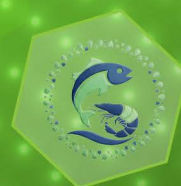


วารสารเกษตร

พระจอมเกล้า

King Mongkut's Agricultural Journal



คณะเทคโนโลยีการเกษตร

School of Agricultural Technology

วารสารเกษตรพระจอมเกล้า

ขอบเขตการตีพิมพ์

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

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ความก้าวหน้าของวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร
2. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือและแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดเห็นระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องในการเกษตรหรือสถาบันต่าง 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.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal/index

กำหนดการตีพิมพ์ : วารสารเกษตรพระจอมเกล้า กำหนดตีพิมพ์ปีละ 3 ฉบับ

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

ที่ปรึกษา

คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร
ศ. ดร. มยุรา สุนัยวีระ
รศ. ดร. ปิยญา หันนิกะ
รศ. ดร. จารุญ เล้าสินวัฒนา

บรรณาธิการ

รศ. ดร. ผุสดี ตั้งวัชรินทร์

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รศ. ดร. กัญญา แซ่เตียว
รศ. ดร. ศุภลักษณ์ สรภักดิ์
ผศ. ดร. อัจฉรี เรืองเดช
ผศ. ดร. ภทรวรรตน์ เทียมเก่า
ผศ. ดร. พัชรา เขียมกิจการ สบายใจ
ผศ. ดร. ปัทมา นิตไธสง
ผศ. ดร. เอกพล ทองแก้ว

จัดทำรูปเล่ม

นางสาวมณีนริสา วงศ์สง่า

ผู้ดูแลระบบ

นายปิยวัฒน์ ศรีสวัสดิ์

กองบรรณาธิการ

ศ. ดร. บัญชา สมบูรณ์สุข
ศ. ดร. สุธฤดี ประเทืองวงศ์
ศ. ดร. อังศุมาลย์ จันทราปัติย์
ศ. ดร. ฉลอม วชิราภากร
ศ. ดร. ยุกา หารญูทอง
ศ. ดร. เนาวนิตย์ สงคราม
ศ. ดร. อนุชิตา มุ่งงาม
ศ. ดร. วรเดช จันทรส
รศ. ดร. กานต์ สุขสุแพทย์
รศ. ดร. กัจจร หลุยยะพงศ์
รศ. ดร. จินดา ขลิบทอง
รศ. ดร. จุฑารัตน์ เศรษฐกุล
รศ. ดร. ชุกริ หะยีสาแม
รศ. ดร. ไกรเลิศ ทวีกุล
รศ. ดร. ประเมศ บันเทิง
รศ. ดร. วราห์ เทพานุดี
รศ. ดร. ศิริชัย กัลยานรัตน์
รศ. ดร. สนิชชัย จันทรเปรม
รศ. ดร. คำธณวิทย์ ทิพย์มณี
ผศ. ดร. จักรมาส เลหาวิช
ผศ. ดร. พิธสวรรณ เขียมสมบัติ
ผศ. ดร. เยาวรัตน์ ศรีวรานันท์
ผศ. ดร. วีระชัย จินตโกวิท
ผศ. ดร. วีระนัย ทองศรี
ผศ. ดร. เสาวคนธ์ เหมวงษ์
ผศ. ดร. อนุญญา เจริญพรนิพัทธ์
ผศ. ดร. ดวงกมล ปานรศทิพ ธรรมาธิวัฒน์
คุณอัญชลี สุวจิตตานนท์
รศ. ดร. พรหมมาศ คุณาภาญจน์
รศ. ดร. สุนีพร สุวรรณมณีพงศ์
ผศ. ดร. นุกุล ถวิลถึง
ผศ. ดร. ลำแพน ขวัญพูล
ผศ. ดร. ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล
ผศ. ดร. จาลอง มิตรชาวไทย
ผศ. ดร. มัลลิกา กิลโล
ดร. ธนัท สมณคุปต์
ดร. มัทธนา ตันชัย

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

เจ้าหน้าที่วารสาร

นางสาวกุลธิดา ทรัพย์น้อย

ติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ทั้ง

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 44 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนพฤษภาคม - สิงหาคม 2569 ฉบับนี้ประกอบด้วยบทความวิจัยจำนวน 15 บทความ ประกอบด้วย สาขาส่งเสริมและพัฒนากาเกษตร 4 บทความ พืชสวน 3 บทความ ปฐพีศาสตร์ 2 บทความ วิทยาศาสตร์การประมง 2 บทความ นิเทศศาสตร์เกษตร 2 บทความ และพืชไร่ 1 บทความ บทความทุกเรื่องนอกจากมีความน่าสนใจในเนื้อหาให้ได้เรียนรู้และต่อยอดต่อไปแล้ว ยังได้ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในแต่ละสาขาที่เกี่ยวข้อง (Peer Review) ทั้งที่มาจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเพื่อยกระดับคุณภาพของงานวิจัยและมีมาตรฐานทางวิชาโดยได้ผลิตและเผยแพร่แบบสื่่ออิเล็กทรอนิกส์ (E-Journal) ทั้งนี้ วารสารฯ ได้เริ่มใช้การระบุ DOI (ตัวระบุวัตถุดิจิทัล) ตั้งแต่วารสารปีที่ 41 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยในการค้นหาการเข้าถึง และเชื่อมโยงการเข้าถึงสารสนเทศดิจิทัล ตลอดจนได้เพิ่มช่องทางบทความเผยแพร่ล่วงหน้า (Online First Articles) ตั้งแต่วารสารปีที่ 43 ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2568 และใช้รูปแบบการอ้างอิงบทความที่ใช้เลขที่บทความเป็นเลขหน้า (Article E-location) ตั้งแต่วารสารปีที่ 44 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2569 เพื่อความรวดเร็วในการเผยแพร่และความสะดวกในการเข้าถึงบทความวิจัย

สำหรับผู้สนใจจะส่งบทความวิจัยหรือบทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal> หรือติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่อีเมล ajournal@kmitl.ac.th

รองศาสตราจารย์ ดร.สุสดี ตั้งวัชรินทร์

บรรณาธิการวารสารเกษตรพระจอมเกล้า

สารบัญ

เรื่อง	เลขบทความ
ผลของการจัดการปุ๋ยแบบผสมผสานต่อผลผลิตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วน จังหวัดนครสวรรค์ สมฤทัย ต้นเจริญ วนิดา โนบรรเทา ศุภกาญจน์ ล้วนมณี นิศารัตน์ ทวีนุต ภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล และสายน้ำ อุดพ้วย	e0265496
การถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในนา หลังการเก็บเกี่ยวข้าว บ้านจำปา อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร กนกวรรณ ยะหัวดง และอรุณี พรหมคำบุตร	e0267549
ผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์พริกหวาน จันทร์เจิดจ้า สุริยะไชย เบญญา มะโนชัย และพิจิตรา แก้วสอน	e0267099
ผลของอัตราถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมันต่อสมบัติดินทราย การดูดใช้ธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของพืช เจริญรา คงเรือง จักรกฤษณ์ พูนภักดิ์ จำเป็น อ่อนทอง และขวัญตา ขาวมี	e0266194
การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มกะปิคลองด่านชุมชน 3 ตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ ญาณวิทย์ เขียวนาราโรจน์ ฉันททัย เกิดศรีเสริม และอภิชาติ สุขเจริญคณา	e0265543
ผลของปุ๋ยคอกและปุ๋ยชีวภาพต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารอินูลินในแก่นตะวัน ภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์ รัตติกาล เสนน้อย และวชิราภรณ์ เรือนแป้น	e0266896
การจัดการดินร่วมกับปลูกถั่วลิสงต่อผลผลิตและคุณภาพหญ้าอาหารสัตว์พันธุ์พลแคทุล์มในระบบเกษตรอินทรีย์ สุทธิเดช ขุนทอง ปราณี จอมอุ่น สุภาภรณ์ ขุนทอง วารุณี อติศักดิ์กุล กฤษณะ รามสูตร สุมาลี กลางสุข และหทัยกานต์ พัดยา	e0267039
ผลของ BAP และ NAA ต่อการเร่งการออกดอกและการเจริญเติบโตของเอื้องผึ้ง (<i>Dendrobium lindleyi</i> Steud.) ในสภาพปลอดเชื้อ นพรัตน์ อินตา พุทธพงษ์ สร้อยเพชรเกษม มงคล ศิริจันทร์ และนุชนาฏ ภักดี	e0267526
ผลของวัสดุเพาะกล้าต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักสลัดบัตเตอร์เฮดในระบบเกษตรอินทรีย์ วีระยุทธ เงินเจริญ ลือพงษ์ ลือนาม และปัญญา หมั่นเก็บ	e0265585
ความต้องการรูปแบบสื่อออนไลน์เพื่อการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของนักศึกษากลุ่ม Gen Z มหาวิทยาลัยขอนแก่น รัชนิกร หัตถ์ชัย และศศิพิมพ์ พุ่มพิมล	e0268305
การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษเยื่อใบไม้จากใบไม้เป่าจากพื้นที่สวนเกษตรไม้ อำเภอคลอง จังหวัดแพร่ ธิติ วาณิชดิลกรัตน์ สิริตา แสงเขียว ญัฏฐ์ณฤทัย บุณญรัตน์ ญัณฐนัท จันทร์ส่งแสง นิรชา วังศิริ และจิราภา วาณิชดิลกรัตน์	e0269025

สารบัญ

เรื่อง

เลขบทความ

- ทัศนคติ ความคุ้มค่า และข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับการประยุกต์ใช้โดรนเพื่อการเกษตรในประเทศไทย
มนตรี ธนะสิงห์ เสวตาภรณ์ ตั้งวันเจริญ และณอมพรรณ ตริวนิชชากร e0268715
- ความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนและปริมาณไมโครซิสทีนในแหล่งน้ำบริเวณ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง : การประเมินความเป็นพิษในช่วงฤดูร้อน
อรทัย เพ็งโตวงศ์ และสุนิรัตน์ เรืองสมบูรณ์ e0268433
- การพัฒนาบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วง
อัญชลี ประยงค์แย้ม และอภิวัดน์ มีอุปการ e0268444
- ความหลากหลายทางสัณฐานและพันธุกรรมของแมงกะพรุนหลากสีชนิด *Catostylus townsendi*
บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดตราด และความเป็นไปได้ของการเกิดชนิดซ้อนเร้น
ทรศิน ปณิธานะรักษ์ และสุพัตรา ทะเหลบ e0268822

Table of Contents

Title	Article Number
Effect of Integrated Fertilizers Management on Yield of Sweet Corn on Loam Soil at Nakhon Sawan Province Somrutai Tancharoen Wanida Nobuntou Suphakarn Luanmanee Nisarath Thaweenut Pinyaluk Ratanavirakul and Sainam Uduay	e0265496
Participatory Technology Transfer for Enhancing the Production Efficiency of Maize Production Grown after the Rice Harvesting in Ban Champa, Sawang Daen Din District, Sakon Nakhon Province Kanokwan Yahuadong and Arunee Promkhambut	e0267549
Effect of Seed Priming with CaCl_2 Solution on Germination and Vigor of Sweet Pepper Seeds Janjerdja Suriyachai Benya Manochai and Pichitra Keawsorn	e0267099
Effect of Biochar Rate Derived from Rice Husk, Durian Peel and Oil Palm Petiole on Sandy Soil Properties, Nutrient Uptake and Plant Growth Jenjira Kongruang Chakkrit Poonpakdee Jumpen Onthong and Khwunta Khawmee	e0266194
Development of Packaging for Khlong Dan Shrimp Paste Community Enterprise Group 3, Klong Dan Subdistrict, Bang Bo District, Samut Prakan Province Yannawit Thiennaraj Chanhathai Kerdserm and Apichat Sukcharoenkana	e0265543
Effects of Farm Manure and Bio-Fertilizer on Growth, Tuber Yield and Inulin Content in Jerusalem Artichoke under Organic Farming System Rattikarn Sennoi and Wachiraporn Ruanpan	e0266896
Soil Management and Peanut Intercropping for Plicatum Grass Yield and Quality in Organic Farming Systems Sutdacha Khunthong Pranee Chomun Supaporn Khunthong Warunee Atisakul Krichsana Ramsot Sumalee Klanguk and Hataikarn Phadya	e0267039
Effects of BAP and NAA on In Vitro Acceleration of Flowering and Growth of <i>Dendrobium lindleyi</i> Steud. Noppharat Intha Puttapong Sroyphetkasem Mongkon Sirijan and Nuchanat Phakdee	e0267526
Effects of Seedling Substrate on Germination and Growth of Butterhead Lettuce in an Organic Farming System Weerayut Ngenjaroen Luepong Luenam and Panya Mankeb	e0265585

Table of Contents

Title	Article Number
Needs for Online Media Types on Agritourism among Generation Z Students of Khon Kaen University Radchaneekorn Hudrudchai and Sasipim Poompimol	e0268305
Development of Bamboo Leaf Pulp Paper from <i>Dendrocalamus copelandii</i> Leaves from Bamboo Agroforestry Plots in Long District, Phrae Province Thiti Wanishdilokratn Sarita Saengkhaio Natnarue Thai Boonyarat Nattanon Jansongsang Niracha Wangkeeree and Jirapa Wanishdilokratn	e0269025
Attitudes, Cost-Effectiveness, and Policy Recommendations for Agricultural Drone Adoption in Thailand Montri Thanasing Sawetaporn Tangwanchaoen and Thanomphan Triwanitchakorn	e0268715
Biodiversity of Plankton and Microcystin Concentrations in Water Sources at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang: A Summer Season Toxicity Assessment Oratai Pengtowong and Suneerat Ruangsomboon	e0268433
The Development of Packaging and Labeling Design for Marketing Promotion of Mango Wine Products Anchalee Prayongyam and Apiwat Meoupphakarn	e0268444
Morphological and Genetic Variation in the Multi-colored Jellyfish <i>Catostylus townsendi</i> along the Coast of Trat Province Suggests Possible Cryptic Diversity Thadsin Panithanarak and Supattra Taleb	e0268822

ผลของการจัดการปุ๋ยแบบผสมผสานต่อผลผลิตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วน จังหวัดนครสวรรค์

Effect of Integrated Fertilizers Management on Yield of Sweet Corn on Loam Soil at Nakhon Sawan Province

สมฤทัย ตันเจริญ¹, วนิดา โนบุนทา¹, ศุภกาญจน์ ล้วนมณี¹, นิสารัตน์ ทวีนุต¹, ภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล¹ และ สายน้ำ อุดพวย^{1*}
Somrutai Tancharoen¹, Wanida Nobuntou¹, Suphakarn Luanmanee¹, Nisarath Thaweenut¹, Pinyaluk Ratanavirakul¹ and Sainam Uduyay^{1*}

Received date: 9 ธ.ค. 67 Revised date: 8 มิ.ย. 68 Accepted date: 9 มิ.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.265496>

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยเคมี วัสดุอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาต่อสมบัติดินและผลผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์เอทีเอส-12 ในดินร่วนที่อุดมสมบูรณ์ปานกลาง ในจังหวัดนครสวรรค์ จำนวน 2 ฤดูปลูก ระหว่างปี 2565–2566 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ สิ่งทดลองคือ การจัดการปุ๋ย 7 กรรมวิธี ดังนี้ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี วัสดุอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ (สิ่งทดลองควบคุม) 2) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ (20–6–15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่; 100% RDF) 3) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ + มูลไก่เกลบ (100% RDF + CM) 4) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ + มูลไก่เกลบ + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (100% RDF + CM + AMF) 5) ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ของอัตราแนะนำ (15–4.5–11.3 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ + มูลไก่เกลบ (75% RDF + CM) 6) ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ของอัตราแนะนำ + มูลไก่เกลบ + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (75% RDF + CM + AMF) 7) มูลไก่เกลบ+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (CM + AMF) โดยปุ๋ยมูลไก่เกลบหว่านให้ทั่วแปลงอัตรา 1 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาใส่รองก้นหลุมพร้อมปลูก อัตรา 5 กรัมต่อหลุม เก็บข้อมูลสมบัติดิน ปริมาณสปอร์เชื้อรา AMF องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิต ผลการศึกษา พบว่า การจัดการปุ๋ยทำให้การเข้าอาศัยของเชื้อ AMF ในราก ($p<0.05$) ความสูงต้นข้าวโพดหวาน ($p<0.05$) ความกว้างของฝัก ($p<0.01$) น้ำหนักฝักปกเปลือก ($p<0.01$) และผลผลิต ($p<0.01$) แตกต่างกันทางสถิติ แต่ไม่ทำให้สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูก และจำนวนสปอร์แตกต่างกัน ($p>0.05$) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์เอทีเอส-12 บนดินร่วนชุดดินตะพานหิน จำเป็นต้องใช้ปุ๋ย โดยอาจใช้ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียว (100% RDF) หรือใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลไก่เกลบ (75–100% RDF + CM) หรือใช้ปุ๋ยเคมี 75–100% ของอัตราแนะนำร่วมกับมูลไก่เกลบและปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (75–100% RDF + CM + AMF) หรือใช้ CM + AMF อย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อให้ได้ผลผลิตคุ้มค่ากับการลงทุน และเมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ ให้ผลตอบแทนต่อหน่วยลงทุนในฤดูปลูกที่ 1 และฤดูที่ 2 มากที่สุดเท่ากับ 2.72 และ 2.87 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การจัดการปุ๋ย ข้าวโพดหวาน ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา การเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน

Abstract

This study aimed to investigate the effects of chemical fertilizer, organic material, and mycorrhizal biofertilizer on soil properties and yield of sweet corn cv. ATS-12, which was grown in loamy soil in Nakhon Sawan province from 2022 to 2023. The experiment employed a randomized complete block design (RCBD) with four replications. The seven treatments of integrated fertilizer management are as follows: 1. control (unamended soil); 2) chemical fertilizer applied at the rate of 20–6–15 kg N-P₂O₅-K₂O/rai (100% RDF); 3) chemical fertilizer at the rate of 20–6–15 kg N-P₂O₅-K₂O/rai + chicken manure (100% RDF + CM); 4) chemical fertilizer at the rate of 20–6–15 kg N-P₂O₅-K₂O/rai + chicken manure + mycorrhizal biofertilizer (100% RDF + CM + AMF); 5) chemical fertilizer at the rate of 15–4.5–11.3 kg N-P₂O₅-K₂O/rai + chicken manure (75% RDF + CM); 6) chemical fertilizer at the rate of 15–4.5–11.3 kg N-P₂O₅-K₂O/rai + chicken manure + mycorrhizal biofertilizer (75% RDF + CM + AMF); 7) chicken manure + mycorrhizal biofertilizer (CM + AMF). The chicken manure was spread over the plot at the rate of 1 ton of dry weight/rai, and mycorrhiza biofertilizer was added to the bottom of the hole prepared for planting at the rate of 5 g/hole. The collected data included measurements of soil properties, AMF spore numbers, yield component and yield. The results indicated that different integrated fertilizer management significantly affected of root colonization ($p<0.05$), plant height ($p<0.05$), ear diameter ($p<0.01$), ear weight without husk ($p<0.01$) and yield ($p<0.01$). However, there were no significant changes observed in soil properties

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹ Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok 10900

* Corresponding author: sainam.uduay@hotmail.co.th

and AMF spore number after an experiment ($p>0.05$). The experimental results indicated that planting the sweet corn variety ATS-12 in the Taphan Hin soil series necessitated the use of fertilizers. Fertilizers could be applied at the recommended rate alone (100% RDF), or in combination with chemical fertilizers and chicken manure (75–100% RDF + CM). Alternatively, they can be used alongside chemical fertilizers, chicken manure, and mycorrhizal biofertilizer (75–100% RDF + CM + AMF), or with both chicken manure and mycorrhizal biofertilizer, resulting in justified investments. In evaluating the economic value, it was observed that using chemical fertilizers at the recommended rate produced the highest return on investment during the first and second growing seasons, with returns of 2.72 and 2.87, respectively.

Keywords: fertilizer management, sweet corn, economic return, arbuscular mycorrhizal fungi, soil property change

คำนำ

ข้าวโพดหวานเป็นพืชส่งออกที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2564-2566 ประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์ของข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องมูลค่ามากเป็นอันดับ 4 ของโลก คิดเป็นมูลค่า 6,746.7 7,128.9 และ 9,306.3 ล้านบาท ตามลำดับ (Ministry of Commerce, 2024) โดยประเทศผู้ส่งออกสำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และไต้หวัน (Manager Online, 2024) ปีการผลิต 2565 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานประมาณ 213,565 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 2,177 กิโลกรัมต่อไร่ และคิดเป็นผลผลิตฝักสดรวมทั้งสิ้น 450,358 ตัน โดยพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานในเขตภาคกลางคิดเป็น 23 % ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานรวมทั้งประเทศ จังหวัดนครสวรรค์มีพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานถึง 10,138 ไร่ และมีผลผลิตเฉลี่ย 2,347 กิโลกรัมต่อไร่ (Office of Agricultural Economics, 2022) อำเภอชุมแสง เป็นหนึ่งในอำเภอของจังหวัดนครสวรรค์ ที่เกษตรกรนิยมปลูกข้าวโพดหวาน โดยใช้พันธุ์ลูกผสมจากบริษัทเอกชน เช่น พันธุ์เอทีเอส-12 นอกจากอาศัยน้ำฝนแล้วเกษตรกรสามารถให้น้ำบาดาลกับข้าวโพดหวานที่ปลูกในฤดูแล้งหรือในระยะฝนทิ้งช่วงได้ เกษตรกรในพื้นที่ไม่มีการปรับปรุงบำรุงดิน ใช้ปุ๋ยเคมีส่วนใหญ่ ซึ่งธาตุอาหารพืชมักเกิดการสูญเสียได้ง่าย ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยลดลง และมีผลตกค้างระยะยาวทำให้ดินเป็นกรด สูตรปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรนิยมใช้ ได้แก่ 15-15-15 ร่วมกับ 46-0-0 ใส่ปุ๋ยทั้งหมด 3 ครั้ง ในอัตรา 46, 26 และ 17 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (Poolthong et al., 2024) การปลูกข้าวโพดหวานเชิงเดี่ยวติดต่อกัน ส่งผลให้ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำลง ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเคมีจึงจำเป็น โดยข้าวโพดหวานพันธุ์เอทีเอส-12 ใน 1 ฤดูปลูกต้องการธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ประมาณ 37, 6 และ 48 กิโลกรัม N P₂O₅ และ K₂O ต่อไร่ ตามลำดับ (Ratanavirakul et al., 2024) ดังนั้นเพื่อให้เพียงพอกับความความต้องการจึงจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเคมี

ประเทศไทยมีการนำเข้าปุ๋ยเคมีในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปี ในปี 2566 นำเข้าปุ๋ยเคมีปริมาณ 5.1 ล้านตัน มูลค่า 76,549 ล้านบาท (Department of Agriculture, 2023) เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวานยังได้รับคำแนะนำการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างกว้าง ๆ ไม่ได้คำนึงถึงปริมาณความต้องการปุ๋ยของข้าวโพดหวานและปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างหรือสะสมอยู่ในดิน ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมให้กับข้าวโพดหวานจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมี รวมไปถึงการพิจารณานำปุ๋ยอินทรีย์มาใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อให้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งธาตุอาหารรอง จุลธาตุ และช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมากขึ้น ซึ่งการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอาจเป็นทางเลือกในการลดต้นทุนการผลิตและปรับปรุงสมบัติของดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ สามารถรักษาระดับผลผลิต (productivity) ให้อยู่ในระดับสูงต่อไปได้ โดยวัสดุอินทรีย์ที่หาได้ในท้องถิ่น เช่น มูลไก่เกล็ด ซึ่งปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืชในสัปดาห์แรก เนื่องจากมี C/N ratio ต่ำกว่า 20 จึงสามารถนำมาใช้ได้ทันที (Kaewnoo et al., 2024) และการใช้ปุ๋ยชีวภาพเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารในการส่งเสริมการเติบโตของข้าวโพดหวาน (Poomipan, 2012; Kaewmueng et al., 2013) เช่น การใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาที่มีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกับพืช โดยราจะเข้าอาศัยอยู่ในรากพืชและแตกแขนงเส้นใยราภายนอกราก ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารจากดิน จึงช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดได้ มีส่วนช่วยในการดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน (Sungsamran et al., 2021) จะเห็นว่าปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา มีประโยชน์ช่วยเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารในดินเข้าสู่รากพืช นำไปสู่การลดการใช้ปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะข้าวโพดหวาน (Poomipan and Thongleang, 2011) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยเคมี วัสดุอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาต่อสมบัติดินและผลผลิตของข้าวโพดหวาน ปลูกทดลองบนดินร่วน จังหวัดนครสวรรค์ เพื่อนำผลการทดลองไปใช้สำหรับจัดทำเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารในการผลิตข้าวโพดหวาน

วิธีการศึกษา

สถานที่ทำการทดลอง

ทดลองในไร่ของเกษตรกร ตำบลพันลาน อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา ภายใต้สภาวะธรรมชาติ แปลงตั้งอยู่ พิกัดละติจูด 15°50'26.736"N ลองจิจูด 100°15'6.084"E ชุดดินตะพานหิน (Fine-silty, mixed, active, isohyperthermic Ultic Haplustalfs) ตามข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดินในระบบ USDA (Land Development Department, 2023)

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ สิ่งทดลอง คือ การจัดการปุ๋ยเคมีร่วมกับวัสดุอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา 7 กรรมวิธี รายละเอียดกรรมวิธีทดลองแสดงใน Table 1

Table 1 Treatment details of integrated fertilizers management in comparison with the control treatment

Treatments	Symbols	Optimal value
1	Control	No fertilizer
2	100% RDF	20-6-15 kg N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/rai
3	100% RDF + CM	20-6-15 kg N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/rai + Chicken manure ^{1/}
4	100% RDF + CM + AMF	20-6-15 kg N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/rai + Chicken manure + Mycorrhizal biofertilizer ^{2/}
5	75% RDF + CM	15-4.5-11.3 kg N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/rai + Chicken manure
6	75% RDF + CM + AMF	15-4.5-11.3 kg N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/rai + Chicken manure + Mycorrhizal biofertilizer
7	CM + AMF	Chicken manure + Mycorrhizal biofertilizer

^{1/} Chicken manure at the rate 1,000 kg/rai

^{2/} Arbuscular mycorrhiza fungi at the rate 5 g/hole

การปลูกและการจัดการ

ดำเนินการทดลองปลูกข้าวโพดหวานต่อเนื่องในพื้นที่ปลูกเดิม 2 ฤดูปลูก ระหว่างเดือนมกราคม 2565–มีนาคม 2566 สร้างแปลงทดลองขนาดแปลงย่อย กว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร รวมทั้งสิ้น 28 แปลงย่อย เว้นระยะระหว่างแปลงย่อย 1 เมตร ระยะระหว่างแถว 0.75 เมตร ระหว่างต้น 0.25 เมตร จำนวน 1 ต้นต่อหลุม ใช้พันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสมพันธุ์เอทีเอส-12 เป็นพืชทดลอง โดยฤดูปลูกปีที่ 1 ปลูกวันที่ 6 มกราคม 2565 เก็บผลผลิตวันที่ 19 มีนาคม 2565 ฤดูปลูกปีที่ 2 ปลูก วันที่ 6 มกราคม 2566 เก็บผลผลิต วันที่ 24 มีนาคม 2566 ใส่มูลไก่เกลบในกรรมวิธีที่ใส่มูลไก่ โดยหว่านมูลไก่เกลบให้ทั่วแปลงอัตรา 1 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากับดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน พร้อมวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมูลไก่ตามวิธีของ Department of Agriculture (2008) กรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ซึ่งประกอบด้วยสปอร์ของรา *Glomus sp.* (ปริมาณจุลินทรีย์รับรองไม่ต่ำกว่า 25 สปอร์ต่อปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม) (Department of Agriculture, 2021a) ใส่รองก้นหลุมพร้อมปลูกอัตรา 5 กรัมต่อหลุม สำหรับปุ๋ยเคมี แบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ใส่รองพื้นพร้อมปลูก ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราที่กำหนด ส่วนปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมใส่เต็มอัตรา และครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนส่วนที่เหลือ เมื่อข้าวโพดอายุ 30 วัน โดยวิธีโรยข้างแถว พรอนดินกลบ พร้อมพูนโคน (Department of Agriculture, 2021b) โดยใช้แม่ปุ๋ย 46-0-0, 18-46-0 และ 0-0-60 ให้น้ำข้าวโพดแบบเทบน้ำพุ่ง กำจัดวัชพืชเก็บเกี่ยวผลผลิต ขนาดพื้นที่ 12 ตารางเมตร ทั้งเศษซากต้นไปไว้ในแปลง

การเก็บตัวอย่างดินและสมบัติของดินก่อนการทดลอง

สุ่มเก็บดินก่อนปลูก ความลึก 0–20 เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์เนื้อดิน โดยวิธี Hydrometer (Bouyoucos, 1962) ปฏิกริยาดิน อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (Thomas, 1996) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 (Rayment and Higginson, 1992) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดยวิธี Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ สกัดดินด้วย 1N Ammonium acetate (pH 7.0) (Pratt, 1965) ตรวจนับปริมาณสปอร์ของเชื้อ AMF ในดิน โดยนำตัวอย่างดินมาแยกสปอร์ด้วยวิธี wet sieving and decanting (Balestra and Misaghi, 1997) พบว่า ดินที่ใช้ทดลองมีเนื้อดินเป็นดินร่วน ปฏิกริยาดินเป็น

กรดรุนแรงมาก มีค่า pH (ดิน:น้ำ 1:1) 4.2 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน จึงจำเป็นต้องใส่ปูนโดโลไมท์ปรับปรุงดิน ในอัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนปลูกข้าวโพดหวาน 3 สัปดาห์ ค่าการนำไฟฟ้า (ดิน:น้ำ 1:5) มีค่า 0.05 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ซึ่งอยู่ในระดับ ไม่เค็ม (Table 2) ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง มีค่าเท่ากับ 1.44% มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง มีค่า เท่ากับ 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง มีค่าเท่ากับ 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีจำนวน ประชากรของราอาบัสคูลารีไมคอร์ไรซาในดิน จำนวน 40 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากมีจำนวนสปอร์ต่ำกว่า 100 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม จากการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ใช้ในการศึกษานี้ ด้วยวิธีการประเมินของ Land Development Department (1980) พบว่า ดินที่ใช้ในการศึกษามีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง จึงพิจารณาอัตราปุ๋ยแนะนำ คือ 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (100% RDF) (Department of Agriculture, 2021b)

Table 2 Physical and chemical properties of the soil before the experiment was conducted

Parameters	Analysis value	Optimal value ^{1/}
pH (soil:H ₂ O 1:1)	4.2	5.5–7.5
Electrical conductivity (soil:H ₂ O 1:5) (dS/m)	0.05	Non saline
Organic matter (%) (Walkley and Black)	1.44	> 1
Available Phosphorus (Bray II) (mg/kg)	30	> 10
Exchangeable Potassium (mg/kg) (NH ₄ OAc pH7)	90	> 60
AM spore numbers (spore/100 g soil)	40	-
Sand (%)	32.51	-
Silt (%)	41.32	-
Clay (%)	26.17	-
Texture (Hydrometer method)	Loam	Loam, Clay loam, Sandy loam and Clay

^{1/}Department of Agriculture (2021b)

สมบัติทางเคมีของมูลไก่เกล็ด

ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของมูลไก่เกล็ด ปี 2565–2566 พบว่า มีปฏิกิริยาเป็นกลาง (pH 6.9–7.1) ค่าการนำไฟฟ้า 7.3–8.1 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 54–58% ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 2.0–2.5% ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.80–3.21% และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 2.47–3.24% ความชื้น 23.7–25.8% และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 11–17 (Table 3)

Table 3 Chemical properties of chicken manure

Year	pH	EC ^{1/} (dS/m)	OM ^{1/} (%)	Total N ^{1/} (%)	Total P ₂ O ₅ ^{1/} (%)	Total K ₂ O ^{1/} (%)	Moisture content (%)	C/N ratio
2022	7.1	7.3	54	1.82	3.21	3.24	25.8	17
2023	6.9	8.1	56	2.80	0.80	2.47	23.7	11
Standard value ^{2/}	5.5-8.5	< 10	> 20	> 1	> 0.5	> 0.5	< 30	<20:1

^{1/} EC: Electrical conductivity; OM: organic matter; Total N: total nitrogen; Total P₂O₅: total phosphorus; Total K₂O: Total potassium

^{2/}Department of Agriculture (2005)

การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตของข้าวโพดหวาน ได้แก่ ความสูงต้นข้าวโพด ความยาว ฝัก ความกว้างฝัก น้ำหนักฝักเปลือก ค่าความหวานโดยใช้เครื่อง refractometer และน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน (ผลผลิต) ตาม คู่มือการบันทึกข้อมูลงานวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน (Department of Agriculture, 2019) สำหรับดินหลังปลูก นำไปตาก ให้แห้งในที่ร่ม บดและร่อนผ่านตระแกรง 0.5 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์ ประเมินจำนวนสปอร์ราอาบัสคูลารี

