.00	38.23	0.59
Cold carcass (%)	55.84 ^{ab}	54.03 ^b	58.19 ^a	1.50	<0.01
Meat pH, at 7 days postmortem	5.54	5.58	5.56	0.05	0.48
Backfat thickness (cm)	1.40	0.90	1.62	0.50	0.17
LM area (cm ²)	93.96	93.90	101.34	16.18	0.72
Marbling score	2.00	3.00	2.00	0.66	0.09
Meat quality					
Drip loss (%)	3.60 ^a	1.56 ^b	1.47 ^b	1.36	0.04
L* Color	43.62	45.32	40.67	3.20	0.13
a* Color	20.18	19.32	19.81	2.31	0.88
b* Color	18.64	18.68	17.00	2.75	0.63

^{a,b} Significant difference at P<0.05, SEM = standard error of the mean.

KPS = Kamphaeng Saen beef cattle, CW-F1= crossbred Wagyu F1, CW-F2= crossbred Wagyu F2.

ผลตอบแทนจากการเลี้ยงโคพันธุ์กำแพงแสนและโคลูกผสมวากิว

จากการคำนวณต้นทุนที่แท้จริง รายได้ และผลตอบแทนจากการเลี้ยงโคพันธุ์กำแพงแสน และลูกผสมวากิว (F1 และ F2) ที่ได้รับอาหารข้นและหญ้าเนเปียร์อย่างเต็มที่เป็นเวลา 12 เดือน (Table 7) พบว่าต้นทุนหลักส่วนใหญ่ในการขุนโคเนื้อ คือ ต้นทุนค่าอาหารในระหว่างการขุน (ร้อยละ 50-53) และต้นทุนค่าพันธุ์โคที่นำเข้าขุน (ร้อยละ 37-39) ต้นทุนทั้งสองส่วนนี้รวมแล้วคิดเป็นร้อยละ 90 ของต้นทุนทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งราคาอาหารโคในช่วงที่ทำการทดลองราคาอาหารข้นสูตรทางการค้าสำหรับโคเนื้อเฉลี่ย 11 บาท/กก. การเลี้ยงโคขุนเพื่อให้มีไขมันแทรกต้องใช้เวลาในการขุนนาน โดยเฉพาะในช่วงสุดท้ายของการขุน โคมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำตัวที่สูงมากทำให้มีต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมเพิ่มสูงขึ้น (Table 4) ประกอบกับการให้อาหารข้นอย่างเต็มที่ตลอดช่วงของการขุนโคจะมีประสิทธิภาพในการใช้อาหารต่ำหรือมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสูงกว่าการให้อาหารข้นแบบจำกัด (French and Moloney, 2001) ในขณะที่ราคาขายโคขุนขึ้นกับน้ำหนักซากเย็นและปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสันนอก จากการทดลองนี้รายได้จากการเลี้ยงโคพันธุ์กำแพงแสนต่ำที่สุดเฉลี่ย 72,240 บาท/ตัว ในขณะที่โคลูกผสมวากิว F1 และ F2 มีรายได้เฉลี่ย 75,877 และ 76,755 บาท/ตัว เนื่องจากโคลูกผสมวากิว F2 มีน้ำหนักซากเย็นมากแม้จะมีปริมาณไขมันแทรกใกล้เคียงกับโคกำแพงแสน ในขณะที่โคลูกผสมวากิว F1 มีน้ำหนักซากเย็นใกล้เคียงกับโคกำแพงแสน แต่มีปริมาณไขมันแทรกมากกว่าโคกลุ่มอื่น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลตอบแทนจากการเลี้ยงโคขุนที่ให้อาหารข้นเต็มที่ตลอดระยะเวลาในการขุน (12 เดือน) พบว่าการเลี้ยงโคพันธุ์กำแพงแสนมีผลตอบแทนต่ำที่สุด รองลงมาคือ โคลูกผสมวากิว F2 และ F1 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการเลี้ยงโคขุนภายใต้เงื่อนไขในโคพันธุ์กำแพงแสน หรือโคลูกผสมวากิว (F2 และ F1) ยังไม่มีความเป็นไปได้ในการลงทุน

Table 7 Production cost and economic return of Kamphaeng Saen (KPS) and crossbred Wagyu (CW) feedlot steers fed concentration diet *ad libitum*

Item	KPS	CW-F1	CW-F2
Steer price (Baht/head)	40,700	37,500	43,613
Feed cost (Baht/head)	58,166	52,604	57,584
Other variable costs (Baht/head)	8,879	8,353	9,019
Fixed costs (Baht/head)	1,840	1,840	1,840
Total cost (Baht/head)	109,585	100,297	112,056
Total revenue (Baht/head)	72,240	75,877	76,755
Profit (Baht/head)	-37,345	-24,420	-35,301

KPS = Kamphaeng Saen beef cattle, CW-F1= crossbred Wagyu F1, CW-F2= crossbred Wagyu F2.

การเลี้ยงโคขุนเพื่อผลิตเนื้อโคที่มีคุณภาพ (เนื้อมีไขมันแทรก) เพื่อให้มีความเป็นไปได้ในการลงทุน ควรมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ดังนี้ (1) ใช้โคที่มีพันธุกรรมในการสะสมไขมันแทรกได้ดี โดยการคัดเลือกน้ำเชื้อโควากิวที่มีประวัติการถ่ายทอดพันธุกรรมในการสะสมไขมันแทรกไปยังรุ่นลูกได้ดีมาใช้ในการผสมพันธุ์เพื่อผลิตโคลูกผสมวากิว F1 รวมทั้งการคัดเลือกสายแม่ที่มีสมรรถภาพการผลิตที่ดีหรือให้เนื้อที่มีคุณภาพ เช่น โคพันธุ์กำแพงแสน (2) การให้อาหารข้นในระยะขุนไม่ควรให้อาหารข้นอย่างเต็มที่ตลอดช่วงของการขุน ควรให้อาหารข้นในปริมาณที่จะกำจัดในระยะแรกของการขุน และค่อยๆ เพิ่มปริมาณอาหารข้นมากขึ้น ร่วมกับการให้อาหารหยาบคุณภาพดี (หญ้าเนเปียร์หมัก) อย่างเต็มที่ เช่น ระยะการขุน 0-3, 4-6 และ 7-9 เดือน ควรให้อาหารข้นปริมาณ 6, 7 และ 8 กก./วัน ตามลำดับ และหลังจากเดือนที่สิบจนกระทั่งโคเข้าเช็ดค้อยให้อาหารข้นแบบเต็มที่ (3) อาหารข้นและอาหารหยาบต้องมีต้นทุนหรือราคาต่ำลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับการทดลองนี้ สามารถทำได้โดยการผสมอาหารข้นใช้เองโดยเลือกวัตถุดิบในท้องถิ่นที่มีราคาถูกควบคู่กับการปลูกพืชอาหารหยาบใช้เองภายในฟาร์ม หรือการใช้ผลพลอยได้จากภาคการเกษตรหรือโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตรที่มีราคาไม่เกิน 1 บาท/กก. น้ำหนักสด หรือ 4 บาท/กก. น้ำหนักแห้ง เช่น ต้นหรือเปลือกข้าวโพดฟักอ่อน เป็นต้น

สรุปผลการศึกษา

โคพันธุ์กำแพงแสน และโคลูกผสมวากิว (F2 และ F1) เมื่อนำมาเลี้ยงขุนโดยให้อาหารข้นอย่างเต็มที่เพื่อผลิตเนื้อโคคุณภาพ (มีไขมันแทรกสูง) พบว่าโคมีสมรรถภาพการขุน ลักษณะซากและคุณภาพเนื้อไม่มีความแตกต่างกัน แต่โคลูกผสมวากิว F1 มีเปอร์เซ็นต์ซากต่ำกว่าโคลูกผสมวากิว F2 ในขณะที่โคลูกผสมวากิว F1 มีแนวโน้มที่จะมีปริมาณการสะสมไขมันแทรกในมัดกล้ามเนื้อสันนอกได้ดีกว่าโคลูกผสมวากิว F2 หรือโคพันธุ์กำแพงแสน แต่การเลี้ยงโคขุนภายใต้เงื่อนไขนี้ (การให้อาหารข้นอย่างเต็มที่) ยังไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน ดังนั้นการเลี้ยงโคขุนเพื่อผลิตเนื้อโคคุณภาพผู้ผลิตต้องทำการคัดเลือกสายพันธุ์โคก่อนที่จะนำเข้าขุน เช่น โคลูกผสมวากิวที่พ่อและแม่มีประวัติการให้ลูกที่มีการสะสมไขมันแทรกได้ดี และการให้อาหารข้นในระหว่างการขุนควรให้ในปริมาณที่จำกัดในช่วงแรกแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นและให้อาหารข้นอย่างเต็มที่ในช่วงท้ายของการขุนร่วมกับการให้อาหารหยาบคุณภาพดีกินอย่างเต็มที่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท เบทาโกร จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และสหกรณ์เครือข่ายโคเนื้อ จำกัด ที่รับซื้อโคทดลองที่ผ่านการขุนแล้ว

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (idea) และสมมุติฐาน: สุริยะ สะวานนท์, อัญชลี คงประดิษฐ์, คมกฤษ เอกฉัตร, ภาณุวัฒน์ กาลจักร. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบการทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: อัญชลี คงประดิษฐ์, ปรมาพิชญ์ เจริญศรี, ภูมพงศ์ บุญแสน, พิระยุทธ อินกล้า. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: ปรมาพิชญ์ เจริญศรี, ภาณุวัฒน์ กาลจักร, พิระยุทธ อินกล้า. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม: สุริยะ สะวานนท์, อัญชลี คงประดิษฐ์, คมกฤษ เอกฉัตร, ภาณุวัฒน์ กาลจักร, ภูมพงศ์ บุญแสน, พิระยุทธ อินกล้า. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript ผลงานสร้างสรรค์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์: สุริยะ สะวานนท์, อัญชลี คงประดิษฐ์.

เอกสารอ้างอิง

- AOAC International. (2016). *Official Methods of Analysis of Association of Official Analysis Chemists*. 20th Ed. Rockville.
- AOAC International. (2019). *Official Methods of Analysis Association of Official Analysis Chemists*. 21st Ed. Rockville.
- Boonsaen, P., Winn Soe, N., Maitreejet, W., Majarune, S., Reungprim T., & Sawanon, S. (2017). Effects of protein levels and energy sources in total mixed ration on feedlot performance and carcass quality of Kamphaeng Saen steers. *Agriculture and Natural Resources*, 51(1), 57-61.
- Cafferky, J., Hamill, R. M., Allen, P., O'Doherty, J. V., Cromie, A., & Sweeney, T. (2019). Effect of breed and gender on meat quality of *M. longissimus thoracis et lumborum* muscle from crossbred beef bulls and steers. *Foods*, 8(173), 1-10.
- Chaiyahan, P., Sawanon, S., Boonsaen, P., Panyaboon, T., Hrianthong, N., Innuruk, P., Chompunich, W., & Poonko, S. (2009). Influences of body conformation and fat feeding value on feedlot performances and carcass qualities of crossbreed beef cattle. In *proceeding of the 5th Naresuan Environmental Conference*, pp. 374-385. Naresuan University. (in Thai).
- Ferreira, O. G. L., Rossi, F. D., Coelho, R. A. T., Fucilini, V. F., & Bene-detti, M. (2012). Measurement of rib-eye area by the method of digital images. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(3), 811-814.
- French, P., & Moloney, A. P. (2001). A note on diet digestibility, feed conversion efficiency and growth in steers offered ad-libitum or restricted allowances of concentrates. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 40(2), 271-275.
- Honikel, K. O. (1987). How to measure the water-holding capacity of meat? Recommendation of standardized methods. In Tarrant, P. V., Eikelenboom, G., & Monin, G. (Ed.). *Evaluation Control of Meat Quality in Pigs*, pp. 129-142. Martinus Nijhoff.
- Kahi, A. K., & Hirooka, H. (2005). Genetic and economic evaluation of Japanese Black (Wagyu) cattle breeding schemes. *Journal of Animal Science*, 83, 2021-2032.
- Liu, X. D., Moffitt-Hemmer, N. R., Deavila, J. M., Li, A. N., Tian, Q. T., Bravo-Iniguez, A., Chen, Y. T., Zhao, L., Zhu, M. J., Neiberger, J. S., Busboom, J. R., Nelson, M. L., Tibary, A., & Du, M. (2021). Wagyu-Angus cross improves meat tenderness compared to

- Angus cattle but unaffected by mild protein restriction during late gestation. *Animal*, 15(2), 100144. <http://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100144>.
- Nade, T., Okumura, T., Misumi, S., & Fujita, K. (2005). Effects of feeding different levels of concentrate on growth and carcass characteristics in younger Japanese Black cattle. *Animal Science Journal*, 76(1), 43-49.
- Namikawa, K. (2011). **Breeding History of Japanese Beef Cattle and Preservation of Genetic Resources as Economic Farm**. Retrieved from: <https://www.ansci.wsu.edu/.../BreedingHistoryofJapaneseBeefCattle.doc>.
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (ACOS). (2004). **National Food and Agricultural Commodity Standards: Cattle Meat. AIS 6001-2004**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Motoyama, M., Sasaki, K., & Watanabe, A. (2016). Wagyu and the factors contributing to its beef quality: A Japanese industry overview. *Meat Science*, 120(1), 10-18.
- Poolthajit, S., Srakaew, W., Haitook, T., Jarassaeng, C., & Wachirapakorn, C. (2022). Growth performance, blood metabolites, carcass characteristics and meat quality in finishing wagyu crossbred beef cattle receiving betaine-biotin-chromium (BBC) supplementation. *Veterinary Sciences*, 9(314), 1-15.
- Radunz, A. E., Loerch, S. C., Lowe, G. D., Fluharty, F. L., & Zerby, H. N. (2009). Effect of Wagyu-versus Angus-sired calves on feedlot performance, carcass characteristics, and tenderness. *Animal Science Journal*, 87(9), 2971-2976.
- R Core Team. (2022). **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from: <http://www.R-project.org/>.
- Sangthong, S. (2006). **Kamphaeng Saen Beef Cattle**. Kamphaeng Saen Cattle Raising Club. (in Thai).
- Sawanon, S. (2013). **Organic Beef Cattle Production**. Kasetsart University Press. (in Thai).
- Sawanon, S. (2018). **Rumen Microbiology and Utilization**. Staff Division Kasetsart University. (in Thai).
- Sawanon, S. (2019). Unit 12 Business management for beef cattle production. In **The Course Material on Business Management for Animal Production: Unit 8-15**, pp. 12-1-12-41. Office of the University Press, Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai).
- Ueda, Y., Watanabe, A., Higuchi, M., Shingu, H., Kushibiki, S., & Shinoda, M. (2007). Effect of intramuscular fat on the beef traits of Japanese Black steers (Wagyu). *Meat Science*, 78(1), 189-194.
- Utrera, A. R., & Van Vleck, L. D. (2004). Heritability estimates for carcass traits of cattle: a review. *Genetics and Molecular Research*, 3(3), 380-394.

ผลของการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า (*Phlebopus portentosus*)ต่อการเติบโตของกล้าพะยูน (*Dalbergia cochinchinensis*)The Effect of Bolete (*Phlebopus portentosus*) Inoculationon The Growth of Siamese Rosewood (*Dalbergia cochinchinensis*) Seedlingsอัญชิสา วสุสุนทร¹, แหลมไทย อาษานอก², กมลพร ปานงอม³ และวรรณ มังกิตะ^{1*}Unchisa Vasusuntron¹, Lamthai Asanog², Kamonporn Panngom³ and Wanna Mangkita^{1*}

Received date: 2 ต.ค. 66 Revised date: 24 ธ.ค. 66 Accepted date: 27 ธ.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.011>

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า (*Phlebopus portentosus*) ซึ่งเป็นเห็ดไมคอร์ไรซาที่นิยมรับประทานต่อการเติบโตของกล้าพะยูน (*Dalbergia cochinchinensis*) ซึ่งเป็นต้นไม้ที่มีมูลค่าสูง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มี 7 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม (ไม่ปลูกเชื้อ) ชุดทดลองที่ปลูกเชื้อเห็ดปริมาณ 10, 20 และ 30 มิลลิลิตร จำนวน 1 และ 2 ครั้ง โดยปลูกเชื้อห่างกัน 15 วัน ทดสอบกับกล้าพะยูนอายุ 4 เดือน บันทึกผลการเติบโตจนอายุครบ 180 วัน พบว่าการปลูกเชื้อที่ปริมาณ 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง ให้ผลดีที่สุด เมื่อวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม มีค่าเฉลี่ย 3.23 ± 0.03 , 1.40 ± 0.12 และ 4.63 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์รวม แตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อวัดความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ทรงพุ่ม และมวลชีวภาพรวม มีค่าเฉลี่ย 62.94 ± 13.07 เซนติเมตร 8.22 ± 1.13 มิลลิเมตร 41.69 ± 5.78 เซนติเมตร และ 23.47 ± 8.13 กรัม ตามลำดับ แตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับการเติบโตของกล้าพะยูน พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ มีความสัมพันธ์กับ ความสูงของกล้าไม้มากที่สุด ($R^2 = 0.7512$) รองลงไปคือ มวลชีวภาพ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก และขนาดความกว้างของทรงพุ่ม ตามลำดับ เมื่อทำการตรวจสอบลักษณะเส้นใยเห็ดที่อยู่กับรากฝอยของกล้าพะยูนด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร พบว่ารากฝอยกล้าพะยูนที่ปลูกเชื้อมีเส้นใยเห็ดตับเต่าเกาะผิวรากโดยรอบ ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางส่งเสริมการปลูกป่า โดยใช้เชื้อเห็ดไมคอร์ไรซา (เห็ดตับเต่า) ร่วมกับไม้เศรษฐกิจ เพื่อช่วยเพิ่มการเติบโตของพืช

คำสำคัญ: พะยูน กล้าไม้ เห็ดตับเต่า เอคโตไมคอร์ไรซา ไมคอร์ไรซา

Abstract

The effect of bolete (*Phlebopus portentosus*) inoculation, which is a highly favored edible mycorrhizal mushroom, on the growth of Siamese rosewood (*Dalbergia cochinchinensis*) seedlings, which is a highly valued tree, was investigated. Completely Randomized Design (CRD) with seven treatments was used. The treatments were: control group (no inoculation); inoculation with 10, 20, and 30 ml of *P. portentosus* inoculum, inoculated once and twice with a 15-day interval between inoculations. Four-month-old *D. cochinchinensis* seedlings were used in the experiment. Growth parameters were recorded for 180 days after inoculation. It was found that two inoculation of 20 ml gave the best results. The result showed that the average quantities of chlorophyll A, chlorophyll B, and total chlorophyll content that were measured were 3.23 ± 0.03 , 1.40 ± 0.12 , and 4.63 ± 0.09 mg.g⁻¹, respectively. The average quantities of chlorophyll A and total chlorophyll were significantly different from the control group at the statistical level of $P \leq 0.05$. The average stem height, diameter at root collar, canopy width, and total biomass were 62.94 ± 13.07 cm, 8.22 ± 1.13 mm, 41.69 ± 5.78 cm, and 23.47 ± 8.13 g, respectively. The results were significantly different from the control group at the statistical level of $P \leq 0.05$. The

¹ สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ โครงการจัดตั้งวิทยาลัยการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แพร่ 54140

² สาขาวิชาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แพร่ 54140

³ กลุ่มวิทยาศาสตร์พื้นฐาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แพร่ 54140

¹ Master of Science Program in Forest Management, The Established Project of College of Forestry, Maejo University Phrae Campus, Maejo University, Phrae 54140

² Program in Agroforestry, Maejo University Phrae Campus, Maejo University, Phrae 54140

³ Program in Basic Science, Maejo University Phrae Campus, Maejo University, Phrae 54140

*Corresponding author: E-mail: mangkita378@gmail.com

correlation analysis between amount of chlorophyll A and plant growth indicators showed that the correlation coefficient between chlorophyll A and stem height was highest ($R^2 = 0.7512$), followed by total biomass, diameter at root collar, and canopy width respectively. *P. portentosus* attached to *D. cochinchinensis* seedlings roots were examined by Scanning Electron Microscope (SEM) at 100 μm . The results showed that the inoculated roots had mycelium attached to the surrounding root surface. The study results could be used as a guideline to promote re-forestation by using mycorrhizal mushroom (*P. portentosus*) along with economic trees for increasing plant growth.

Keywords: *Dalbergia cochinchinensis*, seedlings, *Phlebobus portentosus*, ectomycorrhiza, mycorrhiza

คำนำ

เห็ดไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตให้กับไม้ป่าเศรษฐกิจได้หลากหลายชนิด ไม้พะยูน (*Dalbergia cochinchinensis*) เป็นไม้ในวงศ์ Fabaceae มีเนื้อไม้แข็งแรงทนทาน มีราคาซื้อขายสูง เป็นไม้มงคล มีความเชื่อว่าพวงในเรือนบ้านเรือนมั่นคงพวงฐานะ และโชค ในอดีตเป็นไม้หวงห้ามประเภท ก. ซึ่งต้องได้รับการอนุญาตในการตัด ซื่อขาย ส่งผลให้เกิดปัญหาการลักลอบตัดฟันเนื่องจากมีความต้องการใช้เนื้อไม้ทั้งใน และต่างประเทศ ปัจจุบันพะยูนถูกจัด เป็นไม้เศรษฐกิจตามรายชื่อ ตามพระราชบัญญัติหลักประกันทางธุรกิจ สามารถใช้ไม้ในการประกันกู้ยืม สินเชื่อ หรือค้ำประกันธุรกิจได้ ส่งผลให้ประชาชนมีความสนใจในการปลูกพะยูนเพิ่มมากขึ้น แต่พะยูนเป็นไม้โตช้า รอบตัดฟัน 15 - 30 ปี (Royal Forest Department, 2018) การใช้เทคโนโลยีจากเห็ดป่าเศรษฐกิจ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเอดโตไมคอร์ไรซามีหลากหลายชนิด เช่น เห็ดเผาะ (*Astraeus hygrometricus*) เห็ดระโงก (*Amanita javanica*) เห็ดตะไคล (*Russula virescens* Fr.) รวมถึงเห็ดตับเต่า (*Phlebobus portentosus*) (Kosol et al., 2020) โดยเส้นใยเห็ดอาศัยอยู่กับรากของพืชแบบพึ่งพาอาศัยกัน (Symbiosis) เส้นใยเห็ดตับเต่าปล่อยน้ำย่อยออกมาช่วยย่อยแร่ธาตุในดินให้แปรสภาพมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืช เส้นใยที่ห่อหุ้ม รากผอมช่วยเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับน้ำและธาตุอาหาร (N, P, K, Ca, Mg) ได้เพิ่มมากขึ้น (Allen, 1991) โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ที่เป็นส่วนสำคัญต่อปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เนื่องจากเป็นธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ โดยที่คลอโรฟิลล์แบ่งออกได้คือ คลอโรฟิลล์เอ ซึ่งมีอยู่ 3 ใน 4 ของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของพืช และคลอโรฟิลล์บี มีอยู่ 1 ใน 4 ของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Panawala, 2017) ชนิดของพืชที่เห็ดตับเต่าสามารถเจริญที่ระบบรากของพืช ได้นั้นมีหลากหลายชนิดซึ่งส่วนใหญ่เป็นพืชเศรษฐกิจ และเป็นพืชอาหารที่สามารถปลูกได้อย่างกว้างขวาง ได้แก่ พืชสกุลส้ม เช่น ส้ม ส้มโอ มะกรูด มะนาว กลุ่มไม้ผล เช่น ลำไย น้อยหน่า ขนุน หว้า มะกอกน้ำ กลุ่มพืชผัก และพืชดอก เช่น โสน แคบ้าน ชงโค หางนกยูงไทย เป็นต้นและเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมทั้งอุณหภูมิ และความชื้นเชื้อเห็ดจะสามารถรวมตัวและเกิดเป็นดอกเห็ดได้ (Jandrasikul et al., 2008; Duamkhanmanee, 2014) มีรายงานการนำเชื้อเห็ดตับเต่ามาทดสอบกับพืชหลากหลายชนิด เช่น การใช้เชื้อเห็ดตับเต่าที่เพาะเลี้ยงกับข้าวฟ่างมาทดลองในยูคาลิปตัสซึ่งช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก พื้นที่ใบ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และการใช้เชื้อเห็ดตับเต่าในรูปแบบของ สารแขวนลอย พบว่ามีการเพิ่มการเจริญเติบโต มวลชีวภาพ ปริมาณไนโตรเจน และโพแทสเซียม (Verasathiean and Tangkitchote, 2005) การปลูกเชื้อดอกเห็ดตับเต่าในกล้าฝรั่ง ช่วยเพิ่มการแตกกิ่ง การเจริญเติบโต มวลชีวภาพ โดยศึกษาเป็นระยะเวลา 180 วัน (Kanwichai and Tangkijchote, 2012) การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าร่วมกับต้นหว้าที่เริ่มต้นอายุแตกต่างกัน พบว่ากล้าหว้าที่อายุ 7 เดือน มีการเพิ่มการเจริญเติบโตด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากมากที่สุด และพบว่าเชื้อเห็ดตับเต่าช่วย เพิ่มการเจริญเติบโตกล้าหว้าที่ปลูกเชื้อมากกว่าที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (Inyod et al., 2021a) รวมถึงการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าร่วมกับไม้ป่า และไม้โตเร็ว เช่น หางนกยูง และแคบ้าน ช่วยเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก และทรงพุ่มของกล้าไม้ที่ปลูก เชื้อมากกว่าที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (Inyod et al., 2021b) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเชื้อเห็ดตับเต่าต่อการเติบโตของกล้าพะยูน เพื่อเป็นข้อมูลในการส่งเสริม การสร้างแรงจูงใจในการปลูกพะยูน และไม้ป่าเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ ร่วมกับการเพาะเห็ดไมคอร์ไรซาในอนาคต

วิธีการศึกษา

การเตรียมหัวเชื้อเห็ดตับเต่าในอาหารเมล็ดข้าวฟ่าง

หัวเชื้อเห็ดตับเต่าที่ใช้ในการทดลอง เตรียมโดยการแยกเชื้อจากดอกเห็ดในอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป พีดีเอ (Potato Dextrose Agar; PDA) เป็นเวลา 30 วัน แล้วแยกเชื้อที่บริสุทธิ์ลงเลี้ยงบนอาหารพีดีเออีก 30 วัน จึงนำไปขยาย เชื้อเพิ่มปริมาณในอาหารเมล็ดข้าวฟ่าง ใช้เวลาอีก 30 วัน โดยการเพาะเลี้ยงใช้ตุ้มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อหัวเชื้อในอาหารเมล็ดข้าวฟ่าง

เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว เตรียมหัวเชื้อโดยการชั่งกับน้ำสะอาดปราศจากคลอรีนในอัตราส่วนหัวเชื้อ 100 กรัม ต่อน้ำ 1,000 มิลลิลิตร (Biodiversity-Based Economy Development Office, 2021) การทดลองใช้หัวเชื้อที่เตรียมในครั้งเดียวกันทั้งหมด

การเตรียมต้นกล้าพะยูน

เพาะเมล็ดพะยูนในถุงเพาะขนาดเล็ก 2 x 6 นิ้ว โดยวัสดุเพาะกล้าไม้ ประกอบด้วยดินดำ ขุยมะพร้าว และปุ๋ยอินทรีย์ ในอัตราส่วน 2:1:1 เมื่อกล้าพะยูนอายุ 3 เดือน ย้ายลงถุงเพาะขนาด 3 x 8 นิ้ว อนุบาลกล้าไม้เป็นเวลา 1 เดือน (รวมอายุกล้า 4 เดือน) คัดกล้าพะยูนที่มีขนาดเท่า ๆ กัน ความสูงประมาณ 20 เซนติเมตร เพื่อนำมาทดลอง (Biodiversity-Based Economy Development Office, 2021)

การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในต้นกล้าพะยูน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยมี 7 ชุดการทดลอง ใช้กล้าพะยูน 6 ต้นต่อชุดการทดลอง ทำ 3 ซ้ำ โดยมี ชุดควบคุมที่ไม่ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า เปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ปลูกเชื้อปริมาณ 10, 20 และ 30 มิลลิลิตร (มวลชีวภาพของเส้นใยเห็ด 3 มิลลิกรัม/10 มิลลิลิตร) ปลูกเชื้อจำนวน 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง (การปลูกเชื้อครั้งที่สองเว้นระยะเวลา 15 วัน จากครั้งแรก) ทำการปลูกเชื้อโดยการรดน้ำดินในถุงเพาะพอชื้น ปีบดินในถุงเพาะกล้าให้แตกเป็นร่องเล็กน้อย เพื่อให้เชื้อเห็ดลงไปบริเวณโคนรากได้ดีขึ้น หลังปลูกเชื้อเห็ดอนุบาลกล้าไม้ในที่ร่ม ไม่รดน้ำในช่วง 1-3 วันแรก เพื่อให้เส้นใยเห็ดได้ตั้งตัว และเจริญเกาะติดที่ระบบรากของกล้าไม้ หลังจากนั้นรดน้ำพอชื้น น้ำไม่ไหลล้นจนชะเส้นใยเห็ดออกจากถุง (Biodiversity-Based Economy Development Office, 2021) เมื่อครบ 1 สัปดาห์นำกล้าไม้มาวางบริเวณที่มีแสงแดดรำไรให้น้ำในปริมาณที่เท่า ๆ กัน ในช่วงเวลาเดียวกันทุกเช้าในแต่ละหน่วยการทดลอง หลังปลูกเชื้อเป็นระยะเวลา 30 วัน ตรวจวัดการเจริญเติบโตกระทั่งกล้าไม้มีอายุครบ 180 วัน โดยวัดความสูงด้วยไม้บรรทัด จากคอรากถึงปลายยอด 1 ครั้ง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากด้วยใช้เวอร์เนียรัศมีเปอร์ และวัดทรงพุ่มด้วยไม้บรรทัด 2 ครั้ง แล้วนำมาคำนวณค่าเฉลี่ย (Sangthian and Sangwanit, 1994; Elliott et al., 2000)

การตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์

การตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ ทำโดยสุ่มตัวอย่างกล้าพะยูนในแต่ละชุดการทดลอง แล้วสุ่มเก็บตัวอย่างใบ โดยใช้ที่เจาะกระดาษเอาใบแก่ นำใบมาล้างแล้วสับหั่นน้ำหนักสดจำนวน 10 มิลลิกรัม เพื่อใส่ในหลอดทดลองขนาด 2.0 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethyl Sulfoxide; DMSO) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร แล้วบ่มที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการวัดโดยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ยี่ห้อ Thermo Fisher Scientific; รุ่น Genesys 10S UV-Vis) ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร และ 645 นาโนเมตร สำหรับการวัดคลอโรฟิลล์ โดยใช้คิวเวทแก้ว (Arnon, 1949; Siebeneichler et al., 2019; In-pik & Kongsamai, 2022) แล้วนำไปคำนวณหาค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ ตามสูตรดังนี้

$$\text{คลอโรฟิลล์เอ} = [12.7 (A_{663}) - 2.69 (A_{645}) \times V] / (1000 \times \text{wt})$$

$$\text{คลอโรฟิลล์บี} = [22.9 (A_{645}) - 4.68 (A_{663}) \times V] / (1000 \times \text{wt})$$

$$\text{คลอโรฟิลล์รวม} = [20.2 (A_{645}) + 8.02 (A_{663}) \times V] / (1000 \times \text{wt})$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสาร, V คือ ปริมาตรสารละลาย DMSO และ wt คือ น้ำหนักใบที่ใช้สกัด

การวัดปริมาณมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน และใต้ดิน

วัดปริมาณมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน และใต้ดิน โดยนำกล้าอายุ 180 วัน มาล้างดินออก แยกระหว่างส่วนเหนือ ดินและส่วนรากใต้ดิน ชั่งน้ำหนักสดหน่วยเป็นกรัม จดบันทึกก่อนห่อด้วยกระดาษ นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักแห้งหน่วยเป็นกรัม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับการเติบโตของกล้าพะยูน

วิเคราะห์สมการสหสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (มิลลิกรัม/กรัม) และดัชนีชี้วัดการเติบโตของกล้าพะยูน 4 ดัชนี ได้แก่ ความสูง (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก (มิลลิเมตร) ขนาดความกว้างของทรงพุ่ม (เซนติเมตร) และมวลชีวภาพ (กรัม) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) โดยใช้โปรแกรม Excel

การตรวจสอบการเกาะของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

ทำโดยการเก็บตัวอย่าง และตัดรากให้มีขนาดประมาณ 0.5-1.0 เซนติเมตร นำไปล้างด้วยสารละลาย 1X (v/v) phosphate buffered saline (PBS) จำนวน 1 ครั้ง จากนั้นทำการหยุดปฏิกิริยาครั้งที่ 1 (Primary fixation) ด้วยน้ำยา Karnovsky's fixative (2% Paraformaldehyde + 2% glutaraldehyde) ล้างด้วยสารละลาย 1X (v/v) PBS จำนวน 2 ครั้ง จากนั้นนำตัวอย่างรากไปหยุดปฏิกิริยาครั้งที่ 2 (Secondary fixation) โดยใช้สารละลาย 1% Osmium tetroxide ที่เตรียมในสารละลาย เก็บในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาล้างด้วยสารละลาย 1X (v/v) PBS จำนวน 2 ครั้ง จากนั้นทำการดึงน้ำออก

(Dehydration) ด้วยแอลกอฮอล์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 30, 50, 70, 80, และ 90 เปอร์เซ็นต์ อย่างละ 1 ครั้ง ๆ ละ 5 นาที และดึงน้ำออกด้วยแอลกอฮอล์ 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 3 ครั้ง ๆ ละ 5 นาที ทำตัวอย่างให้แห้ง (Drying) โดยการแช่ในสารละลาย hexamethyldisilazane (HMDS) เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำตัวอย่างรากวางบนเทป คาร์บอน (Carbon tape) นำไปดูดความชื้น ออก และทำการเคลือบ (Coating) ตัวอย่างด้วยทองคำ โดยใช้ เครื่อง Safematic รุ่น CCU-010 แล้วนำไปส่อง และถ่ายภาพด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ, Tescan Clara) โดยการเตรียม ตัวอย่างสำหรับการทำ SEM ทำตามวิธีการของ (Panngom et al., 2014)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละ สิ่ง ทดลอง โดยใช้ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สถิติ SPSS

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าต่อการปริมาณคลอโรฟิลล์ของกล้าพะยูน

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมของกล้าพะยูนที่ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า ที่ปริมาณของ เชื้อเห็ดที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ของกล้าพะยูนที่ปลูกเชื้อเห็ดที่ปริมาตร 20 และ 30 มิลลิลิตร จำนวน 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง มีค่าสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในขณะที่การปลูก เชื้อเห็ดลงในกล้าพะยูนที่ ระดับดังกล่าวจำนวน 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง ไม่ส่งผลให้กล้าไม้ผลิตคลอโรฟิลล์บีแตกต่างจากกล้า ไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดแต่อย่างใด นอกจากนั้นยังพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (คลอโรฟิลล์เอ รวมกับ คลอโรฟิลล์บี) ของกล้าพะยูนที่ปลูกเชื้อเห็ดที่ปริมาตร 20 และ 30 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง มีค่าสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูก เชื้อเห็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) รายละเอียดดังแสดง ใน Table 1 การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าส่งผลให้กล้าพะยูน ผลิตคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มขึ้น ซึ่งคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุ หลักที่สำคัญ ในการดูดซับ และถ่าย ทอดพลังงานแสงไปยังคลอโรพลาสต์ซึ่งเป็นแหล่งทำปฏิกิริยาแสง เป็นการสังเคราะห์อาหาร ของพืช อีกทั้งปริมาณ คลอโรฟิลล์ยังบ่งบอกปัจจัยทางสภาพแวดล้อมของพืช เช่น การขาดธาตุไนโตรเจน หรือมีการเข้า ทำลาย ของศัตรูพืชส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง (Moonchun et al., 2017; In-pik and Kongsamai, 2022)

การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าต่อการเติบโตของกล้าพะยูน

การศึกษามูลของการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในปริมาตรที่แตกต่างกันต่อการเติบโตของกล้าพะยูน โดยตรวจวัด ดัชนีชี้วัดการ เติบโตของกล้าไม้ 4 ดัชนี ได้แก่ การเติบโตทางความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ขนาดทรงพุ่ม และ มวลชีวภาพ (น้ำหนักแห้ง) ผลการศึกษารูปได้ดังนี้ การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าที่ปริมาตร 20 และ 30 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง ส่งผลให้การเติบโต ทางด้านความสูงของกล้าพะยูนสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าความสูงเฉลี่ย 62.94 ± 13.07 , 60.22 ± 14.43 และ 47.67 ± 11.42 เซนติเมตร ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าที่ปริมาตร 20 และ 30 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง ส่งผลให้มวลชีวภาพ ของกล้าพะยูน สูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่ามวลชีวภาพเฉลี่ย 23.47 ± 8.13 , 21.23 ± 3.18 และ 15.69 ± 5.83 กรัม ตามลำดับ การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าที่ ปริมาตร 20 และ 30 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง และปริมาตร 30 มิลลิลิตร จำนวน 1 ครั้ง ส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ คอรากของกล้าพะยูน สูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ ปลูกเชื้อเห็ด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ คอรากของกล้าพะยูน มีค่าสูงที่สุดเมื่อปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าที่ปริมาตร 30 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง โดยมีค่าเฉลี่ย 8.87 ± 6.35 มิลลิเมตร นอกจากนั้นยังพบว่า การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าที่ปริมาตรต่าง ๆ (10, 20, 30 มิลลิลิตร) จำนวน 2 ครั้ง ส่งผลให้ขนาดความ กว้าง ของทรงพุ่มสูงขึ้น และแตกต่างจากกล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 2a การศึกษาการเติบโตของกล้าพะยูน อายุครบ 180 วัน หลังจากปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า พบว่าการปลูกเชื้อเห็ดที่ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง มีประสิทธิภาพมากที่สุด ส่งผลให้กล้าพะยูน มีการเติบโตดีที่สุด โดยการให้หัวเชื้อเห็ดปริมาณน้อยที่สุด สอดคล้องตามคำแนะนำ ปริมาณการปลูก หัวเชื้อเห็ดตับเต่า ที่แปรผัน ตามความสูงของกล้าไม้ โดยแนะนำการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า ปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อความสูง 20 เซนติเมตร (Biodiversity-Based Economy Development Office , 2021) ผลจากการ ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าช่วยส่งเสริมการเติบโตของกล้าพะยูนให้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าร่วมกับ ยูคาลิปตัสคามาลดู เลนซีส์ และสนคาร์เปีย ที่พบว่า ดินที่ได้ปลูกเชื้อมีการดูดซับธาตุอาหารของในดินเหมือนแร่ได้ดีกว่า ส่งผลให้มีการเติบโตที่ดีกว่าดิน ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (Boonyuen, 1989) จากการที่เชื้อเข้าไปอยู่ร่วมกับรากทำหน้าที่ย่อยธาตุอาหาร ในดินให้อยู่ในรูปที่ใช้งานได้ง่าย อีกทั้งยังเพิ่มการแตกแขนงของรากพืช เพื่อใช้ในการหาอาหารได้ (Jandrasrikul et al., 2008; Kosol et al., 2020) รวมถึงการใช้ เชื้อเห็ดตับเต่าที่เพาะเลี้ยงกับข้าวฟ่าง มาทดลอง ในยูคาลิปตัสซึ่งช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก พื้นที่

ใบ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และการใช้เชื้อเห็ดตับเต่า ในรูปแบบของสารแขวนลอย พบว่ามีการเพิ่มการเจริญเติบโต มวลชีวภาพ ปริมาณไนโตรเจน และโพแทสเซียม (Verasathiean and Tangkitchote, 2005) และงานวิจัยซึ่งพบว่าการเจริญเติบโตของกล้าไม้ ที่ปลูกร่วมกับเห็ดโตไมคอร์ไรซามีน้ำหนักแห้ง มากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (Jackson and Mason, 1984; Sangthian and Sangwanit, 1994) การศึกษาของ Inyod et al. (2021a) รายงานว่า การใช้กล้าหว้าอายุ 7 เดือนที่ปลูกเชื้อตับเต่า มีมวลชีวภาพมากกว่าไม่ปลูกเชื้อทั้งมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน (น้ำหนักแห้งส่วนใบและลำต้น และมวลชีวภาพส่วนใต้ดิน (น้ำหนักแห้งส่วนราก)

Table 1 Quantity of chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll, stem height, diameter at root collar, canopy width and total biomass on *D. cochinchinensis* seedlings were inoculated with *P. portentosus* for 180 days

Treatment	Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)*	Chlorophyll b (mg.g ⁻¹)*	Total chlorophyll (mg.g ⁻¹)*	Stem height (cm)*	Diameter at root collar (mm)*	Canopy width (cm)*	Total biomass (g)*
Control	1.19±0.63 ^c	1.31±0.71 ^{ab}	2.50±0.09 ^c	47.67±11.42 ^c	6.29±1.54 ^d	30.70±6.10 ^c	15.69±5.83 ^c
Inoculated once							
T1 (10 ml)	1.94±0.07 ^{bc}	1.06±0.26 ^{ab}	3.00±0.19 ^{cd}	55.65±13.25 ^{bc}	6.87±1.57 ^{cd}	30.62±10.70 ^c	15.84±5.24 ^c
T2 (20 ml)	2.60±0.16 ^{ab}	0.94±0.02 ^b	3.54±0.14 ^c	52.39±13.47 ^{bc}	6.44±1.09 ^d	34.25±7.28 ^{bc}	16.36±5.58 ^c
T3 (30 ml)	2.80±0.04 ^{ab}	0.92±0.01 ^b	3.72±0.02 ^{bc}	53.06±8.91 ^{bc}	8.07±0.88 ^{abc}	34.94±6.27 ^{bc}	17.22±5.99 ^{bc}
Inoculated twice							
T4 (10 ml)	1.99±0.25 ^{bc}	1.87±0.22 ^a	3.87±0.03 ^{bc}	53.47±13.57 ^{bc}	7.08±1.48 ^{bcd}	42.61±6.52 ^a	20.03±4.83 ^{abc}
T5 (20 ml)	3.23±0.03 ^a	1.40±0.12 ^{ab}	4.63±0.09 ^a	62.94±13.07 ^a	8.22±1.13 ^{ab}	41.69±5.78 ^{ab}	23.47±8.13 ^a
T6 (30 ml)	2.73±0.44 ^{ab}	1.48±0.31 ^{ab}	4.21±0.14 ^{ab}	60.22±14.43 ^{ab}	8.87±6.35 ^a	36.39±5.42 ^{bc}	21.23±3.18 ^{ab}

^{a-e} Different superscript letters within each row are significantly different ($P \leq 0.05$).

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับการเติบโตของกล้าพะยูน

ผลการตรวจวัดระดับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (มิลลิกรัม/กรัม) และดัชนีชี้วัดการเติบโตของกล้าพะยูน 4 ดัชนี ได้แก่ ความสูง (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก (มิลลิเมตร) ขนาดความกว้างของทรงพุ่ม (เซนติเมตร) และมวลชีวภาพ (กรัม) ได้นำมาวิเคราะห์ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอและดัชนีชี้วัดการเติบโตของกล้าพะยูน 4 ดัชนี ซึ่งผลการวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ มีความสัมพันธ์กับ ความสูงของกล้าไม้มากที่สุด ซึ่งรูปแบบของสมการ ความสัมพันธ์ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มากที่สุดเป็นแบบโพลีโนเมียลยกกำลัง 3 ซึ่งความสูงของ กล้าพะยูนจะผันแปร ตามปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ตามสมการ $y = 8.0217x^3 - 52.114x^2 + 11.95x - 25.117$ โดยมีค่าความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง-มาก ($R^2 = 0.7512$) ในทำนองเดียวกันปริมาณคลอโรฟิลล์เอ มีความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพ และขนาดความกว้าง ของทรงพุ่มเป็นแบบโพลีโนเมียลยกกำลัง 3 ($R^2 = 0.6092$ และ 0.4492 ตามลำดับ) ในขณะที่ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ มีลักษณะความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก เป็นแบบสมการเส้นตรง $y = 1.0514x + 4.9345$ ($R^2 = 0.5341$) ซึ่งค่าความสัมพันธ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และดัชนีชี้วัดการเติบโตของกล้าพะยูน 3 ปัจจัยดังกล่าว จัดอยู่ในระดับปานกลาง โดยลักษณะรูปแบบสมการความสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังแสดงใน Figure 1

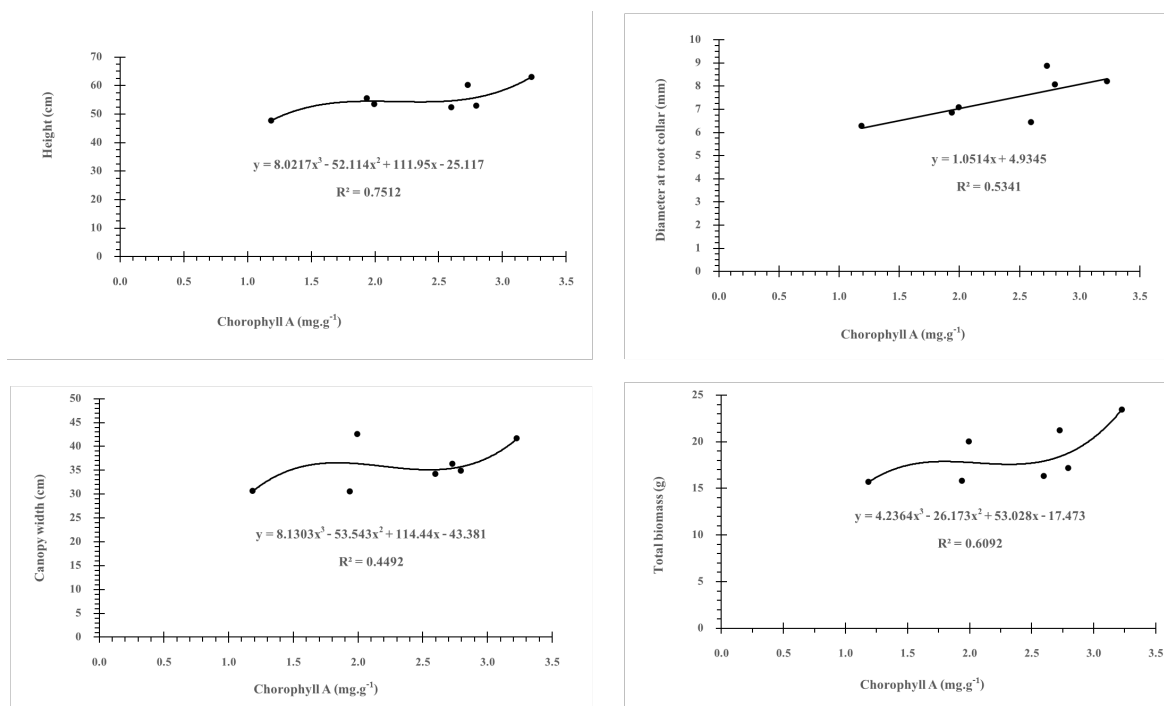


Figure 1 The correlation analysis between amount of chlorophyll A and plant growth indicators: stem height (top left), diameter at root collar (top right), canopy width (bottom left) and biomass (bottom right).

ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์มีผลต่อการเติบโตทางด้านความสูงของกล้าไม้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ (Ariff et al., 2012) ซึ่งได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์กับการเติบโตทาง ความสูงของต้นกล้ายางพารา พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้น ของระดับความสูงของกล้า ยางพารา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้นยังมีรายงานการวิจัย (Siriyoot and Jongaewwattana, 2011) พบว่าผลผลิต และมวลชีวภาพของข้าวโพดมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ระหว่าง น้ำหนักแห้งกับปริมาณคลอโรฟิลล์ ($R^2=0.63$) โดยคลอโรฟิลล์เป็นแหล่งไนโตรเจน และคาร์บอนซึ่งส่งผลต่อ การเติบโตของเซลล์ ใบ และการเติบโตของเรณอยอดทรงพุ่ม (Li et al., 2018) ในขณะที่ คลอโรฟิลล์เอ ซึ่งเป็นรงควัตถุหลักที่ ดูดซับพลังงานแสง มีผลโดยตรงต่อการสังเคราะห์อาหาร และการเจริญเติบโตของพืช (In-pik and Kongsamai, 2022) เนื่องจากการเจริญเติบโต เป็นผลมาจากการปฏิกิริยาสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นหน้าที่ของคลอโรฟิลล์ในการดูดกลืนพลังงานแสง และสังเคราะห์อาหาร ให้กับพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ โดยตรงกับธาตุไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบหลัก ของคลอโรฟิลล์ และเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง (Gardner et al., 2022) ดังนั้น การวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับดัชนีชี้วัดการเติบโตต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ขนาดความกว้างของทรงพุ่ม และมวลชีวภาพ (กรัม) จึงน่าจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ มีค่ามากจะส่งผลให้การเติบโตของพืชมาด้วย และค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับ ดัชนีชี้วัดการเติบโตต่าง ๆ ของพืชควรอยู่ในระดับสูง แต่เนื่องจากผลการทดลองนี้มีจำนวนตัวอย่างจำกัด ซึ่งอาจจะมีผลให้เกิด ความคลาดเคลื่อน ประกอบกับระดับความเชื่อมั่นของข้อมูลน้อยลง ส่งผลให้ค่าความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณ คลอโรฟิลล์เอ กับค่าดัชนีชี้วัด การเติบโตของพืชมีค่าอยู่ในระดับปานกลาง

การศึกษาลักษณะเส้นใยเห็ดดับเต่าโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เมื่อตรวจสอบลักษณะเส้นใยเห็ดดับเต่าที่อยู่ร่วมกับรากกล้าพะยูน พบว่ากล้าพะยูนที่ปลูกเชื้อปริมาณ 20 มิลลิลิตร 2 ครั้ง มีจำนวนรากแขนงและรากฝอย มากกว่ากล้าพะยูนที่ไม่ปลูกเชื้อ และกล้าพะยูนที่ปลูกเชื้อปริมาณ 20 มิลลิลิตร 1 ครั้ง ดังแสดงใน Figure 2b, 2d and 2f เมื่อตรวจสอบการเกาะของเส้นใยเชื้อเห็ดรอบรากฝอยของกล้าพะยูน ด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร พบว่า การปลูกเชื้อเห็ดที่ปริมาณ 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง เส้นใย (Mycelium) มีลักษณะยาว เจริญสานตัวกันเป็นแผ่น (Fungal sheath) อยู่รอบ ๆ รากฝอย เนื่องจากการปลูกหัวเชื้อ เข้าเป็นการเพิ่มโอกาส ที่เชื้อเห็ดดับเต่าจะเข้าเกาะกับรากได้เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงใน Figure 2g เส้นใยบางส่วนจะเจริญ เข้าไปอยู่ในช่องว่าง ระหว่างเซลล์ชั้น Epidermis ส่งผลให้รากมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น สามารถดูดซับความชื้น และธาตุอาหารได้มากขึ้น เส้นใยเห็ดดับเต่ายังช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ในดินส่งให้รากพืชในรูปของฮิวมัส ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น (Allen, 1991; Massicotte et al.,

2005; Jandrasrikul et al., 2008; Kosol et al., 2020) การปลูกเชื้อปริมาณ 20 มิลลิลิตร 1 ครั้ง พบว่าผิวรากมีปริมาณเส้นใยเกาะเพียงบาง ๆ ดังแสดงใน Figure 2e ส่วนรากพะยูนที่ไม่มีการปลูกเชื้อตรวจไม่พบเส้นใยเห็ดดับแต่แสดงใน Figure 2c



Figure 2 (a) *D. cochinchinensis* seedlings (Control, inoculated once with 20 ml, and inoculated twice with 20 ml). (b) *D. cochinchinensis* seedling roots were non-inoculated with *P. portentosus*. (c) Scanning electron microscope (SEM) of *P. portentosus* seedling roots non-inoculated with *P. Portentosus*. (d) *D. cochinchinensis* seedling roots were inoculated once with 20 ml with *P. Portentosus*. (e) SEM of *D. cochinchinensis* seedling roots were inoculated once with 20 ml with *P. portentosus*. (f) *D. cochinchinensis* seedling roots were inoculated twice with 20 ml with *P. Portentosus*. (g) SEM of *D. cochinchinensis* seedling roots were inoculated twice with 20 ml with *P. portentosus*.

สรุปผลการศึกษา

การศึกษามูลของเชื้อเห็ดดับแต่ต่อการเติบโตของกล้าพะยูน อายุ 4 เดือน โดยเก็บข้อมูลการเติบโตรวม 180 วัน พบว่าการปลูกเชื้อเห็ดปริมาณ 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง มีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยกล้าพะยูนมีการเติบโตดีที่สุด โดยมีการใช้หัวเชื้อเห็ดปริมาณน้อยที่สุด มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์รวม ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากทรงพุ่ม และมวลชีวภาพรวม แตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อตรวจสอบรากด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร พบเส้นใยเห็ดดับแต่เจริญสานกันเป็นแผ่นรอบ ๆ รากฝอย ส่งผลต่อ การดูดซับน้ำและธาตุอาหาร ทำให้มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์ ที่มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้น ของความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ทรงพุ่ม และมวลชีวภาพรวม แตกต่างกับชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกเชื้อเห็ดดับแต่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการทดลองนี้สามารถนำไปต่อยอด และใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมการปลูก พะยูนร่วมกับการปลูก เชื้อเห็ดดับแต่ ให้แก่เกษตรกร รวมทั้งเป็นแนวทางการวิจัยในพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ ต่อไปในอนาคต

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี 2565 และบทความวิจัยนี้ ได้รับเงินสนับสนุนการวิจัย จากทุนศิษย์กัณท์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ขอขอบคุณ ดร.สุจิตรา โกศล ประธานมูลนิธิเห็ดไมคอร์ไรซาเพื่ออนุรักษ์และฟื้นฟูป่าไม้ ที่ช่วยให้งานการวิจัย นายไพฑูรย์ จันทรโลहित ผู้อำนวยความสะดวกกล้าไม้ทดลอง และนางสาวณัฐนิชา กิตติกาโชคสกุล ผู้ช่วยเก็บข้อมูลระหว่างการทดลอง

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: อัญชิสา วสุสุนทร, วรณา มั่งกิตะ. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: อัญชิสา วสุสุนทร, วรณา มั่งกิตะ, แหลมไทย อาษานอก, กมลพร ปานง่อม. การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: อัญชิสา วสุสุนทร, วรณา มั่งกิตะ. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: อัญชิสา วสุสุนทร, วรณา มั่งกิตะ, แหลมไทย อาษานอก, กมลพร ปานง่อม. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: อัญชิสา วสุสุนทร, วรณา มั่งกิตะ, กมลพร ปานง่อม. การให้การสนับสนุนเครื่องมือห้องปฏิบัติการ และ ครุภัณฑ์: วรณา มั่งกิตะ, กมลพร ปานง่อม.

เอกสารอ้างอิง

- Allen, M. F. (1991). **The Ecology of Mycorrhizae**. Cambridge University Press.
- Ariff, E. A. R. E., Abdullah, S., & Suratman, M. N. (2012). The relationships between height and stomatal conductance, chlorophyll content, diameter of rubber tree (*Hevea brasiliensis*) saplings. In **The 12th Symposium of the Malaysian Society of Applied Biology**, pp. 1-4. Engineering and Industrial Applications (ISBEIA).
- Anon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, 24(1), 1-15.
- Biodiversity-Based Economy Development Office. (2021). **Workshop Manual Mycorrhizal Inoculum Production Technology and Economic Plant with Mycorrhizal Mushroom Cultivation**. Biodiversity-Based Economy Development. (in Thai).
- Boonyuen, S. (1989). **Effects of Ectomycorrhiza *Pysolithus Tinthorius* on Growth and Nutrient Uptake of Eucalyptus Seedlings Kamal Dulensys Eucalyptus Camaldulensis Dehnh and the Caribbean Pine Planted on Mining Soil**. Master's thesis. Kasetsart University. (in Thai).
- Duamkhanmanee, R. (2014). **Development of Bolete (*Boletus colossus* Heim.), Ectomycorrhizal Mushroom**. Retrieved from: <https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2557/2557239875506.pdf>. (in Thai).
- Elliott, S., Kerby, J., Blakesley, D., Hardwick, K., Woods, K., & Anusarnsunthorn, V. (2000). **Forest Restoration for Wildlife Conservation**. Chiang Mai University. (in Thai).
- Gardner, A., Ellsworth, D. S., Pritchard, J., & MacKenzie, A. R. (2022). Are chlorophyll concentrations and nitrogen across the vertical canopy profile affected by elevated CO₂ in mature Quercus trees. **Springer**, 36(1), 1797–1809.
- In-pik, N., & Kongsamai, B. (2022). Spectrophotometric determination of chlorophyll and carotenoid contents of *Amorphophallus muelleri* Blume leaves using different solvents. **Journal of Agricultural Science and Management**, 4(3), 81-88. (in Thai).
- Inyod, T., Lattirasuvan, T., Chawanorasest, K., Toemarom, T., Konee, C., Yatsom, S., Bualoi, S., & Eamprasong P. (2021a). The study of the suitable aging of *Syzygium cumini* (L.) skeels for promoting growth of *Phlebopus portentosus*. **Naresuan Agricultural Journal**, 18(1), 1-13. (in Thai).
- Inyod, T., Lattirasuvan, T., Termarom, T., Konee, C., Chaimongkhon, S., & Fongthiwong, W. (2021b). Effects of ectomycorrhiza from *Astraeus odoratus* and *Phlebopus portentosus* on some species of forest trees and fast-growing trees in natural conditions. **King Mongkut's Agricultural Journal**, 39(3), 215–223. (in Thai).
- Jackson, R. M., & Manson, P. A. (1984). **Mycorrhiza**. Edward Arnold Ltd.
- Jandrasrikul, A., Suwanarit, P., & Sangwanit, U. (2008). **Diversity of Mushrooms and Macrofungi in Thailand**. Kasetsart University. (in Thai).
- Kanwichai, P., & Tangkijchote, P. (2012). Various isolates of bolete (*Boletus colossus* Heim.) spawn affecting vegetative growth and biomass of 'Okinawa' guava seedlings. In **Proceedings of 50th Kasetsart University Annual Conference: Agricultural Extension and Home Economics, Plants**, pp. 232-239. Kasetsart University. (in Thai).
- Kosol, S., Wangluek, S., Inyod, T., Toemarom, T., Mangkita, W., & Lattirasuvan, T. (2020). Species diversity and ecology of edible wild-mushroom at Ban Boonjam Community Forest, Phrae province. **Thai Forest Ecological Research Journal**, 3(1), 38-46. (in Thai).
- Li, Y., He, N., Hou, J., Xu, L., Liu, C., Zhang, J., Wang, Q., Zhang X., & Wu, X. (2018). Factors influencing leaf chlorophyll content in natural forests at the biome scale. **Frontiers in Ecology and Evolution**, 64(6), 1-10.
- Massicotte H. B., Melville, L. H., & Peterson, R. L. (2005). Structural features of mycorrhizal associations in two members of the Monotropoideae, *Monotropa uniflora* and *Pterospira andromedea*. **Mycorrhiza**, 15(1), 101-110.
- Moonchun, S., Leksungnoen, N., Uthairatsamee, S., & Moungrimuangdee, B. (2017). Effect of light intensity on growth and photosynthesis related variables of forest tree seedlings. **Thai Journal of Forestry**, 36(2), 12-23. (in Thai).
- Panawala, L. (2017). **Difference Between Chlorophyll A and B Difference Between Chlorophyll A and B Main Difference – Chlorophyll A vs Chlorophyll B**. Retrieved form: www.researchgate.net/publication/316584030.
- Panngom, K., Lee, S. H., Park, D. H., Sim, G. B., Kim, Y. H., Han, H. S., Park, G., & Choi, E. H. (2014). Non-thermal plasma treatment diminishes fungal viability and up-regulates resistance genes in a plant host. **Plos One**, 9(6), 1-12.