ไมคอร์ไรซา และการเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก ตามวิธีของ Giovannetti & Mosse (1980) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของการเข้าอยู่อาศัยในรากพืช ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\text{Root colonization rate (\%)} = \frac{\text{Number of colonized root}}{\text{Total number of observed root}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธี โดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม IRRISTAT for dos version 3/93 รวมไปถึงการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการใช้ปุ๋ย ด้วยวิธี value : cost ratio; VCR คือ อัตราส่วนระหว่างรายได้สุทธิต่อต้นทุนจากการใช้ปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีควบคุม (Udpuay et al., 2022)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติของดินหลังการทดลอง

ผลการศึกษา พบว่า การจัดการปุ๋ยแบบผสมผสานในดินร่วนต่อเนื่องเป็นเวลาสองปี ไม่มีผลทำให้สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูก ได้แก่ ปฏิกริยาดิน การนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจากความไม่สม่ำเสมอของตัวอย่างดิน โดยดินหลังปลูกทั้งสองปี มีค่า pH ระหว่าง 4.8–5.0 ซึ่งมีระดับความเป็นกรดจัดมาก ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับไม่เค็ม ระหว่าง 0.04–0.06 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีปริมาณอินทรีย์วัตถุระดับปานกลาง ระหว่าง 1.32–1.72% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ระดับสูง ระหว่าง 22–31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ระดับปานกลางถึงสูง ระหว่าง 94–138 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 4) กล่าวคือ ไม่พบความแตกต่างระหว่างการใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ยในดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก พบว่า ดินมีปริมาณความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ยจาก pH 4.2 เป็น 5.0 ในขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นในปีที่สอง เป็น 19% และ 83% ตามลำดับ

Table 4 Effect of integrated fertilizers management on chemical properties of the soil after the experiment was repeated in 2022 and 2023

Treatment	Soil pH (1:1)		EC (1:5) (dS/m)		OM (%) (Walkley and Black)		Avail. P (mg/kg) (Bray II)		Exch. K (mg/kg) (NH ₄ OAc pH7)	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Control	4.8	5.0	0.05	0.06	1.55	1.47	20	30	86	137
100% RDF	4.5	5.1	0.09	0.06	1.28	1.74	19	32	90	131
100% RDF + CM	4.7	5.0	0.11	0.06	1.37	1.74	25	34	97	146
100% RDF + CM + AMF	4.8	4.9	0.09	0.05	1.54	1.65	26	27	104	122
75% RDF + CM	4.9	5.0	0.06	0.05	1.25	1.86	22	30	93	140
75% RDF + CM + AMF	4.9	5.0	0.06	0.06	1.37	1.69	22	29	73	122
CM + AMF	5.1	4.9	0.04	0.08	1.25	1.88	21	38	115	167
Mean	4.8	5.0	0.04	0.06	1.37	1.72	22	31	94	138
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	5.9	3.5	53.1	30.4	16.0	14.2	21.8	31.1	30.2	22.8

ns was non-significant difference

Table 5 Effect of integrated fertilizers management on AMF spore numbers, root colonization, and plant height of sweet corn cv. ATS-12, repeat tested in 2022 and 2023

Treatment	Spore (spore/100 g soil)		Root colonization rate (%)		Plant height (cm)	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Control	110	173	99	98.3 ^{ab}	223 ^b	213 ^b
100% RDF	172	195	85	100.0 ^a	233 ^{ab}	230 ^{ab}
100% RDF + CM	139	110	91	98.4 ^{ab}	235 ^a	239 ^a
100% RDF + CM + AMF	252	197	89	97.9 ^{ab}	231 ^{ab}	233 ^a
75% RDF + CM	212	209	85	98.3 ^{ab}	236 ^a	235 ^a
75% RDF + CM + AMF	183	165	91	97.5 ^{ab}	231 ^{ab}	234 ^a
CM + AMF	221	222	84	94.6 ^b	234 ^{ab}	232 ^a
Mean	184	181	89	97.6	231	231
F-test	ns	ns	ns	*	*	*
CV (%)	56.0	33.9	13.4	2.0	2.2	3.5

Mean within a column followed by the same letter was not significant difference by DMRT.

*Significant difference at $p \leq 0.05$ level, and ns was non-significant difference.

การประเมินจำนวนสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Table 5) พบว่า การจัดการปุ๋ยแบบผสมผสานรูปแบบต่าง ๆ ไม่มีผลต่อจำนวนสปอร์ของดินหลังปลูกทั้งสองปี ($p > 0.05$) ให้ค่าระหว่าง 181–184 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม โดยมีจำนวนสปอร์มากกว่าดินก่อนปลูก หรือ คิดเป็น 360% ของจำนวนสปอร์ของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินก่อนปลูก แสดงว่า การจัดการปุ๋ยแบบผสมผสานรูปแบบต่าง ๆ มีผลทำให้จำนวนสปอร์ของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้น สำหรับการเข้าอาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พบว่า ฤดูปลูกปีที่ 2 มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่พบการเข้าอาศัยในรากข้าวโพดหวานทุกกรรมวิธี น่าจะเป็นผลเนื่องมาจากผลตกค้างของการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาฤดูปลูกปีที่ 1 และเป็นการทดลองในสภาพแปลงภายใต้สภาวะธรรมชาติจึงมีความแปรปรวนควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้ยาก อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ ประกอบกับสภาพพื้นที่ปลูกเป็นพื้นที่ลุ่มภาคกลางและมีสภาพพื้นที่ติดแม่น้ำ จึงทำให้เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากระจายไปทั่วไป และข้าวโพดเป็นพืชที่มีการตอบสนองต่อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้ดี (Poomipan, 2012) Zenebe et al. (2024) รายงานว่า เมื่อมีการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ปริมาณการเข้าอยู่อาศัยของ AMF ในรากดีกว่าการใช้สปอร์ของเชื้อรา AMF ร่วมกับปุ๋ยเคมี อาจเป็นเพราะธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยเคมีไปยับยั้งความจำเป็นที่พืชจะสร้างความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันกับเชื้อรา AMF ได้ จึงไปจำกัดอัตราการสร้างอาณานิคม เมื่อใช้ปุ๋ยเคมีและ AMF ทั้งสองอย่างร่วมกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Qian et al. (2024) พบว่า ปุ๋ยเคมีทำให้พืชรับธาตุอาหารได้ง่าย จึงช่วยลดการพึ่งพา AMF ของพืชในการดูดธาตุอาหารจากดิน

องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตของข้าวโพดหวาน

การจัดการปุ๋ยแบบผสมผสานรูปแบบต่าง ๆ ต่อการปลูกข้าวโพดหวานทั้งสองฤดูปลูก ทำให้ความสูงต้น ความกว้างของฝัก น้ำหนักฝักเปลือก และน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน (ผลผลิตฝักสดทั้งเปลือก) แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.01$) แต่ไม่ทำให้ความยาวฝัก และความหวานแตกต่างกัน ($p > 0.05$) (Table 5-6) โดยให้ความยาวฝัก เฉลี่ย 20.6–21.4 เซนติเมตร และความหวาน 13.1–14.6 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ฤดูปลูกปีที่ 1 กรรมวิธีที่ 5 การใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 15–4.5–11.3 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ + มูลไก่กลบ (75% RDF + CM) ให้ความสูงต้นข้าวโพดมากที่สุด เฉลี่ย 236 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีอื่น ๆ ยกเว้นกรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ย พบว่า ให้ความสูงต้นข้าวโพดหวาน ลดลงถึง 3–6% ในขณะที่ฤดูปลูกปีที่ 2 กรรมวิธีที่ 3 การใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 20–6–15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ + มูลไก่กลบ (100% RDF + CM) ให้ความสูงต้นสูงที่สุด เฉลี่ย 239 เซนติเมตร โดยให้ความสูงต้นสูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยถึง 12% เช่นเดียวกับ ความกว้างของฝักกับแปลงที่ไม่ได้รับปุ๋ย มีความกว้างของฝักต่ำที่สุด เฉลี่ย 5.24 และ 5.12 เซนติเมตร ในฤดูปลูกปีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (Table 5-6) อย่างไรก็ตามพบว่า กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ร่วมกับทั้งสองฤดูปลูก ทำให้ผลผลิตข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้น 55–94% เทียบกับกรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ย ซึ่งให้ผลตรงข้ามกับการศึกษาของ Sirichaiwetchakul et al. (2021) รายงานว่า การใส่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดหวาน แต่ทำให้น้ำหนักฝักสดเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพของเชื้อราจะลดลงเมื่ออยู่ในสภาพธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ในสภาพแปลงตามธรรมชาติ อาจมีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ดินที่ปลูกพืชอยู่แล้ว ดังนั้นการไม่ใส่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไร

ชา อาจมีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อสูงเช่นกัน จึงอาจทำให้ไม่เห็นความแตกต่างระหว่างพรีทเมนต์กับชุดควบคุม รวมไปถึงประสิทธิภาพของการปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาขึ้นอยู่กับชนิดของดินและสายพันธุ์เฉพาะของเชื้อราไมคอร์ไรซาที่มีอยู่ ซึ่งลักษณะดินที่แตกต่างกันจะเอื้อต่อเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละประเภท ส่งผลให้พืชที่เชื้อราอาศัยอยู่ได้รับประโยชน์ในระดับที่แตกต่างกัน โดยเชื้อราแต่ละชนิดมีความสามารถในการเข้าถึงธาตุอาหารในสภาพแวดล้อมของดินที่แตกต่างกัน (Owiny and Dusengemungu, 2024)

น้ำหนักฝักปกเปลือก และน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานหรือผลผลิตทั้งสองฤดูปลูก พบว่า ข้าวโพดหวานที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยให้น้ำหนักฝักปกเปลือกและผลผลิตต่ำกว่าทุกตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี มูลไก่แกลบ และปุ๋ยชีวภาพ โดยให้น้ำหนักฝักปกเปลือกในปีที่ 1 และ 2 เฉลี่ย 306 และ 305 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ย อัตรา 20–6–15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ + มูลไก่แกลบ ให้น้ำหนักฝักปกเปลือกสูงที่สุด เฉลี่ย 349 และ 376 กรัม ตามลำดับ และยังพบว่า การใส่ปุ๋ยในทุกกรรมวิธีทำให้ผลผลิตข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้น ในฤดูปลูกปีที่ 1 และ ปีที่ 2 ระหว่าง 48–86% และ 69–102% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ย (กรรมวิธีควบคุม) จะเห็นว่า การใส่ปุ๋ยจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วน โดยในฤดูปลูกปีที่ 1 กรรมวิธีที่ 2 การใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 20–6–15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (100% RDF) ให้ผลผลิตสูงสุด เฉลี่ย 2,370 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีอื่น ๆ ที่มีการใส่ปุ๋ย ที่ให้ผลผลิตระหว่าง 1,885–2,367 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนผลผลิตข้าวโพดหวานฤดูปลูกปีที่ 2 พบว่า กรรมวิธีที่ 3 การใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 20–6–15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่+มูลไก่แกลบ ให้ผลผลิตสูงสุด (3,463 กิโลกรัมต่อไร่) แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีอื่น ๆ ที่มีการใส่ปุ๋ยให้ผลผลิต ระหว่าง 2,876–3,290 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (Table 6) อย่างไรก็ตามพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 20–6–15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่+มูลไก่แกลบ ให้ผลผลิตข้าวโพดหวานที่ได้มาตรฐานสูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยถึง 102% ในฤดูปลูกปีที่ 2 ซึ่งพบว่าผลผลิตข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้นในฤดูปลูกปีที่ 2 เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 20–6–15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ + มูลไก่แกลบ (100% RDF + CM) เพิ่มขึ้นถึง 48% เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตในฤดูปลูกปีที่ 1 ในขณะที่กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 20–6–15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (100% RDF) ให้ผลผลิต เพิ่มขึ้น 21% ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Domyos et al. (2018) รายงานว่า การใช้เคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน+ปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้ข้าวโพดหวานมีผลผลิตสูงสุด นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใส่ปุ๋ยเคมี 100 กับ 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ ให้ผลผลิตข้าวโพดหวานไม่ต่างกัน ซึ่งจะสามารถช่วยประหยัดการใช้จ่ายได้ และการใส่มูลไก่แกลบกับปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา จำเป็นกับการผลิตข้าวโพดหวานในดินชุดนี้ เนื่องจากดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นถึง 1.88% เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกที่มีอินทรีย์วัตถุเพียง 1.44%

Table 6 Effect of integrated fertilizers management on yield components and yield of sweet corn cv. ATS-12, repeat tested in 2022 and 2023

Treatment	Ear length (cm)		Ear diameter (cm)		Husked ear yield (g/cob)		Total soluble solids (%Brix)		Unhusked ear yield (kg/rai)		
	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	%
											Increase by year
Control	20.4	20.9	5.24 ^b	5.12 ^c	306 ^b	305 ^b	12.6	15.0	1,271 ^b	1,717 ^b	35
100% RDF	20.4	21.8	5.31 ^{ab}	5.43 ^{ab}	319 ^{ab}	360 ^a	13.7	14.8	2,370 ^a	2,876 ^a	21
100% RDF + CM	20.3	21.6	5.46 ^a	5.41 ^{ab}	349 ^a	376 ^a	13.2	14.2	2,340 ^a	3,463 ^a	48
100% RDF + CM + AMF	20.5	21.2	5.44 ^a	5.23 ^{bc}	342 ^a	353 ^a	12.8	14.5	2,367 ^a	3,290 ^a	39
75% RDF + CM	21.2	21.6	5.43 ^a	5.53 ^a	341 ^a	374 ^a	12.9	14.6	2,324 ^a	2,975 ^a	28
75% RDF + CM + AMF	21.2	21.8	5.37 ^{ab}	5.40 ^{ab}	338 ^{ab}	380 ^a	13.1	14.4	2,063 ^a	3,134 ^a	52
CM + AMF	20.6	21.1	5.35 ^{ab}	5.40 ^{ab}	338 ^{ab}	358 ^a	13.2	14.4	1,885 ^{ab}	2,895 ^a	54
Mean	20.6	21.4	5.37	5.36	333	358	13.1	14.6	2,089	2,907	39
F-test	ns	ns	**	**	**	**	ns	ns	**	**	-
CV (%)	2.8	2.8	1.5	2.1	4.4	5.8	4.0	3.2	14.0	11.4	-

Mean within a column followed by the same letter was not significant difference by DMRT.

**significant difference at $p \leq 0.01$ level, * significant difference at $p \leq 0.05$ level, and ns was non-significant difference.

ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการใช้ปุ๋ย

เมื่อพิจารณาผลตอบแทนต่อการลงทุนการจัดการปุ๋ยรูปแบบต่าง ๆ สำหรับการผลิตข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วน จังหวัดนครสวรรค์ พบว่า ฤดูปลูกปีที่ 1 กรรมวิธีที่ 2 การใส่ปุ๋ยอัตราแนะนำ 20-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าแก่การลงทุนมากที่สุด ให้ VCR 2.72 เมื่อลงทุนใช้ปุ๋ย 1 บาท จะได้รับผลตอบแทน 2.72 บาท (Table 7) ส่วนฤดูปลูกปีที่ 2 พบว่า กรรมวิธีที่ 2 การใส่ปุ๋ยอัตราแนะนำ 20-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ และกรรมวิธีที่ 3 การใส่ปุ๋ยอัตราแนะนำ 20-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ + มูลไก่เกลบ ให้ค่า VCR 2.87 และ 2.50 ตามลำดับ แต่เมื่อมีการจัดการปุ๋ยอัตราต่าง ๆ กลับให้ผลตอบแทนลดลง เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย

Table 7 Effect of integrated fertilizers management on economic return of sweet corn cv. ATS-12 tested in 2022 and 2023

Year	Treatments	Fresh ear yield (kg/rai)	Relative yield to control (%)	Gross benefit	Gross return	Cost on fertilizer (Baht/rai)	Increased cost	Net benefit	Net return	VCR ^{1/}
				(Baht/rai)						
2022	Control	1,271	100	5,720		0				
	100% RDF	2,370	186.47	10,665	4,946	1,817	1,817	8,848	3,129	2.72
	100% RDF + CM	2,340	184.11	10,530	4,811	3,147	3,147	7,383	1,664	1.53
	100% RDF + CM + AMF	2,367	186.23	10,652	4,932	8,266	8,266	2,385	-3,334	0.60
	75% RDF + CM	2,324	182.85	10,458	4,739	2,693	2,693	7,765	2,046	1.76
	75% RDF + CM + AMF	2,063	162.31	9,284	3,564	7,812	7,812	1,471	-4,248	0.46
	CM + AMF	1,885	148.31	8,483	2,763	6,450	6,450	2,033	-3,687	0.43
2023	Control	1,717	100	7,727		0				
	100% RDF	2,876	167.50	12,942	5,216	1,817	1,817	11,125	3,399	2.87
	100% RDF + CM	3,463	201.69	15,584	7,857	3,147	3,147	12,437	4,710	2.50
	100% RDF + CM + AMF	3,290	191.61	14,805	7,079	8,266	8,266	6,539	-1,188	0.86
	75% RDF + CM	2,975	173.27	13,388	5,661	2,693	2,693	10,695	2,968	2.10
	75% RDF + CM + AMF	3,134	182.53	14,103	6,377	7,812	7,812	6,291	-1,436	0.82
	CM + AMF	2,895	168.61	13,028	5,301	6,450	6,450	6,578	-1,149	0.82

^{1/}VCR = Value to Cost Ratio; Fertilizer price in December 2021: 46-0-0 (21.2 Baht/kg), 18-46-0 (29.0 Baht/kg), 0-0-60 (25.0 Baht/kg), Arbuscular mycorrhiza (120 baht/kg) and yield price: 4.5 Baht/kg

Source: Office of Agricultural Economics (2022)

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการจัดการปุ๋ยแบบผสมผสานระหว่างปุ๋ยเคมี มูลไก่เกลบ และเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา บนพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานที่เป็นดินร่วน ชุดดินตะพานหิน ในเขตอำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งดินมีความอุดมสมบูรณ์ ระดับปานกลาง ผลการศึกษาสรุปได้ ดังนี้

1. การปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์เอทีเอส-12 บนดินร่วน ชุดดินตะพานหิน ในเขตอำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยในการปลูก โดยอาจใช้ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (อัตรา 20-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่) ใช้ปุ๋ยเคมี 75-100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำร่วมกับมูลไก่เกลบ ใช้ปุ๋ยเคมี 75-100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา หรือใช้มูลไก่เกลบร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อให้ได้ผลผลิตคุ้มค่ากับการลงทุน

2. การใช้ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (อัตรา 20-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่) ให้ผลตอบแทนต่อหน่วยลงทุนในฤดูปลูกที่ 1 และฤดูปลูกที่ 2 (VCR) สูงที่สุด 2.72 และ 2.87 ตามลำดับ และการใช้ปุ๋ยตามอัตราแนะนำร่วมกับมูลไก่เกลบ 1 ตันต่อไร่ ให้ผลตอบแทนต่อหน่วยลงทุนในฤดูปลูกที่ 1 และฤดูปลูกที่ 2 สูงเป็นอันดับที่ 2 เท่ากับ 1.53 และ 2.50 ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามควรทำการศึกษาเพิ่มเติมหรือทดลองซ้ำบนพื้นที่ทดลองเดิมอีก 1 ถึง 3 ฤดูปลูก เพื่อเปรียบเทียบผลตกค้างของการจัดการปุ๋ยในดินต่อการให้ผลผลิตข้าวโพดหวาน

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และสมมุติฐาน: สมฤทัย ตันเจริญ, วนิดา โนบรธา, ศุภกาญจน์ ล้วนมณี. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บ ข้อมูล และ criteria: สมฤทัย ตันเจริญ, สายน้ำ อุดพั้ว, ภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: สมฤทัย ตันเจริญ, สายน้ำ อุดพั้ว. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุป: สายน้ำ อุดพั้ว. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: สายน้ำ อุดพั้ว, สมฤทัย ตันเจริญ. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครุภัณฑ์: นิศารัตน์ ทวีนุต.

เอกสารอ้างอิง

- Balestra, G. M., & Misaghi, I. J. (1997). Increasing the efficiency of the plate counting method for estimating bacterial diversity. *Journal of Microbiological Methods*, 30(2), 111–117.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54(1), 464–465.
- Bray, R. H., & Kurtz, L. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59(1), 39–46.
- Department of Agriculture. (2005). **Announcement of the Department of Agriculture: Organic Fertilizer Standards 2005**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Department of Agriculture. (2008). **Organic Fertilizer Analysis Manual**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Department of Agriculture. (2019). **Manual for Data Collection on Field Crops and Renewable Energy Crops**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Department of Agriculture. (2021a). **Biofertilizer**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Department of Agriculture. (2021b). **Recommendations for The Use of Fertilizers based on Soil Analysis Values for Economic Field Crops**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Department of Agriculture. (2023). **Summary of Fertilizer Import-Export Data in 2023**. Retrieved from: https://www.doa.go.th/ard/?page_id=312. (in Thai).
- Domyos, S., Domyos, P., & Saykawe, J. (2018). Using chemical fertilizer based on soil analysis in combination with organic fertilizers on growth and yield of sweet corn in Phattalung soil series. *Journal of Vocational Education in Agriculture*, 2(1), 72–80.
- Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84(3), 489–500.
- Kaewmueng, C., Amkha, S., & Mala, T. (2013). The effects of azospirillum inoculation as alternative nitrogen source for sweet corn growth promotion in Kamphaengsaen soil series. *Journal of Science and Technology*, 2(2), 25–45. (in Thai).
- Kaewnoo, T., Luanmanee, S., Kaewsuralikhit, S., Nobuntou, W., Tancharoen, S., Kueanoon, C., Thaweenut, N., Reuncharoen, S., Klinphoklap, S., Palakul, W., Jinjakam, P., Charoensri, K., Tanwan, N., Udpuay, S., Ratanavirakul, P., & Phoorahong, A. (2024). Nitrogen release assessment of compost, chicken manure, cow manure and dry azolla. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 52(Suppl 1), 392–400. (in Thai).
- Land Development Department. (1980). **Manual for Classifying Land Suitability for Economic Crops, Volume 28**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Land Development Department. (2023). **Soil Knowledge and Management**. Retrieved from: [https://iddindee.ddd.go.th/iddindee/SoilSeries/T_1/5_Series_\(Tph\).pdf](https://iddindee.ddd.go.th/iddindee/SoilSeries/T_1/5_Series_(Tph).pdf). (in Thai).
- Manager Online. (2024). **ASEAN-Korea FTA Boosts Exports of “Thai Sweet Corn” to Become Champion in Kimchi Market**. Retrieved from: <https://mgronline.com/business/detail/9670000013226>. (in Thai).
- Ministry of Commerce. (2024). **Report on Thailand's International Trade Statistics, Information and Communication Technology Center**. Retrieved from: <https://tradereport.moc.go.th/th/stat/reportcomcodeexport04#comid=472>. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics. (2022). **Agricultural Economic Data**. Retrieved from: <https://www.oae.go.th>. (in Thai).
- Owiny, A. A., & Dusengemungu, L. (2024). Mycorrhizae in mine wasteland reclamation. *Heliyon*, 10(13), e33141.

- Poolthong, K., Seerasarn, N., & Keowan, B. (2024). Extension sweet corn production for farmers in Chum Saeng district, Nakhon Sawan province. **Sukhothai Thammathirat Open University Journal**, 37(1), 59-73. (in Thai).
- Poomipan, P., & Thongleung, P. (2011). Effects of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi of Pak Chong soil series on growth and phosphorus uptake of babycorn, fieldcorn and sweetcorn. **Thai Science and Technology Journal**, 19(4), 80-87. (in Thai).
- Poomipan, P. (2012). Effects of soil phosphorus and corn type on arbuscular mycorrhizal dependency. **Thai Journal of Science and Technology**, 1(3), 211-220. (in Thai).
- Pratt, P. F. (1965). Potassium. In Norman A. G., **Methods of Soil Analysis: Part II Chemical and Microbiological Properties**, pp. 1022-1030. American Society of Agronomy.
- Qian, S., Xu, Y., Zhang, Y., Wang, X., Niu, X., & Wang, P. (2024). Inoculation on reducing excessive fertilizer use. **Microorganisms**, 12(8), 1550.
- Ratanavirakul, P., Tancharoen, S., Nobuntou, W., & Luanmanee S. (2024). Effect of chemical fertilizer in combination with organic fertilizer and mycorrhiza biofertilizer on yield and nutrient use efficiency of sweet corn. In **Proceeding of the 8th National Soil and Fertilizer Conference**, pp. 49-59. Naresuan University. (in Thai).
- Rayment, G. E., & Higginson, F. R. (1992). **Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods**. Inkata press.
- Sirichaiwetchakul, S., Nabhadalung, N., Malmay, S., & Krungkai, W. (2021). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of sweet corn under natural conditions. **King Mongkut's Agricultural Journal**, 39(2), 89-94.
- Sungsamran, K., Thapsilvisul, O., Poomipan, P., & Takrattanasaran, N. (2021). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth of field corn growing in soil after waterlogging. **Thai Science and Technology Journal**, 30(1), 109-122. (in Thai).
- Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. In Sparks, D.L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., & Sumner, M. E. (Ed.), **Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods**, pp. 475-490. Soil Science Society of America, Inc.
- Udpuay, S., Kueanoon, C., Tanwan, N., & Thuenprom, N. (2022). Effect of potash fertilizer on growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in clay loam soil. **Thai Agricultural Research Journal**, 40(3), 307-320. (in Thai).
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff methods for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, 37(1), 29-38.
- Zenebe, B., Dobo, B., & Woliy, K. (2024). The influence of biochar, organic and inorganic fertilizers, and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on maize crop performance under normal and water-stressed conditions. **Advances in Agriculture**, 2024(1), 4934523.

การถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในนา
หลังการเก็บเกี่ยวข้าว บ้านจำปา อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร
Participatory Technology Transfer for Enhancing the Production Efficiency of Maize
Production Grown after the Rice Harvesting in Ban Champa, Sawang Daen Din District,
Sakon Nakhon Province

กนกวรรณ ยะหัวดง¹ และอรุณี พรหมคำบุตร^{1*}Kanokwan Yahuadong¹ and Arunee Promkhambut^{1*}

Received date: 8 พ.ค. 68 Revised date: 12 มิ.ย. 68 Accepted date: 12 มิ.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.267549>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ วิเคราะห์ปัญหา ข้อจำกัดและออกแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยี ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยี และติดตามและประเมินผลการถ่ายทอดเทคโนโลยี พื้นที่ศึกษานบ้านจำปา อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร ผู้ให้ข้อมูลได้แก่ เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จำนวน 12 ราย ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังฤดูทำนาเพื่อสร้างรายได้ตามนโยบายของรัฐบาล ไม่มีการรวมกลุ่มอย่างเป็นทางการ และใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืช ปัญหาหลักของการผลิต คือ ปริมาณผลผลิตต่ำและต้นทุนการผลิตสูง เกษตรกรต้องการการถ่ายทอดเทคโนโลยีผ่านการฝึกอบรม การบรรยาย สาธิต ฝึกปฏิบัติ และการเรียนรู้ผ่านแปลงเรียนรู้ การประเมินผลหลังจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี พบว่า เกษตรกรมีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และ 0.01 ผลการประเมินทัศนคติต่อโครงการในภาพรวมอยู่ระดับสูงมาก และค่าคะแนนทุกประเด็นอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก เกษตรกรทั้ง 12 ราย ยอมรับการใช้เทคโนโลยีการผลิตใหม่ทั้งหมด ยกเว้นการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งมีเพียงเกษตรกรร้อยละ 8.33 เท่านั้น เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ต้องอาศัยความเข้าใจและการสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง การวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผ่านหลักสูตรที่มีการวางแผนและมีส่วนร่วมจากเกษตรกร สามารถเพิ่มศักยภาพ แก้ไขปัญหาและสร้างการยอมรับเทคโนโลยีของเกษตรกรในพื้นที่ได้ อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนหลายขั้นตอน จำเป็นต้องมีวิธีการถ่ายทอดและการสนับสนุนที่จริงจังและต่อเนื่อง

คำสำคัญ: ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การถ่ายทอดเทคโนโลยี การประเมินผล การยอมรับเทคโนโลยี

Abstract

This participatory action research examined maize production among 12 farmers in Ban Champa, Sawang Daen Din District, Sakon Nakhon Province, with objectives to analyze production systems, identify constraints, design and implement technology transfer approaches, and evaluate outcomes. The study found that farmers cultivated maize during post-rice seasons following government policy, lacked formal group organization, and faced primary challenges of low yields and high production costs while relying on chemical pest control. Technology transfer was conducted through training, lectures, demonstrations, hands-on practice, and learning plots, resulting in statistically significant increases in farmer knowledge ($p < 0.05$ and $p < 0.01$), very high overall project satisfaction scores, and complete adoption of new production technologies by all participants except for soil analysis-based fertilization, which achieved only 8.33% adoption due to its complexity and need for institutional support. The research demonstrates that planned, participatory technology transfer curricula can effectively enhance farmer capabilities and facilitate technology adoption, though complex multi-step technologies require intensive and continuous transfer methods with sustained institutional support for successful implementation.

Keywords: maize, technology transfer, evaluation, technology adoption

¹ สาขาวิชาการส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

¹ Department of Agricultural Extension and Development, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

* Corresponding author: E-mail: arunee@kku.ac.th

คำนำ

ประเทศไทยต้องการผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพิ่มขึ้นตามการขยายตัวอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เนื่องจากการผลิตภายในประเทศยังไม่เพียงพอ จึงต้องนำเข้าข้าวโพดจากต่างประเทศส่งผลให้ราคามูลผลิตในประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี (Office of Agricultural Economics, 2023) ประกอบกับพื้นที่การผลิตหลักในภาคเหนือ พบการเตรียมพื้นที่ปลูกข้าวโพดโดยใช้วิธีการเผาตอซัง (Kittikongnapang, 2022) ซึ่งส่งผลต่อสภาพแวดล้อมทั้งในด้านมลพิษทางอากาศและการเสื่อมสภาพของดิน (Taranart, 2024) เพื่อลดการนำเข้าและสนับสนุนการผลิตภายในประเทศ และเพื่อปรับสมดุลของปริมาณการผลิตข้าวและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายในประเทศ รัฐบาลจึงส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังฤดูทำนา

การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทย แบ่งออกเป็นสองช่วง คือ ฤดูฝนและฤดูแล้ง ในปี 2564-2566 พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยง 6,669,697 ไร่ ปลูกในฤดูแล้งหรือปลูกเป็นพืชหลังนาเฉลี่ย 686,491.67 ไร่ คิดเป็น 10.29% โดยมีการเพาะปลูกข้าวโพดมากที่สุดในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง ตามลำดับ (Office of Agricultural Economics, 2023) เกษตรกรบ้านจำปา อำเภอสว่างแดนดิน มีการปลูกพืชหลังการเก็บเกี่ยวข้าวนาปี เช่น ข้าวนาปรัง ข้าวโพดฝักสด แตงโม แตงไทย และพืชผักต่าง ๆ มาอย่างต่อเนื่อง และในปี พ.ศ. 2561 เกษตรกรเริ่มมีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังฤดูทำนา ในโครงการสานพลังประชารัฐของรัฐบาล และปลูกต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าผลผลิตข้าวโพดของเกษตรกรอยู่ในเกณฑ์ต่ำ โดยในปี พ.ศ. 2565 ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยในพื้นที่ที่ความชื้น 14.5% อยู่ที่ 638 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทย ซึ่งผลผลิต 796 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 19 (Office of Agricultural Economics, 2022) และผลผลิตในพื้นที่อื่นที่ปลูกในลักษณะเดียวกันมีผลผลิตเฉลี่ยถึง 797 กิโลกรัมต่อไร่ (Subroengsakul et al., 2019) จากการศึกษาปัญหาการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดปราจีนบุรีของ Promtee et al. (2022) พบว่าเกษตรกรประสบปัญหาการปลูก การดูแลรักษา และต้องการการได้รับการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สะท้อนถึงข้อจำกัดด้านความรู้ และทักษะทางด้านการผลิตของเกษตรกรผู้ผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนา การดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนาที่ตรงกับปัญหาและความต้องการของเกษตรกรจึงเป็นเรื่องสำคัญ เพื่อให้เกษตรกรสามารถเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุน และสร้างรายได้เสริมหลังฤดูทำนา ซึ่งถือเป็นแนวทางสำคัญในการส่งเสริมเศรษฐกิจในชุมชน (Suk-ueang and Pa-lha, 2021)

การถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านการผลิตทางการเกษตรเป็นกระบวนการสำคัญที่มีบทบาทอย่างยิ่งต่อการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อดำเนินการภายใต้แนวทางของการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research) ที่เน้นให้เกษตรกรมีบทบาทร่วมในทุกขั้นตอนของกระบวนการเรียนรู้ การจัดทำแปลงเรียนรู้ในพื้นที่จริงควบคู่กับการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ไม่เพียงแต่ถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีการผลิตเท่านั้น แต่ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างเสริมทักษะและประสบการณ์ตรงให้กับเกษตรกรอีกด้วย (Atchariyamontree, 2017) กระบวนการดังกล่าวส่งผลให้เกษตรกรสามารถเข้าใจและปรับใช้เทคโนโลยีให้เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ของตนเอง นำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต หรือลดต้นทุนการผลิต (Boonruang and Choenkwan, 2022) ทั้งนี้ การถ่ายทอดเทคโนโลยีควรได้รับการออกแบบให้ตอบสนองต่อปัญหาและความต้องการที่แท้จริงของเกษตรกรในแต่ละพื้นที่ พร้อมส่งเสริมการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม เพื่อให้เกิดการยอมรับและนำไปใช้ได้ดียิ่งขึ้น (Tongduan et al., 2024; Phatikae and Pathumcharoenwattana, 2018)

เกษตรกรในพื้นที่บ้านจำปา อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร ยังคงประสบปัญหาผลผลิตข้าวโพดต่ำ ถึงแม้จะมีการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วงหลังฤดูทำนาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 ดังนั้น การพัฒนาความรู้และทักษะด้านการผลิตผ่านกระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีควบคู่กับการมีส่วนร่วมของเกษตรกร จึงถือเป็นกลไกสำคัญที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ ลดต้นทุนการผลิต พร้อมทั้งส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และการแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ แนวทางดังกล่าวยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาเกษตรกรต้นแบบในการผลิตพืชเศรษฐกิจหลังฤดูทำนาในพื้นที่อื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาข้อมูลการผลิต วิเคราะห์ปัญหา ข้อจำกัดในการผลิตข้าวโพด กำหนดแนวทางและดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิต รวมถึงการตรวจติดตามและประเมินผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพด บ้านจำปา อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research) โดยผู้วิจัยได้ยื่นขอจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ และได้รับการรับรองจากคณะกรรมการวิจัยในมนุษย์มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลขที่ HE663363 เพื่อศึกษาข้อมูลการผลิตของเกษตรกร วิเคราะห์ปัญหาการผลิต และกำหนดแนวทางการแก้ไขร่วมกับเกษตรกร รวมถึงการพัฒนาเกษตรกรผ่าน

การฝึกอบรม และการประเมินผลการถ่ายทอดเทคโนโลยี การวิจัยดำเนินการระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2567 พื้นที่วิจัยอยู่ที่บ้านจำปา อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร ผู้ให้ข้อมูลหลักคือ เกษตรกรผู้ผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปีการผลิต 2567 จำนวน 12 ราย ซึ่งเป็นเกษตรกรที่ผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งหมดในพื้นที่ การศึกษาประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ บ้านจำปา อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร

การศึกษาข้อมูลสภาพการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พื้นที่บ้านจำปา กลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง โดยคัดเลือกเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดอย่างต่อเนื่อง และมีความประสงค์ที่จะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในรอบปีการผลิต 2567 รวมจำนวนทั้งหมด 12 ราย เก็บข้อมูลโดยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึกรายบุคคล โดยใช้ประเด็นในการสัมภาษณ์ (Sub-topics) และนำข้อมูลมาวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) กำหนดประเด็นสัมภาษณ์จากการทบทวนวรรณกรรม ได้แก่ บริบทชุมชน ข้อมูลการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ประกอบด้วย ความเป็นมาและสภาพการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ รวมถึงต้นทุนและผลผลิตที่เกิดขึ้นในปีการผลิต 2566

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์ปัญหาและการออกแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การวิเคราะห์ปัญหาการผลิต ดำเนินการผ่านการสนทนากลุ่ม (Focus Group Discussion) เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เป็นปัญหาในการผลิต ผู้วิจัยทำหน้าที่ดำเนินการสนทนากลุ่ม (Moderator) ซึ่งจะเป็นผู้จุดประเด็นการสนทนา กระบวนการนี้ประกอบด้วย 4 กิจกรรมหลัก (Figure 1) ดังนี้

กิจกรรมที่ 1 การวิเคราะห์ปัญหาการผลิต ประกอบด้วย การหาความจำเป็นในการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยใช้แผนผังก้างปลา (Fishbone diagram) (National Health Service, 2009) การวิเคราะห์ปัญหาและเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิต เพื่อให้ทราบถึงปัญหาและสาเหตุของแต่ละปัญหา โดยเริ่มจากการกำหนดหัวข้อปัญหา ระบุสาเหตุหลักเป็นก้างปลาใหญ่ เขียนสาเหตุย่อยเป็นก้างปลาย่อยเข้าหาก้างปลาใหญ่และเขียนสาเหตุย่อย ๆ เป็นก้างปลาย่อย ๆ เข้าหาก้างปลาย่อย

กิจกรรมที่ 2 การกำหนดแนวทางการแก้ไข้ปัญหา จากปัญหาหลักและปัญหาย่อยแต่ละประเด็นที่พบในกิจกรรมที่ 1 ผู้ดำเนินการวิจัยร่วมกับเกษตรกร ทบทวนปัญหาหลักและปัญหาย่อยที่ถูกระบุไว้จากกิจกรรมก่อนหน้า ร่วมระดมความคิด (Brainstorming) เพื่อหาหรือเกี่ยวกับแนวทางแก้ไข้ปัญหา เปิดโอกาสให้เกษตรกรแต่ละคนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ กระตุ้นให้เกษตรกรทั้ง 12 ราย เสนอแนวทางที่เป็นไปได้โดยไม่จำกัดแนวคิด ผู้ดำเนินการจัดบันทึกแนวทางแก้ไข้ที่เสนอทั้งหมดลงบนกระดานชาร์ต

กิจกรรมที่ 3 การลำดับความสำคัญและความเร่งด่วนของการแก้ไข้ปัญหา โดยใช้ Eisenhower Matrix (Columbia University School of Professional Studies, 2023) เพื่อให้สามารถบริหารจัดการเวลาและทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับความต้องการของเกษตรกร เมื่อทราบถึงข้อมูลแนวทางการแก้ไข้ปัญหาในกิจกรรมที่ 2 การศึกษานี้ใช้วิธีการแสดงความคิดเห็นและลงคะแนนเสียงร่วมกันโดยการยกมือโหวต เพื่อคัดเลือกแนวทางที่มีความคิดเห็นพ้องร่วมกันมากที่สุด โดยพิจารณาความสำคัญและความเร่งด่วน ทั้งความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ทางปฏิบัติ โดยมีหลักการลำดับเป็น 4 ช่อง ตามเกณฑ์คือ ความสำคัญ (Important) และความเร่งด่วน (Urgent)

กิจกรรมที่ 4 การออกแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เมื่อทราบถึงแนวทางการแก้ไข้ปัญหาที่มีความสำคัญและความเร่งด่วน ซึ่งเป็นแนวทางการแก้ไข้ปัญหาที่จะสามารถช่วยแก้ไข้ปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่ได้ นำข้อมูลที่ได้มาออกแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยเริ่มจากการ 1) การกำหนดหัวข้อการถ่ายทอดเทคโนโลยี 2) การกำหนดวัตถุประสงค์ในการถ่ายทอดเทคโนโลยี 3) การกำหนดแนวทางการถ่ายทอดเทคโนโลยี 4) การกำหนดเทคนิคการถ่ายทอดเทคโนโลยี 5) การกำหนดระยะเวลาของกิจกรรม และ 6) การติดตามประเมินผล เมื่อได้หลักสูตรการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ผู้วิจัยนัดหมายเกษตรกรเพื่อเข้าร่วมกิจกรรม



Figure 1 Problem analysis and the design of maize production technology transfer in collaboration with farmers

ขั้นตอนที่ 3 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากการวิเคราะห์ปัญหาและการออกแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในขั้นตอนที่ 2 ได้หลักสูตรการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดำเนินการในรูปแบบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เน้นการมีส่วนร่วมของผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในชุมชนบ้านจำปา อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ที่ออกแบบตามหลักสูตรการฝึกอบรม ในระหว่างการฝึกอบรมมีการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพและความเหมาะสมของกิจกรรม ใช้เครื่องมือหลัก ได้แก่ แบบประเมินปฏิกิริยาเพื่อรับรู้ถึงทัศนคติของผู้รับการอบรม แบบประเมินการเรียนรู้เพื่อวัดผลการเรียนรู้ของเกษตรกร และแบบประเมินพฤติกรรมเพื่อประเมินการติดตามแปลงเกษตรกร โดยเครื่องมือในการประเมินผลออกแบบจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง และผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินผลการถ่ายทอดเทคโนโลยี

การประเมินผลประยุกต์ใช้แนวคิดและวิธีการประเมินผลการฝึกอบรมตาม Kirkpatrick Model (Kirkpatrick and Kirkpatrick, 2016) โดยการประเมินจะมุ่งเน้นที่เกษตรกรผู้เข้าร่วมกิจกรรมที่เข้าร่วมโครงการ 12 คน ใน 4 ด้าน ดังนี้

1) ประเมินปฏิกิริยา เป็นการประเมินเพื่อรับรู้ถึงทัศนคติของผู้รับการอบรมใน 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านการแก้ไขปัญหา และการวิเคราะห์ปัญหา ด้านการเรียนรู้และการนำไปปฏิบัติ ด้านการถ่ายทอดความรู้และมีส่วนร่วม และด้านความร่วมมือ ความพึงพอใจ โดยใช้แบบสอบถาม แบ่งระดับเป็น 5 ระดับ คือ ระดับ 5 เห็นด้วยมากที่สุด ระดับ 4 เห็นด้วย ระดับ 3 ไม่แน่ใจ ระดับ 2 ไม่เห็นด้วย และระดับ 1 ไม่เห็นด้วยมากที่สุด จากนั้นแปลผลโดยแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ 4.21–5.00 พึงพอใจระดับดีมาก 3.41–4.20 พึงพอใจระดับดี 2.61–3.40 พึงพอใจระดับปานกลาง 1.81–2.60 พึงพอใจระดับน้อย และ 1.00–1.80 พึงพอใจระดับน้อยที่สุด (Joshi et al., 2015)

2) ประเมินการเรียนรู้ โดยใช้แบบทดสอบ เป็นข้อสอบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 40 ข้อ ครอบคลุม 4 หัวข้อ หัวข้อละ 10 ข้อ เพื่อวัดความรู้ของผู้เข้าร่วมก่อนและหลังการฝึกอบรม โดยแบบทดสอบได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือจากผู้เชี่ยวชาญ หลังจากเก็บคะแนนมาแล้ว จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยสถิติเบื้องต้น ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนแบบทดสอบก่อนและหลังการฝึกอบรมตามลักษณะการแจกแจงของข้อมูล โดยใช้สถิติ Paired t-test สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติ (Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, 2015) และ สถิติ Wilcoxon Signed-Rank Test สำหรับข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงปกติ (Woolson, 2004)

3) ประเมินพฤติกรรม เป็นการประเมินจากการติดตามแปลงเกษตรกร สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานของเกษตรกรในแปลงจริงตามช่วงเวลาสำคัญของการปลูก เพื่อประเมินการนำความรู้และเทคโนโลยีที่ได้รับถ่ายทอดไปปรับใช้จริงในพื้นที่ของตนเอง การประเมินแบ่งออกเป็นรายเดือน สอดคล้องกับระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตั้งแต่ช่วงก่อนปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยว แบบประเมินครอบคลุมกิจกรรมหลักในแต่ละระยะ เช่น การเตรียมดิน การป้องกันศัตรูพืช การใส่ปุ๋ย การกำจัดวัชพืช เกณฑ์การประเมินแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ปฏิบัติ และไม่ปฏิบัติ จากนั้น นำเสนอในรูปแบบร้อยละของเกษตรกรที่ปฏิบัติ

4) ประเมินผลลัพธ์ เป็นการประเมินผลลัพธ์หลังการฝึกอบรม โดยประเมินผลลัพธ์ทางสังคมในด้านการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของเกษตรกรในพื้นที่หลังจากได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยทั้งนี้ไม่มีการประเมินผลผลิต ต้นทุน และรายได้เนื่องจากในปีที่ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีมีปัญหาภัยแล้งทำให้เกษตรกรขายผลผลิตในรูปต้นสดทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบกับปีที่ผ่านมาได้

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในนา หลังการเก็บเกี่ยวข้าว บ้านจำปา อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร มีผลการศึกษาตามขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

1. การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ บ้านจำปา อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร

จากการศึกษาพบว่าเกษตรกรบ้านจำปา เริ่มปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากโครงการสานพลังประชารัฐของรัฐบาลที่ส่งเสริมการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังฤดูทำนา โดยเกษตรกรเริ่มปลูกหลังการเก็บเกี่ยวข้าวนาปีในเดือนธันวาคม และเก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนเมษายน พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายและใช้น้ำในลำห้วยสาธารณะในการเพาะปลูก

ปีการผลิต 2566 เกษตรกรมีการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังฤดูทำนา รวม 80 ไร่ โดยเกษตรกรเลือกใช้พันธุ์ข้าวโพดลูกผสม เนื่องจากลำต้นเตี้ย แข็งแรง สามารถปลูกในระยะถี่ และเก็บเกี่ยวได้ภายใน 90-95 วัน เกษตรกรรวมกลุ่มกันเพื่อจัดซื้อเมล็ดพันธุ์และปุ๋ยผ่านระบบสินเชื่อ เพื่อให้เข้าถึงปัจจัยการผลิตได้สะดวกมากขึ้น การเตรียมดินเริ่มจากการไถกลบตอซังเพื่อทำลายวัชพืชเศษซากพืช และตากดินไว้ 5-6 วัน จากนั้นไถพรวนดินอีกครั้งเพื่อย่อยดินให้ละเอียดขึ้น จากนั้นใช้รถแทรกเตอร์ติดอุปกรณ์ร่อง

แปลงปลูกให้สูงขึ้นเพื่อสะดวกในการให้น้ำ รูปแบบร่องเดี่ยว (Single-row bed) ระยะระหว่างร่อง 80-90 ซม. จากนั้นปลูกข้าวโพด โดยหยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด 1-3 เมล็ดต่อหลุม ระหว่างต้น 25-30 ซม. ลึก 3-5 เซนติเมตร ใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอัตรา 3.0-3.5 กิโลกรัมต่อไร่ เกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมี สูตร 46-0-0, 14-9-21 และ 15-15-15 โดยใช้ในช่วงการเจริญเติบโตระยะต่าง ๆ รวมใช้ปุ๋ยจำนวน 4 ครั้ง และใช้น้ำจากการสูบน้ำเข้าสู่แปลงตามร่องปลูก ยังมีเกษตรกรบางรายที่ใช้น้ำจากสระน้ำส่วนตัว การจัดการวัชพืชในแปลงใช้เครื่องมือโดยแรงงานคน การกำจัดศัตรูพืชเกษตรกรทุกรายใช้สารเคมีในการกำจัดโดยการฉีดพ่นทางใบ การเก็บเกี่ยวผลผลิตใช้เครื่องจักรในการเก็บเกี่ยวเพื่อจำหน่ายในรูปแบบเมล็ด โดยมีบริษัทเอกชนเข้ามารับซื้อในแปลง ซึ่งราคาจำหน่ายขึ้นกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เก็บเกี่ยวผลผลิตเพื่อจำหน่ายในช่วงเดือนเมษายน

ข้อมูลต้นทุนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปีการผลิต 2566 ไม่รวมค่าแรงเกษตรกรเฉลี่ย 6,382.96 บาทต่อไร่ ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยที่ความชื้น 25% คือ 1,009.43 กิโลกรัมต่อไร่ โดยเกษตรกรจำหน่ายในรูปแบบเมล็ดแห้ง เดือนเมษายน พ.ศ. 2566 ราคาจำหน่ายเฉลี่ย 8.5 บาทต่อกิโลกรัม เกษตรกรมีรายได้รวมเฉลี่ย 8,580.17 บาทต่อไร่ และมีรายได้สุทธิเฉลี่ย 2,197.20 บาทต่อไร่

2. การวิเคราะห์ปัญหาและออกแบบแนวทางการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.1 การวิเคราะห์ปัญหาและข้อจำกัดการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้แผนผังก้างปลา โดยเป็นวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุหลักและย่อยของปัญหา พบว่ามี 2 ปัญหาหลัก ดังนี้

1) ปริมาณผลผลิตต่ำ มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิที่สูงเกินไป การขาดประสิทธิภาพของเกษตรกรในการจัดการแปลงปลูก และการระบาดของศัตรูพืช ซึ่งปัจจัยเหล่านี้สะท้อนถึงปัญหา ได้แก่ สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม การควบคุมศัตรูพืชที่ และการขาดองค์ความรู้ที่จำเป็นในการผลิต เป็นต้น (Figure 2)

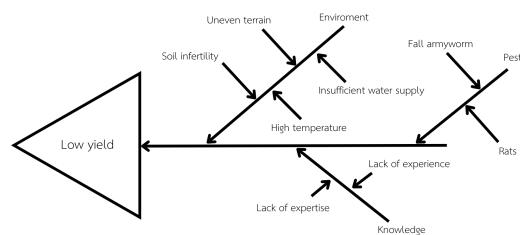


Figure 2 Issue 1: low yield analyzed using a fishbone diagram

2) ต้นทุนการผลิตสูง เกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ราคาของเมล็ดพันธุ์และสารกำจัดศัตรูพืชที่อยู่ในระดับสูง การขาดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นในการเพาะปลูก รวมถึงการเข้าถึงแหล่งเงินทุนที่จำกัด ปัจจัยเหล่านี้สะท้อนถึงปัญหา ได้แก่ ราคาปัจจัยการผลิตที่สูง ความไม่พร้อมด้านเครื่องมือเครื่องจักร และข้อจำกัดด้านแหล่งเงินทุน เป็นต้น (Figure 3)

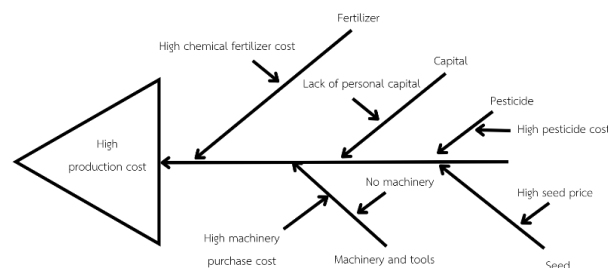


Figure 3 Issue 2: high production cost analyzed using a fishbone diagram

2.2 การกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหา เป็นกระบวนการสำคัญในการจัดการปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้ข้อเสนองานจากการระดมความคิดเห็นของเกษตรกรที่เข้าร่วมการสนทนากลุ่ม พบว่าแนวทางการแก้ไขปัญหในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สามารถจำแนกออกเป็น 2 ด้านหลัก ได้แก่ 1) แนวทางการเพิ่มผลผลิต ประกอบด้วยการส่งเสริมความรู้ด้านการจัดการพื้นที่และกระบวนการผลิต การจัดทำแปลงเรียนรู้เพื่อสาธิตวิธีการที่เหมาะสม การเลือกใช้พันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ การบริหารจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการควบคุมศัตรูพืชโดยใช้วิธีผสมผสาน ทั้งชีววิธีและวิธีกล นอกจากนี้ ยังส่งเสริมให้เกษตรกรได้เรียนรู้ร่วมกันผ่านการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติ 2) แนวทางการลดต้นทุนการผลิต มุ่งเน้นการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเพื่อลดปริมาณการใช้ที่

เกินความจำเป็น การเข้าถึงแหล่งทุนผ่านกองทุนในชุมชนหรือหน่วยงานสนับสนุน รวมถึงการลดการใช้สารเคมีโดยส่งเสริมการจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน (IPM) โดยแนวทางการแก้ไขปัญหาสามารถสรุปได้ ดัง Table 1

2.3 การจัดลำดับความสำคัญและความเร่งด่วน พบว่า เกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการร่วมกันกำหนดให้การถ่ายทอดความรู้ในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และการจัดทำแปลงเรียนรู้มีความเร่งด่วนและสำคัญที่จะต้องดำเนินการ การแก้ปัญหาที่ไม่เร่งด่วนและสำคัญ ได้แก่ การป้องกันและควบคุมศัตรูพืชด้วยวิธีการต่าง ๆ การแก้ปัญหาที่เร่งด่วนและไม่สำคัญ ได้แก่ การหาทุนสนับสนุนทางการเงิน และการแก้ปัญหาที่ไม่เร่งด่วนและไม่สำคัญ ได้แก่ การซื้ออุปกรณ์และเครื่องจักรเพิ่มเติม ดัง Table 2

Table 1 Determining guidelines for problem solving by participating farmers

Problem	Main Causes	Sub-Causes	Solutions
1. Low yield	1.Environment	1.1 Lack of soil fertility	• Transfer knowledge to address production issues
		1.2 Insufficient water supply	• Promote effective water management
		1.3 Uneven terrain	• Transfer knowledge on land management techniques
		1.4 High temperature	• Establish learning plots to demonstrate the practical application of knowledge
	2.Infestation of Pests	2.1 Fall armyworm	• Support the use of climate-resilient crop varieties
		2.2 Rats	• Prevent and control pests using various methods
	3.Lack of production knowledge	3.1 Lack of experience	• Cultural Control and Mechanical Control
		3.2 Lack of expertise	• Transfer knowledge on land management techniques
			• practical applications of knowledge
			• Promote experience sharing among farmers
2. High production Cost	1. Fertilizer	1.1 High chemical fertilizer cost	• Establish learning plots to demonstrate
	2. Capital	2.1 Lack of personal capital	• Organize hands-on training sessions to improve farm management skills
		3.1 High machinery purchase cost	• Applying chemical fertilizer according to soil nutrient level based on soil test analysis
	3. Machinery and tools	3.2 No machinery	• Seek financial support from financial institutions or community funds
		4.1 High pesticide cost	• Request support or rent machinery through government or local organization initiatives
	4. Pesticide	5.1 High seed price	• Support farmer group formation
	5. Seed		• Support farmer group formation to purchase inputs at lower costs

จากการศึกษา พบว่า การใช้กระบวนการมีส่วนร่วมของเกษตรกรทำให้สามารถระบุปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ ได้แก่ ผลผลิตต่ำ และต้นทุนการผลิตสูง และการใช้ Eisenhower Matrix สามารถจัดลำดับความสำคัญและความเร่งด่วนของแนวทางการแก้ไขปัญหาได้ (Table 2) การจัดลำดับความสำคัญและเร่งด่วนด้านการถ่ายทอดความรู้ด้านเทคโนโลยีการผลิตผ่านการฝึกอบรมของเกษตรกร สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Srithithong (2021) ที่พบว่าเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ฤดูแล้งในจังหวัดกำแพงเพชรต้องการการพัฒนาความรู้ในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ผ่านการฝึกอบรมจากเจ้าหน้าที่

Table 2 Prioritization of tasks by using importance and urgency to solve problems by using the Eisenhower Matrix

Priority	Urgent	Not Urgent
Important	• Knowledge transfer on Maize production • Establishment of learning plots to demonstrate the application of knowledge in the field	• Pest prevention and control using various methods
Not Important	• Sourcing financial support	• Purchasing additional equipment and machinery

3. การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิต

ผู้วิจัยและเกษตรกรได้ร่วมกันกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหผ่านกระบวนการฝึกอบรม ซึ่งมีกิจกรรมการบรรยายให้ความรู้ การสาธิต การฝึกปฏิบัติ และการนำความรู้ที่ได้รับอบรมฝึกปฏิบัติในแปลงเรียนรู้ กระบวนการถ่ายทอดมุ่งเน้นการปฏิบัติและแลกเปลี่ยนประสบการณ์ระหว่างวิทยากรกับเกษตรกรและระหว่างเกษตรกรกับเกษตรกร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกษตรกรสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปปรับใช้ในแปลงเกษตรของตนได้ โดยจัดฝึกอบรมให้เกษตรกร 12 รายและมีผู้สนใจเข้าร่วม รวมจำนวนทั้งสิ้น 30 ราย เพื่อเพิ่มความรู้การผลิตให้มีประสิทธิภาพ การฝึกอบรมแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อหลัก หัวข้อละ 3 ชั่วโมง รวมการอบรมทั้งหมด 4 ครั้ง ดำเนินการในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2567 ณ ศาลาประชาคมในหมู่บ้าน วิธีการที่ใช้ในการถ่ายทอดเทคโนโลยี ประกอบด้วย การบรรยายประกอบการฝึกปฏิบัติและแลกเปลี่ยนประสบการณ์ระหว่างเกษตรกรและวิทยากร วิทยากรบรรยายได้แก่ เจ้าหน้าที่จากสำนักงานเกษตรอำเภอสว่างแดนดิน เจ้าหน้าที่กลุ่มอารักขาสำนักงานเกษตรจังหวัดสกลนคร เจ้าหน้าที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพาน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ และหลักสูตรการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากการจัดลำดับความสำคัญและความเร่งด่วน ของเกษตรกร ประกอบด้วย 4 หัวข้อ ดังนี้ 1) การเลือกใช้เทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ถูกต้องและเหมาะสม 2) การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการตรวจวิเคราะห์ดิน 3) โรคและศัตรูพืชที่สำคัญของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และ 4) เรื่องการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Figure 4)

**Figure 4** Technology transfer activities based on the training curriculum in collaboration with farmers.

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตได้นำแนวคิดองค์ประกอบการถ่ายทอดเทคโนโลยีมาใช้ ประกอบด้วยผู้ถ่ายทอดเทคโนโลยี ซึ่งเป็นบุคคลผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญ และมีประสบการณ์ในการถ่ายทอด เทคโนโลยีในการถ่ายทอดซึ่งตรงตามความต้องการของเกษตรกร วิธีการถ่ายทอดเน้นการบรรยายให้ความรู้ สาธิต ฝึกปฏิบัติ และการจัดทำแปลงเรียนรู้เพื่อให้เกิดการเรียนรู้จริงของเกษตรกร โดยเนื้อหาการปรับให้เข้าใจง่าย และสามารถนำไปปรับใช้ได้จริง ทั้งนี้เพราะเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการมีความแตกต่างกันในด้านประสบการณ์ ความพร้อมในการปรับตัว และทรัพยากรที่มี ดังนั้น การออกแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีต้องความเหมาะสมกับเงื่อนไขของเกษตรกร (Department of Agricultural Extension, 2013) โดยมีการสนับสนุนปัจจัยการผลิตที่จำเป็นในการนำไปใช้ในแปลงเกษตรกร เช่น หัวเชื้อจุลินทรีย์ และอุปกรณ์ฉีดพ่นสารชีวภัณฑ์ ซึ่ง Sseguya et al. (2021) พบว่า การจัดทำแปลงเรียนรู้ร่วมกับการสนับสนุนปัจจัยการผลิต (Small packs) มีส่วนสำคัญที่จะทำให้เกษตรกรยอมรับเทคโนโลยี ผู้วิจัยประเมินผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยการฝึกอบรม โดยประเมินผลการเรียนรู้ โดยการทดสอบก่อนและหลังฝึกอบรมในแต่ละหัวข้อ ประเมินด้านพฤติกรรมจากการติดตามในแต่ละช่วงการดำเนินกิจกรรม และประเมินปฏิกิริยา และผลลัพธ์เมื่อสิ้นสุดการดำเนินโครงการ (Figure 5) โดยผู้วิจัยมีการติดตามเป็นระยะเพื่อให้คำปรึกษาตลอดช่วงเวลาที่ทำกรวิจัย ทั้งนี้เพราะกระบวนการ

หนุนเสริมทางวิชาการอย่างต่อเนื่องจากนักส่งเสริมแก่เกษตรกรเป็นแนวทางการเปลี่ยนแปลงวิธีคิดและวิธีปฏิบัติ ช่วยให้เกษตรกรพึ่งพาตนเองและเกิดความยั่งยืนในกระบวนการผลิต (Pompranee, 2015)

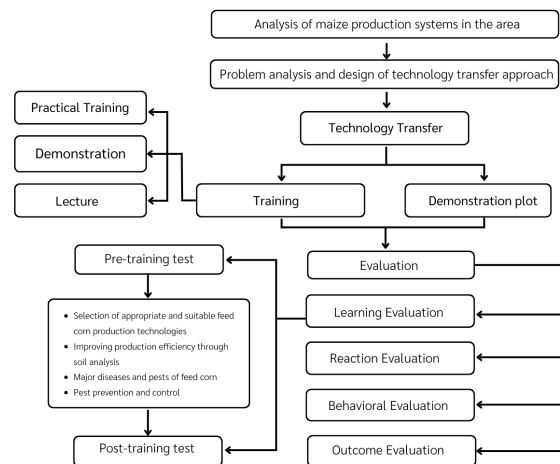


Figure 5 Flowchart of the technology transfer process and evaluation in the study.

4. การประเมินผลการถ่ายทอดเทคโนโลยี

การประเมินผลหลังการถ่ายทอดเทคโนโลยี มีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์และพัฒนาแนวทางที่ช่วยเสริมสร้างศักยภาพและความรู้ของเกษตรกร บทความนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์ทัศนคติ ความรู้ พฤติกรรม และผลลัพธ์จากการนำความรู้ที่ได้รับไปปรับใช้ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดของเกษตรกร เน้นถึงความสำคัญของการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในกระบวนการพัฒนาและการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง การประเมินผลประกอบด้วยประเด็น ดังนี้

4.1 ความคิดเห็นของเกษตรกร

การประเมินความคิดเห็นของเกษตรกร พบว่า ระดับความคิดเห็นเฉลี่ยผลคะแนนอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุดทุกหัวข้อ โดยประเด็นที่เกษตรกรเห็นด้วยมากที่สุด คือ เกษตรกรจะแนะนำให้เกษตรกรรายอื่นเข้าร่วมโครงการ (ค่าเฉลี่ย 4.83) การฝึกอบรมสอดคล้องกับปัญหาของเกษตรกร (ค่าเฉลี่ย 4.75) สามารถติดต่อเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเพื่อขอคำแนะนำในอนาคต (ค่าเฉลี่ย 4.67) และสนใจเข้าร่วมกิจกรรมในอนาคต (ค่าเฉลี่ย 4.75) ซึ่งสะท้อนว่าเกษตรกรมีมุมมองที่ดีต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่จัดขึ้น สามารถสร้างความมั่นใจให้แก่เกษตรกรในการนำความรู้ไปปฏิบัติในแปลงตนเอง (ค่าเฉลี่ย 4.25) และถ่ายทอดความรู้ไปยังเกษตรกรรายอื่น (ค่าเฉลี่ย 4.50) พร้อมทั้งมีความมั่นใจในการวิเคราะห์ปัญหาในการผลิตได้เพิ่มขึ้นหลังจากฝึกอบรม (ค่าเฉลี่ย 4.25) (Table 3) ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะประเด็นที่เกษตรกรได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีตรงกับปัญหาและความต้องการของเกษตรกร

Table 3 Evaluation of farmers' opinions toward technology transfer project (N=12)

No.	Details	Average score	Meaning
1	The training can effectively address Maize-production issues that align with the problems you face.	4.75	Highest
2	You can apply the knowledge gained from the training to livestock corn production in your area.	4.25	High
3	The knowledge from the training helps you reduce production costs and increase your income in Maize-production.	4.25	High
4	You feel confident in sharing or exchanging your experience in livestock corn production with others interested in the topic.	4.50	High
5	If there are livestock corn production issues in the future, you can contact or coordinate with relevant officials for advice.	4.67	Highest
6	You feel more confident in analyzing and solving livestock corn production problems compared to before joining the program.	4.25	High
7	You are willing to participate in future training activities if they are organized.	4.67	Highest
8	You will recommend other farmers to join the program in the future.	4.83	Highest
9	Overall satisfaction with this program.	4.75	Highest

4.2 ความรู้ของเกษตรกร

การทดสอบคะแนนก่อนและหลังการฝึกอบรมเพื่อประเมินผลการเรียนรู้ของเกษตรกรแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) ข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ผลการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลพบว่า แบบทดสอบความรู้ในหัวข้อที่ 1 และหัวข้อที่ 2 มีการแจกแจงแบบปกติ จึงใช้สถิติ Paired t-test ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนนก่อนและหลังฝึกอบรม ผลการวิเคราะห์พบว่า เกษตรกรจำนวน 12 ราย มีคะแนนความรู้ก่อนและหลังฝึกอบรมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01 (Table 4)