- Royal Forest Department. (2018). *Dalbergia-cochinchinensis* Pierre. Retrieved from: <https://www.forest.go.th/suratthani11/wp-content/uploads/sites/46/2018/03/.pdf>. (in Thai).
- Sangthian, T., & Sangwanit, U. (1994). Growth of *Dipterocarpus alatus* Roxb. seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi. **Thai Journal of Forestry**, 13(1), 22-28. (in Thai).
- Siebeneichler, S. C., Barbosa, J. S., Cruz, A. M. M., Ramos, M. A. D., Fernandes, H. E., & Nascimento, V. L. (2019). Comparison between extraction methods of photosynthetic pigments in *Acacia mangium*. **Communications in Plant Sciences**, 19(9), 1-5.
- Siriyoote, S., & Jongkaewwattana, S. (2011). Evaluation of leaves chlorophyll levels of maize using chlorophyll meter and its relationship to biomass and yield. **Khon Kaen Agricultural Journal**, 39(Suppl 1), 166-175. (in Thai).
- Verasathian, S., & Tangkitchote, P. (2005). Effect of king bolete (*Boletus* sp.) culture on seedling growth of Eucalyptus (*E. camaldulensis* Dehnh.). **Agricultural Science Journal**, 36(Suppl 5-6), 268-271. (in Thai).

ผลของวิธีการปลูกและอัตราปลูกต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

Effect of Sowing Methods and Seed Rates on Yield and Yield Components of Pathum Thani 1 Rice

ดวงยี่หวา จิระวงศ์สันติสุข¹, กมลรัตน์ วินิจสกุลไทย¹, ธิดากุล อุดคำเที่ยง¹, ณิรนาช ชลพาทีนันท์¹,
อำนาจ บุตรทองคำวงษ์¹, ธงชัย พุฒทองศิริ², ปัทมา นิตไธสง³ และธีรวัฒน์ ศรีตโยภาส^{3*}
Duangyeewa Jirawongsuntisuk¹, Kamolrat Vinijakulthai¹, Thidakun Udkhamthai¹, Neeranuch Cholpatinun¹,
Ammart Butthongkamwong¹, Tongchai Puttongsiri², Pattama Nitthaisong³ and Teerawat Sarutayophat^{3*}

Received date: 3 พ.ย. 66 Revised date: 23 ม.ค. 67 Accepted date: 29 ม.ค. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.012>

บทคัดย่อ

วิธีการปลูกและอัตราปลูกที่เหมาะสมอาจแตกต่างกันตามพันธุ์และนิเวศของพื้นที่ปลูกข้าว จึงได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของวิธีการปลูก 5 วิธีร่วมกับอัตราปลูก 4 อัตราต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 จัดสิ่งทดลองแบบ 5x4 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองสุ่มภายในบล็อก 3 ซ้ำ สิ่งทดลองประกอบด้วย 1) การหว่านเมล็ดข้าวงอกอัตรา 5, 10, 15 และ 20 กก./ไร่ 2) การโรยเมล็ดข้าวงอกเป็นแถวระยะแถว 30 ซม. อัตรา 5.0, 7.5, 10.0 และ 12.5 กก./ไร่ 3) การหยอดเมล็ดข้าวงอก 8-10 เมล็ด/จุดระยะ 36x30, 30x30, 24x30 และ 18x30 ซม. 4) การย้ายต้นกล้ารากเปลือยอายุ 20-21 วันปักดำ 3 ต้น/หลุมระยะ 36x30, 30x30, 24x30 และ 18x30 ซม. 5) การย้ายต้นกล้ามีดินติดรากอายุ 14-15 วันปักดำ 3 ต้น/หลุมระยะ 36x30, 30x30, 24x30 และ 18x30 ซม. สุ่มบันทึกองค์ประกอบผลผลิต 50-60 รวง/หน่วยทดลอง และเก็บผลผลิต 7.2-7.5 ตร.ม./หน่วยทดลอง ผลการทดลองพบว่า จำนวนรวง/ตร.ม. จำนวนข้าวเต็มเมล็ด/รวง เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและผลผลิตจากการปลูกต่างกัน 5 วิธี และอัตราปลูกต่างกัน 4 อัตราไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธีการปลูก 5 วิธี ให้ผลผลิตเฉลี่ยไม่แตกต่างกันระหว่าง 904.37-1,075.45 กก./ไร่ และอัตราปลูก 4 อัตรา ให้ผลผลิตเฉลี่ยไม่แตกต่างกันระหว่าง 939.42-1,027.23 กก./ไร่ แสดงว่าสามารถเลือกปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 วิธีใดวิธีหนึ่งใน 5 วิธีที่ศึกษานี้โดยผลผลิตที่คาดว่าจะได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ไม่จำเป็นต้องใช้เมล็ดพันธุ์อัตราสูงหรือปักดำถี่เพราะข้าวพันธุ์นี้แตกกอดี

คำสำคัญ: วิธีการปลูกและอัตราปลูก ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

Abstract

Appropriate sowing methods and seed rates normally depend on varieties and ecosystem of rice production field. This experiment was conducted to study the effect of sowing methods and seed rates on yield and yield components of Pathum Thani 1 rice. Five sowing methods with 4 sowing rates were arranged as 5x4 factorial in a randomized complete block design with 3 replications. Treatments comprised of 1) broadcasting germinated seed (a_1); 5, 10, 15, and 20 kg/rai, 2) drilling germinated seed (a_2) with 30 cm row space; 5, 7.5, 10, and 12.5 kg/rai, 3) dropping 8-10 germinated seeds/spot (a_3) at spot-row 36x30, 30x30, 24x30, and 18x30 cm, 4) transplanting 3 bared-root seedlings of 20-21 days for each spot; the spots were at 36x30, 30x30, 24x30, and 18x30 cm, and 5) transplanting 3 seedlings with soil lump on the roots, ageing 14-15 days, for each spot; the spots were at 36x30, 30x30, 24x30 and 18x30 cm. Paddy yield was harvested for 7.2-7.5 m²/plot, and yield components were sampling recorded for 50-60 panicles/plot.

¹ บริษัทสยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จังหวัดปทุมธานี 12120

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

³ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹ Navanakorn Industrial Estate, Pathum Thani, 12120

² Department of Food Science and Technology, School of Food Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

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

* Corresponding author: Tel.: 086-9567054. E-mail address: teerawat.sa@kmitl.ac.th

The results revealed that no. of panicles/m², no. of filled grains/panicle, no. of unfilled spikelets/panicle, and paddy yield of various sowing methods and population densities were of non-significant difference. Average yields of 5 sowing methods had non-significant difference among 904.37-1,075.45 kg/rai, and average yield of 4 densities had non-significant difference among 939.42-1,027.23 kg/rai. This indicated that Pathum Thani 1 rice can be planted by any of the 5 studied methods as there is no significant difference in yielding. Therefore, high population density is unnecessary for Pathum Thani 1 rice cultivation because of its high tillering ability.

Keywords: sowing method & rate, Pathum Thani 1 rice, yield and yield components

คำนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย โดยในปีเพาะปลูก 2564/65 ประเทศไทยปลูกข้าวทั้งนาปี และนาปรังรวม 72.51 ล้านไร่ ผลิตรวมได้ 32.98 ล้านตัน เฉลี่ย 454.8 กก./ไร่ (Office of Agricultural Economics, 2023) ในปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยส่งข้าวสารไปขายต่างประเทศ 7.69 ล้านตัน มูลค่า 100,370.0 ล้านบาท ขณะที่ 8 เดือนแรกของปี 2566 (ม.ค.-ส.ค.) ประเทศไทยส่งข้าวสารไปขายต่างประเทศแล้ว 5.25 ล้านตัน มูลค่า 100,369.7 ล้านบาท เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเดียวกัน ในปี 2565 ปริมาณและมูลค่าส่งออกเพิ่มขึ้น 10.4 และ 19.9% ตามลำดับ (Thai Rice Exporters Association, 2023a, 2023b) ทั้งนี้ ข้าวสารที่ผลิตได้ใช้บริโภคในประเทศประมาณ 55% โดยอีก 45% ต้องส่งขายในตลาดต่างประเทศซึ่งต้องแข่งขันราคากับประเทศคู่แข่ง หลายประเทศโดยเฉพาะเวียดนาม การที่ชาวนาไทยปลูกข้าวได้ผลผลิตข้าวเปลือกเฉลี่ยเพียง 454.8 กก./ไร่ ขณะที่เวียดนามซึ่งเป็น คู่แข่งสำคัญในตลาดการค้าข้าวโลกได้ผลผลิตเฉลี่ย 892.9 กก./ไร่ (USDA, 2023) สูงกว่าไทย 96.3% ทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของ เวียดนามต่ำกว่าไทยจึงมีความสามารถในการแข่งขันด้านราคาในตลาดการค้าข้าวสูงกว่าไทย ทั้งนี้การผลิตข้าวในประเทศไทยจะยั่งยืน ต่อไปได้จำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยการลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ให้สูงขึ้น ซึ่งวิธีการปลูกและอัตราปลูกที่ เหมาะสมเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิต สถาบันวิจัยชาวนานาชาติ (International Rice Research Institute; IRRI, 2007) รายงานว่า ระยะปลูกที่เหมาะสมสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ 20-45% เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดการระยะหรืออัตราปลูกที่ไม่ เหมาะสม Bozorgi et al. (2011) ศึกษาผลของระยะปลูกและจำนวนต้นกล้าต่อหลุมต่อผลผลิตข้าวพันธุ์ Hashemi รายงานว่า การปักดำ 3 ต้น/หลุม ระยะ 20x20 ซม. ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด Dejen (2018) ศึกษาผลของระยะปลูกและจำนวนกล้าต่อหลุมต่อผลผลิตของ ข้าวพันธุ์ NERICA-4 รายงานว่า ระยะปลูก 20x20 ซม. จำนวน 4 ต้น/หลุม ให้ผลผลิตสูงสุด (852.3 กก./ไร่) Boonphirom (2015) รายงานว่า ระยะปักดำ 30x30 ซม. ข้าวหอมกระดังงาให้ผลผลิตสูงสุด 490 กก./ไร่ รองลงมา ระยะ 35x35 ซม. (470 กก./ไร่) และ ระยะปักดำ 20x20 ซม. ให้ผลผลิตต่ำสุด 410 กก./ไร่ ขณะที่ Bhornchai and Thongoon (2017) ศึกษาผลของระยะปลูก 3 ระยะ ประกอบด้วย 20x20, 30x30 และ 40x40 ซม. ต่อผลผลิตของข้าว 3 พันธุ์ (ทับทิมชุมแพ หอมธรรมศาสตร์และโรนเบอร์รี่) รายงานว่า ข้าว 3 พันธุ์ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุดที่ระยะปลูก 40x40 ซม. ปริมาณ 892.27 กก./ไร่ รองลงมาคือระยะ 30x30 และ 20x20 ซม. ให้ ผลผลิตเฉลี่ย 776.72 และ 630.28 กก./ไร่ ตามลำดับ

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวเจ้าไม่ไวแสง ลำต้นแข็งปานกลาง ทรงกอตั้ง-แผ่เล็กน้อย สูงประมาณ 105-115 ซม. มีศักยภาพ การให้ผลผลิตสูง ข้าวหุงสุกนุ่ม มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ (Rice Department of Thailand, 2023) เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคทั้งในและ ต่างประเทศ ประเทศไทยส่งออกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ไปขายในตลาดต่างประเทศในนาม Thai jasmine rice และ Thai fragrant rice ราคาส่งออก (ตุลาคม 2566) 27,703.5 บาท/ตัน (คิดที่ 36.50 บาท/ยูเอสดอลลาร์) สูงกว่าข้าวขาว 5% จำนวน 5,985 บาท/ตัน หรือ สูงกว่า 27.5% (Thai Rice Exporters Association, 2023c) ราคาข้าวเปลือกและข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 สูงกว่าข้าวขาวทั่วไป ประมาณ 20-25% ตลอดหลายทศวรรษที่ผ่านมา ชาวนาส่วนหนึ่งจึงยังคงปลูกข้าวพันธุ์นี้แม้ว่าปัจจุบันสัดส่วนการปลูกจะลดลง สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (Office of Agricultural Economics, 2023) รายงานว่าในปีการผลิต 2564/2565 ชาวนาปลูกข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 1 ทั้งนาปีและนาปรังรวม 2.68 ล้านไร่ เนื่องจากมีข้าวพันธุ์แนะนำพันธุ์ใหม่ ๆ ที่ให้ผลผลิตสูงกว่า อย่างไรก็ตามตลาดการค้า ข้าวยังมีความต้องการข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มากกว่าปริมาณการผลิต จึงควรศึกษาเพื่อหาวิธีการผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ให้ได้ผลผลิต สูงขึ้น คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงได้ร่วมกับบริษัทสยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของวิธีการปลูกและอัตราปลูกต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เพื่อหา

วิธีการปลูกและอัตราปลูกที่เหมาะสม สำหรับแนะนำส่งเสริมให้ชาวนานำไปประยุกต์ใช้เพื่อปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ให้ได้ผลผลิตและผลตอบแทนสูงขึ้น

วิธีการศึกษา

ทำการทดลองที่แปลงนาในโรงเรียนตาข่ายของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ระหว่างธันวาคม 2565 - เมษายน 2566 เพื่อศึกษาผลของวิธีการปลูก 5 วิธีร่วมกับอัตราปลูก 4 อัตรา ต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 จัดสิ่งทดลองแบบ 5x4 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อก (5x4 Factorial arrangement in randomized complete block design) ทำ 3 ซ้ำ 20 สิ่งทดลองประกอบด้วย 1) การหว่านเมล็ดข้าวออกอัตรา 5, 10, 15 และ 20 กก./ไร่ 2) การโรยเมล็ดข้าวออกเป็นแถวระยะแถว 30 ซม. อัตรา 5, 7.5, 10 และ 12.5 กก./ไร่ 3) การหยอดเมล็ดข้าวออกเป็นจุด 8-10 เมล็ด/จุด ระยะ 36x30, 30x30, 24x30 และ 18x30 ซม. 4) การย้ายต้นกล้ารากเปลือยอายุ 20-21 วันปักดำ 3 ต้น/หลุม ระยะ 36x30, 30x30, 24x30 และ 18x30 ซม. 5) การย้ายต้นกล้าเพาะในกระบะ/มีดินติดรากอายุ 14-15 วันปักดำ 3 ต้น/หลุม ระยะ 36x30, 30x30, 24x30 และ 18x30 ซม. พื้นที่ทดลอง 3x4 ตร.ม./หน่วยทดลอง ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 สูตร 16-16-8 อัตรา 35 กก./ไร่ หลังหว่าน โรยและหยอดเมล็ดข้าวออก 20-21 วัน, ใส่หลังปักดำต้นกล้ารากเปลือย 1-2 วัน และใส่หลังปักดำต้นกล้ามีดินติดราก 5-6 วัน ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 สูตร 46-0-0 อัตรา 15 กก./ไร่ หลังการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1, 30 วัน และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 สูตร 16-16-8 อัตรา 10 กก./ไร่ หลังใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ประมาณ 25-30 วัน ควบคุมวัชพืชในแปลงทดลองโดยการถอนและรักษาระดับน้ำในแปลงทดลอง 10-12 ซม. ตลอดการทดลองจนถึงระยะ 7-10 วันก่อนเก็บเกี่ยวจึงงดการให้น้ำ กระตุ้นการเจริญเติบโตของรากโดยการหยุดให้น้ำจนผิวดินแตกลายงา 1 ครั้งที่อายุ 35-45 วัน และใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูข้าวตามความจำเป็น

ใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ที่มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 92.5% น้ำหนัก 100 กรัม จำนวน 3,465 เมล็ด เก็บข้อมูลผลผลิตนาหว่านพื้นที่ 2.5x3.0 ตร.ม. (7.5 ตร.ม) เก็บผลผลิตนาโรย นาหยอด นาดำ จาก 6 แถวกลาง พื้นที่ 1.8x4.0 ตร.ม. (7.2 ตร.ม) นับจำนวนรวงทั้งหมดที่เก็บเกี่ยว นวดเมล็ดออกจากรวง นำไปลอยน้ำแยกข้าวเปลือกเต็มเมล็ดออกจากข้าวลีบ-ข้าวไม่เต็มเมล็ด นำเฉพาะข้าวเต็มเมล็ด (จมน้ำ) ไปอบที่ 45 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง วัดความชื้นและชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง จากนั้นคำนวณผลผลิตที่ความชื้น 15% และนับจำนวนรวงเก็บเกี่ยวทั้งหมดเพื่อหาจำนวนรวง/ตร.ม. ดังนี้

$$\text{ผลผลิต (กก./ไร่ ความชื้น 15\%)} = \frac{\text{นน. ข้าวเปลือกที่ชั่งได้ (ก.)} \times (100 - \% \text{ ความชื้นเมล็ดหลังอบ}) \times 1.6}{\text{พื้นที่เก็บเกี่ยว (ตร.ม.)} \times (100-15)}$$

$$\text{จำนวนรวง/ตร.ม.} = \frac{\text{จำนวนรวงทั้งหมดเก็บจากแต่ละหน่วยทดลอง}}{\text{พื้นที่เก็บเกี่ยว (ตร.ม.)}}$$

เก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตโดยการสุ่มเก็บรวงจากต้นหลัก และหน่อแรกจำนวนประมาณ 50-60 รวง/หน่วยทดลอง วัดความยาวรวง และนวดเมล็ดออกจากรวงแล้วนำข้าวเปลือกที่นวดได้ไปลอยน้ำแยกข้าวเต็มเมล็ดออกจากข้าวลีบ-ไม่เต็มเมล็ด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิและเวลาเหมือนกับการเก็บข้อมูลผลผลิต นับจำนวนข้าวเต็มเมล็ด จำนวนข้าวลีบ-ไม่เต็มเมล็ด แล้วคำนวณจำนวนเมล็ดดี/รวง จำนวนเมล็ดลีบ/รวง และจำนวนเมล็ดทั้งหมด/รวง จากนั้นนำข้าวเต็มเมล็ดไปวัดความชื้น ชั่งน้ำหนักนำข้อมูลที่ได้ไปรวมกับผลผลิตที่เก็บจากแต่ละหน่วยทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลผลการทดลอง (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลอง โดยวิธี Least significant different (LSD)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของวิธีการปลูกและอัตราปลูกต่อผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

ผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้จากวิธีการปลูกต่างกัน 5 วิธีและอัตราหรือระยะปลูกต่างกัน 4 อัตราพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1, 2) กล่าวคือ การปลูกโดยวิธีหว่านเมล็ดข้าวออก โรยเมล็ดข้าวออก หยอดเมล็ดข้าวออก ย้ายต้นกล้ารากเปลือยปักดำและการย้ายต้นกล้ามีดินติดรากปักดำ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ให้ผลผลิตข้าวเปลือกเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน (904.37-1,075.45 กก./ไร่) อย่างไรก็ตามพบว่า การย้ายต้นกล้ามีดินติดรากปักดำ (987.02 กก./ไร่) การย้ายต้นกล้ารากเปลือยปักดำ (999.55 กก./ไร่) และการหยอดเมล็ดข้าวออกเป็นจุด (1,075.45 กก./ไร่) มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่าการโรยเมล็ดข้าวออกเป็นแถว

(942.66 กก./ไร่) และการหว่านเมล็ดข้าวออกที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 904.37 กก./ไร่ (Table 2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rana et al. (2014) ที่เปรียบเทียบระหว่างการหว่านเมล็ดข้าวออกกับการย้ายต้นกล้าปักดำใช้ข้าวทดลอง 3 พันธุ์ (BRRI dhan39, BRRI dhan49 และ BRRI dhan57) รายงานว่าการปลูก 2 วิธีนี้ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน ผลผลิตเฉลี่ย 4.44 และ 4.21 ตัน/เฮกตาร์ ตามลำดับ

อัตราปลูกไม่มีนัยสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 กล่าวคือ อัตราปลูกต่างกัน 4 อัตราข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ให้ผลผลิตเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน (939.42-1,027.23 กก./ไร่) อย่างไรก็ตามพบว่า อัตราปลูกต่ำ (หว่านหรือโรยเมล็ดข้าวออก 5 กก./ไร่, หยอดเมล็ดข้าวออกหรือย้ายต้นกล้าปักดำระยะ 36x30 ซม.) มีแนวโน้มให้ผลผลิตเฉลี่ย (1,027.23 กก./ไร่) สูงกว่าการปลูกด้วยอัตราปลูกสูง โดยการปลูกด้วยอัตราปลูกสูงสุดของการทดลอง (หว่านเมล็ดข้าวออก 20 กก./ไร่, โรยเมล็ดข้าวออก 12.5 กก./ไร่, หยอดเมล็ดข้าวออกระยะ 18x30 ซม. ปักดำต้นกล้ารากเปลือย-ต้นกล้ามินดินติดรากระยะ 18x30 ซม.) ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด 939.02 กก./ไร่ (Table 2, 3) การที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกด้วยอัตราปลูกต่ำ-ค่อนข้างต่ำ (low-relative low densities) มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่าอัตราปลูกค่อนข้างสูง-สูง (relative high-high densities) เพราะอัตราปลูกต่ำทำให้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีขนาดทรงใหญ่ขึ้น กล่าวคือ มีเมล็ดทั้งหมด/รวง และข้าวเต็มเมล็ด/รวงสูงกว่าอัตราปลูกสูง แม้ว่าอัตราปลูกต่ำมีแนวโน้มมีจำนวนรวง/ตร.ม. ต่ำกว่าอัตราปลูกสูงก็ตาม (Table 2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bhornchai and Thongoon (2017) ที่รายงานว่า ข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ หอมธรรมศาสตร์และไรซ์เบอร์รี่ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุดที่ระยะปักดำ 40x40 ซม. (982.27 กก./ไร่) รองลงมาคือระยะ 30x30 ซม. (776.72 กก./ไร่) และระยะปักดำถี่ 20x20 ซม. ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด 630.28 กก./ไร่ นอกจากนี้ยังพบว่า ปฏิกริยาระหว่างวิธีการปลูกกับอัตราปลูกต่อผลผลิตไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่า วิธีการปลูกแต่ละวิธีตอบสนองต่ออัตราปลูกในการให้ผลผลิตแบบเดียวกัน กล่าวคือ อัตราปลูกต่ำมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่าอัตราปลูกสูงในทุกวิธีการปลูก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชาวนาอาจปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งโดยสามารถคาดคะเนได้ว่าผลผลิตจะไม่แตกต่างกัน ข้อมูลที่แสดงใน Table 4 สามารถใช้แนะนำอัตราปลูกที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 แต่ละวิธีได้ เช่น แนะนำให้ใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีความงอกมากกว่าหรือเท่ากับ 90% (92.5%) เพียง 5 กก./ไร่ สำหรับการปลูกโดยวิธีการหว่านกระจายหรือการโรยเมล็ดข้าวออกเป็นแถว ส่วนการหยอดเมล็ดข้าวออกหรือการย้ายต้นกล้าปักดำ แนะนำให้หยอดเมล็ดข้าวออก 8-10 เมล็ด/จุด หรือใช้ต้นกล้า 3 ต้น/หลุม หยอดหรือปักดำระยะ 36x30 หรือ 30x30 ซม. แต่หากเมล็ดพันธุ์ที่ชาวนาใช้มีความงอก 80-85% หรือต่ำกว่าก็ควรเพิ่มเมล็ดพันธุ์ตามสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ความงอกที่ลดลง ทั้งนี้เมล็ดพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ใช้ในการทดลอง 100 กรัมมีจำนวน 3,465 เมล็ด ดังนั้นเมล็ดพันธุ์ 5 กิโลกรัมที่มีความงอก 92.5% จะได้เมล็ดข้าวออกมากถึง 160,256 เมล็ด ซึ่งจะทำได้ต้นข้าวหนาแน่นเท่ากับการปักดำระยะ 20x20 ซม. 4 ต้น/หลุม

ผลของวิธีการปลูกและอัตราปลูกต่อความยาวรวง จำนวนรวง/ตร.ม. และจำนวนเมล็ด/รวง

วิธีการปลูกมีผลต่อความยาวรวงและจำนวนเมล็ดทั้งหมด/รวง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) การย้ายต้นกล้ามินดินติดรากและการย้ายต้นกล้ารากเปลือยมีรวงยาวเฉลี่ย 30.46 และ 29.91 ซม. ตามลำดับ ยาวกว่าการหว่าน การโรยและการหยอดเมล็ดข้าวออก ซึ่งรวงยาวเฉลี่ย 28.12 28.75 และ 28.91 ซม. ตามลำดับ การย้ายต้นกล้าปักดำนอกจากจะมีรวงยาวกว่าการหว่าน การโรยและการหยอดเมล็ดข้าวออกแล้ว ยังมีจำนวนเมล็ดทั้งหมด/รวง สูงกว่าด้วย กล่าวคือ การย้ายต้นกล้ารากเปลือยและการย้ายต้นกล้ามินดินติดรากปักดำมีเมล็ดทั้งหมด/รวงเฉลี่ยสูงกว่า ($p < 0.01$) การหว่าน การโรยและการหยอดเมล็ดข้าวออกคือ มีเมล็ดทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 148.60 143.48 126.88 131.56 และ 135.18 เมล็ด/รวง ตามลำดับ (Table 2) และพบว่าวิธีการปลูกไม่มีนัยสำคัญต่อจำนวนรวง/ตร.ม. กล่าวคือ การปลูกต่างกัน 5 วิธี ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีจำนวนรวง/ตร.ม. เฉลี่ยไม่แตกต่างกันระหว่าง 290.36-319.90 รวง/ตร.ม. (Table 2)

ผลของอัตราปลูกและปฏิกริยาระหว่างวิธีการปลูกกับอัตราปลูกต่อความยาวรวง จำนวนรวง/ตร.ม. และจำนวนเมล็ด/รวง พบว่า ไม่มีนัยสำคัญ กล่าวคือ การปลูกอัตราต่ำ ค่อนข้างต่ำ ค่อนข้างสูงและอัตราสูง ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีความยาวรวงระหว่าง 29.03-29.45 ซม. มีจำนวนรวง/ตร.ม. ระหว่าง 288.86-310.31 รวง/ตร.ม. และมีจำนวนเมล็ดทั้งหมด/รวง ระหว่าง 131.17-143.89 เมล็ด/รวง (Table 2) อย่างไรก็ตามพบว่า อัตราปลูกต่ำมีแนวโน้มมีจำนวนรวง/ตร.ม. ต่ำกว่า แต่มีจำนวนเมล็ด/รวง สูงกว่าอัตราปลูกสูง (Table 2) ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Bozorgi et al. (2011)

Table 1 Mean squares of paddy yield and yield components of Pathum Thani 1 rice from 5 sowing methods with 4 seed rates/ spaces

Sources of variation	d.f.	Mean square						
		Panicle length (cm)	No. of panicles/m ²	No. of spikelets/panicle	No. of filled grains/panicle	No. of unfilled grains/panicle	Percentage of filled grain (%)	Grain yield (kg/rai)
Sowing methods (a)	4	10.66**	1566.91 ^{ns}	935.28**	456.57 ^{ns}	301.52**	79.50 ^{ns}	49919.28 ^{ns}
seed rates/ spaces (b)	3	0.56 ^{ns}	1276.20 ^{ns}	412.58 ^{ns}	200.60 ^{ns}	69.56 ^{ns}	15.55 ^{ns}	20232.27 ^{ns}
Sowing methods x seed rates/ spaces (a x b)	12	0.46 ^{ns}	1410.35 ^{ns}	132.56 ^{ns}	116.05 ^{ns}	22.65 ^{ns}	11.60 ^{ns}	17460.92 ^{ns}
Error	38	1.03	1461.72	201.72	187.38	71.02	32.62	27196.94
C.V. (%)	-	3.47	12.67	10.35	13.20	25.22	7.55	16.79

^{ns}, *, ** mean square were non-significant, significant at 0.05, and 0.01, respectively

ผลของวิธีการปลูกและอัตราปลูกต่อจำนวนข้าวเต็มเมล็ด/รวง จำนวนข้าวลีบ/รวง และเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด

จำนวนข้าวเต็มเมล็ด/รวงและเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้จากการปลูกต่างกัน 5 วิธี พบว่า ไม่แตกต่างกัน (98.43-114.38 เมล็ด/รวง) และ 71.16-77.44% ตามลำดับ (Table 2) แต่วิธีการปลูกมีผลต่อจำนวนเมล็ดลีบ/รวง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) โดยการย้ายต้นกล้าที่มีดินติดรากปักดำมีจำนวนเมล็ดลีบ/รวง (41.49 เมล็ด/รวง) สูงกว่าอีก 4 วิธีการปลูกที่มีจำนวนเมล็ดลีบ/รวงไม่ต่างกันระหว่าง 28.56-34.22 เมล็ด/รวง (Table 2) โดยการมีจำนวนเมล็ดลีบ/รวง สูงกว่าการปลูกอีก 4 วิธี ส่งผลให้การย้ายต้นกล้าที่มีดินติดรากปักดำให้ผลผลิตไม่สูงกว่าการปลูกโดยวิธีอื่น ๆ แม้ว่าจำนวนรวง/ตร.ม. จากการปลูกด้วยวิธีนี้มีแนวโน้มสูงกว่าการปลูกโดยวิธีอื่น ๆ ก็ตาม