2) ข้อมูลที่ไม่ได้แจกแจงแบบปกติ (Non-parametric data) สำหรับหัวข้อที่ 3 และหัวข้อที่ 4 ซึ่งข้อมูลไม่เป็นไปตามการแจกแจงแบบปกติ การวิเคราะห์จึงใช้สถิติ Wilcoxon Signed-Rank Test ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า p-value เท่ากับ 0.0178 และ 0.0218 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าคะแนนก่อนและหลังการฝึกอบรมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (Table 5)

คะแนนแบบทดสอบการฝึกอบรมชี้ให้เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สะท้อนว่าโครงการฝึกอบรมสามารถเพิ่มพูนความรู้ในการผลิตข้าวโพดของเกษตรกรได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เน้นการให้ความรู้ สาธิต และลงมือปฏิบัติจริงทำให้เกษตรกรเข้าใจเนื้อหาได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Kuhaswonvetch et al. (2024) ซึ่งพบว่าความรู้ของผู้นำชุมชนในการจัดทำแผนการจัดการน้ำก่อนและหลังเรียนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เพราะการได้ลงมือปฏิบัติจริง ทั้งนี้การลงมือปฏิบัติจริงสอดคล้องกับแนวคิดการเรียนรู้สำหรับผู้ใหญ่ ที่มองว่าผู้ใหญ่จะเรียนรู้ได้ดีที่สุดเมื่อสามารถนำความรู้ไปใช้ในสถานการณ์จริง โดยเฉพาะในกรณีของเกษตรกรที่มีประสบการณ์เดิม การได้รับความรู้ใหม่ช่วยสร้างการเรียนรู้ที่มีความหมายและต่อยอดความรู้ได้ และเนื่องจากผู้ใหญ่จะมีความพร้อมในการเรียนรู้มากขึ้นเมื่อเห็นความสำคัญหรือประโยชน์ของเนื้อหานั้น ๆ โดยการเรียนรู้แบบผู้ใหญ่เน้นให้ผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง เคารพในประสบการณ์ของผู้เรียน และส่งเสริมการมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้อย่างแท้จริง (Loeng, 2018)

Table 4 Comparison of the mean and standard deviation of farmers' test scores before and after training, analyzed using the paired t-test

Topic	Pre-Training		Post-Training		t	df	p
	M	SD	M	SD			
1. Appropriate technology for Maize-production	5.8333	1.7494	8.4166	1.2401	4.6399	11	0.0007**
2. Enhancing efficiency in corn production for cost reduction by application of fertilizer according to soil analysis	5.3636	2.3159	9.3560	3.0587	4.6065	11	0.0007**

* p<0.01

Table 5 Comparison of the mean and standard deviation of farmers' test scores before and after training, analyzed using the Wilcoxon Signed-Rank Test

Topic	Pre-Training			Post-Training			Z	p
	N	M	SD	N	M	SD		
1. Major diseases and pests in corn production	12	6.2500	0.7537	12	7.6660	1.2309	-2.369	0.0178*
2. Disease and pest prevention and control in feed corn	12	6.3333	1.4974	12	7.8333	0.7177	-2.293	0.0218*

* p<0.05

4.3 พฤติกรรมของเกษตรกร

การฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดแก่เกษตรกร มีความสำคัญในการพัฒนาการผลิตและการจัดการด้านการเกษตร การติดตามการนำความรู้ไปปฏิบัติในแปลงตนเองของเกษตรกรในประเด็นต่างๆ พบว่า เกษตรกรนำเทคโนโลยีการปลูกแบบใหม่ไปปฏิบัติ 100% เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังเข้าร่วมโครงการ (Table 6 และ Figure 6) ประกอบด้วย การเตรียมดินโดยการตากดินก่อนปลูก และการใช้เครื่องปลูกเพื่อให้ได้ระยะปลูกที่เหมาะสม การสำรวจแปลง และการจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน โดยใช้เชื้อแบคทีเรียบาซิลลัส ทูริงจिएนซิส (*Bacillus thuringiensis*) เชื้อราเมตาไรเซียม (*Metarhizium anisopliae*) สารเคมีอีมาเมกติน (Emamectin benzoate) และการผลิตกับดักล่อแมลง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าเกษตรกรในพื้นที่ที่สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปปฏิบัติในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จริง แสดงให้เห็นถึงวิธีการมีส่วนร่วมในการระบุปัญหา เสนอวิธีการแก้ไขปัญหา และกระบวนการในการถ่ายทอดเทคโนโลยีนำไปสู่การนำองค์ความรู้ไปใช้ได้จริงในสภาพแวดล้อมของเกษตรกร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Maleehuan and Panpakdee (2023) ซึ่งพบว่ากระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยการมีส่วนร่วมของเกษตรกรสามารถปรับเปลี่ยนวิธีปฏิบัติของเกษตรกรได้ ทำให้เกษตรกรยอมรับเทคโนโลยีใหม่ๆ โดยเฉพาะการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้วยวิธีการอบรม ฝึกปฏิบัติ และการเรียนรู้ผ่านแปลงสาธิต นอกจากนี้ อาจเป็นเพราะการติดตามให้คำปรึกษากับเกษตรกรอย่างต่อเนื่องของเจ้าหน้าที่ ทำให้สามารถสะท้อนความคิดและร่วมกันปรับปรุงเทคโนโลยีให้เหมาะสมกับสถานการณ์จริงของเกษตรกร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chaipiriyakit et al. (2019) ซึ่งพบว่าปัจจัยที่สำคัญต่อการยอมรับเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร

อย่างไรก็ตาม ในประเด็นการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน พบว่ามีเพียงเกษตรกร 1 ราย นำไปปฏิบัติ (Table 5) เนื่องจากเกษตรกรรายอื่นแสดงความคิดเห็นว่า กระบวนการมีความซับซ้อน เป็นเรื่องใหม่และยุ่งยากสำหรับเกษตรกร เกษตรกรไม่คุ้นเคยกับวิธีการนี้ ยังขาดความมั่นใจว่าการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างหรือคุ้มค่าหรือไม่ สะท้อนให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินจำเป็นต้องมีการทดลองในระดับแปลง เพื่อชี้ให้เห็นว่าได้ผลจริงและเกษตรกรมีความต้องการส่งเสริมสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอย่างจริงจังและต่อเนื่อง

Table 6 Farmers' practices by applying knowledge from the training in the fields

Topic	Details of Practices	Farmer's Practice Percentage	
		Before joining the training	After joining the training
1. Appropriate technology for Maize-production	1. Soil preparation 2. Optimum planting density by using planters	0	100.00
2. Enhancing efficiency in corn production for cost reduction by application of fertilizer according to soil analysis	1. Soil analysis	0	8.33
3. Major diseases and pests in corn production	1. Pest situation assessment based on scientific principles	0	100.00
4. Disease and pest prevention and control in feed corn	1. Integrated pest management	0	100.00

**Figure 6** Adopted technologies of farmers participating in the project. Preparation of land according to scientific principles for crop cultivation (A), soil analysis conducted (B), production of insect traps (C), and pest situation assessment based on scientific principles (D)

4.4 ผลลัพธ์การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิต

หลังจากถ่ายทอดเทคโนโลยีมีการแลกเปลี่ยนการเรียนรู้ระหว่างเกษตรกรในพื้นที่ โดยกิจกรรมได้สร้างพื้นที่สำหรับการเรียนรู้และแบ่งปันประสบการณ์ ระหว่างเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการและรายอื่นผ่านแปลงเรียนรู้ และมีเกษตรกรต้นแบบที่คนในชุมชนหันมาปรึกษาและนำความรู้ไปใช้ในแปลงจำนวน 1 คน หรือคิดเป็น 8.33% ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวถือเป็นการสร้างกลไกสำคัญในพื้นที่ โดยเป็นการสร้างพื้นที่การเรียนรู้ (Learning platform) และเกษตรกรต้นแบบสำหรับเป็นผู้ถ่ายทอดความรู้ ทั้งนี้เพราะในพื้นที่ยังไม่มีกรรวมกลุ่มเกษตรกรที่ชัดเจน การเกิดกลไกดังกล่าวจะทำให้เกิดการการเรียนรู้ร่วมกันของเกษตรกรในพื้นที่ ส่งผลให้เกิดความยั่งยืนในการจัดการแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยตัวเกษตรกร และเครือข่ายเกษตรกรในพื้นที่ที่ประสบปัญหาเดียวกัน ซึ่งหากได้รับการหนุนเสริมความเข้มแข็งจะสามารถพัฒนาให้สอดคล้องกับแนวคิด Communities of Practice (CoP) ซึ่งให้ความสำคัญกับการแลกเปลี่ยนความรู้ผ่านเพื่อนร่วมอาชีพมากกว่าการเรียนรู้จากเจ้าหน้าที่ เนื่องจากความรู้ที่ได้จากการแลกเปลี่ยนใน CoP เป็นความรู้ที่เกิดจากประสบการณ์ตรง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง และสอดคล้องกับบริบทของแต่ละพื้นที่อย่างแท้จริง (Hayden et al., 2018) โดยกระบวนการในการขยายผลจากเกษตรกรต้นแบบ อาจประยุกต์ใช้แนวคิด Champion Network Model ซึ่งเน้นการถ่ายทอดความรู้จากเกษตรกรสู่เกษตรกร โดยใช้ผู้นำเทคโนโลยีไปใช้ได้สำเร็จเป็นผู้นำเพื่อส่งผลต่อเครือข่าย โดยในการวิจัยนี้ อาจเริ่มต้นด้วยการพัฒนาเกษตรกรต้นแบบ โดยจัดฝึกอบรมด้านความรู้ และวิธีการที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม พร้อมทั้งทักษะการสื่อสาร การเป็นผู้อำนวยความสะดวก (Facilitator) หลักการเรียนรู้ของผู้ใหญ่และเทคนิคการถ่ายทอดความรู้ รวมทั้งสนับสนุนวัสดุและทรัพยากรในการสาธิต จากนั้นจัดการสาธิตในแปลงเกษตรกรต้นแบบโดยมีการบันทึกข้อมูลทางด้านการเจริญเติบโตของพืช และข้อมูลเศรษฐกิจต่างๆ โดยมีแปลงเปรียบเทียบวิธีปฏิบัติเกษตรกรกับวิธีปฏิบัติใหม่ จากนั้นการวิเคราะห์เครือข่ายสังคมที่มีอยู่ แล้วจัดกิจกรรมการเรียนรู้จากแปลงเกษตรกรต้นแบบโดยเน้นผู้เข้าร่วมกิจกรรมจากเพื่อนบ้านหรือคนรู้จักกับเกษตรกรต้นแบบ การจัดการเรียนรู้ในแปลงเกษตรกรต้นแบบเน้นจัดให้มีการอภิปรายกลุ่ม และสะท้อนคิด โดยทั้งนี้ต้องมีระบบติดตาม และสนับสนุนทั้งทางด้านเทคนิค และสิ่งจูงใจ โดยดำเนินงานกับหน่วยงานที่รับผิดชอบ เช่น กรมส่งเสริมการเกษตร ทั้งนี้เพราะการตัดสินใจยอมรับเทคโนโลยีใหม่มักเกิดจากการได้รับอิทธิพลจากสมาชิกในครอบครัวหรือเพื่อน (Bandiera and Rasul,

2006) โดยเฉพาะเพื่อนบ้านที่ประสบความสำเร็จ ซึ่งเป็นกลไกการยอมรับผ่านการเรียนรู้ทางสังคม (Social learning) (Conley and Udry, 2010)

จากการวิจัยพบว่าการถ่ายทอดเทคโนโลยีในประเด็นการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน มีเกษตรกรยอมรับเพื่อนำไปใช้เพียง 1 ราย แสดงให้เห็นว่า สำหรับเกษตรกรส่วนใหญ่เทคโนโลยีดังกล่าวต้องใช้ระยะเวลาเรียนรู้ที่มากกว่าการฝึกอบรมเพียงครั้งเดียว เนื่องจากเป็นองค์ความรู้ที่ซับซ้อน ต้องอาศัยความเข้าใจเชิงลึก การสังเกตผลลัพธ์ในระยะยาว และการฝึกปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง ดังความคิดเห็นของเกษตรกรที่กล่าวว่า “ควรมีการอบรมเพิ่มเติม เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจและทักษะในการลงมือทำ อาจต้องมีการอบรมซ้ำหรือขยายเวลาให้มากขึ้น” ข้อค้นพบจากการวิจัยในครั้งนี้สอดคล้องกับ Nindam et al. (2018) ซึ่งรายงานว่าการนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับพื้นที่มาใช้ควบคู่กับการพัฒนาเกษตรกรให้มีความพร้อมในการเรียนรู้ และการสนับสนุนอย่างต่อเนื่องจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นการจัดอบรมตามความต้องการของชุมชน การส่งเสริมการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการดำเนินกิจกรรม และการติดตามประเมินผลอย่างสม่ำเสมอเป็นแนวทางสำคัญที่จะทำให้เกิดความยั่งยืนในการพัฒนา

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มีข้อจำกัดในการวิจัยเนื่องจากการเป็นศึกษาในเกษตรกรจำนวนน้อย และศึกษาเพียงพื้นที่เดียว ดังนั้น จึงควรเพิ่มพื้นที่ในการศึกษาไปยังพื้นที่อื่นที่มีบริบทหลากหลาย เพื่อให้การขยายผลครอบคลุมเกษตรกรหลายพื้นที่ อีกทั้งยังเป็นการเปรียบเทียบกระบวนการที่ใช้ นอกจากนี้ ควรเพิ่มการดำเนินโครงการเป็น 2-3 ฤดูปลูก พร้อมทั้งมีการติดตามผลเป็นช่วงๆ รวมทั้งการประเมินการยอมรับเทคโนโลยีในระยะยาวหลังเสร็จสิ้นการฝึกอบรม เพื่อประเมินความยั่งยืนของพฤติกรรมกรยอมรับเทคโนโลยี พร้อมทั้งมีการประเมินข้อมูลทางเศรษฐกิจ เช่น ต้นทุน และกำไร ก่อนและหลังการดำเนินการโครงการโดยใช้รูปแบบผลผลิตแบบเดียวกัน ซึ่งจะเสริมสร้างความมั่นใจในการนำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้จริงของเกษตรกร ส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังฤดูทำนา และเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร

สรุปผลการศึกษา

การแก้ไขปัญหาการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ศึกษาดำเนินการภายใต้กระบวนการแบบมีส่วนร่วม เริ่มจากการศึกษาข้อมูลการผลิตและการวิเคราะห์ปัญหาร่วมกับเกษตรกร โดยใช้เครื่องมือ Fishbone Diagram เพื่อช่วยระบุสาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ จากนั้นจึงจัดลำดับความสำคัญของแนวทางการแก้ไขด้วย Eisenhower Matrix ซึ่งช่วยกำหนดแนวทางพัฒนาที่สอดคล้องกับความต้องการและระดับความสำคัญ ความเร่งด่วนของปัญหาในพื้นที่ การถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ตรงกับปัญหาและความต้องการของเกษตรกร ดำเนินการผ่านกิจกรรมที่หลากหลาย ได้แก่ การบรรยาย การสาธิต การฝึกปฏิบัติ และการเรียนรู้ในแปลงสาธิต การจัดรูปแบบการเรียนรู้ที่หลากหลายเช่นนี้เอื้อให้เกิดความเข้าใจเชิงลึกและประสบการณ์ตรงของเกษตรกร พร้อมทั้งเปิดโอกาสให้เกิดการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและประสบการณ์ระหว่างเกษตรกรกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาองค์ความรู้ร่วมกัน และสนับสนุนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีให้เหมาะสมกับบริบทเฉพาะของพื้นที่ การออกแบบกระบวนการเรียนรู้ที่เน้นการมีส่วนร่วม ส่งผลต่อการส่งเสริมการเรียนรู้แบบผู้ใหญได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลการประเมินพบว่าเกษตรกรมีระดับความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการอบรม และสามารถนำเทคโนโลยีที่เรียนรู้ไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ ได้แก่ การจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน การเตรียมดิน และการกำหนดระยะปลูกที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีที่มีลักษณะซับซ้อนและต้องการความเข้าใจในเชิงเทคนิค เช่น การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ยังมีการนำไปใช้ในระดับต่ำเนื่องจากเกษตรกรยังไม่เห็นผลลัพธ์ที่ชัดเจนและต้องการการสนับสนุนอย่างใกล้ชิดจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้กระบวนการมีส่วนร่วมยังมีบทบาทสำคัญในการสร้างผู้นำทางธรรมชาติในชุมชน ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และเป็นแรงผลักดันในการสร้างความร่วมมือระหว่างเกษตรกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อพัฒนาการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอนาคต โดยสามารถเริ่มขยายผลไปยังเกษตรกรรายอื่นผ่านเครือข่ายทางสังคมที่ใกล้ชิดกับเกษตรกรต้นแบบ และใช้แนวทางการเรียนรู้ทางสังคมเป็นเครื่องมือเพื่อขับเคลื่อนไปสู่เกษตรกรรายอื่นๆ ต่อไป

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเกษตรกรบ้านจำปา อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร และเจ้าหน้าที่สำนักงานเกษตรอำเภอสว่างแดนดิน ที่ให้ความอนุเคราะห์ และความร่วมมือในการวิจัยเป็นอย่างดี และขอขอบคุณ กรมส่งเสริมการเกษตรและมหาวิทยาลัยขอนแก่น

ภายใต้การร่วมมือทางวิชาการ ว่าด้วยการพัฒนาวิชาการ ด้านการเรียนการสอน การวิจัย และการส่งเสริมการเกษตรที่เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสศึกษาเรียนรู้เพิ่มเติมในสาขาส่งเสริมและพัฒนากาเกษตร คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และสมมติฐาน: กนกวรรณ ยะหัวดง, อรุณี พรหมคำบุตร. การปฏิบัติการวิจัย: กนกวรรณ ยะหัวดง. การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: กนกวรรณ ยะหัวดง. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: กนกวรรณ ยะหัวดง, อรุณี พรหมคำบุตร. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: กนกวรรณ ยะหัวดง, อรุณี พรหมคำบุตร. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: กนกวรรณ ยะหัวดง, อรุณี พรหมคำบุตร.