ผลของอัตราปลูกและปฏิกริยาระหว่างวิธีการปลูกกับอัตราปลูกไม่มีนัยสำคัญต่อจำนวนข้าวเต็มเมล็ด/รวง จำนวนข้าวลีบ/รวง และเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด กล่าวคือ อัตราปลูกต่ำ ก่อนข้างต่ำ ก่อนข้างสูงและอัตราสูง ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีจำนวนข้าวเต็มเมล็ด/รวง ไม่แตกต่างกัน (99.87-108.52 เมล็ด/รวง) มีจำนวนเมล็ดลีบ/รวง (31.33-35.36 เมล็ด/รวง) และมีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด (74.32-76.72%) (Table 2) สอดคล้องกับ Bhornchai and Thongoon (2017) ที่รายงานว่า ผลของระยะปลูกไม่มีนัยสำคัญต่อจำนวนข้าวเต็มเมล็ดเฉลี่ย/รวง และจำนวนข้าวลีบเฉลี่ย/รวง ของข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ หอมธรรมชาติและไรซ์เบอร์รี่

Table 2 Mean effected of sowing methods and plant densities (seed rates/hill-spaces) on yield and yield components of Pathum Thani 1 rice

Treatments	Grain yield (kg/rai)	Panicle length (cm)	No. of panicles /m ²	No. of spikelets/ panicle	No. of filled grains/ panicle	No. of unfilled grains/ panicle	Percentage of filled grain (%)
Sowing method (a)							
Direct broadcasting germinated seed (a ₁)	904.37	28.12b	304.87	126.88c	98.43	28.56b	77.44
Direct drilling ² germinated seed (a ₂)	942.66	28.75b	295.70	131.56c	101.21	30.18b	76.65
Direct space-dropping ³ germinated seed (a ₃)	1,075.45	28.91b	290.36	135.18bc	102.53	32.61b	76.08
Transplanting ³ bare-root seedling (a ₄)	999.55	29.91a	297.65	148.60a	114.38	34.22b	77.04
Transplanting ³ seedling with root holding soil lump (a ₅)	987.02	30.46a	319.90	143.48ab	102.00	41.49a	71.16
Plant density (seed rate/row-hill space) (b)							
Low density ¹ (b ₁)	1,027.23	29.45	288.86	143.89	108.52	35.36	75.58
Relative low density ² (b ₂)	989.83	29.32	301.88	137.49	102.29	35.17	74.32
Relative high density ³ (b ₃)	970.76	29.03	310.31	136.01	104.17	31.78	76.72
High density ⁴ (b ₄)	939.42	29.11	305.73	131.17	99.87	31.33	76.07
F-test (a)	ns	**	ns	**	ns	**	ns
F-test (b)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
F-test (a*b)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	16.79	3.47	12.67	10.35	13.20	25.22	7.55

¹ hill x row of 36x30 cm in transplanting & dropping, 5.0 kg/rai of germinated seeds in broadcasting & drilling

² hill x row of 30x30 cm in transplanting & dropping, 10.0 kg/rai of germinated seeds in broadcasting, 7.5 kg/rai of germinated seeds in drilling

³ hill x row space 24x30 cm in transplanting & dropping, 15.0 kg/rai of germinated seeds in broadcasting, 10.0 kg/rai of germinated seeds in drilling

⁴ hill x row space 18x30 cm in transplanting & dropping, 20.0 kg/rai of germinated seeds in broadcasting, 12.5 kg/rai of germinated seeds in drilling

Table 3 Mean yield of Pathum Thani 1 rice from 5 sowing methods with 4 densities (seed rates/ spaces)

Sowing methods (a)	Paddy yield (kg/rai)				Mean yield each sowing method (a _i) (kg/rai)
	Population densities (seed rates/ row-hill spaces)				
	Low density (b ₁)	Relative low density (b ₂)	Relative high density (b ₃)	High density (b ₄)	
Direct broadcasting ¹ germinated seed (a ₁)	1,081.16	918.34	880.34	737.64	904.37
Direct drilling ² germinated seed (a ₂)	996.49	924.19	945.60	904.36	942.66
Direct space-dropping ³ germinated seed (a ₃)	1,077.06	1,072.28	1,051.22	1,101.24	1,075.45
Transplanting ³ bare-root seedling (a ₄)	934.77	982.45	1,032.16	1,048.80	999.55
Transplanting ³ seedling with root holding soil lump (a ₅)	1,046.67	1,051.86	944.49	905.05	987.02
Mean yield each density (b _i) (kg/rai)	1,027.23	989.82	970.76	939.42	GM = 981.81
F-test (a)	ns				
F-test (b)	ns				
F-test (a*b)	ns				
C.V. (%)	16.79				

¹ seed rate of low, relative low, relative high, and high were 5.0, 10.0, 15.0, 20.0 kg/rai, respectively

² seed rate of low, relative low, relative high, and high were 5.0, 7.5, 10.0, 12.5 kg/rai, respectively

³ hill x row space of low, relative low, relative high, and high were 36x30, 30x30, 24x30, 18x30 cm, respectively / ns was non-significant difference, and GM was grand mean

Table 4 Effect of sowing methods and rates on number of panicles/m², number of filled grains/panicle and paddy yield of Pathum Thani 1 rice

Sowing methods (a), seed rates/ spaces (b)		No. of panicles/m ²	No. of filled grains/panicle	Paddy yield (kg/rai)
Direct broadcasting germinated seed (a ₁)	5 kg/rai (b ₁)	329.33	104.46	1,081.16
	10 kg/rai (b ₂)	301.67	101.73	918.34
	15 kg/rai (b ₃)	316.80	92.91	880.34
	20 kg/rai (b ₄)	271.67	94.64	737.64
	Ave (a ₁)	304.87	98.43	904.37
Direct drilling germinated seed (a ₂)	5 kg/rai (b ₁)	287.63	96.32	996.49
	7.5 kg/rai (b ₂)	302.60	94.63	924.19
	10 kg/rai (b ₃)	310.90	108.44	945.60
	12.5 kg/rai (b ₄)	281.67	105.47	904.36
	Ave (a ₂)	295.70	101.21	942.66
Direct space-dropping germinated seed (a ₃)	36x30 cm (b ₁)	258.87	105.84	1,077.06
	30x30 cm (b ₂)	296.60	103.35	1,072.28
	24x30 cm (b ₃)	289.50	108.86	1,051.22
	18x30 cm (b ₄)	316.33	92.08	1,101.24
	Ave (a ₃)	290.36	102.53	1,075.45
Transplanting bare-root seedling (a ₄)	36x30 cm (b ₁)	262.30	125.89	934.77
	30x30 cm (b ₂)	287.70	110.70	982.45
	24x30 cm (b ₃)	316.13	110.54	1,032.16
	18x30 cm (b ₄)	324.47	110.38	1,048.80
	Ave (a ₄)	297.65	114.38	999.55
Transplanting seedling with root holding a small soil lump (a ₅)	36x30 cm (b ₁)	306.17	110.09	1,046.67
	30x30 cm (b ₂)	320.70	101.05	1,051.86
	24x30 cm (b ₃)	318.20	100.09	944.49
	18x30 cm (b ₄)	334.53	96.78	905.05
	Ave (a ₅)	319.90	102.00	987.02
F-test (a)		ns	ns	ns
F-test (b)		ns	ns	ns
F-test a*b		ns	ns	ns
C.V. (%)		12.67	13.20	16.79

ns was non-significant difference

สรุปผลการศึกษา

1. การศึกษาผลของวิธีการปลูกร่วมกับอัตราปลูกต่อผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 พบว่า ผลของวิธีการปลูกและอัตราปลูกไม่มีนัยสำคัญต่อผลผลิตข้าวเปลือก โดยวิธีการปลูกต่างกัน 5 วิธี ให้ผลผลิตเฉลี่ยไม่แตกต่างกันระหว่าง 904.37-1,075.45 กก./ไร่ และอัตราปลูก 4 อัตรา ให้ผลผลิตเฉลี่ยไม่แตกต่างกันระหว่าง 939.42-1,027.23 กก./ไร่
2. การปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 อาจเลือกปลูกด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งใน 5 วิธีที่ทำการศึกษานี้ โดยผลผลิตที่คาดว่าจะได้จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดจึงแนะนำอัตราปลูกที่เหมาะสมสำหรับแต่ละวิธีการปลูกดังนี้คือ การปลูกโดยวิธีการหว่านเมล็ดข้าวออกให้กระจายหรือโรยเมล็ดข้าวออกเป็นแถวแนะนำให้ใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีความงอกมากกว่าหรือเท่ากับ 90% เพียง 5.0 กก./ไร่ วิธีการหยอดเมล็ดข้าวออกแนะนำให้หยอด 8-10 เมล็ด/จุด ระยะ 36x30 หรือ 30x30 ซม. การย้ายต้นกล้ารากเปลี่ยนหรือต้นกล้ามีดินติดรากแนะนำให้ปักดำ 3 ต้น/หลุม ระยะ 36x30 หรือ 30x30 ซม.

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นผลงานวิจัยส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง “ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและรูปร่างแปลงนา กับประสิทธิภาพการใช้เครื่องจักรกลเตรียมพื้นที่ปลูกข้าว และผลของวิธีการปลูกต่อผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1” โครงการวิจัยได้รับทุนสนับสนุนการทำงานวิจัยจากบริษัทสยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด จังหวัดปทุมธานี และได้รับความอนุเคราะห์ให้ใช้พื้นที่ทดลองจากคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: ธงชัย พุฒทองศิริ, อำนาง บุตรทองคำวงศ์, ดวงยี่หวา จิระวงศ์สันติสุข, อีร์วัฒน์ ศรุตโยภาส. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: ดวงยี่หวา จิระวงศ์สันติสุข, กมลรัตน์ วินิจสกุลไทย, ธิดากุล อุดคำเที่ยง, นิรนุช ชลพาทีนันท์, ปัทมา นิตไธสง, อีร์วัฒน์ ศรุตโยภาส. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: กมลรัตน์ วินิจสกุลไทย, ธิดากุล อุดคำเที่ยง, นิรนุช ชลพาทีนันท์, ปัทมา นิตไธสง, อีร์วัฒน์ ศรุตโยภาส. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: กมลรัตน์ วินิจสกุลไทย, ธิดากุล อุดคำเที่ยง, นิรนุช ชลพาทีนันท์, ปัทมา นิตไธสง, อีร์วัฒน์ ศรุตโยภาส. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ปัทมา นิตไธสง, อีร์วัฒน์ ศรุตโยภาส. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครุภัณฑ์: ธงชัย พุฒทองศิริ, อำนาง บุตรทองคำวงศ์, ดวงยี่หวา จิระวงศ์สันติสุข.

เอกสารอ้างอิง

- Bhornchai, H., & Thongoon, A. (2017). Effect of plant spacing on grain yield and yield components of three rice varieties grown under the system of rice intensification. **Nhon Kaen Agriculture Journal**, 45(Suppl 1), 206-212. (in Thai).
- Boonphirom, T. (2015). Effect of plant spaces on the growth and yield of Homkradung-nga rice (*Oryza sativa* L.). **Princes of Naradhiwas University Journal**, 7(3), 115-120. (in Thai).
- Bozorgi, H. R., Faraji, A., Danesh, R. K., Keshavarz, A., & Tarighi, F. (2011). Effect of plant density on yield and yield components of rice. **World Applied Sciences Journal**, 12(1), 2053-2057.
- Dejen, T. (2018). Effect of plant spacing and number of seedling per hil to transplanted rice (*Oryza sativa* x *Oryza Glaberrima*) under irrigation in middle awash, Ethiopia. **Journal of Applied Life Sciences International**, 17(4), 1-9.
- International Rice Research Institute. (2007). **Rice Knowledge Bank, Transplanting**. Retrieved from: <http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/growth/planting/transplanting>. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics. (2023). **Agricultural Production Data of Thailand**. Retrieved from: <https://www.oae.go.th/view/1/TH-TH>. (in Thai).
- Rana, M., Mamun, A. A., Zahan, A., Ahmed, N., & Mridha, A. J. (2014). Effect of planting methods on yield and yield attributes of short duration Aman rice. **American Journal of Plant Sciences**, 5(3), 251-255. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.53033>.
- Rice Department of Thailand. (2023). **Rice Variety Pathum Thani 1**. Retrieved from: <https://newwebs2.ricethailand.go.th/webmain/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=67.htm>. (in Thai).
- Thai Rice Exporters Association. (2023a). **Rice Exports Statistics**. Retrieved from: http://www.thairiceexporters.or.th/List_%20of_statistic.htm. (in Thai).
- Thai Rice Exporters Association. (2023b). **Rice Export Quantity and Value 2023**. Retrieved from: http://www.thairiceexporters.or.th/statistic_2023.html. (in Thai).
- Thai Rice Exporters Association. (2023c). **Average FOB Prices 2022**. Retrieved from: <http://www.thairiceexporters.or.th/database/AVG%20prices%202022.html>. (in Thai).
- USDA. (2023). **World Rice Production 2022/2023**. Retrieved from: <http://www.worldagriculturalproduction.com/crops/rice.aspx>.

การคัดเลือกสารสกัดสมุนไพรที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในปลานิล (*Oreochromis niloticus*)

Selection of Herb Extracts to Inhibit Pathogenic Bacterial Infection in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

กรทิพย์ กันนิการ์^{1*}, อลิศรา นพนรินทร์¹, นลินี สีเกสร¹, อาภาพร แสงจินะ¹, อามินตรา นามภักดี¹,
กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์¹, เกรียงไกร สีตะพันธุ์¹, ดุจดดี ปานพรหมมินทร์¹ และ เปรมดา ทิพย์เดช¹
Korntip Kannika^{1*}, Alitsara Nopnarin¹, Naline Leekaesorn¹, Arpaporn Sangjina¹, Amintra Nampak¹,
Kanyanat Soontornprasit¹, Kriengkrai Seetapan¹, Dutrudi Panprommin¹ and Prameda Tipdacho¹

Received date: 20 ต.ค. 66 Revised date: 8 ก.พ. 67 Accepted date: 8 ก.พ. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.013>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดสมุนไพรต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในปลานิล 2 ชนิด ได้แก่ เชื้อ *Streptococcus agalactiae* และ *Aeromonas hydrophila* โดยวิธี disc diffusion และวิธี broth dilution โดยใช้สารสกัดสมุนไพร 29 ชนิด (32 ตัวอย่างสมุนไพร) ได้แก่ กระชาย กระเทียม กะเพรา ข่า ขิง ขมิ้นขาว ขมิ้นชัน ขึ้นฉ่าย ขะพลู ขะอม ตะค้าเหล็ก ตะไคร้ ต้นหอม บัวบก ผักชี (ใบ, เมล็ด) ผักชีฝรั่ง ผักชีลาว ผักแพว พริกไทย พื้ทะเลลายโจร มะกรูด มะแขว่น มะระขี้นก มะรุม (ใบ, ผล) ยี่หระ สะระแหน่ สะเดา (ดอก, ใบ) หอมแดง และหอมหัวใหญ่ โดยสกัดสารสกัดสมุนไพรด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (อัตราส่วนสมุนไพรต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:6 (w/v)) พบว่า สารสกัดจากข่ามีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *S. agalactiae* และ *A. hydrophila* สูงที่สุด มีค่าโซนการยับยั้งที่ 2.80 ± 0.17 และ 2.36 ± 0.05 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (MIC) ในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถอ่านผลได้เนื่องจากสมุนไพรมีสีที่เข้ม ทำให้มองไม่เห็นความขุ่นจากการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (MBC) ต่อเชื้อ *S. agalactiae* พบว่า ขมิ้นชันมีค่า MBC ดีที่สุด เท่ากับ 9.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนเชื้อ *A. hydrophila* พบว่า กระชายขาว มีค่า MBC ดีที่สุด เท่ากับ 156.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าสารสกัดจากขมิ้นชัน กระชายขาว และขมิ้นขาว มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในปลานิลได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: สารสกัดสมุนไพร การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แบคทีเรียก่อโรค ปลานิล

Abstract

The objective of this study was to investigate the effect of herbal extracts with inhibitory activity against two pathogenic bacteria in Nile tilapia; *Streptococcus agalactiae* and *Aeromonas hydrophila*. The inhibitory activity against pathogenic bacteria was determined by disc diffusion and broth dilution method. The 29 herb (32 herb extracts) species including kaempfer, allium, holy basil, galanga, ginger, white curcuma, turmeric, celery, wildbetel leafbush, climbing wattle, Lao chili wood, lemon grass, green shallot, asiatic pennywort, coriander, culantro, dill, Vietnamese coriander, pepper, kariyat, kaffir lime, leech lime, mullilam, bitter gourd, horse radish tree, tree basil, kitchen mint, Siamese neem tree, shallot, and brown onion were extracted with 95% ethanol (ratio of herbs to solvent equal to 1:6 (w/v)). Galanga showed the highest inhibition of two pathogenic bacteria (*A. hydrophila* and *S. agalactiae*) with inhibition zone of 2.80 ± 0.17 and 2.36 ± 0.05 cm., respectively. In this study, the minimum inhibitory concentration (MIC) could not be observed due to the color of the herbs being very dark, obscuring the turbidity of the pathogenic bacteria growth in the test tubes. The result of minimum bactericidal concentration (MBC) against *S. agalactiae* showed that the extracts of turmeric yielded the best result at 9.7 mg/ml. As for *A. hydrophila*, it was found that kaempfer extracts yielded the best MBC value at 156.2 mg/ml. The results of antibacterial testing suggested that turmeric, kaempfer, and white curcuma extracts could be applied in the treatment of bacterial infection in tilapia.

Keywords: herb extracts, inhibitory activity against bacteria, pathogenic bacteria, Nile tilapia

¹ สาขาการประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา 56000

¹ Division of Fisheries, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao 56000

* Corresponding author: korntip.ka@up.ac.th

คำนำ

ปลานิล เป็นปลาน้ำจืดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจและนิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเนื้อปลามีรสชาติดี เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็ว สามารถเลี้ยงได้ในทุกสภาพ ในปี ค.ศ. 2022 Food and Agriculture Organization (FAO, 2022) รายงาน ว่า ปริมาณผลผลิตปลานิลทั่วโลกมีสูงถึง 4.4 ล้านตัน โดยผลผลิตส่วนใหญ่ได้จากการเพาะเลี้ยง ประเทศที่มีการเพาะเลี้ยงปลานิลมากที่สุดคือ ประเทศจีน รองลงมาได้แก่ อียิปต์ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และไทย ตามลำดับ ในปี พ.ศ. 2564 พบว่า ปริมาณปลานิลจากการเพาะเลี้ยง เท่ากับ 253,500 ตัน คิดเป็นมูลค่า 11,722 ล้านบาท (Department of Fisheries, 2022) จากความต้องการในการบริโภคทั้งในและต่างประเทศในปริมาณสูง ทำให้มีการพัฒนารูปแบบการเลี้ยงอย่างต่อเนื่อง แต่ปัจจุบันอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลานิลประสบกับปัญหาการระบาดของโรค โดยเฉพาะโรคที่เกิดจากแบคทีเรีย เช่น *Streptococcus* spp., *Aeromonas* spp. และ *Flavobacterium* spp. โดยเชื้อแบคทีเรียในสกุล *Streptococcus* และ *Aeromonas* นับว่าเป็นเชื้อแบคทีเรียที่สร้างความเสียหายให้แก่ปลานิลสูงที่สุด เชื้อแบคทีเรียในสกุล *Streptococcus* ที่ก่อโรคในปลานิล คือ *Streptococcus agalactiae* ก่อให้เกิดโรคตาโปน (streptococcosis) ทำให้ปลามีอาการตาโปน ตาขาวขุ่น อาการตกเลือดทั้งภายนอกและอวัยวะภายใน ไตบวม และว่ายน้ำแบบควงส่ววน ส่วนเชื้อแบคทีเรีย *Aeromonas hydrophila* ก่อให้เกิดโรค motile aeromonas septicemia (MAS) ทำให้สัตว์น้ำเกิดอาการตกเลือดตามลำตัว อวัยวะภายในบวม ครีบกร่อน และท้องบวม (Chitmanat, 2013) จากปัญหาการตายของปลานิลที่มีสาเหตุจากเชื้อแบคทีเรียจึงทำให้เกษตรกรมีการใช้ยาปฏิชีวนะและสารเคมีเพื่อป้องกันและรักษาโรค แต่เนื่องจากเกษตรกรบางส่วนยังขาดความรู้ความเข้าใจในการใช้ยาปฏิชีวนะและสารเคมีที่ถูกต้อง และมีการใช้ยาปฏิชีวนะติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้เกิดปัญหาเชื้อแบคทีเรียมีการดื้อยา จนไม่สามารถหยุดยั้งการตายของสัตว์น้ำจากเชื้อก่อโรคได้ ทำให้เกษตรกรต้องเพิ่มปริมาณการใช้ที่สูงมากขึ้น อีกทั้งยังทำให้มีสารตกค้างในสัตว์น้ำและสิ่งแวดล้อมในบ่อเลี้ยง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคได้

ดังนั้น จึงทำให้เกิดความพยายามที่จะหาสิ่งอื่นที่สามารถใช้แทนยาปฏิชีวนะ โดยพืชสมุนไพรจัดเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากสามารถหาได้ตามธรรมชาติหรือสามารถปลูกได้เอง และพืชสมุนไพรส่วนใหญ่ได้รับการยอมรับว่าปลอดภัยจากการที่มีการใช้รักษาโรคในคน หรือสัตว์ต่าง ๆ มาเป็นเวลานานและมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ต่าง ๆ เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัส ได้อีกด้วย (Nithikulworawong, 2012; Potiwong et al., 2020; Rattanachaiakunsopon and Phumkhachorn, 2010) ปัจจุบันได้มีการนำสารสกัดสมุนไพรมาทดสอบมายังและรักษาเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในสัตว์น้ำ เพื่อต้องการลดการใช้ยาปฏิชีวนะ และลดสารตกค้างในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ โดยเฉพาะสมุนไพรที่หาง่ายในท้องถิ่น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการคัดเลือกสารสกัดสมุนไพรในท้องถิ่น จำนวน 29 ชนิด (32 ตัวอย่างสมุนไพร) ที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในปลานิล จำนวน 2 ชนิด คือ เชื้อ *S. agalactiae* และ *A. hydrophila* ในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี disc diffusion, minimum inhibitory concentration (MIC) และ minimum bactericidal concentration (MBC) เพื่อเป็นแนวทางในการคัดเลือกสมุนไพรมาประยุกต์ใช้ในการรักษาโรคติดเชื้อแบคทีเรียในปลานิลและสัตว์น้ำชนิดอื่นต่อไป

วิธีการศึกษา

การเตรียมสารสกัดจากสมุนไพรท้องถิ่น

การศึกษานี้ใช้สมุนไพรท้องถิ่น จำนวน 29 ชนิด (32 ตัวอย่างสมุนไพร) ได้แก่ กระชาย กระเทียม กะเพรา ข่า ขิง ขมิ้นขาว ขมิ้นชัน ขมิ้นดำ ชะพลู ชะอม ตะค้าเหล็ก ตะไคร้ ต้นหอม บัวบก ผักชี (ใบ, เมล็ด) ผักชีฝรั่ง ผักชีลาว ผักแพว พริกไทย พื้ทะเลลาย ไ้จร มะกรูด มะขาม มะระขี้นก มะรุม (ใบ, ผล) ยี่หระ สะระแหน่ สะเดา (ดอก, ใบ) หอมแดง และหอมหัวใหญ่ การเตรียมสารสกัดสมุนไพร ได้ดัดแปลงจากวิธีการของ Harikrishnan et al. (2011) โดยนำสมุนไพรที่ใช้ในการทดสอบมาล้างให้สะอาด หั่นให้มีขนาดเล็กลง นำไปอบด้วยเครื่องอบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48-72 ชั่วโมง หรือจนกว่าสมุนไพรจะแห้ง จากนั้นนำสมุนไพรไปบดให้ละเอียดและชั่งสมุนไพรแต่ละชนิดปริมาณ 25 กรัม ผสมกับสารละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 150 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วนสมุนไพรต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:6 (w/v) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาให้นำสมุนไพรไปกรองแยกส่วนของกากสมุนไพรและสารสกัดสมุนไพรออกจากกันด้วยผ้าขาวบาง และกรองซ้ำด้วยกระดาษ Whatman No.1 นำสารสกัดสมุนไพรที่ได้ไปทำการระเหยสารละลายเอทานอลออกด้วยเครื่อง rotary evaporator (BUCHI Rotavapor™ R-300) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความดัน 97 mbar ความเร็วรอบ 55 รอบต่อนาที ประมาณ 15-20 นาทีต่อตัวอย่าง จะได้สารละลายเข้มข้นภายในขวด และทำการละลายสารด้วยตัวทำละลาย Dimethyl sulfoxide (DMSO) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นของสมุนไพรที่ใช้ในการทดลองที่ความเข้มข้น 2500 mg/ml (ppt) นำสารละลายที่สกัด

สมุนไพรแต่ละชนิดที่ได้เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในขั้นตอนต่อไป

การเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ

เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคในปลานิล โดยมีตัวแทนเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก 1 ชนิด คือ *S. agalactiae* (FS131) และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ 1 ชนิด คือ *A. hydrophila* (FA02) จากห้องปฏิบัติการสาขาวิชาการประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่เก็บรักษาเชื้อไว้ในตู้แช่ -20 องศาเซลเซียส โดยทำการเก็บตัวอย่างเชื้อแบคทีเรียก่อโรคจากฟาร์มเลี้ยงปลานิลในพื้นที่จังหวัดพะเยา ทำการเลี้ยงเชื้อ *S. agalactiae* และ *A. hydrophila* บนอาหาร tryptic soy agar (TSA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นนำเชื้อแบคทีเรียที่ได้มาเลี้ยงต่อบนอาหาร tryptic soy broth (TSB) ปริมาตร 120 มิลลิลิตร (ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร) บ่มด้วยเครื่อง incubator shaker อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 140 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ทำการเก็บเซลล์ของแบคทีเรียโดยนำปั่นแยกเซลล์และอาหารเลี้ยงเชื้อออกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนใสด้านบนทิ้ง และล้างเซลล์แบคทีเรียด้วย 0.85% NaCl ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ทำซ้ำ 2 ครั้ง จากนั้นปรับปริมาณเซลล์แบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด ให้มีปริมาณเซลล์แบคทีเรียที่ 1×10^5 cfu/ml สำหรับใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของสมุนไพรในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี disc diffusion, minimum inhibitory concentration (MIC) และ minimum bactericidal concentration (MBC)

การศึกษาประสิทธิภาพของสมุนไพรในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี disc diffusion

วิธีการศึกษา disc diffusion ดัดแปลงจาก Bauer et al. (1966) นำเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลองที่เตรียมจากข้อ 2 ไปทำการ swab ให้ทั่วบนอาหาร tryptic soy agar (TSA) ด้วยก้านสำลีที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว จากนั้นวางแผ่น paper disc ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร แล้วหยดสารสกัดสมุนไพรลงใน paper disc ปริมาตร 10 ไมโครลิตรต่อแผ่น (แต่ละสารสกัดสมุนไพรทำ 3 ซ้ำ) โดยใช้ยาปฏิชีวนะมาตรฐาน (standard commercial antibiotic disc) 2 ชนิดด้วยยา คือ Amoxicillin (AML) 25 ไมโครกรัม และ Sulfamethoxazole/Trimethoprim (SXT) 25 ไมโครกรัม เป็นกลุ่มควบคุมบวก (positive control) ทำการบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา ทำการอ่านผลโดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณส่วนใส (inhibition zone) ที่เกิดขึ้นรอบ ทรายงานผลเป็นเซนติเมตร ทำการเปรียบเทียบสมุนไพรที่แต่ละชนิดต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้งเชื้อ *S. agalactiae* และ *A. hydrophila* ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณส่วนใส (inhibition zone) โดยใช้วิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$)

การศึกษาประสิทธิภาพของสมุนไพรในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจากค่า minimum inhibitory concentration (MIC) และ minimum bactericidal concentration (MBC) ด้วยวิธี broth dilution

การหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดสมุนไพรในการยับยั้งการเจริญเติบโตและฆ่าเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด ดัดแปลงจาก Pojanaukij and Kajorncheappunngam (2010) โดยเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลองที่เตรียมจากข้อ 2 มีปริมาณเซลล์แบคทีเรียที่ 1×10^5 cfu/ml โดยวิธี broth dilution เพื่อหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งแบคทีเรีย (minimum inhibitory concentration; MIC) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (minimum bactericidal concentration; MBC) โดยการเจือจางสารสกัดสมุนไพรในอาหาร tryptic soy broth (TSB) ในหลอดทดลอง ให้มีระดับความเข้มข้นของสมุนไพรเท่ากับ 2500, 1250, 625, 312.5, 156.4, 78.1, 39.1, 19.5, 9.8, 4.9, 2.4, 1.2, 0.6 และ 0 mg/ml (ppt) ตามลำดับ โดยปริมาตรสารละลายในหลอดทดลองรวมเท่ากับ 5 มิลลิลิตร แล้วทำการเติมเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ใส่ในทุกหลอดทดลอง โดยหลอดควบคุมบวก (positive control) จะเติมสารละลายแบคทีเรียและอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ส่วนหลอดควบคุมลบ (negative control) จะเติมสารสกัดสมุนไพรและอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB เท่านั้น จากนั้นนำหลอดทดลองทั้งหมดไปบ่มด้วยเครื่อง incubator shaker ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาทำการอ่านผลจากการเปลี่ยนแปลงของหลอดทดลองเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยสังเกตจากความขุ่นของหลอดทดลอง โดยค่า MIC คือความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดสมุนไพรที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ (หลอดทดลองแรกใส) จากนั้นทำการเชยเชื้อจากหลอดทดลองที่ยังคงใสอยู่ลงบนอาหาร TSA เพื่อหาค่า MBC โดยดูดสารละลายภายในหลอดทดลองแต่ละหลอด ปริมาตร 100 ไมโครลิตร หยดลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA แล้วเกลี่ยสารละลายให้ทั่วโดยการ spread บนอาหารเลี้ยงเชื้อ นำไปบ่มใน incubator ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วทำการอ่านค่า MBC จากความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดสมุนไพรที่สามารถฆ่าเชื้อได้ โดยสังเกตจากการที่ไม่พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

การวิเคราะห์ผลการศึกษา

ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณส่วนใส (inhibition zone) โดยใช้วิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) ส่วนการทดสอบหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (minimum bactericidal concentration; MBC) นำเสนอด้วยสถิติเชิงพรรณนาในรูปแบบตาราง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาประสิทธิภาพของสมุนไพรในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี disc diffusion

ผลจากการใช้สมุนไพรท้องถิ่น จำนวน 29 ชนิด (32 ตัวอย่างสมุนไพร) ได้แก่ กระชาย (*Boesenbergia rotunda*) กระเทียม (*Allium sativum*) กะเพรา (*Ocimum sanctum*) ข่า (*Alpinia galangal*) ขิง (*Zingiber officinale*) ขมิ้นขาว (*Curcuma mangga*) ขมิ้นชัน (*Curcuma longa*) ขึ้นฉ่าย (*Apium graveolens*) ขะพลู (*Piper sarmentosum*) สะอมน (*Acacia pennata*) ตะค้าเหล็ก (*Piper ribesoides*) ตะไคร้ (*Cymbopogon citratus*) ต้นหอม (*Allium Cepa*) ใบบัวบก (*Centella asiatica*) ผักชี (ใบ, เมล็ด) (*Coriandrum sativum*; leaf/seed) ผักชีฝรั่ง (*Eryngium foetidum*) ผักชีลาว (*Anethum graveolens*) ผักแพว (*Persicaria odorata*) พริกไทย (*Piper nigrum*) ฟ้าทะลายโจร (*Andrographis paniculata*) มะกรูด (*Citrus hystrix* DC.) มะแขว่น (*Zanthoxylum limonella*) มะระขี้นก (*Momordica charantia*) มะรุม (ใบ, ผล) (*Azadirachta indica*; leaf/seed) ยี่หระ (*Ocimum gratissimum*) สะระแหน่ (*Mentha spicata*) สะเดา (ใบ, ดอก) (*Azadirachta indica*; leaf/seed) หอมแดง (*Allium ascalonicum*) และหอมหัวใหญ่ (*Allium cepa*) ที่สกัดด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *S. agalactiae* และ *A. hydrophila* ด้วยวิธี disc diffusion พบว่า สารสกัดหยาบจากข่า มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดนี้ได้ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการยับยั้งเฉลี่ยเท่ากับ 2.80 ± 0.17 และ 2.36 ± 0.05 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 1)

การศึกษาประสิทธิภาพของสมุนไพรในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจากค่า minimum inhibitory concentration (MIC) และ minimum bactericidal concentration (MBC) ด้วยวิธี broth dilution

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของสมุนไพรในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในปลาทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ เชื้อ *S. agalactiae* และ *A. hydrophila* ด้วยวิธีการ broth dilution จากค่า minimum inhibitory concentration (MIC) และ minimum bactericidal concentration (MBC) พบว่า ค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งแบคทีเรีย (MIC) ไม่สามารถอ่านผลได้เนื่องจากสีของสมุนไพรในการทดสอบมีสีเข้มจนไม่สามารถมองเห็นการเจริญเติบโตหรือการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้อย่างชัดเจน ส่วนค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (MBC) พบว่า สมุนไพรที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *A. hydrophila* มีจำนวน 17 ชนิด ได้แก่ กระชาย กระเทียม ขิง ขมิ้นขาว ขมิ้นชัน หอมแดง ขึ้นฉ่าย ใบชะพลู ใบบัวบก ยี่หระ สะระแหน่ ฟ้าทะลายโจร ใบมะรุม พริกไทย เปลือกมะกรูด สะเดา และตะไคร้ โดยสมุนไพรที่มีค่า MBC ดีที่สุด คือ กระชายขาว มีค่า MBC เท่ากับ 156.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) รองลงมาได้แก่ ขมิ้นขาว ขมิ้นชัน ยี่หระ ตะค้าเหล็ก และตะไคร้ มีค่า MBC เท่ากัน คือ 625 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) (Table 2)

ส่วนผลของสมุนไพรที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *S. agalactiae* มีจำนวน 20 ชนิด ได้แก่ กระชาย กระเทียม ขิง ขมิ้นขาว ขมิ้นชัน หอมแดง กะเพรา ใบชะพลู ใบบัวบก ยี่หระ สะระแหน่ ฟ้าทะลายโจร ใบมะรุม พริกไทย มะแขว่น เปลือกมะกรูด สะเดา ตะไคร้ และตะค้าเหล็ก โดยมีค่า MBC ได้ดีที่สุด คือ ขมิ้นชัน มีค่า MBC เท่ากับ 9.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) รองลงมาได้แก่ กระชายขาว 39.1 ขมิ้นขาว 156.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) และมะแขว่น ตะไคร้ มะกรูด มีค่า MBC เท่ากัน คือ 312.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) ตามลำดับ (Table 2) ส่วนผลการศึกษาในกลุ่มควบคุมบวก (สารละลายแบคทีเรียและอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB) พบว่า มีการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ ส่วนหลอดควบคุมลบ (สารสกัดสมุนไพรและอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB) พบว่า ไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

Table 1 The diameters of clear zone from Thai herbs extract against of two pathogenic bacteria, *S. agalactiae* and *A. hydrophila*, in Nile tilapia

Herb	Part of plant	Scientific name	Diameters of inhibition zone (cm)	
			<i>S. agalactiae</i>	<i>A. hydrophila</i>
Kaempfer	root	<i>Boesenbergia rotunda</i>	0.91±0.12 ^c	0.94±0.08 ^{abc}
Allium	root	<i>Allium sativum</i>	0.44±0.38 ^d	0.00 ^e
Holy basil	leaf	<i>Ocimum sanctum</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Galanga	root	<i>Alpinia galanga</i>	2.80±0.17 ^a	2.36±0.05 ^a
Ginger	root	<i>Zingiber officinale</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
White curcumin	root	<i>Curcuma mangga</i>	0.83±0.20 ^c	1.11±0.12 ^b
Turmeric	root	<i>Curcuma longa</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Celery	leaf	<i>Apium graveolens</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Wildbetal leafbush	leaf	<i>Piper sarmentosum</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Climbing wattle	leaf	<i>Acacia pennata</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Lao chili wood	stem	<i>Piper ribesioides</i>	0.93±0.12 ^c	0.70±0.61 ^{cd}
Lemon grass	stem	<i>Cymbopogon citratus</i>	1.05±0.15 ^c	0.92±0.08 ^{bcd}
Green shallot	leaf	<i>Allium Cepa</i> var. <i>aggregatum</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Asiatic pennywort	leaf	<i>Centella asiatica</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Coriander	leaf	<i>Coriandrum sativum</i>	1.52±0.44 ^b	0.00 ^e
Coriander	seed	<i>Coriandrum sativum</i>	0.00 ^e	1.23±0.06 ^b
Culantro, long coriander	leaf	<i>Eryngium foetidum</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Dill	leaf	<i>Anethum graveolens</i>	0.00 ^e	0.59±0.51 ^d
Vietnamese coriander	leaf	<i>Persicaria odorata</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Pepper	seed	<i>Piper nigrum</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Kariyat	leaf	<i>Andrographis paniculata</i>	0.00 ^e	1.05±0.05 ^{bc}
Kaffir lime, leech lime	seed	<i>Citrus hystrix</i> DC.	0.92±0.06 ^c	1.02±0.13 ^{bc}
Mullilam	seed	<i>Zanthoxylum limonella</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Bitter gourd	fruit	<i>Momordica charantia</i>	1.02±0.15 ^c	0.96±0.15 ^{bc}
Horse radish tree	leaf	<i>Moringa oleifera</i>	0.00 ^e	1.14±0.13 ^b
Horse radish tree	seed	<i>Moringa oleifera</i>	0.00 ^e	0.87±0.24 ^{bcd}
Tree basil	leaf	<i>Ocimum gratissimum</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Kitchen mint, marsh mint	leaf	<i>Mentha spicata</i>	0.00 ^e	1.13±0.12 ^b
Siamese neem tree	leaf	<i>Azadirachta indica</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Siamese neem tree	seed	<i>Azadirachta indica</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Shallot	root	<i>Allium ascalonicum</i>	0.00 ^e	0.00 ^e
Onion	root	<i>Allium cepa</i>	1.52±0.35 ^b	1.17±0.04 ^b
AML 25 (positive control)	antibiotic	Amoxicillin	3.36±1.15	1.36±0.11
SXT 25 (positive control)	antibiotic	Sulfamethoxazole/Trimethoprim	1.68±0.29	2.01±0.18

^{a-e} Different superscript letters within each column are significantly different ($P<0.05$). SD; Standard deviation of mean

เมื่อทำการจัดจำแนกกลุ่มสมุนไพรที่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียได้ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ กระชาย กระเทียม ขิง ขมิ้นขาว ขมิ้นชัน ขะพลู ตะคร้ำเหล็ก ใบบัวบก พริกไทย ฟ้าทะลายโจร มะรุม (ใบ) ยี่หระ สะระแหน่ สะเดา (ดอก) และหอมแดง ส่วนกลุ่มสมุนไพรที่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียได้เพียง 1 ชนิด ได้แก่ กะเพรา ขึ้นฉ่าย มะกรูด มะแขว่น สะเดา (ใบ) และกลุ่มสมุนไพรที่ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ ข่า ชะอม ต้นหอม ผักชี (ใบ) ผักชี (เมล็ด) ผักชีฝรั่ง ผักชีลาว ผักแพรว มะระขี้นก และมะรุม (ผัก)

Table 2 Minimum bactericidal concentration (MBC; mg/ml) of Thai herbs extract against of two pathogenic bacteria, *S. agalactiae* and *A. hydrophila*, in Nile tilapia

Herb	Part of plant	Scientific name	Minimum bactericidal concentration (mg/ml)	
			<i>S. agalactiae</i>	<i>A. hydrophila</i>
Kaempfer	root	<i>Boesenbergia rotunda</i>	39.1	156.2
Allium	root	<i>Allium sativum</i>	1250	2500
Holy basil	leaf	<i>Ocimum sanctum</i>	625	NE
Galanga	root	<i>Alpinia galanga</i>	NE	NE
Ginger	root	<i>Zingiber officinale</i>	625	2500
White curcumin	root	<i>Curcuma mangga</i>	156.2	625
Turmeric	root	<i>Curcuma longa</i>	9.8	625
Celery	leaf	<i>Apium graveolens</i>	NE	1250
Wildbetal leafbush	leaf	<i>Piper sarmentosum</i>	2500	2500
Climbing wattle	leaf	<i>Acacia pennata</i>	NE	NE
Lao chili wood	stem	<i>Piper ribesoides</i>	625	625
Lemon grass	stem	<i>Cymbopogon citratus</i>	312	625
Green shallot	leaf	<i>Allium Cepa</i> var. <i>aggregatum</i>	NE	NE
Asiatic pennywort	leaf	<i>Centella asiatica</i>	1250	1250
Coriander	leaf	<i>Coriandrum sativum</i>	NE	NE
Coriander	seed	<i>Coriandrum sativum</i>	NE	NE
Culantro, long coriander	leaf	<i>Eryngium foetidum</i>	NE	NE
Dill	leaf	<i>Anethum graveolens</i>	NE	NE
Vietnamese coriander	leaf	<i>Persicaria odorata</i>	NE	NE
Pepper	seed	<i>Piper nigrum</i>	1250	2500
Kariyat	leaf	<i>Andrographis paniculata</i>	1250	1250
Kaffir lime, leech lime	seed	<i>Citrus hystrix</i> DC.	312.5	NE
Mullilam	seed	<i>Zanthoxylum limonella</i>	312.5	NE
Bitter gourd	fruit	<i>Momordica charantia</i>	NE	NE
Horse radish tree	leaf	<i>Moringa oleifera</i>	1250	2500
Horse radish tree	seed	<i>Moringa oleifera</i>	NE	NE
Tree basil	leaf	<i>Ocimum gratissimum</i>	1250	625
Kitchen mint, marsh mint	leaf	<i>Mentha spicata</i>	1250	1250
Siamese neem tree	leaf	<i>Azadirachta indica</i>	625	NE
Siamese neem tree	seed	<i>Azadirachta indica</i>	625	1250
Shallot	root	<i>Allium ascalonicum</i>	2500	1250
Onion	root	<i>Allium cepa</i>	NE	NE

NE = Non-Effective

การศึกษาค้นพบว่า สมุนไพรที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *A. hydrophila* โดยมีค่า MBC ได้ดีที่สุด คือ กระชายขาว มีค่าเท่ากับ 156.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) รองลงมาได้แก่ ขมิ้นขาว ขมิ้นชัน ยี่หระ ตะคานเหล็ก และตะไคร้ มีค่า MBC เท่ากัน คือ 625 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) ส่วนสมุนไพรที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *S. agalactiae* มีค่า MBC ได้ดีที่สุด คือ ขมิ้นชัน มีค่า MBC เท่ากับ 9.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) รองลงมากระชายขาว 39.1 ขมิ้นขาว 156.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) และมะแขว่น ตะไคร้ มะกรูด มีค่า MBC เท่ากัน คือ 312.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Nonwachai and Duangkaew (2016) ศึกษาผลของสารสกัดสมุนไพรไทยต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *A. hydrophila* จากสารสกัดสมุนไพรไทย 7 ชนิด ได้แก่ ขมิ้นชัน ขิง กระเทียม มะกรูด ฟ้าทะลายโจร กะเพรา และทองพันชั่ง ด้วยวิธี agar well diffusion และ broth dilution พบว่า สมุนไพรไทยที่มีผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนใสเฉลี่ยมากที่สุด คือ ขมิ้นชัน ที่ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย และมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (MBC) มีค่าดีที่สุดเท่ากับ 7.81 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) รองลงมาได้แก่ ขิง กระเทียม และฟ้าทะลายโจร ที่ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย มีค่า MBC เท่ากับ 62.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) ซึ่งจากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่า สารสกัดฟ้าทะลายโจรที่สกัดด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ มีค่า MBC ต่อเชื้อ *A. hydrophila* สูงถึง 1250 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt)

การศึกษานี้พบว่า สมุนไพรที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *S. agalactiae* มีค่า MBC ได้ดีที่สุด คือ ขมิ้นชัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Srisayam et al. (2018) ได้ทำการศึกษายาคประกอบทางเคมีและฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยจากขมิ้นสามชนิดในประเทศไทย ได้แก่ ขมิ้นอ้อย (*Curcuma zedoaria*) ขมิ้นชัน (*C. longa*) และขมิ้นดำ (*C. aeruginosa*) โดยการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ เพื่อทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) และ *Staphylococcus epidermidis* ด้วยวิธี agar well diffusion, broth dilution และ agar dilution และหาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธี gas chromatography-mass spectroscopy (GC-MS) ผลการทดลองจากวิธีการ agar well diffusion พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากขมิ้น 3 ชนิด สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทดสอบได้ทั้งหมด 7 ชนิด ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารในขมิ้นชันพบสาร 16 ชนิด ได้แก่ α -terpineol, α -terpinolene, α -turmerone, β -turmerone, zingiberenol, isoborneol, l-phellandrene, 1,8-cineole, (+)-ar-turmerone, italicene, β -bisabolene, trans-caryophyllene, β -elemene, trans- β -farnesene, camphor และ patchouli alcohol โดยพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากขมิ้นมีสารในกลุ่ม terpenes ในปริมาณสูง ซึ่งมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย ซึ่งส่วนประกอบดังกล่าวอาจเป็นส่วนประกอบสำคัญในกลไกการออกฤทธิ์ต่อเชื้อแบคทีเรีย ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของแบคทีเรีย และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ (Lutowski et al., 1974 ; Shankar and Murthy, 1979) และการศึกษาของ Vanichkul (2010) ทำการศึกษายาคสกัดขมิ้นชันในการยับยั้งเชื้อ *Vibrio harveyi* และ *S. agalactiae* มีค่า MBC เท่ากับ 2,275.55 และ >4,452.17 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) ตามลำดับ ซึ่งสกัดสารขมิ้นชันที่สกัดด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถสกัดขมิ้นชันได้ 38.45 เปอร์เซ็นต์ (w/w) เป็นสารสำคัญกลุ่ม curcuminoids ซึ่งประกอบไปด้วยสาร 3 ชนิด คือ curcumin, desmethoxycurcumin และ bisdesmethoxycurcumin รวมอยู่กับน้ำมันหอมระเหย (volatile oil) โดยในขมิ้นชันมีสาร curcuminoids ที่มีฤทธิ์ไปขัดขวางกระบวนการผลิตเอนไซม์ β -lactamase ของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่แบคทีเรียสร้างขึ้นมาเพื่อต่อต้านฤทธิ์ของยาปฏิชีวนะกลุ่มเบต้าแลคแตม โดยโมเลกุลของ curcuminoids เช่น phenol และ hydroxyl group จะออกฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว โดยจะแทรกตัวเข้าไปในส่วนไขมันที่อยู่ในผนังเซลล์ชั้นใน ทำให้เกิดการรั่วไหลของส่วนประกอบภายในเซลล์ได้อย่างรวดเร็ว และทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีน (Kumar et al., 2001; Purselove et al., 1981; Siramon and Waeonukul, 2021) โดย Shankar and Murthy (1979) รายงานว่า ขมิ้นชันสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้โดยการยับยั้งการสร้างกรดและการเจริญเติบโตของ *Lactobacillus acidophilus* และ *L. plantarum* และยับยั้งการสร้างก๊าซของเชื้อ *E. coli* โดย Ciamician and Silber (1897) กล่าวว่า curcuminoids ซึ่งมีสารสีเหลืองส้ม สามารถควบคุม เชื้อ *Streptococcus* spp. และ *Staphylococcus* spp. และมีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคภัย และแบคทีเรียที่ทำให้เกิดหนองได้ จะเห็นว่าน้ำมันหอมระเหยและสาร curcuminoids จากขมิ้นชัน สามารถยับยั้งแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อราได้ ซึ่งอาจเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของพืชที่ออกฤทธิ์ต่อเชื้อแบคทีเรีย โดยมีกลไกการออกฤทธิ์โดยทำให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแบคทีเรีย โดยเฉพาะการสร้างผนังเซลล์ ยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีนหรือกรดนิวคลีอิก เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Von et al, 1974; Shankar and Murthy, 1978)

จากการศึกษานี้ได้ใช้สารละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย พบว่า สมุนไพรที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *A. hydrophila* โดยมีค่า MBC ได้ดีที่สุด คือ กระชายขาว รองลงมาได้แก่ ขมิ้นขาว ขมิ้นชัน ยี่หระ ตะคานเหล็ก และ

ตะไคร้ ส่วนสมุนไพรที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *S. agalactiae* มีค่า MBC ได้ดีที่สุด คือ ขมิ้นชัน รองลงมากระชายขาว ขมิ้นขาว มะแขว่น ตะไคร้ มะกรูด ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Kambale et al. (2014) ที่ศึกษาสารสกัดทางชีวภาพจากสมุนไพร 5 ชนิด ได้แก่ มะตูม, มะขามป้อม, มะรุม สะเดา และมะฮอกกานีจีน ที่สกัดด้วยน้ำ คลอโรฟอร์ม และเอทานอล เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านจุลชีพ ต่อเชื้อ *S. agalactiae* biotype 2 โดยมะตูม, มะขามป้อม และ มะรุม ที่สกัดด้วยน้ำ ส่วนสะเดา และมะฮอกกานีจีน สกัดด้วย คลอโรฟอร์มและเอทานอล โดยใช้วิธี disk diffusion assay และหาความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้ง (MIC) ของสมุนไพรด้วยวิธี agar diffusion พบว่า สารสกัดใบมะรุมที่สกัดด้วยน้ำ มีค่าโซนการยับยั้งสูงที่สุด คือ 13.1 มิลลิเมตร และสารสกัดจากใบมะตูม มีค่าเท่ากับ 7.9 มิลลิเมตร และสารสกัดมะฮอกกานีจีนที่สกัดด้วยคลอโรฟอร์มมีค่า MIC ดีที่สุดคือ 0.15 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ppt) และแตกต่างจากการศึกษาของ Kladkongtug (2019) ที่ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากพืชพื้นบ้านภาคเหนือของประเทศไทย จำนวน 11 ชนิด ในการยับยั้งเชื้อ *S. agalactiae* และความต้านทานโรคในปลานิล ได้แก่ ติงหว้า ผักขี้หูด ผักคาวตอง ผักเชียงดา ผักแปมบ้าน ผักแปมป่า ผักแส้ว ผักฮาก ผักหนาม ผักฮ้วนหมู และมะแขว่น โดยสกัดด้วยตัวทำละลาย 2 ประเภท คือ ตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้ง ได้แก่ น้ำ และเมทานอล และตัวทำละลายไม่มีขี้ผึ้ง ได้แก่ เฮกเซน และไดคลอโรมีเทน ทดสอบการยับยั้งเชื้อ *S. agalactiae* 2 ไอโซเลท คือ *S. agalactiae* JP9 และ JP17 ด้วยวิธี disk diffusion และทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ (MIC) ด้วยวิธี modified microtiter plate broth dilution พบว่า ผักแปมบ้านที่สกัดด้วยเมทานอล ผักฮ้วนหมูที่สกัดด้วยเมทานอล มะแขว่นที่สกัดด้วยเฮกเซน และผักฮ้วนหมูที่สกัดด้วยไดคลอโรมีเทน สามารถยับยั้งเชื้อ *S. agalactiae* JP9 ได้ และมีค่า MIC เท่ากับ 1,602.3, 13,224.0, 17,912.0 และ 13,566.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) ตามลำดับ ส่วนผักแปมบ้านที่สกัดด้วยเมทานอล ผักคาวตองที่สกัดด้วยไดคลอโรมีเทน ผักฮ้วนหมูที่สกัดด้วยเมทานอล และมะแขว่นที่สกัดด้วยเฮกเซน สามารถยับยั้งเชื้อ *S. agalactiae* JP17 ได้ และมีค่า MIC เท่ากับ 6,867.0, 19,112.0, 12,224.0 และ 15,679.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) ตามลำดับ และแตกต่างจากการศึกษาของ Pachanawan (2012) ทดสอบความสามารถของสมุนไพรในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคปลา 2 ชนิด คือ *S. agalactiae* และ *A. hydrophila* ทั้งในหลอดทดลองและในตัวปลา สำหรับการทดสอบกับ *S. agalactiae* นำสมุนไพร 14 ชนิด ได้แก่ บอระเพ็ด บัวบก ฝรั่ง ฟ้ายะลวยโจร กะเม็ง ขมิ้นชัน กระเทียม ลูกใต้ใบ มังคุด มะระขี้นก น้ำมันราซัสห์ พริกขี้หนู ส้มเขียวหวาน และทับทิม มาทำการสกัดด้วยตัวทำละลาย 5 ชนิด คือ เฮกเซน เมทานอล เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เอทิลอะซิเตท และน้ำกลั่น นำไปทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของ *S. agalactiae* โดยวิธี swab paper disc และหาค่าความเข้มข้นที่น้อยที่สุด (minimal inhibitory concentration, MIC) ในการยับยั้ง *S. agalactiae* พบว่า สารสกัดพริกขี้หนู (*Capsicum frutescens*) ที่สกัดด้วยเมทานอล ให้ผลการยับยั้งการเจริญได้ดีที่สุด โดยมีค่า MIC เท่ากับ 31.25 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร สำหรับการทดสอบกับเชื้อ *A. hydrophila* ด้วยสมุนไพร 14 ชนิด ได้แก่ บอระเพ็ด บัวบก ฝรั่ง ฟ้ายะลวยโจร กระเทียม มังคุด มะระขี้นก ทับทิม ชุมเห็ดเทศ ข่า กานพลู กระชาย กะเพรา และตะไคร้ มาสกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ เอทานอลเข้มข้น ร้อยละ 90 อีเทอร์ และน้ำกลั่น แล้วทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของ *A. hydrophila* โดยวิธี swab paper disc และหาค่า MIC พบว่า สารสกัดใบฝรั่ง (*Psidium guajava*) ที่สกัดด้วยเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ให้ผลการยับยั้งการเจริญของ *A. hydrophila* ได้ดีที่สุด โดยมีค่า MIC เท่ากับ 62.5 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร จะเห็นได้ว่า ตัวทำละลายอาจมีผลในการสกัดสารสำคัญของพืช ซึ่งสารสำคัญหรือสารประกอบในพืชสมุนไพรมีหลายชนิด โดยมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ได้แก่ 1) สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารมีขี้ผึ้ง (ละลายน้ำ) เช่น carbohydrate, glycosides, organic acids และ phenolic เป็นต้น 2) สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งมีขี้ผึ้ง (ละลายได้ในแอลกอฮอล์) เช่น tannin, saponin, alkaloids, phenolic, terpenoid, resins เป็นต้น และ 3) สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารไม่มีขี้ผึ้ง (ไม่ละลายน้ำ ละลายในตัวทำละลายสารอินทรีย์) เช่น น้ำมันหอมระเหย (volatile oils), resins และ lipids เป็นต้น (Katakya and Handique, 2010) ดังนั้น การเลือกชนิดตัวทำละลายที่เหมาะสม จะช่วยให้ได้สารประกอบที่สำคัญในพืชสมุนไพรได้เป็นอย่างดี

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดสมุนไพรต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในปลานิล 2 ชนิด ได้แก่ เชื้อ *S. agalactiae* และ *A. hydrophila* โดยวิธี disk diffusion และ broth dilution โดยใช้สารสกัดสมุนไพร 29 ชนิด (32 ตัวอย่างสมุนไพร) พบว่า สารสกัดจากข่ามีค่าโซนการยับยั้ง (inhibition zone) ต่อการยับยั้งเชื้อ *S. agalactiae* และ *A. hydrophila* สูงที่สุด ส่วนค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (MBC) ทั้งเชื้อ *S. agalactiae* และ *A. hydrophila* พบว่า ขมิ้นชัน กระชายขาว และขมิ้นขาว มีค่า MBC ดีที่สุด จากการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น ในการตัดสินใจคัดเลือกสมุนไพรที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคเพื่อประยุกต์ใช้สารสกัดสมุนไพรในการป้องกันโรคที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในปลานิลและสัตว์น้ำอื่น ๆ ได้

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเงินสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยา เลขที่สัญญา FF66-UoE013 กองทุนส่งเสริม ววน. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

การกำกับดูแลบริหารโครงการ คิตรีเริ่มกำหนดปัญหาและสมมติฐาน รวบรวมและสืบค้นข้อมูล การปฏิบัติการวิจัยและการทดลอง การเก็บและรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์และแปลผลการทดลอง อภิปรายและวิพากษ์วิจารณ์ผลการทดลอง การจัดหาทุนสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง จัดเตรียมการเขียนและการแก้ไขต้นฉบับ (Manuscript): กรทิพย์ กันนิการ์. การเตรียมความพร้อมการวิจัย การทดลองและปฏิบัติการวิจัย: อลิศรา นพรินทร์, นลินี ลีเกสร, อาภาพร แสงจินะ, อามินตรา นามภักดี. การจัดเก็บและตรวจสอบข้อมูล เก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล: ภัฏญานัฐ สุนทรประสิทธิ์, ดุจฤดี ปานพรหมมินทร์. เสนอแนะการเก็บรวบรวมข้อมูล: เกรียงไกร สีตะพันธุ์. การเตรียมความพร้อมการวิจัย การออกแบบ ทดลองและปฏิบัติการวิจัย สนับสนุนห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง: เปรมดา ทิพย์เดโช.

เอกสารอ้างอิง

- Bauer, A. W., Kirby, W. M. M., Serris, J. C., & Turck, M. (1966). Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disc method. **American Journal of Clinical Pathology**, 45(4), 493-496.
- Chitmanat, C. (2013). Tilapia diseases. **Chiang Mai Veterinary Journal**, 11(1), 75-86. (in Thai).
- Ciamician, G., & Silber, P. (1897). Zur Kenntnis des curcumins. **Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft**, 30, 192-195. (in German)
- Department of Fisheries. (2022). **Fisheries Statistics of Thailand 2021**. Retrieved from: https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/view_qr_group/1408/7527. (in Thai).
- FAO. (2022). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2022**. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. Retrieved from: <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Harikrishnan, R., Balasundaram, C., & Heo, M. S. (2011). Impact of plant products on innate and adaptive immune system of cultured finfish and shellfish. **Aquaculture**, 317(1-4), 1-15.
- Kamble, M. T., Gallardo, W. G., Yakupitiyage, A., Chavan, B. R., Rusydi, R., & Rahma, A. (2014). Antimicrobial activity of bioactive herbal extracts against *Streptococcus agalactiae* biotype 2. **International Journal of Basis and Applied Biology**, 2(3), 152-155.
- Kataky, A., & Handique, P. J. (2010). A brief overview on *Andrographis paniculata* (Burm. f) Nees. A high valued medicinal plant: Boon over synthetic drugs. **Asian Journal of Science and Technology**, 6(1), 113-118.
- Kladkongtug, K. (2019). **Efficiency of Crude Extracts from Northern Thai Local Plants on Inhibition of *Streptococcus agalactiae* and Disease Resistance in Nile tilapia**. Master's Thesis. Chiang Mai University. (in Thai).
- Kumar, S., Narain, U., Tripathi, S., & Mirsa, K. (2001). Syntheses of curcumin bioconjugates and study of their antibacterial activities against β -lactamases-producing microorganisms. **Bioconjugate Chemistry**, 12(4), 464-469.
- Lutomski, J., Kedzia, B., & Debska, W. (1974). Effect of an alcohol extract and active ingredients from *Curcuma longa* on bacteria and fungi. **Plant Medica**, 26(5), 9-19.
- Nithikulworawong, N. (2012). Efficacy of *Bauhinia sirindhorniae* on resistance to against *Streptococcus agalactiae* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **KKU Research Journal**, 17(5), 715-724. (in Thai).
- Nonwachai, T., & Duangkaew, D. (2016). Effect of Thai herbs extracted on growth inhibition of *Aeromonas hydrophila*. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 44(Suppl.1), 124-129. (in Thai).
- Pachanawan, A. (2012). **Potential of Thai Herbs and their Extracts as Alternatives to Antibiotics for Controlling *Streptococcus agalactiae* and *Aeromonas hydrophila* Infections in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn.)**. Doctoral Thesis. Ubon Ratchathani University. (in Thai).
- Pojanaukij, N., & Kajorncheappunngam, S. (2010). Comparison of antimicrobial activity of mangosteen crude, turmeric and gotu kola extract. **Naresuan University Journal**, 18(1), 1-9. (in Thai).
- Potiwong, C., Suwan, C., Noimoon, P., Yawichai, P., Jitmanowan, S., & Chitmanat, C. (2020). Effects of medicinal plants on fish immunity and its growth performances. **Burapha Science Journal**, 25(2), 595-616. (in Thai).
- Purseglove, J. W., Brown, E. G., Green, C. L., & Robbins, S. R. J. (1981). **Spices**. Longman.
- Rattanachaiunsopon, P., & Phumkhachorn, P. (2010). Use of herbs as prophylactic and therapeutic agents in fish. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University**, 12(4), 63-71. (in Thai).
- Shankar, T. N. B., & Murthy, V. S. (1978). Effect of turmeric (*Curcuma longa*) on the growth of some intestinal bacteria *in vitro*. **Journal of Food Science and Technology**, 15(4), 152-153.
- Shankar, T. N. B., & Murthy, V. S. (1979). Effect of turmeric (*Curcuma longa*) fractions on the growth of some intestinal and pathogenic bacteria *in vitro*. **Indian Journal of Experimental Biology**, 17(12), 1363-1366.
- Siramon, P., & Waeonukul, R. (2021). Chemical composition and antibacterial activities of rhizome extract from *Curcuma aromatica* Salisb. **YRU Journal of Science and Technology**, 6(2), 118-125. (in Thai).
- Srisayam, M., Jooduang, J., Srisopa, A., Keerin, P., & Sangthong, S. (2018). Chemical composition and antibacterial activity of essential oils from three *curcuma* species in Thailand. **Life Sciences and Environment Journal**, 19(2), 222-233. (in Thai).
- Vanichkul, K. (2010). **Role of Turmeric (*Curcuma longa* Linn.) and Creat (*Andrographis paniculata* Wall. Ex Nees) Extract on Immunity of Aquatic Animals and their Activities on the Control of Pathogenic Bacteria**. Doctoral Thesis. Kasetsart University. (in Thai).
- Von, J., Lutomski, B., & Kedzia, W. D. (1974). Effect of an alcohol extract and active ingredients from *Curcuma longa* on bacteria and fungi. **Plant Medica**, 26(1), 9-19.

การพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69

Seed Pelleting with *Bacillus subtilis* on Seed Quality and Seedling Growth of Khao Dawk Mali 105 and RD69 Rice Seed Varieties

จิรารัตน์ แก้วคำ^{1*}Tidarat Kaewkham^{1*}

Received date: 19 ก.ย. 66 Revised date: 5 ก.พ. 67 Accepted date: 14 ก.พ. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.014>

บทคัดย่อ

การผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเกษตรกรยังพบปัญหาการเข้าทำลายของโรคและแมลงในทุกระยะ จึงได้นำเอาเทคโนโลยีการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับจุลินทรีย์ มาประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหาดังกล่าวงานทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการเจริญเติบโตต้นกล้าของเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังการพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แบ่งออกเป็น 5 กรรมวิธี คือ เมล็ดไม่พอก (T_1), เมล็ดพอกโดยไม่เติม *Bacillus subtilis* (T_2), เมล็ดพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร (T_3 - T_5) ตามลำดับ หลังการพอกนำมาตรวจสอบ คุณภาพเมล็ดพันธุ์ และการเจริญเติบโตของต้นกล้าจากการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์พบว่า การพอกเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร มีเปอร์เซ็นต์ความงอกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ได้พอก แต่มีแนวโน้ม ทำให้เมล็ดพันธุ์งอกเพิ่มขึ้นทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง และเมื่อตรวจสอบ การเจริญเติบโตของต้นกล้าพบว่า การพอกเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า คือทำให้ต้นกล้าข้าว มีความยาวต้นมีแนวโน้มลดลงในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และการพอกเมล็ดร่วมกับ *Bacillus subtilis* ที่อัตรา 1 และ 3 มิลลิลิตร ในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีผลทำให้ความยาวรากเพิ่มขึ้นจากเมล็ดไม่พอก 5-30 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ต้นกล้าข้าวที่เกิดจากเมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร มีอัตราการ เจริญเติบโตดีกว่าเมล็ดที่ไม่ได้พอก และเมล็ดพอกโดยไม่เติม *Bacillus subtilis* ทั้งในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69

คำสำคัญ: การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์ข้าว การงอกของเมล็ดพันธุ์ การพอกเมล็ดพันธุ์ จุลินทรีย์

Abstract

In rice seed production, farmers continue to encounter problems related to diseases and insect infestations at various stages of the process. Consequently, seed pelleting technology and plant-promoting microorganisms are applied together to solve such problems. This experiment investigated seed quality and seedling growths of rice seeds following pelleting with *Bacillus subtilis* at varying ratios. This experiment was conducted at Seed Technology Laboratory, Faculty of Engineer and Agro-Industry, Maejo University, and was divided into five methods: non-pelleted seed (T_1), pelleted seed without *Bacillus subtilis* (T_2), pelleted seed in combination with *Bacillus subtilis* at three different concentrations (1, 2, and 3 milliliters (T_3 - T_5)). Following the pelleting process, the pelleted seeds were taken for seed quality testing and evaluation of seedling growth. The results of the seed quality testing indicated that pelleting Khao dawk mali 105 and RD69 rice seed varieties with 1, 2, and 3 milliliters of *Bacillus subtilis* had germination percentages non-statistically different from non-pelleted seed. However, there was a tendency to increase seed germination in both laboratory and greenhouse conditions. When assessing seedling growths, it was observed that pelleting had an impact on the seedlings of both rice varieties. Specifically, there was a decreasing trend in seedling shoot length for the Khao dawk mali 105 rice seed variety while pelleted seeds with 1 and 3 milliliters of *Bacillus subtilis* for both rice varieties exhibited longer root lengths, with an increase ranging from 5% to 30% compared to non-pelleted seeds.

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Division of Postharvest Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiangmai 50290

* Corresponding author: Tidarat_kk@mju.ac.th

Additionally, it was noted that rice seedlings germinated from pelleted seeds with 1, 2, and 3 milliliters of *Bacillus subtilis* exhibited superior growth compared to seedlings from non-pelleted seeds and pelleted without *Bacillus subtilis*.

Keywords: seed enhancement, rice seed, seed germination, seed pelleting, microorganisms

คำนำ

ข้าว (*Oryza sativa*) เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของโลก โดยครึ่งหนึ่งของประชากรโลกและมากกว่าร้อยละ 60 ของประชากรในแถบเอเชียบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกข้าว 7.6 - 7.7 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 138,452 ล้านบาท ซึ่งเป็นอันดับสามของโลก รองจากเวียดนาม และอินเดีย (Office of Agricultural Economics, 2022) ส่วนความต้องการใช้ภายในประเทศในปี 2565/2566 อยู่ที่ประมาณ 27.6 ล้านตันข้าวเปลือก เพื่อใช้ในการบริโภคภาคอุตสาหกรรม และการผลิตเมล็ดพันธุ์ (Department of Internal Trade, 2022) ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้าวยังคงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับประเทศได้อย่างต่อเนื่องแต่ในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเกษตรกรยังพบปัญหาการเข้าทำลายของโรคและแมลงในช่วงระยะต้นกล้า การเก็บเกี่ยวและในระหว่างการรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวเกิดความเสียหายจากการเข้าทำลายของโรคและแมลง ในปัจจุบันเกษตรกรบางรายลดการใช้สารเคมีป้องกันโรคและแมลงและเริ่มให้ความสนใจวิธีทางชีวภาพมากขึ้น เพื่อลดต้นทุนการผลิต และไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพดินและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว (Kesan, 2007) จึงได้นำเอาเทคโนโลยีการพอกเมล็ดพันธุ์ (seed pelleting) มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งการพอกเมล็ดพันธุ์เป็นการทำให้เมล็ดพันธุ์ถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุพอกหรือสารเติมเต็มชนิดต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เป็นตัวย่อยในการยึดเกาะและให้สารพอกเป็นตัวย่อยในการนำพาสารออกฤทธิ์ให้ติดไปกับผิวเมล็ดพันธุ์อย่าง สมบูรณ์ โดยสารออกฤทธิ์จะไม่สัมผัสกับผิวเมล็ดพันธุ์โดยตรง เพื่อให้การออกฤทธิ์ของสารชนิดต่างๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ เช่น สารป้องกันโรคและแมลง ธาตุอาหาร และจุลินทรีย์ชีวภาพ (Siri, 2015) เพื่อป้องกันการเข้าทำลายของโรค แมลง และเป็นการส่งเสริมคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้านการงอก และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์หลังเพาะปลูกให้ดียิ่งขึ้น

ซึ่งจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาใช้ร่วมกับการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์จะเป็นจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทั้งในรูปแบบการตรึงไนโตรเจน การละลายธาตุอาหาร การสร้างซีดอร์โรฟอร์ (siderophore) การสร้างสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การสร้างสารปฏิชีวนะและสารยับยั้งเชื้อรา รวมไปถึงการส่งเสริมต้นกล้าพืชให้มีความต้านทานในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่างๆ (Beneduzi et al., 2012; Bulgarelli et al., 2013) ซึ่งจะประกอบไปด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำงานร่วมกันกับพืชอาศัยเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ PGPB (Plant Growth Promoting Bacteria) (Hayat et al., 2010) หรือกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำงานส่งเสริมการเจริญเติบโตบริเวณรากพืช หรือ PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) (Kloepper and Schroth, 1978) เช่น *Acinetobacter* sp., *Pseudomonas* sp. (Indiragandhi et al., 2008), *Bradyrhizobium* sp. 750, *Pseudomonas* sp., A3R3, *Psychrobacter* sp. SRS8 (Ma et al., 2011), *Acinetobacter* spp. (Rokhbakhsh-Zamin et al., 2011), *Bacillus subtilis* QST713, *Pseudomonas fluorescens* CA (Kaewkham et al., 2016), *Bacillus oryziicola* (Dunlap et al., 2016) และ *Bacillus methylotrophicus* (Liu et al., 2018) เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้มีกลไกสำคัญคือ ช่วยในการผลิตฮอร์โมนพืชหรือสนับสนุนให้พืชอาหารและการดูดซึมจากดินผ่านกลไกต่างๆ มากขึ้น อีกทั้งจุลินทรีย์เหล่านี้ ยังสามารถช่วยตรึงไนโตรเจนในบรรยากาศให้กับพืชได้ จึงทำให้เมล็ดพันธุ์มีพัฒนาการที่ดีและเป็นต้นกล้าที่มีความแข็งแรงสูง โดยช่วยปกป้องการเข้าทำลายของโรคพืช สร้างธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช ส่งเสริมการงอก รวมถึงการยืดอายุของรากและลำต้น (Vacheron et al., 2013) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ด้วยอัตราที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69

วิธีการศึกษา

การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวที่ผ่านการพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตราความเข้มข้นที่ต่างกัน ดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ระหว่างเดือน กรกฎาคม - ตุลาคม 2562 โดยได้รับความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข 69) จากศูนย์วิจัยข้าวชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ส่วนจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่นำมาใช้ในการทดลองนี้คือ *Bacillus subtilis* strain MBI 600 ที่ผลิตโดยบริษัท บีเอฟเอส จำกัด ซึ่งมีปริมาณแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* เท่ากับ 2.2×10^{10} spore/ml มีขั้นตอนการดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

การพอกเมล็ดพันธุ์ข้าวร่วมกับ *Bacillus subtilis*

การพอกเมล็ดพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตราความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยใช้ carboxymethyl cellulose (CMC) อัตรา 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 100 มิลลิลิตร เป็นวัสดุประสาน และใช้ calcium sulfate 250 กรัม เป็นวัสดุพอกต่อเมล็ดพันธุ์ 25 กรัม จากนั้นทำการพอกร่วมกับแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในอัตราความเข้มข้นที่ต่างกัน 5 กรรมวิธี คือ เมล็ดไม่พอก (T_1), เมล็ดพอกโดยไม่เติม *Bacillus subtilis* (T_2), เมล็ดพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร ต่อวัสดุประสาน 100 มิลลิลิตร (T_3 , T_4 และ T_5) จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ที่ผ่านการพอกไปลดความชื้นในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างเมล็ดพอกมาตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าในลักษณะต่างๆ

การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว

การตรวจสอบความงอกในสภาพห้องปฏิบัติการ: สุ่มเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการพอกและไม่พอกในแต่ละกรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ด มาทดสอบความงอกด้วยวิธี between paper (BP) จากนั้นนำไปไว้ในตู้เพาะความงอกที่อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส และนำมาตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติ ต้นกล้าผิดปกติ เมล็ดสดไม่งอก และเมล็ดตาย โดยนับครั้งแรก (first count) หลังจากเพาะ 7 วัน และนับครั้งสุดท้าย (final count) หลังเพาะ 14 วัน และรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความงอก (ISTA, 2017)

การตรวจสอบความงอกในสภาพเรือนทดลอง: สุ่มเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการพอกและไม่พอกในแต่ละกรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ด มาทดสอบความงอกในสภาพเพาะ ใช้พีทมอสเป็นวัสดุเพาะ จากนั้นนำไปไว้ในสภาพเรือนทดลองภายใต้อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส และนำมาตรวจนับความงอกครั้งแรก (first count) หลังจากเพาะ 7 วัน และนับครั้งสุดท้าย (final count) หลังเพาะ 14 วัน และรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความงอก (ISTA, 2017)

ดัชนีการงอก: ตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติจากการนับความงอกครั้งแรก (first count) หลังเพาะ 7 วัน และวันสุดท้าย (final count) หลังเพาะ 14 วัน ของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เพาะในสภาพห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณหาดัชนีการงอกจากสูตร (AOSA, 2002)

$$\text{ดัชนีการงอก} = \frac{\text{ผลรวมของ [จำนวนต้นกล้าที่งอกในแต่ละวัน]}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}}$$

ความเร็วในการงอก: ตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติจากการนับความงอกครั้งแรก (first count) หลังเพาะ 7 วัน จนถึงวันสุดท้าย (final count) หลังเพาะ 14 วัน ของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เพาะในสภาพเรือนทดลอง จากนั้นนำข้อมูลการนับมาคำนวณหาความเร็วในการงอกจากสูตร (ISTA, 2017)

ความเร็วในการงอก (ต้น/วัน) = $\frac{\text{ผลรวมของ (จำนวนต้นกล้าปกติที่นับครั้งแรก/วันหลังเพาะที่นับครั้งแรก + + จำนวนต้นกล้าปกติที่นับครั้งสุดท้าย/วันหลังเพาะที่นับครั้งสุดท้าย)}}$

ความยาวต้นและความยาวรากของต้นกล้า: สุ่มต้นกล้าข้าวปกติที่อายุ 14 วันหลังเพาะ ในสภาพห้องปฏิบัติการ มาประเมินความยาวต้นและความยาวราก (เซนติเมตร) ทำทั้งหมด 4 ซ้ำๆ ละ 10 ต้น โดยการตรวจสอบวัดความยาวต้นจะวัดตั้งแต่บริเวณโคนต้นจนถึงปลายยอด ส่วนความยาวรากจะวัดตั้งแต่โคนรากจนถึงปลายรากของต้นกล้า

อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า: นำต้นกล้าข้าวที่เพาะในสภาพห้องปฏิบัติการจำนวน 10 ต้น ทำทั้งหมด 4 ซ้ำๆ ชั่งน้ำหนักก่อนอบ จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดก็นำต้นกล้าที่ผ่านการอบไปชั่งน้ำหนักหลังอบ และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า ดังสูตร

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า (มิลลิกรัมต่อต้น)} = \frac{\text{น้ำหนักของต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ผลข้อมูลการพอกเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตราแตกต่างกัน ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีการพอกโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 และ 0.01 โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SAS10

ผลการศึกษาและวิจารณ์

คุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการพอกเมล็ดพันธุ์ข้าวร่วมกับ *Bacillus subtilis*

การพอกเมล็ดพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตราที่แตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการพอกพบว่า เมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ที่ผ่านการพอกเมล็ดร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร (T_3 - T_5) มีความงอกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ได้พอก (T_1) แต่มีแนวโน้มทำให้เมล็ดพันธุ์งอกเพิ่มขึ้นทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง โดยเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีความงอกอยู่ในช่วง 92-99 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพันธุ์ กข 6 มีความงอกอยู่ในช่วง 83-96 เปอร์เซ็นต์ (Table 1) จะเห็นได้ว่า การพอกเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตราที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อความงอกและมีแนวโน้มทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวงอกดีกว่าเมล็ดที่ไม่ได้พอก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Junges et al. (2013) รายงานว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดร่วมกับ *Bacillus subtilis* ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดมีความงอกและการเจริญเติบโตที่เพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกันกับ Tu et al. (2016) รายงานว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ฝ้ายด้วยสูตรสารเคลือบ ESCA4 ร่วมกับแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* SL-13 สามารถยกระดับความงอกของเมล็ดพันธุ์ฝ้ายเพิ่มขึ้น 28-29 เปอร์เซ็นต์ และ Mahmood et al. (2016) กล่าวว่า การไพร่มีง การเคลือบ และการพอกเมล็ดพันธุ์ต่างๆ เช่น ถั่วเหลือง ผักกาดหอม ข้าวสาลี เป็นต้น ร่วมกับ rhizobacteria เป็นหนึ่งในวิธีการที่ดีสำหรับกาเตรียมความงอกให้กับเมล็ดพันธุ์ โดยสามารถช่วยให้เมล็ดสามารถงอกได้ดี งอกสม่ำเสมอ ต้นกล้ามีความสมบูรณ์แข็งแรง และสามารถป้องกันเชื้อราที่จะเข้ามาทำลายรากในระยะกล้าได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการพอกเมล็ดร่วมกับจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช สามารถช่วยส่งเสริมการงอกให้กับพืชได้ เนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้มีกลไกที่สำคัญคือ การผลิตฮอโมนพืชหรือสนับสนุนให้พืชหาอาหารและการดูดซึมธาตุอาหารจากดินผ่านกลไกต่างๆ มากขึ้น จุลินทรีย์เหล่านี้ยังสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศได้ (Vacheron et al., 2013) โดยจะผลิตเอนไซม์ไนโตรจิเนสมาช่วยตรึงและเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนให้เป็นสารประกอบในรูปของแอมโมเนีย และไนเตรทเพื่อให้ต้นกล้าพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันทีหลังจากเมล็ดพันธุ์เริ่มงอก (Herrera et al., 2016)

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าวัสดุประสานและวัสดุพอกที่ใช้ในการพอกเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ในงานวิจัยครั้งนี้ ไม่มีผลต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ ซึ่ง Amer and Utkhede (2000) พบว่า การใช้ carboxymethyl cellulose เป็นวัสดุประสานในการพอกเมล็ดพันธุ์ และเป็นวัสดุตัวกลางนำพา *Bacillus subtilis* และ *Pseudomonas putida* ให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม ผลปรากฏว่าการพอกเมล็ดพันธุ์ด้วยจุลินทรีย์เหล่านี้ไม่เป็นอุปสรรคต่อกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์และ Buakaew and Siri (2018) ได้รายงานว่าการพอกเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมโดยใช้ calcium sulfate เป็นวัสดุพอก ไม่มีผลต่อความงอกและความเร็วในการงอก และวัสดุพอกชนิดนี้มีคุณสมบัติที่สามารถดูดซับความชื้นได้ดี โดยความชื้นและอากาศสามารถแทรกซึมได้ง่าย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Peek et al., 2008)

Table 1 Seed germination of khao dawk mali 105 and RD69 seed varieties after pelleting seed with *Bacillus subtilis* at different rate under laboratory and greenhouse conditions

Treatments ¹	Seed germination (%)							
	Khao dawk mali 105				RD69			
	Laboratory	(%) ²	Greenhouse	(%)	Laboratory	(%)	Greenhouse	(%)
T ₁	97		93		92		83	
T ₂	99	(+2)	92	(-1)	96	(+4)	86	(+3)
T ₃	99	(+2)	94	(+1)	93	(+1)	84	(+1)
T ₄	99	(+2)	96	(+3)	93	(+1)	85	(+2)
T ₅	98	(+1)	93	(0)	93	(+1)	89	(+6)
C.V. (%)	2.25		5.73		3.64		6.49	
F-test	ns		ns		ns		ns	

ns = not significant

¹ T₁ = Non-pelleted seedT₄ = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 2 ml.T₂ = Pelleted seed without *Bacillus subtilis*T₅ = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 3 ml.T₃ = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 1 ml.² The number in parenthesis refers to percentage change of increase (+) and decrease (-) compared to the control

จากการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ที่ผ่านการพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตราที่แตกต่างกัน โดยใช้วิธีการวัดความเร็วในการงอกและดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวพบว่า ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีความเร็วในการงอกไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งเมล็ดที่ไม่ได้พอก (T₁) มีค่าความเร็วในการงอกสูงที่สุด (31.3 ต้นต่อวัน) รองลงมาคือ เมล็ดพันธุ์ที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1 มิลลิลิตร (T₃) และเมล็ดพอกโดยไม่เติม *Bacillus subtilis* (T₂) ตามลำดับ (31.1 และ 31.0 ต้นต่อวัน) ต่อมาเมื่อตรวจสอบค่าดัชนีการงอกพบว่า เมล็ดที่ไม่ได้พอก (T₁) มีค่าดัชนีการงอกไม่แตกต่างกับเมล็ดพอกโดยไม่เติม *Bacillus subtilis* (T₂) แต่แตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร (T₃-T₅) ส่วนการตรวจสอบความเร็วในการงอกและดัชนีการงอกของข้าวพันธุ์ กข 69 พบว่า ความเร็วในการงอกและค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมล็ดที่ไม่ได้พอก (T₁) มีค่าความแข็งแรงสูงกว่าเมล็ดพอกโดยไม่เติม *Bacillus subtilis* (T₂) และเมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในทุกอัตรา (T₃-T₅) ทั้งความเร็วในการงอกและค่าดัชนีการงอก (Table 2) เช่นเดียวกับกับ Kaodilok et al. (2019) ได้ศึกษาผลของการพอกเมล็ดพันธุ์ฝักกาดหอมร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต Gibberellic acid (GA₃) และ Indole-3-acetic acid (IAA) ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์พบว่า การพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต GA₃ และ GA₃ ผสมกับ IAA ทุกกรรมวิธี ส่งผลให้ความเร็วในการงอกลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้พอกทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพเรือนทดลอง ทั้งนี้การพอกเมล็ดพันธุ์เป็นวิธีการที่ทำให้เมล็ดพันธุ์จะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุพอก ทำให้เมล็ดพันธุ์พืชบางชนิดไม่สามารถงอกได้ทันทีหรืองอกได้ช้าลง แต่ไม่ส่งผลต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ (Soulangue and Levantard, 2008)

ซึ่งจะเห็นได้ว่า การพอกเมล็ดพันธุ์นั้นไม่เป็นอุปสรรคต่อกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ แต่จะมีผลทำให้การงอกรากของต้นกล้าและความเร็วในการงอกของต้นกล้าช้าลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้พอก ซึ่งผลจากการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยการพอกเมล็ดพันธุ์พืชชนิดอื่นๆ เช่น ทานตะวัน (Kiran et al., 2014) ยาสูบ (Trachoo, 2016) ฝักกาดหอม (Buakaew and Siri, 2018) และมะเขือเทศ (Chaiyasarn and Siri, 2019) ซึ่งการพอกเมล็ดไม่ส่งผลให้ความงอกของเมล็ดพันธุ์ลดลง

Table 2 Speed of germination and germination index of khao dawk mali 105 and RD69 seed varieties after pelleting seed with *Bacillus subtilis* at different rate

Treatments ^{1, 2}	Khao dawk mali 105				RD69			
	Germination index		Speed of germination		Germination index		Speed of germination	
		(%) ³	(seedling/day)	(%) ³		(%) ³	(seedling/day)	(%) ³
T ₁	18.5 a		31.3		17.6 a		30.0 a	
T ₂	17.2 ab	(-7)	31.0	(-1)	13.9 b	(+3)	27.9 b	(-7)
T ₃	16.9 b	(-9)	31.1	(-1)	11.9 b	(+1)	26.3 b	(-12)
T ₄	16.1 b	(-13)	30.0	(-4)	13.0 b	(+2)	26.4 b	(-12)
T ₅	15.8 b	(-15)	29.8	(-5)	13.0 b	(+6)	27.0 b	(-10)
C.V. (%)	5.08		2.78		10.16		4.35	
F-test	**		ns		**		**	

ns = not significant and ** = significant at $P < 0.01$

¹ Means within a column followed by the same letter are not significantly at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ by LSD

² T₁ = Non-pelleted seed

T₄ = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 2 ml.

T₂ = Pelleted seed without *Bacillus subtilis*

T₅ = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 3 ml.

T₃ = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 1 ml.

³ The number in parenthesis refers to percentage change of increase (+) and decrease (-) compared to the control

การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวหลังการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ *Bacillus subtilis*

จากการพิจารณาการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ที่ผ่านการพอกเมล็ดร่วมกับ *Bacillus subtilis* แล้วตรวจสอบความยาวต้นในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า ความยาวต้นของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 หลังการพอกทุกกรรมวิธี (T₂-T₅) ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ได้พอก (T₁) ซึ่งในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมล็ดที่ไม่ได้พอก (T₁) มีความยาวต้นมากที่สุดเท่ากับ 14.1 เซนติเมตร ส่วนพันธุ์ กข 69 เมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 2 มิลลิลิตร (T₄) มีความยาวต้นมากที่สุดเท่ากับ 16.3 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างกับงานทดลองของ Kaodilok et al. (2019) ได้ศึกษาผลของการพอกเมล็ดพันธุ์ฝักกาดหอมร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าพบว่า การพอกเมล็ดร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต GA₃ และ GA₃ ผสมกับ IAA ทุกกรรมวิธี มีความยาวต้นมากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้พอก และจากการตรวจสอบความยาวรากพบว่า เมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1 มิลลิลิตร (T₃) ทำให้ต้นกล้ามีความยาวรากสูงที่สุด รองลงมาคือ เมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 3 มิลลิลิตร (T₅) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (12.0 และ 11.0 เซนติเมตร ตามลำดับ) แต่มีความแตกต่างทางสถิติในข้าวพันธุ์ กข 69 (12.8 และ 10.3 เซนติเมตร ตามลำดับ) (Table 3) การพอกเมล็ดร่วมกับ *Bacillus subtilis* สามารถเพิ่มความยาวรากของต้นกล้าได้ เนื่องจาก *Bacillus subtilis* เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างฮอร์โมนพืช (phytohormones) กลุ่มออกซิน (auxins) คือ Indole-3-acetic acid (IAA) (Prasanna et al., 2011; Mahmood et al., 2016; Myo et al., 2019) ซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สามารถกระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ การแบ่งเซลล์ และการเปลี่ยนสภาพของเซลล์ได้ (Tanthani, 2012; Masciarelli et al., 2014) อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความยาวของรากและพื้นที่ผิวราก ทำให้ต้นกล้าแข็งแรงขึ้น ทำให้รากสามารถดูดซึมน้ำ และสารอาหารได้มากขึ้น (Ahemad and Khan, 2011; Glick, 2012; Vacheron et al., 2013) อีกทั้งยังสามารถต่อต้านเชื้อแบคทีเรียให้กับพืชที่อยู่อาศัยได้อีกด้วย และ Hernandez et al. (2009) ยังพบว่า แบคทีเรีย *Bacillus pumilus* มีคุณสมบัติที่มีประโยชน์ต่อพืชทั้งในด้านการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคในพืช และยังสามารถช่วยพืชตรึงไนโตรเจนได้อีกด้วย

Table 3 Shoot length and root length of khao dawk mali 105 and RD69 seed varieties after pelleting seed with *Bacillus subtilis* at different rate under laboratory conditions

Treatments ^{1, 2}	Khao dawk mali 105				RD69			
	Shoot length (cm)	(%) ³	Root length (cm)	(%) ³	Shoot length (cm)	(%) ³	Root length (cm)	(%) ³
T ₁	14.1		9.1		14.1		9.7 b	
T ₂	13.8	(-2.1)	9.3	(+2.2)	13.9	(-1.4)	8.8 b	(-9.2)
T ₃	13.3	(-5.7)	12.0	(+32)	14.1	(0)	12.8 a	(+32)
T ₄	13.1	(-7.1)	9.9	(+8.8)	16.3	(+15.6)	9.5 b	(-2.1)
T ₅	13.1	(-7.1)	11.0	(+20.9)	15.2	(+7.8)	10.3 b	(+6.2)
C.V. (%)	7.48		14.29		19.63		14.87	
F-test	ns		ns		ns		*	

ns = not significant and * = significant at $P < 0.05$, respectively

¹ Means within a column followed by the same letter are not significantly at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ by LSD

² T₁ = Non-pelleted seed

T₄ = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 2 ml.

T₂ = Pelleted seed without *Bacillus subtilis*

T₅ = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 3 ml.

T₃ = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 1 ml.

³ The number in parenthesis refers to percentage change of increase (+) and decrease (-) compared to the control

Table 4 Seedling growth rate of khao dawk mali 105 and RD69 seed varieties after pelleting seed with *Bacillus subtilis* at different rate under laboratory conditions

Treatments ^{1, 2}	Seedling growth rate (milligram/plant)			
	Khao dawk mali 105	(%) ³	RD69	(%) ³
T ₁	8.1 c		4.5 c	
T ₂	11.5 b	(+42)	12.8 b	(+184)
T ₃	13.8 a	(+70)	15.2 a	(+238)
T ₄	11.9 b	(+47)	14.5 a	(+222)
T ₅	11.7 b	(+44)	12.9 b	(+187)
C.V. (%)	8.43		8.87	
F-test	**		**	

** = significant at $P < 0.01$

¹ Means within a column followed by the same letter are not significantly at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ by LSD

² T₁ = Non-pelleted seed

T₄ = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 2 ml.

T₂ = Pelleted seed without *Bacillus subtilis*

T₅ = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 3 ml.

T₃ = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 1 ml.

³ The number in parenthesis refers to percentage change of increase (+) and decrease (-) compared to the control

จากการตรวจสอบอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 หลังการพอกเมล็ดร่วมกับ *Bacillus subtilis* ที่อัตราแตกต่างกันพบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการพอกทุกกรรมวิธี (T₂-T₅) มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้ามากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้พอก (T₁) โดยเมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1 มิลลิลิตร (T₃) มีอัตราการเจริญของต้นกล้ามากที่สุดคือ 13.8 และ 15.2 มิลลิกรัม/ต้น (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ ข้าวพันธุ์ กข 69 ตามลำดับ) ส่วนเมล็ดที่ไม่ได้พอก (T₁) มีอัตราการเจริญของต้นกล้าน้อยที่สุดคือ 8.1 และ 4.5

มิลลิกรัม/ตัน (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ตามลำดับ) (Table 4) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Kangsopa et al. (2018) ได้ทำการประยุกต์วิธีการทำ seed treatment ร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชคือ *Pseudomonas fluoresces* 31-12 และ *Bacillus subtilis* พบว่า การเคลือบและการพอกเมล็ดพันธุ์ด้วย *P. fluoresces* 31-12 มีน้ำหนักสดใบ น้ำหนักราก น้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งรากมากกว่าและแตกต่างกันทางสถิติอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการพอก และมีรายงานว่า การคลุกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศร่วมกับ *Bacillus subtilis* (EPC016) ทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการคลุกร่วมกับ *Bacillus subtilis* (EPC016) (Ramyabharathi et al., 2013) ในปัจจุบัน Jeephet (2022) รายงานเพิ่มว่า การพอกเมล็ดร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช จะทำให้เมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตที่ดี และสามารถเพิ่มน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งทั้งต้นและรากได้ดีกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการพอก

สรุปผลการศึกษา

จากการพอกเมล็ดข้าวทั้ง 2 พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ที่อัตราที่แตกต่างกันพบว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ที่อัตรา 2 มิลลิลิตร มีผลทำให้ ความงอกในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือนดีกว่าเมล็ดที่ไม่พอก แต่พันธุ์ กข 69 ได้ผลดีที่การพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ที่อัตรา 3 มิลลิลิตร แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่พอก แต่เมื่อตรวจสอบ อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าพบว่าเมล็ดข้าวที่มีการพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ที่อัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าดีกว่าเมล็ดที่ไม่พอกและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้สามารถแนะนำได้ว่าการพอกเมล็ดข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ควรใส่ในอัตราที่ 2-3 มิลลิลิตร

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวชุมแพที่ได้สนับสนุนเมล็ดพันธุ์เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

การคิดริเริ่ม การตั้งสมมติฐาน การทำการทดลอง การจัดเก็บข้อมูลการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง และการเขียนบทความต้นฉบับ: อิตารัตน์ แก้วคำ.

เอกสารอ้างอิง

- Ahemad, M., & Khan, M. S. (2011). Assessment of plant growth promoting activities of rhizobacterium *Pseudomonas putida* under insecticide-stress. *Microbiology Journal*, 1(2), 54-64.
- Amer, G. A., & Utkhede, R. S. (2000). Developments of formulations of biological agents for management of root rot of lettuce and cucumber. *Canadian Journal of Microbiology*, 46(9), 809-816.
- AOSA. (2002). *Seed Vigor Testing Handbook (Revised 2002)*. Contribution No. 32 to the Handbook on Seed Testing. Association of Official Seed Analysis.
- Beneduzi, A., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and Molecular Biology*, 35(Suppl.4), 1044-1051.
- Buakaew, S., & Siri, B. (2018). Physical properties and seed quality after pelleting with different binder and filler materials of lettuce seed (*Lactuca sativa* L.). *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46(3), 469-480. (in Thai).
- Bulgarelli, D., Schlaeppi, K., Spaepen, S., Van Themaat, E. V. L., & Schulze-Lefert, P. (2013). Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annual Review of Plant Biology*, 64(1), 807-838.
- Chaiyasarn, S., & Siri, B. (2019). Effect of seed pelleting with different plant nutrients on seed germination, vigor and seedling growth of hybrid tomato. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 47(5), 877-890. (in Thai).

- Department of Internal Trade. (2022). **Action Plan, Production Plan and Comprehensive Rice Marketing for the Production Year 2022/23**. Bureau of Rice Policy & Strategy, The Rice Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Dunlap, C. A., Kim, S. J., Kwon, S. W., & Rooney, A. P. (2016). *Bacillus velezensis* is not a later heterotypic synonym of *Bacillus amyloliquefaciens*; *Bacillus methylotrophicus*, *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *Plantarum* and '*Bacillus oryzicola*' are later heterotypic synonyms of *Bacillus velezensis* based on phylogenomics. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, 66(3), 1212-1217.
- Glick, B. R. (2012). **Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications**. Scientifica: Hindawi Publishing Corporation.
- Hayat, R., Ali, S., & Amara, U. (2010). Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals of Microbiology**, 60(1), 579-98.
- Hernandez, J. P., De-Bashan, L. E., Rodriguez, D. J., Rodriguez, Y., & Bashan, Y. (2009). Growth promotion of the freshwater microalga *Chlorella vulgaris* by the nitrogen-fixing, plant growth-promoting bacterium *Bacillus pumilus* from arid zone soils. **European Journal of Soil Biology**, 45(1), 88-93.
- Herrera, J. M., Rubio, G., Levy, L., Delgado, J. A., Lucho-Constantino, C. A., Islas-Valdez, S., & Pellet, D. (2016). Emerging and established technologies to increase nitrogen use efficiency of cereals. **Agronomy**, 6(25), 1-19.
- Indiragandhi, P., Anandham, R., Madhaiyan, M., & Sa, T. M. (2008). Characterization of Plant Growth-Promoting Traits of Bacteria Isolated from Larval Guts of Diamondback Moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Current Microbiology**, 56(4), 327-333.
- ISTA. (2017). **International Rules for Seed Testing**. International Seed Testing Association.
- Jeephet, P. (2022). **Effect of Seed Pelleting Formulas with Plant Growth Promoting Bacteria on Lettuce Seed's Quality and Longevity**. Master's thesis. Agronomy, Office of Academic Administration and Development, Maejo University. (in Thai).
- Junges, E., Toebe, M., Santos, R. F. D., Finger, G., & Muniz, M. F. B. (2013). Effect of priming and seed-coating when associated with *Bacillus subtilis* in maize seeds. **Revista Ciencia Agronomica**, 44(3), 520-526.
- Kaewkham, T., Hynes, R. K., & Siri, B. (2016). The effect of accelerated seed ageing on cucumber germination following seed treatment with fungicides and microbial biocontrol agents for managing gummy stem blight by *Didymella bryoniae*. **Biocontrol Science and Technology**, 26(8), 1048-1061.
- Kangsopa, J., Hynes, R. K., & Siri, B. (2018). Effects of seed treatment with plant growth promoting bacteria on germination and growth of lettuce. **Journal of Agriculture**, 34(3), 385-397. (in Thai).
- Kaodilok, T., Siri, B., & Tira-umpon, A. (2019). Effects of seed pelleting with plant growth regulator GA₃ and IAA on quality of lettuce seed. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 47(5), 1027-1036. (in Thai).
- Kesan, J. P. (2007). **Agricultural Biotechnology and Intellectual Property: Seeds of Change**. CAB International.
- Kiran, S. P., Paramesh R., Nishanth, G. K., Channakeshava., & Niranjana, K. B. (2014). Influence of seed pelleting on seed quality of sunflower hybrid seed production of KBSH-53 (*Helianthus annuus* L.). **International Journal of Advances in Pharmacy, Biology and Chemistry**, 3(2), 2277-4688.
- Kloepper, J. W., & Schroth, M. N. (1978). Plant growth promoting rhizobacteria on radishes. In **Proceedings of the 4th International Conference on Plant Pathogen Bacteria**, pp. 879-882. INRA, Gilbert-Clarey.
- Liu, B., Ge, B., Azhar, N., Zhao, W., Cui, H., & Zhang, K. (2018). Complete genome sequence of *Bacillus methylotrophicus* strain NKG-1, isolated from the Changbai Mountains, China. **Genome Announcements**, 6(3), e01454-17.
- Ma, Y., Rajkumar, M., Vicente, J. A., & Freitas, H. (2011). Inoculation of Ni-resistant plant growth promoting bacterium *Psychrobacter* sp. strain SRS8 for the improvement of nickel phytoextraction by energy crops. **International Journal of Phytoremediation**, 13(2), 126-139.
- Mahmood, A., Turgay, O. C., Farooq, M., & Hayat, R. (2016). Seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria: a review. **FEMS Microbiology Ecology**, 92(8), 1-14.
- Masciarelli, O., Llanes, A., & Luna, V. (2014). A new PGPR co-inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* enhances soybean nodulation. **Microbiology Research**, 169(7-8), 609-615.
- Myo, E. M., Liu, B., Ma, J., Shi, L., Jiang, M., Zhang, K., & Ge, B. (2019). Evaluation of *Bacillus velezensis* NKG-2 for bio-control activities against fungal diseases and potential plant growth promotion. **Biological Control**, 134(1), 23-31.
- Office of Agricultural Economics. (2022). **Thailand Foreign Agricultural Trade Statistics 2022**. Centre for Agricultural Information, Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Peek D. R., Reed, T. D., Johnson, C. S., Semtner, P. J., & Wilkinson, C. A. (2008). **Burley Tobacco Production Guide**. Virginia Cooperative Extension, Virginia State University.
- Prasanna, R., Joshi, M., Rana, A., Shivay, Y. S., & Nain, L. (2011). Influence of co-inoculation of bacteria-cyanobacteria on crop yield and C-N sequestration in soil under rice crop. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 28(1), 1223-1235.
- Ramyabharathi, S., Meena, B., & Raguchander, T. (2013). Induction of defense enzymes and proteins in tomato plants by *Bacillus subtilis* EPCO16 against *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*. **Madras Agricultural Journal**, 100(Special 1), 126-130.

- Rokhbakhsh-Zamin, F., Sachdev, D., Kazemi-Pour, N., Engineer, A., Pardesi, K. R., Zinjarde, S., Dhakephalkar, P. K., & Chopade, B. A. (2011). Characterization of plant-growth-promoting traits of *Acinetobacter* species isolated from rhizosphere of *Pennisetum glaucum*. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, 21(6), 556-566.
- Siri, B. (2015). **Seed Conditioning and Seed Enhancements**. Klungnanawitthaya Priting. (in Thai).
- Soulange, J. G. & Levantard, M. (2008). Comparative studies of seed priming and pelleting on percentage and meantime to germination of seeds of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill.). **African Journal of Agricultural Research**, 3(10), 725-731.
- Tanthani, S. (2012). Microorganisms, biotechnology for soil improvement. **Department of Science Service Journal**, 60(190), 36-39. (in Thai).
- Trachoo, S. (2016). **Seed Pelleting with Plant Nutrients on Seed Quality and Storability of Tobacco Seed**. Master's thesis. Agronomy, Graduate School, Khon Kaen University. (in Thai).
- Tu, L., He, Y., Shan, C., & Wu, Z. (2016). Preparation of Microencapsulated *Bacillus subtilis* SL-13 Seed coating agents and their effects on the growth of cotton seedlings. **BioMed Research International**, 2016(1), 1-7.
- Vacheron, J., Debrosses, G., Bouffaud, M-L., Touraine, B., Moënne-Loccoz, Y., Muller, D., Legendre, L., Wisniewski-Dye, F., & Prgent-Combaret, C. (2013). Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in Plant Science**, 4(1), 356-375.

การศึกษากระบวนการผลิตนมข้าวเม้าอัดเม็ดที่เหมาะสมกับชุมชน

Study on the Production Process of Khao Mao Milk Tablets Suitable for Community

พรประภา ชุนถนอม^{1*}, รวีพร ศรีสำราญ¹, กรรณิการ์ สมบุญ¹, วิวัฒน์ ศรีวิชา² และเดือนรุ่ง สุวรรณโสภา³
Pornprapha Chunthanom^{1*}, Raweeporn Srisamran¹, Kannika Somboon¹, Wiwat Sriwicha² and Duernrung Suwannasopa³

Received date: 19 ก.ย. 66 Revised date: 5 ก.พ. 67 Accepted date: 14 ก.พ. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.015>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการผลิตนมข้าวเม้าอัดเม็ดที่เหมาะสมสำหรับวิสาหกิจชุมชน ทำการศึกษาวิธีทำแห้งข้าวเม้าสดและศึกษาสูตรการผลิตนมข้าวเม้าอัดเม็ด โดยทำแห้งข้าวเม้าสด 3 แบบคือผึ่งลม อบแห้งในตู้อบลมร้อน และคั่ว แล้วบดเป็นแป้งก่อนอัดเม็ด พบว่าค่าสีของข้าวเม้าแห้งทุกตัวอย่างไม่แตกต่างจากข้าวเม้าสด ปริมาณน้ำอิสระของข้าวเม้าแห้งทุกตัวอย่างน้อยกว่าข้าวเม้าสด ($P \leq 0.05$) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของข้าวเม้าทุกตัวอย่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของข้าวเม้า คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเม้าหลังอบแห้งพบว่าพลังงานจากไขมัน ไขมันทั้งหมด โปรตีน วิตามินบี2 เหล็ก ธาตุแคลเซียม มีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเม้าสด แต่พลังงานทั้งหมดคาร์โบไฮเดรต โยอาหาร น้ำตาล โซเดียม วิตามินบี1 และแคลเซียม มีปริมาณสูงกว่าข้าวเม้าสด เมื่อบดข้าวเม้าอบแห้งเป็นแป้งพบว่ามีความสว่างและค่าสีเขียวมากขึ้น แต่ค่าสีเหลืองและความเข้มสีลดลง เมื่อผลิตนมข้าวเม้าอัดเม็ด 3 สูตรคือหวานน้อย ปานกลาง และมาก แล้วทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าสูตรหวานปานกลางได้คะแนนด้านรสชาติมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากสูตรหวานมาก ส่วนคะแนนด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของทุกสูตรไม่แตกต่างกัน และเมื่อผลิตนมข้าวเม้าผสมสารสกัดจากใบข้าวอัดเม็ด 3 สูตรคือสีเขียวน้อย เขียวปานกลาง และเขียวเข้ม แล้วทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าสูตรสีเขียวน้อยได้คะแนนด้านความชอบโดยรวมมากที่สุด ($P \leq 0.05$) ส่วนคะแนนด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของทุกสูตรไม่แตกต่างกัน ($P > 0.5$)

คำสำคัญ: ข้าวเม้า การทำแห้ง การอัดเม็ด ใบข้าว

Abstract

The objective of this research was to develop the production of Khao Mao (KM) milk tablets suitable for community enterprise. An appropriate fresh KM drying and optimum tablet formula were investigated. Fresh KM was dried in 3 different ways including, aerated, dehydrated in tray dryer and roasted, and then ground into flour before tableting. It was found that the color values of all samples of dried KM were not significantly different from those of fresh KM. The a_w value of all samples of dried KM was lower than that of fresh KM ($P \leq 0.05$). Total microbial content and also yeast and mold of all samples were in the standard of community product of KM. The nutritional value of dehydrated KM found that energy from fat, total fat, protein, vitamin B2, iron, ash and moisture content were decreased when compared with fresh KM. In the addition, the total energy, carbohydrates, dietary fiber, sugar, sodium, vitamin B1 and calcium content were higher than fresh KM. After milling dried KM into flour, it was found that the L^* and $-a^*$ value increased, but the b^* and C^* value decreased. When produce KM milk tablets, there were 3 formulas including, low sweet, medium sweet and very sweet. The results showed that the sensory evaluation of the moderately sweet formula of tablet received the highest score for taste but not different from the very sweet formula. The scores for color, odor, texture and overall preference of all formulas were not different. Furthermore, KM milk mixed with rice leaf extract was

¹ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.สกลนคร 47160

² สาขาการแพทย์แผนไทย คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.สกลนคร 47160

³ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.สกลนคร 47160

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Natural Resource, Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon 47160

² Department of Thai Traditional Medicine, Faculty of Natural Resource, Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon 47160

³ Department of Industrial Engineering, Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon 47160

*Corresponding author: pronprapa.ch@rmuti.ac.th

produced, 3 formulas were light green, medium green and dark green. The samples of the light green formula had the highest overall scores ($P \leq 0.05$), while the scores on color, odor, taste and texture of all formulas were not significantly different ($P > 0.05$).

Keywords: Khao Mao, drying, tablet processing, rice leave

คำนำ

ข้าวเม่า (pounded young rice) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำข้าวเปลือกที่ผ่านระยะนํ้ามประมาณ 5-7 วัน หรือข้าวเปลือกแห้งที่แช่นํ้าไว้แล้วประมาณ 2 วัน มาทำความสะอาด อาจผสมนํ้าคั้นจากพืช เช่น นํ้าคั้นใบเตย นํ้าคั้นดอกอัญชัน เพื่อให้มีสีและกลิ่นตามต้องการ คั่วให้สุก แล้วนำไปตำให้เมล็ดข้าวแบน แยกเอาแกลบออก อาจนำไปอบอีกครั้งเพื่อให้แห้ง (Thai Industrial Standards Institute, 2019) ข้าวเม่ามีกระบวนการผลิตหลายแบบซึ่งขึ้นอยู่กับภูมิปัญญาของแต่ละท้องถิ่น ซึ่งกระบวนการผลิตข้าวเม่าสดโดยใช้ภูมิปัญญาใน จ.สกลนคร เริ่มจากเก็บเกี่ยวข้าวเปลือกในระยะกำลังเม่า นำข้าวเปลือกออกจากรวง ล้างนํ้าเพื่อคัดเอาเมล็ดข้าวที่ลีบออกไป เติมนํ้าสะอาดเพื่อต้มและคั่วเมล็ดข้าวในกระทะใบบัวจนข้าวสุก แล้วนำไปตำในครกกระเดื่องเพื่อกะเทาะเปลือก ผัดเอาแกลบออก ได้เมล็ดข้าวเม่าที่แบน มีกลิ่นหอม มีสีเขียวอ่อน และสามารถบริโภคได้ทันที ข้าวเม่าสดที่ได้นี้จะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 1-2 วัน เนื่องจากข้าวเม่ามีความชื้นประมาณร้อยละ 20 และปริมาณนํ้าอิสระ (a_w) ประมาณ 0.9 ข้าวเม่าจัดเป็นอาหารที่มีความชื้นปานกลาง จึงง่ายต่อการเสื่อมเสียจากเชื้อราและเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ (Rattanapanont, 2002) การยืดอายุการเก็บรักษาข้าวเม่าโดยการลดความชื้นหรือทำให้แห้ง และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แป้งข้าวเม่า หรือข้าวเม่าผง เมื่อเก็บรักษาแป้งข้าวเม่าหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ทำจากแป้งข้าวเม่า พบว่ามีกลิ่นหืนและสีซีดลง เนื่องจากแป้งข้าวเม่ามีขนาดอนุภาคเล็กจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศได้มาก ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย หากนำแป้งข้าวเม่าที่ได้มาอัดเม็ดเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จะได้ผลิตภัณฑ์ข้าวเม่าอัดเม็ดที่มีความแข็งแรงทนทานจนไม่สามารถละลายได้ในปากหรือนํ้าร้อน จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าไม่สามารถทำแป้งข้าวเม่าให้อยู่ในรูปอัดเม็ดเช่นเดียวกับกระบวนการทำนมอัดเม็ดหรือนมอัดเม็ดที่ผสมเนื้อมังคุด (Pasittrak et al., 2015) เนื่องจากข้าวเม่าทำจากข้าวเหนียวที่มีอะไมโลเพกตินเป็นองค์ประกอบหลักจึงมีความเหนียวและยึดติดเกาะตัวกันดีหากสัมผัสกับนํ้าหรือความชื้น จึงต้องผสมแป้งข้าวเม่ากับนมผงและนํ้าตาลไอซิ่งหรือกลูโคส เติมนํ้าตาลหล่อลื่นและสารช่วยยึดเกาะ เช่น แมกนีเซียมสเตียเรต และแป้งสาคุ แล้วขึ้นรูปโดยการตอกเม็ด ซึ่งการใช้นมผงเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์จะทำให้เกิดช่องว่างของอากาศในผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด หากมีช่องว่างมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์เปราะและแตกง่าย อย่างไรก็ตาม การผลิตนมอัดเม็ดในระดับอุตสาหกรรมจะใช้นํ้าหรือวัตถุดิบอื่น เช่น นํ้าผักหรือนํ้าผลไม้ เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีความสามารถในการกระจายตัวสูงและมีปริมาณความชื้นต่ำ (Vongsawasdi et al., 2002) มีรูพรุนอยู่ภายในมากขึ้น และมีความหนาแน่นลดลง (Master, 1991) นอกจากนั้น Panyayong and Ubolsook (2020) ได้ศึกษานํ้านมเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อัดเม็ดโดยใช้นํ้านมเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ทำแห้งแบบพ่นฝอย ร้อยละ 50.00 นํ้าตาลไอซิ่งร้อยละ 33.33 และแป้งข้าวโพดร้อยละ 16.67 อย่างไรก็ตาม เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยทำให้อาหารสามารถละลายได้ดี แต่วิสาหกิจชุมชนที่ผลิตอาหารหลายแห่งไม่มีเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยและยากต่อการเข้าถึงเทคโนโลยีดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้กรรมวิธีการผลิตนมอัดเม็ดผสมเนื้อมังคุด (Pasittrak et al., 2015) และนมอัดเม็ดเสริมผงไข่แดง (Nataworatat, 2007) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์นมข้าวเม่าอัดเม็ดทั้งสูตรที่มีรสหวานและสูตรที่มีสีเขียวให้มีคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งน่าจะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวเม่าที่เหมาะสมกับการผลิตในระดับวิสาหกิจชุมชนได้ในอนาคต

วิธีการศึกษา

การเตรียมตัวอย่างแป้งข้าวเม่า

นำข้าวเม่าสดจากข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ที่ผลิตจากภูมิปัญญาดั้งเดิมของบ้านคอนศรี อ.วานรนิวาส จ.สกลนคร ทำให้แห้ง 3 กระบวนการ ได้แก่ ผึ่งลม (ใช้พัดลมเป่าในที่ร่มอุณหภูมิ 33-35°C นานประมาณ 8 ชั่วโมง) อบแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 50°C นานประมาณ 4 ชั่วโมง หรือจนมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ตามวิธีการของ Youngsuk (2007) และคั่วจนแห้ง (คั่วในกระทะทองเหลืองด้วยไฟอ่อนที่อุณหภูมิ 40-50°C นานประมาณ 10 นาที) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์คุณภาพข้าวเม่าแห้งเทียบกับข้าวเม่าสด (control) ได้แก่ ค่าสี (L^* , a^* , b^* , C^* , h°) โดยใช้เครื่องวัดสี (ยี่ห้อ HunterLab รุ่น ColorFlex EZ, Hunter Associates Laboratory Inc., USA) ค่า a_w โดยใช้เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (ยี่ห้อ AQUA LAB รุ่น 4TE, METEG Group, Inc., USA) ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ตามวิธีของ AOAC (2000) เพื่อคัดเลือกกระบวนการทำแห้งที่เหมาะสม ทำการทดลอง 2 ซ้ำ บรรจุข้าวในถุงสุญญากาศขนาด 1 กก. เก็บรักษาข้าวเม่าสดและข้าวเม่าแห้งที่อุณหภูมิ 4°C และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ ก่อนนำตัวอย่างจำนวน 2 กก. ส่งตรวจวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อน โดยมีรายการวิธีการวิเคราะห์ดังนี้ *B. cereus*, *C. perfringens*, Yeasts & molds และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, *E. coli*, *Salmonella spp.*, *S. aureus* และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ พลังงานทั้งหมด พลังงานจากไขมัน ไขมันอิ่มตัว โคเลสเตอรอล โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ในอาหาร น้ำตาล โซเดียม วิตามินเอ วิตามินบี1 และวิตามินบี2 แคลเซียม และเหล็ก (In-house method ของบริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย)) จำกัด เถ้าและความชื้น (AOAC, 2012) ที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด โดยส่งตรวจ 1 ครั้ง นำข้าวเม่าแห้งทำเป็นแป้งโดยบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 mesh ได้แป้งข้าวเม่าบรรจุใส่ถุงสุญญากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ก่อนนำมาใช้งานภายในเวลา 1 เดือน

การเตรียมสารสกัดใบข้าว

เก็บเกี่ยวใบข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เป็นต้นอ่อนมีอายุประมาณ 14 วัน ล้างน้ำ หั่นเป็นท่อนขนาดประมาณ 1 นิ้ว เติมน้ำเกลือแอลกอฮอล์ 50% (food grade) จนท่วมตัวอย่าง แช่ทิ้งไว้ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กรองแล้วระเหยเพื่อทำให้เข้มข้นด้วยเครื่อง rotary evaporator (ยี่ห้อ EYELA รุ่น N-1210BS-W, EYELA, Japan) ที่อุณหภูมิ 50°C จนได้สารละลายสีเขียวจากใบข้าวที่เข้มข้น ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

การผสมและตอกเม็ดนมข้าวเม่าอัดเม็ด

นำแป้งข้าวเม่าผสมกับส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ นมผงแท่งตราคารเนชั่น แป้งข้าวเม่า น้ำตาลไอซิ่ง แป้งสาคุ (จ.พัทลุง) สารเพิ่มการจับตัว (แมกนีเซียมสเตียเรต) และสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (ซิลิกอนไดออกไซด์) เพื่อให้เกิดแกรนูล โดยดัดแปลงจากสูตรนมอัดเม็ดเสริมผงไข่แดง (Nataworat et al., 2007) และนมอัดเม็ดผสมมังคุด (Pasittrak et al., 2015) ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Composition of Khao Mao milk tablets

Composition (%)	Treatment		
	Low sweet	Medium sweet	Very sweet
Whole milk powder	61.62	58.9	53.12
Khao Mao flour	30.81	29.45	27.06
Icing sugar	4.62	8.83	16.23
Sago flour	1.23	1.18	1.08
Magnesium stearate	1.23	1.18	1.08
Silicon dioxide	0.49	0.46	0.43

ทำการอัดเม็ดโดยใช้เครื่องตอกเม็ดแบบอัตโนมัติชนิดโรตารี (ยี่ห้อ Y.U Pack รุ่น ZP-9B, T.U Pack Co.,Ltd., Thailand) โดยใช้แรงกดขนาด 5 kN ใช้ใบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. และหนา 4 มม. ทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบชิมแบบกึ่งฝึกฝนจำนวน 30 คน ที่มีอายุระหว่าง 18-50 ปี ด้วยวิธี 9-point Hedonic scale เพื่อประเมินระดับความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยระดับคะแนน 1 คือชอบน้อยที่สุด และ 9 คือชอบมากที่สุด (Wiriyajaree, 2018) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

Table 2 Composition of Khao Mao milk mixed with rice leaf extract tablets

Composition (%)	Treatment		
	Light green	Medium green	Dark green
Whole milk powder	58.51	58.45	58.40
Khao Mao flour	26.59	26.57	26.54
Icing sugar	11.40	11.39	11.38
Silicon dioxide	1.06	1.06	1.06
Sago flour	1.06	1.06	1.06
Magnesium stearate	1.06	1.06	1.06
Vinilla extract	0.21	0.21	0.21
Rice leaf extract	0.11	0.20	0.29

การผสมและตอกเม็ดนมข้าวเม่าผสมสารสกัดใบข้าวอัดเม็ด

นำส่วนประกอบผสมกับวุ้นลาฟงเพื่อเพิ่มกลิ่นหอมและผสมกับสารสกัดใบข้าวเพื่อให้มีสีเขียวนำรับประทานในปริมาณต่างกัน 3 ระดับ (สีเขียวเข้มมาก สีเขียวเข้มปานกลาง และสีเขียวเข้มน้อย) โดยนำสารสกัดใบข้าวปั่นผสมกับแป้งข้าวเม่า อบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C จนแห้ง นำมาบดแล้วผสมกับส่วนผสมอื่นๆ ได้สูตรการผลิตดัง Table 2 อัดเม็ด ทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบชิมแบบกึ่งฝึกฝนจำนวน 30 คน ด้วยวิธี 9-point Hedonic scale วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสุบูรณ์ (randomized complete block Design: RCBD) (Wiriyaaree, 2018) เพื่อประเมินระดับความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Turkey's test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Wiriyaaree, 2002)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการศึกษากรรมวิธีการทำแห้งข้าวเม่าที่เหมาะสมกับชุมชน วิเคราะห์คุณภาพแสดงผลดัง Table 3-4 พบว่าค่าสีของทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับข้าวเม่าสดชุดควบคุม (control) ส่วนค่า a_w ซึ่งเป็นค่าที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต จะส่งผลต่ออายุการเก็บรักษา โดยข้าวเม่าสดมีค่า a_w สูงที่สุด คือ 0.90 ($P \leq 0.05$) ทำให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย จึงทำแห้ง 3 กรรมวิธี พบว่าตัวอย่างอื่นๆ มีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ข้าวเม่า (มพช.741/2562) ค่า a_w ของข้าวเม่าอบแห้งมีค่าน้อยที่สุดคือ 0.487 เนื่องจากใช้อุณหภูมิสูงกว่าวิธีผึ่งลมและคั่ว สอดคล้องกับ Sombat and Vangnai (2014) ที่รายงานว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งส่งผลให้ค่า a_w และความชื้นลดลง เนื่องจากการอบแห้ง ปริมาณน้ำเกิดการระเหยไป เมื่อน้ำเคลื่อนที่มาบริเวณผิวแล้วจึงระเหยเป็นไอด้วยกระแสลมร้อนที่มาสัมผัสกับอาหาร (Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 1996) ค่าสี L^* หรือค่าความสว่างของข้าวเม่าที่ทำแห้งโดยการผึ่งลมอบแห้ง และคั่วในการทดลองนี้ พบว่ามีความสว่างมากกว่าข้าวเม่าแห้งในตลาดที่รายงานค่าสี L^* โดย Nachaisin et al. (2016) มีค่าเป็น 54.18 แต่หากทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dried) มีค่า L^* สูงถึง 66.12 ส่วนค่าสี a^* หรือค่าสีแดงของข้าวเม่าแห้งในการทดลองนี้มีค่าสูงกว่างานวิจัยของ Nachaisin et al. (2016) ที่รายงานค่าสี a^* ของข้าวเม่าแห้งในท้องตลาดและข้าวเม่าแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าเป็น 0.67 และ 1.40 ตามลำดับ แต่ค่าสี b^* หรือค่าสีเหลืองของข้าวเม่าอบแห้งในการทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับข้าวเม่าแห้งในตลาดที่พบเท่ากับ 36.24 แต่ข้าวเม่าแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าลดลงเหลือเพียง 34.10 ซึ่งไม่แตกต่างกับข้าวเม่าผึ่งลม แสดงว่าข้าวเม่าอบแห้งในการทดลองนี้มีความสว่างมากกว่า มีสีเข้มน้อยกว่า และมีสีเหลืองใกล้เคียงกับข้าวเม่าแห้งในตลาด เนื่องจากข้าวเม่าอบแห้งในการทดลองนี้ไม่ใช้น้ำใบเตยเคลือบเมล็ดข้าว จึงมีสีเข้มน้อยกว่าข้าวเม่าแห้งในตลาดและตัวอย่างจากงานวิจัยของ Nachaisin et al. (2016) ที่ใช้กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จึงทำให้มีสีเข้มน้อยและค่าความสว่างมากกว่า เพราะใช้ความร้อนในการทำแห้งน้อยกว่า นอกจากนั้นค่า a_w ของข้าวเม่าผึ่งลมยังมีค่าใกล้เคียงกับข้าวเม่าแห้งในตลาดที่พบว่ามีค่าเป็น 0.58 และข้าวเม่าอบแห้งในการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nachaisin et al. (2016) ที่รายงานว่าข้าวเม่าแห้งแบบ

แช่เยือกแข็งมีค่าเป็น 0.49 นอกจากนั้น Onsaard (2011) รายงานข้าวเม่าสดใน จ.อุบลราชธานีมีค่า a_w เท่ากับ 0.97 ซึ่งสูงกว่าข้าวเม่าสดสกลนคร (control) ของการทดลองนี้ซึ่งพบเพียง 0.90 ค่า a^* เท่ากับ 0.41-0.84 ซึ่งมีสีเขียวมากกว่าการทดลองนี้ที่พบเพียง 1.81 และค่า b^* เท่ากับ 27.22-32.31 ซึ่งมีค่าสีเหลืองน้อยกว่าการทดลองนี้ที่มีค่าเท่ากับ 34.53

Table 3 The color and water activity values of dried processed Khao Mao compared with fresh Khao Mao

Khao Mao	Color					a_w
	L^* ns	a^* ns	b^* ns	C^* ns	h° ns	
Fresh	60.62±0.33	1.81±1.36	34.53±0.45	35.63±0.31	87.28±1.94	0.9003±0.0042 ^a
Aerated	60.24±1.71	2.32±1.50	34.54±0.49	34.14±0.32	86.62±1.77	0.5797±0.1041 ^b
Hot air	59.72±1.20	2.66±1.10	36.75±0.82	35.41±0.26	85.62±1.98	0.4870±0.0657 ^b
Roasted	58.75±0.25	2.51±1.44	35.19±1.47	33.34±1.66	86.24±1.91	0.5648±0.1486 ^b

^{a-b} Different superscript letters within each column are significantly different ($P<0.05$), ns = non significant.

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราของข้าวเม่าทุกตัวอย่าง พบว่ามีค่าไม่เกิน 1×10^6 และ 1×10^2 CFU/g ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ข้าวเม่า (มพช.741/2562) (Thai Industrial Standards Institute, 2019) แต่ข้าวเม่าฝัองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าข้าวเม่าสดและข้าวเม่าทำแห้งวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากจุลินทรีย์เจริญได้เร็วในอาหารที่มี a_w สูง และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของข้าวมีค่าเป็นกลางคืออยู่ในช่วง 6-7 ซึ่งจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีในช่วง 6-8 (Srichayet, 2019) หากไม่ใช้ความร้อนในการแปรรูปหรือความเย็นในการเก็บรักษาจะทำให้เสื่อมเสียได้ง่าย นอกจากนั้นสภาวะการทำแห้งโดยการผึ่งลมที่อุณหภูมิ 33-35°C จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีเนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมของจุลินทรีย์กลุ่มที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophiles) เจริญเติบโตได้ดีที่ 35-37°C (Srichayet, 2019) ส่วนยีสต์และราของข้าวเม่าสดมีปริมาณมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากข้าวเม่าผึ่งลมและข้าวเม่าคั่ว ($P>0.05$) ข้าวเม่าอบแห้งมีปริมาณยีสต์และราน้อยที่สุดเนื่องจากการอบแห้งโดยตู้อบลมร้อน ทำให้ปริมาณน้ำอิสระมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบการทำแห้งแบบอื่น (ดังแสดงใน Table 3) ซึ่งค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ยีสต์และราจะหยุดการเจริญ (Fellow, 1990) ส่วนคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของข้าวเม่าสดเมื่อเทียบกับข้าวเม่าอบแห้งดังแสดงใน Table 5 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ทั้งสองตัวอย่างนี้มีปริมาณ *B. cereus*, *C. perfringens*, *S. aureus* และ Yeasts & molds น้อยกว่า 10 CFU/g และ *E. coli* มีค่าน้อยกว่า 3 MPN/g แต่ไม่พบ *Salmonella sp.* พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในข้าวเม่าสดและข้าวเม่าอบแห้งเป็น 6.5×10^4 และ 2.5×10^2 CFU/g ตามลำดับ

Table 4 Total microbials and yeast & mold of dried processed Khao Mao compared with fresh Khao Mao

Khao Mao	Total microbial counts (CFU/g)	Yeasts & molds (CFU/g)
Fresh	1,130±23 ^b	87±12 ^a
Aerated	4,670±58 ^a	60±36 ^{ab}
Hot air	1,470±40 ^b	33±6 ^b
Roasted	1,800±69 ^b	37±6 ^{ab}

^{a-b} Different superscript letters within each column are significantly different ($P<0.05$).

Table 5 Analysis results of standard microbial contaminants of dried and fresh Khao Mao.

Items	Fresh Khao Mao	Dried Khao Mao
Total plate count (cfu/g)	6.5×10^4	$< 2.5 \times 10^2$
Yeasts & molds (cfu/g)	<10	<10
<i>Bacillus cereus</i> (cfu/g)	<10	<10
<i>Clostridium perfringens</i> (cfu/g)	<10	<10
<i>Escherichia coli</i> (MPN/g)	<3	<3
<i>Salmonella sp.</i> (per 25 g)	Not detected	-
<i>Staphylococcus aureus</i> (cfu/g)	<10	<10

คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเม่าสดเมื่อเทียบกับข้าวเม่าอบแห้ง ดังแสดงใน Table 6 เมื่ออบแห้งแล้ว พบว่าข้าวเม่ามีพลังงานจากไขมัน ไขมันทั้งหมด โปรตีน วิตามินบี 2 เหล็ก แคลเซียม และวิตามินซี มีแนวโน้มลดลง แต่พลังงานทั้งหมด คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร น้ำตาล โซเดียม วิตามินบี 1 และแคลเซียม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่ง Onsaard (2011) รายงานว่าข้าวเม่าสดใน จ. อุบลราชธานีมีค่าความชื้นร้อยละ 22.10-22.91 ซึ่งสูงกว่าข้าวเม่าสดในการทดลองนี้ที่พบเพียงร้อยละ 19.44 แต่โปรตีนพบร้อยละ 6.24-6.68 ซึ่งน้อยกว่าข้าวเม่าสดในการทดลองนี้ที่พบสูงถึงร้อยละ 10.88 ไขมันร้อยละ 1.61-4.26 ซึ่งใกล้เคียงกับข้าวเม่าสดในการทดลองนี้ที่พบร้อยละ 1.72 เยื่อใยร้อยละ 0.16-0.27 ซึ่งน้อยกว่าข้าวเม่าสดในการทดลองนี้ที่พบสูงถึงร้อยละ 1.87 เถ้าร้อยละ 1.51-1.59 ซึ่งสูงกว่าข้าวเม่าสดในการทดลองนี้ที่พบเพียงร้อยละ 1.12 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 64.32-65.08 ซึ่งน้อยกว่าข้าวเม่าสดในการทดลองนี้ที่พบร้อยละ 66.84 เมื่อข้าวเม่าสดผ่านการทำให้แห้งแล้วพบว่าปริมาณโปรตีนและไขมันลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเม่าสด แต่คาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีนและไขมันของข้าวเม่าอบแห้งในการทดลองนี้พบว่ามีค่าเป็น 7.57 และ 1.62 g/100 g ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณโปรตีนสูงกว่างานวิจัยของ Youngsuk (2007) ที่รายงานว่ามีร้อยละโปรตีนของข้าวเม่าอบแห้ง 6.4-7.0 แต่มีร้อยละไขมันอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันคือ 0.7-1.9

Table 6 Nutritional value of dried and fresh Khao Mao (per 100 grams)

Items	Fresh Khao Mao	Dried Khao Mao
Total energy (kcal)	326.36	363.34
Energy from fat (kcal)	15.48	14.58
Total fat (grams)	1.72	1.62
Saturated fat (grams)	0.49	0.56
Cholesterol (milligrams)	not found	not found
Protein (grams)	10.88	7.57
Carbohydrate (grams)	66.84	79.62
Fiber (grams)	1.87	2.05
Sugar (grams)	<0.50	0.66
Sodium (milligrams)	8.32	12.08
Vitamin A (micrograms)	not found	not found
Vitamin B 1 (milligrams)	0.175	0.255
Vitamin B 2 (milligrams)	<0.025	<0.020
Calcium (milligrams)	14.15	52.29
Iron (milligrams)	1.52	1.33
Ash (grams)	1.12	1.01
Moisture content (grams)	19.94	10.18

เมื่อนำข้าวเม่ามาทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50°C นานประมาณ 4 ชั่วโมง บดและร่อนได้แบ่งข้าวเม่า และวิเคราะห์คุณภาพได้ผลดังแสดงใน Table 7 พบว่าแบ่งข้าวเม่ามีค่า a_w และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของข้าวเม่า (มพช.741/2562) (Thai Industrial Standards Institute, 2019) โดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์ที่ทำให้ก่อโรคส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ a_w ต่ำกว่า 0.85 ยีสต์และราไม่สามารถเจริญได้ที่ a_w ต่ำกว่า 0.62 (Rattanapanont, 2002) แบ่งข้าวเม่านี้จึงปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค แบ่งข้าวเม่ามีค่าสี L^* หรือมีสีสว่างมากกว่า มีค่า a^* หรือมีสีเขียวมากกว่า และมีค่า b^* หรือมีสีเหลืองน้อยกว่า แต่มีค่า b^* หรือมีสีเหลืองน้อยกว่า และมีค่า C^* หรือความเข้มข้นน้อยกว่าข้าวเม่าอบแห้ง นอกจากนั้น Singthong & Thongkaew (2019) รายงานว่าแบ่งข้าวเม่าพันธุ์กข6 มีค่า a_w เท่ากับ 0.65 ซึ่งสูงกว่าแบ่งข้าวเม่าของการทดลองนี้ ค่าสี L^* เท่ากับ 85.65 ซึ่งมีความสว่างมากกว่าแบ่งข้าวเม่าของการทดลองนี้ที่มีค่าเป็น 78.16 ค่า a^* เท่ากับ -1.50 ซึ่งมีสีเขียวมากกว่าแบ่งของการทดลองนี้ที่มีค่าเป็น -0.72 และค่า b^* เท่ากับ 19.93 ซึ่งมีสีเหลืองใกล้เคียงกับแบ่งของการทดลองนี้ที่มีค่าเป็น 19.12 แบ่งข้าวเม่ามี

สีเหลืองอมเขียว เนื่องจากข้าวเม่านี้อัดเม็ดที่เย็นขึ้นนอก แต่กระบวนการผลิตข้าวเม่าผ่านการคั่วเพื่อให้เมล็ดข้าวสุกจึงทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นฟิโอฟิตินที่เป็นสีน้ำตาล

Table 7 Quality of Khao Mao flour

Quality	Results
Color: L*	78.16±0.02
a*	-0.72±0.01
b*	19.12±0.01
C*	19.14±0.01
h°	92.17±0.02
a _w	0.3869±0.1001
Total plate count (CFU/g)	3.8×10 ³ ±1.3×10 ²
Yeasts & molds (CFU/g)	8.7×10 ¹ ±3.2×10 ¹

เมื่อทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสดังแสดงผลใน Table 8 พบว่านมข้าวเม่าอัดเม็ดสูตรหวานปานกลางได้คะแนนด้านรสชาติมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากสูตรหวานมาก ($P>0.05$) นมข้าวเม่าอัดเม็ดสูตรหวานมากได้คะแนนค่าสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มากกว่าสูตรอื่นๆ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นมข้าวเม่าอัดเม็ดสูตรหวานมากนี้ใช้แป้งข้าวและน้ำตาลไอซิ่งในปริมาณน้อยกว่า แต่ไขมันผงในปริมาณมากกว่าผลิตภัณฑ์อัดเม็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่อัดเม็ดที่ประกอบด้วยผงข้าวหักไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 30 น้ำตาลไอซิ่งร้อยละ 30 นมผงร้อยละ 18 สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนร้อยละ 1 สารหล่อลื่นร้อยละ 1 และสารเพิ่มปริมาณหรือผงสตรอเบอร์รี่ร้อยละ 20 (Samsalee and Mangklan, 2021) ผลิตภัณฑ์นมข้าวเม่าอัดเม็ดสูตรหวานมากนี้จึงน่าจะเหมาะกับผู้ที่ต้องการโปรตีนสูงและชอบรสหวาน เช่น เด็ก และวัยรุ่น

Table 8 Sensory quality of sweetened Khao Mao milk tablets

Treatment	Color ^{ns}	Odor ^{ns}	Taste	Texture ^{ns}	Overall preference ^{ns}
Low sweet	7.27±1.08	6.60±1.40	7.13±0.94 ^b	6.50±1.14	7.13±1.07
Medium sweet	7.07±0.91	6.53±1.38	8.07±0.91 ^a	6.43±0.90	7.37±1.07
Very sweet	7.20±0.96	6.77±1.50	7.60±1.07 ^{ab}	6.87±1.20	7.53±0.94

^{a-b} Different superscript letters within each column are significantly different ($P<0.05$), ns = non significant.

นมข้าวเม่าอัดเม็ดสูตรหวานมากประกอบไปด้วยนมผง แป้งข้าวเม่า น้ำตาลไอซิ่ง แป้งสาชู แมกนีเซียมสเตียเรต และซิลิกอนไดออกไซด์ ในปริมาณร้อยละ 53.12, 27.06, 16.23, 1.08, 1.08 และ 0.43 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังคงมีสีข้าวอมเขียวเล็กน้อย และไม่มีกลิ่นหอม จึงได้พัฒนาสูตรนมข้าวเม่าผสมสารสกัดใบข้าวอัดเม็ดทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเขียว และมีกลิ่นหอม เพื่อดึงดูดใจผู้บริโภคมากขึ้น เมื่อทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสดังแสดงใน Table 9 พบว่านมข้าวเม่าผสมสารสกัดใบข้าวอัดเม็ดสูตรสีเขียวอ่อนได้คะแนนด้านความชอบโดยรวมมากที่สุด ($P\leq 0.05$) ส่วนคะแนนด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของทุกสูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นมข้าวเม่าผสมสารสกัดใบข้าวอัดเม็ดสูตรสีเขียวอ่อนได้รับการยอมรับมากที่สุดเนื่องจากมีคะแนนของค่าสี รสชาติ และเนื้อสัมผัส มากกว่าสูตรอื่น

Table 9 Sensory quality of Khao Mao milk mixed with rice leaf extract tablets

Treatment	Color ^{ns}	Odor ^{ns}	Taste ^{ns}	Texture ^{ns}	Overall preference
Light green	7.00±1.36	6.50±1.57	6.97±1.45	6.70±1.44	7.83±1.15 ^a
Medium green	6.80±1.19	6.57±1.38	6.60±1.19	6.47±1.20	7.20±0.76 ^b
Dark green	6.70±1.26	6.23±1.14	6.63±1.30	6.60±1.10	6.97±0.93 ^b

^{a-b} Different superscript letters within each column are significantly different ($P<0.05$), ns = non significant.

นมข้าวเม่าผสมสารสกัดใบข้าวอัดเม็ดสูตรสีเขียวอ่อนใช้แบ่งข้าวเม่าและน้ำตาลไอซิ่งในปริมาณน้อยกว่า แต่ใช้นมผงในปริมาณมากกว่าผลิตภัณฑ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่อัดเม็ดซึ่งประกอบด้วยผงข้าวหักไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 30 น้ำตาลไอซิ่งร้อยละ 30 นมผงร้อยละ 18 สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนร้อยละ 1 สารหล่อลื่นร้อยละ 1 และสารเพิ่มปริมาณหรือผงสตรอเบอร์รี่ร้อยละ 20 (Samsalee and Mangklan, 2021) ผลิตภัณฑ์นมข้าวเม่าผสมสารสกัดใบข้าวอัดเม็ดนี้มีปริมาณแป้งและน้ำตาลไอซิ่งน้อยกว่า แต่มีปริมาณนมผงมากกว่านมข้าวเม่าอัดเม็ดสูตรหวานมาก และยังเสริมสารสกัดจากใบข้าวที่มีสารสำคัญ เช่น คลอโรฟิลล์ ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จึงน่าจะเหมาะกับผู้ที่ต้องการอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น นักกีฬา หรือคนในวัยทำงาน นมข้าวเม่าผสมสารสกัดใบข้าวอัดเม็ดสูตรสีเขียวอ่อนประกอบไปด้วย นมผง แป้งข้าวเม่า น้ำตาลไอซิ่ง แป้งสาเก แมกนีเซียมสเตียเรต ซิลิกอนไดออกไซด์ กลิ่นวนิลา และสารสกัดจากใบข้าว ในปริมาณร้อยละ 58.51, 26.59, 11.40, 1.06, 1.06, 1.06, 0.21 และ 0.11 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม นมข้าวเม่าผสมสารสกัดใบข้าวอัดเม็ดมีต้นทุนการผลิตสูงกว่านมข้าวเม่าอัดเม็ดเนื่องจากมีส่วนผสมหลายชนิดมากกว่า

สรุปผลการศึกษา

การทำแห้งข้าวเม่าสดด้วยการอบแห้งในตู้อบลมร้อนจะได้ข้าวเม่าแห้งที่มีคุณภาพมากกว่าการผึ่งลมและคั่ว โดยมีค่า a_w ปริมาณเอนไซม์และรสน้อยกว่าวิธีการทำแห้งอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพด้านเชื้อปนเปื้อนของข้าวเม่าสดกับข้าวเม่าอบแห้งพบว่า หลังผ่านการทำแห้งจะทำให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง และปริมาณเชื้อปนเปื้อนอื่นๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ข้าวเม่า (มผช.741/2562) คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเม่าหลังอบแห้งพบว่ามีพลังงานจากไขมัน ไขมันทั้งหมด โปรตีน วิตามินบี 2 เหล็ก แคล และความชื้น มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับข้าวเม่าสด แต่พลังงานทั้งหมดคาร์โบไฮเดรต โยอาหาร น้ำตาล โซเดียม วิตามินบี 1 และแคลเซียม มีปริมาณสูงกว่าข้าวเม่าสด ข้าวเม่าอบแห้งจึงมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีความปลอดภัยต่อการบริโภค และนำไปแปรรูปเป็นแป้งข้าวเม่าพบว่ามีค่าความสว่างและมีเอนไซม์มากขึ้น เมื่อนำแป้งข้าวเม่าไปผลิตนมข้าวเม่าอัดเม็ดแล้ว ทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่านมข้าวเม่าอัดเม็ดสูตรหวานมากได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นและเนื้อสัมผัส เป็น 6.77 และ 6.87 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย-ชอบปานกลาง และได้รับคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ และการยอมรับโดยรวม เป็น 7.20, 7.60 และ 7.53 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก ส่วนนมข้าวเม่าผสมสารสกัดใบข้าวอัดเม็ดสูตรสีเขียวอ่อนได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส เป็น 6.50, 6.97 และ 6.70 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย-ชอบปานกลาง และได้รับคะแนนความชอบด้านสีและการยอมรับโดยรวม เป็น 7.00 และ 7.83 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก นมข้าวเม่าอัดเม็ดสูตรหวานมากจึงเหมาะสมที่จะผลิตในระดับวิสาหกิจชุมชนมากกว่านมข้าวเม่าผสมสารสกัดใบข้าวอัดเม็ดสูตรสีเขียวอ่อน เนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนและมีต้นทุนต่ำกว่า

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการชุมชนนวัตกรรมข้าวเม่าสดสกลนครบ้านคอนศรี ประจำปีงบประมาณ 2564 สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ขอขอบคุณคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่ทำวิจัย ตลอดจนทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการวิจัยในครั้งนี้ งานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มทร.อีสาน เลขที่ HEC-04-64-017

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมติฐาน: พรประภา ชุนถนอม, วิวัฒน์ ศรีวิชา. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ: พรประภา ชุนถนอม, รวีพร ศรีสำราญ, กรรณิการ์ สมบุญ, เดือนรุ่ง สุวรรณโสภา. การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: พรประภา ชุนถนอม. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: พรประภา ชุนถนอม, รวีพร ศรีสำราญ. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครุภัณฑ์: พรประภา ชุนถนอม.

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. (2000). **Official Methods of Analysis**. 17th Ed. The Association of Official Analytical Chemists (AOAC).
- AOAC. (2012). **Official Methods of Analysis**. 19th Ed. The Association of Official Analytical Chemists (AOAC).
- Barbosa-Cánovas, G., & Vega-Mercado, H. (1996). **Dehydration of Foods**. International Thomson Publishing.
- Fellow, P. J. (1990). **Food Processing Technology: Principles and Practice**. 2nd Ed. Ellis Horwood Limited.
- Master, K. (1991). **Spray Drying Handbook**. 5th Ed. The Bath Press, Avon.
- Nachaisin, M., Nillseangrat, P., & Sutthapintu, A. (2016). Improvement qualities for shredded Thai-style instant rice. **Journal of Research for Development Social and Community, Rajabhat Maha Sarakham University**, 2(6), 88-95. (in Thai).
- Nataworatat, M. (2007). **Development of Protein-fortified Milk Tablets for Rural Students**. Thesis Doctor of Philosophy Program in Agro Industrial Product Development. Graduate School, Kasetsart University. (in Thai).
- Onsaard, E. (2011). **Study on the Physico-chemical Properties of Khao Mao**. Complete Research Report. Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University. (in Thai).
- Panyayong, C., & Ubolsook, P. (2020). The Development of cashew nut milk to tablets. **Academic Journal of Science and Applied Science**, 2020(2), 1-13. (in Thai).
- Pasittrak, S., Thanomthiranan, N., Nonmuang, W., & Charoensuk, K. (2015). Product development of mixed mangosteen milk tablet. **Rajabhat Rambhai Barni Research Journal**, 9(2), 31-38. (in Thai).
- Rattanapanont, N. (2002). **Food Chemistry**. Odeon Store Press. (in Thai).
- Samsalee, N., & Mangklan, S. (2021). Development of tablet products from riceberry broken rice. **RMUTP Research Journal: Sciences and Technology**, 15(1), 116-128. (in Thai).
- Srichayet, P. (2019). Principles of food processing to extend product's shelf life. **Food Journal**, 49(1), 12-19. (in Thai).
- Singthong, J., & Thongkaew, C. (2019). **Instant Ubon Noodle with Khao-mao as Functional Food**. Complete Research Report. Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University. (in Thai).
- Sombat P., & Vangnai, K. (2014). Effect of drying temperature and time on quality of beef jerky. In **Proceedings of 52nd Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry**, pp. 194-200. Kasetsart University. (in Thai).
- Thai Industrial Standards Institute. (2019). **Community Product Standards: Khao Mao (741/2562)**. Retrieved from: [https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0741_62\(ข้าวเม่าน้ำ\).pdf](https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0741_62(ข้าวเม่าน้ำ).pdf). (in Thai).
- Vongsawasdi, P., Noppharata, M., Tangbumrunpong, D., & Apinanjarpung, S. (2002). Production of instant fruit and vegetable juice by spray dryer and microwave-vacuum dryer. **Research and Development Journal KMUTT**, 25(3), 257-277. (in Thai).
- Wiriyajaree, P. (2018). **Sensory Evaluation**. Faculty of Agro Industry, Chiangmai University. (in Thai).
- Wiriyajaree, P. (2002). **Experimental Design**. 2nd Ed. Department of Product Development Technology, Faculty of Agro-Industry Chiang Mai University. (in Thai).
- Youngsuk, L. (2007). **Optimum Harvesting Age for Khao Mao Production and Storage**. Retrieved from: https://agkb.lib.ku.ac.th/rd/search_detail/result/155847. (in Thai).

KING MONGKUT'S AGRICULTURAL JOURNAL

Research Articles:

Page

■	Potassium Fixation and Release in Rubber Plantation Soils in Southern Thailand	Arirat Chumekha Jumpen Onthong Khwunta Khawmee and Chakkrit Poonpakdee	1
■	Product Development and Physical Characteristics of Dark Chocolate for Sustainable Use of Cocoa Fruit	Patchaniya Akepach Nuttida Srirachya and Sarawut Thongnueaha	12
■	Optimization of Kefir Fermentation for Kefiran Production	Benjamas Cheirsilp Jariya Stansat and Rattanapan Phomchaiya	20
■	Development of Melon Wine Products and Repeated-Batch Fermentation	Benjamas Cheirsilp Apisara Iadcharoen and Rattanapan Phomchaiya	29
■	Effects of Salt Level and Foliar Putrescine on Yield and Andrographolide Content of <i>Andrographis paniculata</i>	Punyisa Trakoonyingcharoen and Kanokkorn Sinma	38
■	Digestibility and Growth Performance in Dairy Goats when Fed with <i>Leucaena leucocephala</i> Silage as Roughage Source	Jiravan Khotsakdee Chalermpon Yuangklang Kraisit Vasupen Sasiphan Wongsuthavas Benjamad Khonkhaeng	46
■	Influence of Harvesting Age on Cordycepin and Adenosine Yields in <i>Cordyceps militaris</i> Fruit Bodies	Natthapach Srihanant Tanapak Inyod Khanitha Chawanonorasest Thanapat Termarom and Chatree Konee	53
■	Digital Intelligence Quotient for Operation of Agricultural Extension Officers in The Central Region, Thailand	Watcharaporn Prathumpo Pichai Tongdeelert and Patcharavadee Sriboonruang	63
■	Effects of Plant Growth Regulators on Flowering of Mango cv. Dang-Jakrapad in Chiang Mai Province	Rachane Kraikruan Ampol Somsaket and Nopporn Boonplod	73
■	Comparison of Kamphaeng Saen and Crossbred Wagyu Steers Feedlot Fed Concentration Diet Ad libitum on Performance, Carcass Characteristics, Meat Quality and Feedlot Return	Anchalee Khongpradit Komkrit Ekachat Paramapich Jaroensri Peerayuth Inklam Phoompong Boonsaen Panuwat Kalachak and Suriya Sawanon	80
■	The Effect of Bolete (<i>Phlebopus portentosus</i>) Inoculation on The Growth of Siamese Rosewood (<i>Dalbergia cochinchinensis</i>) Seedlings	Unchisa Vasusuntron Lamthai Asanog Kamonporn Panngom and Wanna Mangkita	91
■	Effect of Sowing Methods and Seed Rates on Yield and Yield Components of Pathum Thani 1 Rice	Duangyeewa Jirawongsuntisuk Kamolrat Vinijsakulthai Thidakun Udkhamthaing Neeranuch Cholpatinun Amnart Butthongkamwong Tongchai Puttongsiri Pattama Nitthaisong and Teerawat Sarutayophat	100
■	Selection of Herb Extracts to Inhibit Pathogenic Bacterial Infection in Nile Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Korntip Kannika Alitsara Nopnarin Naline Leekaesorn Arpaporn Sangjina Amintra Nampak Kanyanat Soontornprasit Kriengkrai Seetapan Dutrudi Panprommin and Prameda Tiptacho	110
■	Seed Pelleting with <i>Bacillus subtilis</i> on Seed Quality and Seedling Growth of Khao Dawk Mali 105 and RD69 Rice Seed Varieties	Tidarat Kaewkham	120
■	Study on the Production Process of Khao Mao Milk Tablets Suitable for Community	Pornprapha Chunthanom Raweeporn Srisamran Kannika Somboon Wiwat Sriwicha and Duernrung Suwannasopa	130