เอกสารอ้างอิง

- Atchariyamontree, A. (2017). Participatory action research and demonstration plots for non-toxic indigenous vegetable production of Choe Lae community farmer group, Mae Taeng District, Chiang Mai Province. *Journal of Community Development and Life Quality*, 5(1), 118-128. (in Thai).
- Bandiera, O., & Rasul, I. (2006). Social networks and technology adoption in northern Mozambique. *The Economic Journal*, 116(514), 869-902.
- Boonruang, A., & Choenkwan, S. (2022). Development for vegetable production and supply to modern trade stores of the commercial vegetable growers group in Sa Kaeo Sub-District, Khon Kaen Province. *Area Based Development Research Journal*, 14(2), 103-121. (in Thai).
- Chaipiriyakit, A., Fongmul, S., Kruekum, P., Jeerat, P., Vetchasitniraphai, N., & Khamtavee, T. (2019). Factors affecting adoption of corn planting technology of farmers in Phawo sub-district, Mae Sot district, Tak province. *Journal of Agricultural Production*, 1(1), 43-53. (in Thai).
- Columbia University School of Professional Studies. (2023). *The Eisenhower Matrix*. Retrieved from: <https://sps.columbia.edu/sites/default/files/2023-08/Eisenhower%20Matrix.pdf>.
- Conley, T. G., & Udry, C. R. (2010). Learning about a new technology: Pineapple in Ghana. *American Economic Review*, 100(1), 35-69.
- Department of Agricultural Extension. (2013). *Agricultural Extension Officer's Operations Manual for Agricultural Technology Transfer*. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital. (2015). *Basic Statistics Manual*, Mahidol University. Retrieved from: [https://www.rama.mahidol.ac.th/ceb/sites/default/files/public/pdf/Short_Course/2015/\(12\)%20Manual%20Basic_statistics.pdf](https://www.rama.mahidol.ac.th/ceb/sites/default/files/public/pdf/Short_Course/2015/(12)%20Manual%20Basic_statistics.pdf). (in Thai).
- Hayden, J., Rocker, S., Phillips, H., Heins, B., Smith, A., & Delate, K. (2018). The importance of social support and communities of practice: Farmer perceptions of the challenges and opportunities of integrated crop-livestock systems on organically managed farms in the Northern U.S. *Sustainability*, 10(12), 4606. <https://doi.org/10.3390/su10124606>.
- Joshi, A., Kale, S., Chandel, S., & Pal, D. K. (2015). Likert scale: Explored and explained. *British Journal of Applied Science & Technology*, 7(4), 396-403. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14975>.
- Kirkpatrick, J. D., & Kirkpatrick, W. K. (2016). Part 1: Basic of evaluation. In K. Luecker (Ed.), *Kirkpatrick's Four Levels of Training Evaluation*, pp. 1-36. ATD press.
- Kittikongnapang, R. (2022). *Changes in Forest Areas and Maize Cultivation Areas in the Upper Northern Region of Thailand from 2002 to 2022*. Retrieved from: https://www.greenpeace.org/static/planet4-thailand-stateless/2022/09/78e30562-not-so-amazing-maize_compressed.pdf. (in Thai).
- Kuhaswonvetch, S., Luenam, L., & Thanmatiwat, D. S. (2024). Participative learning in the community on planning the water management for agriculture in Kopho Subdistrict, Pakphli District, Nakhonnayok Province. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 42(3), 352-362. (in Thai).
- Loeng, S. (2018). Various ways of understanding the concept of andragogy. *Cogent Education*, 5(1), 1-15.
- Maleehuan, P., & Panpakdee, C. (2023). Technology transfer of participatory biological pest management of vegetable growers' group, Krasang Subdistrict, Krasang District, Buri Ram Province. *Journal of Community Development and Life Quality*, 12(2), 128-140. (in Thai).
- National Health Service. (2009). *Service Improvement and Redesign Tools - Cause and Effect (Fishbone)*. Retrieved from: <https://aqua.nhs.uk/wp-content/uploads/2023/07/qsir-cause-and-effect-fishbone.pdf>.
- Nindam, T., Kaveeta, R., & Mungkung, N. (2018). Sustainability of farmers' career in Krathum Baen District, Samut Sakhon Province. *Dusit Thani College Journal*, 12(3), 517-531.

- Office of Agricultural Economics (2022). **Agricultural Statistics of Thailand 2022**. Retrieved from: https://www.oae.go.th/assets/portals/1/ebookcategory/95_yearbook2565/. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics (2023). **Agricultural Statistics of Thailand 2023**. Retrieved from: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/journal/2567/statistic2566.pdf>. (in Thai).
- Phatikae, A., & Pathumcharoenwattana, W. (2018). **Action Research for Promoting Learning to Solve Product Management Problems of Farmers**. Department of Lifelong Education, Faculty of Education, Chulalongkorn University, Bangkok. (in Thai).
- Promtee, S., Seerasarn, N., & Keowan, B. (2022). Extension guidelines of maize production for farmers in Kabinburi District, Prachinburi Province. **Journal of Roi Kaensarn Academi**, 7(10), 333–347.
- Pompranee, P. (2015). Development of innovation and knowledge of agriculture appropriate technology by sufficiency economy philosophy transfer to farmers in the community, Nakhon Pathom. **Journal of Community Development Research Humanities and Social Sciences**, 8(1), 134-149. (in Thai).
- Srithithong, K. (2021). **Extension of Dry-Season Maize Production for Farmers in Kamphaeng Phet Province**. Master's Thesis. Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai).
- Sseguya, H., Robinson, D. S., Mwangi, H. R., Flock, J. A., Manda, J., Abed, R., & Mruma, S. O. (2021). The impact of demonstration plots on improved agricultural input purchase in Tanzania: Implications for policy and practice. **PLOS ONE**, 16(1), 1-16.
- Subroengsakul, T., Keowan, B., & Sanserm, S. (2019). Extension of maize cultivation in the dry season according to the management of agricultural economic zones for important agricultural products in Prompiram District, Phitsanulok Province. In **Proceeding of the 9th STOU National Research Conference**, pp. 1229-1243. Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai).
- Suk-ueng, K., & Pa-lha, C. (2021). Maize farmers' decisions in Nan district, Nan province. **Journal of Social Development**, 23(1), 103-107. (in Thai).
- Taranart, R. (2024). **Amount of Burning in Northern Agricultural Areas under the Control of the Private Sector and Farmers**. Retrieved from: https://www.ocsc.go.th/?attachment_id=88782. (in Thai).
- Tongduan, S., Isarangkool Na Ayutthaya, S., & Borisutdhi, Y. (2024). Technology transfer for off-season Mahachanok mango production of Nong Bua Fruit Tree and Mango Community Enterprise, Kalasin Province, Thailand. **Area Based Development Research Journal**, 16(3), 208–223.
- Woolson, R. F. (2004). Wilcoxon signed-rank test. In R. D. Berdan (Ed.), **Encyclopedia of Clinical Trials**. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780471462422.eoct979>.

ผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อความงอกและ
ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์พริกหวาน

Effect of Seed Priming with CaCl_2 Solution on Germination and
Vigor of Sweet Pepper Seeds

จันทร์เจตจำ สุริยะไชย¹, เบญญา มะโนชัย^{1,2} และพิชิตรา แก้วสอน^{2*}

Janjerdjia Suriyachai¹, Benya Manochai^{1,2} and Pichittra Keawsorn^{2*}

Received date: 22 เม.ย. 68 Revised date: 13 มิ.ย. 68 Accepted date: 16 มิ.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.267099>

บทคัดย่อ

เมล็ดพันธุ์พริกหวานมักพบปัญหาความงอกต่ำและไม่สม่ำเสมอ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์พริกหวาน การทดลองวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ประกอบด้วย 5 ทรีตเมนต์ ได้แก่ เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ reverse osmosis สารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10, 30 และ 50% เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง แล้วลดความชื้นเมล็ดลงจนเท่ากับความชื้นเริ่มต้นประมาณ 7% ผลการทดลองพบว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยทุกวิธีไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การมีรากงอกและเปอร์เซ็นต์ความงอกเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ แต่เมล็ดที่ผ่านเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีเวลาในการงอกรากถึง 50% หรือถึงครึ่งหนึ่ง มีจำนวนวันที่มีรากงอก มีเวลาในการงอกถึง 50% หรือถึงครึ่งหนึ่ง และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตาม การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10% มีแนวโน้มทำให้เมล็ดมีความงอกสูงที่สุด 84.00% ใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% เร็ว 5.81 วัน มีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็ว 6.48 วัน ใช้เวลาในการงอกถึง 50% เร็วที่สุด 11.51 วัน และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วที่สุด 12.20 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีความงอก 74.00% ใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% ช้า 6.84 วัน มีจำนวนวันที่มีรากงอกช้า 7.45 วัน ใช้เวลาในการงอกถึง 50% ช้า 12.63 วัน และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกช้า 12.71 วัน

คำสำคัญ: การไพร้มเมล็ดพันธุ์ ความเร็วในการงอก คุณภาพเมล็ดพันธุ์ เวลาเฉลี่ยในการงอก

Abstract

Sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds often have problems concerning low germination and non-uniform germination. This study aimed to investigate the effects of seed priming with calcium chloride (CaCl_2) solutions in different concentrations on germination and vigor of sweet pepper seeds. The experiment was designed in a completely randomized design (CRD) with five treatments, including non-primed seeds (control), seed priming with reverse osmosis water (hydropriming), seed priming with CaCl_2 solutions at the concentrations of 10, 30 and 50% for 72 hours. After priming, seed moisture was reduced to the initial level of approximately 7%. The results showed that all priming methods had no effect on percentages of radicle emergence and germination, when compared with non-primed seeds. However, primed seeds had time to reach 50% or a half of radicle emergence (T_{50RE}), days to emergence (DTE), time to reach 50% or a half of germination (T_{50}) and mean germination (MGT) faster than non-primed seeds. However, seed priming with 10% CaCl_2 solution tended to have the highest germination of 84.00%. In addition, primed seeds had a high speed of T_{50RE} at 5.81 days, DTE at 6.48 days, T_{50} at 11.51 days and MGT at 12.20 days when compared with non-primed seeds had the germination of 74%, slow T_{50RE} of 6.84 days, DTE of 7.45 days, T_{50} of 12.63 days and MGT of 12.71 days.

Keywords: seed priming, speed of germination, seed quality, mean germination time

¹ สาขาวิชาเกษตรเขตร้อน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

² ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹ Tropical Agriculture Program, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

² Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

* Corresponding author: pichittra.k@ku.th

คำนำ

พริกหวาน (*Capsicum annuum* L.) เป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในระดับโลก นิยมปลูกในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน (Serrano et al., 2010) พริกหวานเป็นที่นิยมเนื่องจากป้องกันโรคบางชนิดได้ เช่น หลอดเลือดหัวใจ ช่วยชะลอการชรา ลดคอเลสเตอรอล และช่วยเจริญอาหาร (Marín et al., 2004) ในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีการปลูกพริกหวานทั้งสิ้น 1,630 ไร่ ผลผลิต 2,112 ตัน อีกทั้งเมล็ดพันธุ์พริกหวานที่เป็นเมล็ดพันธุ์ลูกผสมมีมูลค่าสูงมาก ทำให้เกษตรกรต้องใช้ต้นทุนสูงในการผลิตพริกหวาน และต้องซื้อเมล็ดพันธุ์ใหม่ทุกครั้งที่จะปลูกรอบใหม่ (Duangyam, 2021) แต่เมล็ดพันธุ์มักพบปัญหาความงอกและความสม่ำเสมอในการงอกต่ำ อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ไม่เหมาะสมทำให้เมล็ดพักตัว (Basavaraja et al., 1998) โดยการพักตัวของเมล็ดพริกอาจเกิดตั้งแต่เมล็ดพัฒนาอยู่บนต้นแม่ (Randle and Honma, 1981) มีสาเหตุการพักตัวแบบสรีรวิทยา (physiological dormancy) หรือมีสารยับยั้งการงอกภายในเอ็มบริโอ (Baskin and Baskin, 2020; Bewley and Black, 1994; Chichaghere et al., 2021; Munatsi et al., 2024) จากปัญหาคงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์พริกหวานอาจแก้ไขได้โดยการกระตุ้นการงอก เช่น การแช่เมล็ดในน้ำหรือสารเคมี (McDonald, 2000) ซึ่งวิธีการนี้จำเป็นต้องนำเมล็ดไปปลูกทันที ไม่ควรเก็บรักษาเนื่องจากเมล็ดได้รับความชื้นมากเกินไปจนบางครั้งเมล็ดมีรากปรากฏแล้ว อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้วิธีการกระตุ้นการงอกโดยทำให้เมล็ดแห้งเพื่อเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานาน ๆ จึงเหมาะสมในทางธุรกิจ เนื่องจากสะดวกในการบรรจุเมล็ดในภาชนะ การขนส่ง การวางจำหน่าย และรอการนำไปปลูกต่อไป ดังนั้น “การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์” (seed priming) จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในทางธุรกิจ เพื่อเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ ทำให้เมล็ดงอกได้เร็วอย่างสม่ำเสมอ (Parera and Cantiffe, 1994) เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ทางสรีรวิทยาให้ดีขึ้น เพื่อให้เมล็ดพัฒนาการงอกให้อยู่ในระดับเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน (Bewley and Black, 1982) โดยเมล็ดจะดูดซับความชื้นจนเพียงพอต่อการงอกและเพียงพอในการกระตุ้นการงอกทางสรีรวิทยา แต่ยังไม่ถึงระดับที่ทำให้รากแรกเกิด (radicle) ปรากฏ หลังจากนั้นลดความชื้นของเมล็ดลงให้อยู่ในระดับเริ่มแรก ดังนั้น เมล็ดที่ได้เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์แล้วจึงงอกได้เร็วกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (McDonald, 2000) ในการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มี 2 วิธี ได้แก่ 1) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ หรือไฮโดรไพรมิง (hydropriming) เป็นการแช่เมล็ดในน้ำสะอาดภายในระยะเวลาที่เหมาะสม (Bradford, 1986) วิธีนี้ปฏิบัติได้ง่าย ไม่มีสารพิษตกค้างในเมล็ดและสิ่งแวดล้อม แต่ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ไม่สามารถควบคุมการดูดน้ำของเมล็ดได้ หากพืชต่างชนิดกันกระบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ ภายในเมล็ดจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน อีกทั้งน้ำสะอาดหรือน้ำบริสุทธิ์มีค่าคลอไรด์สูง เมล็ดบางชนิดอาจดูดน้ำเร็วเกินไปส่งผลทำให้เกิดความเสียหายกับเมล็ดได้เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดที่แตกต่างกัน (McDonald, 2000) Keoboua et al. (2020) ได้รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกขีหนูสวนด้วยน้ำ (hydropriming) มีผลทำให้เมล็ดมีความงอกสูงกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (95 และ 88% ตามลำดับ) และ 2) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลายเกลือ หรือฮาโลไพรมิง (halopriming) เป็นการแช่เมล็ดในสารละลายเกลือ เช่น CaCl_2 (Jett et al., 1996) ซึ่งเป็นสารส่งเสริมการงอกของเมล็ด และสารละลายมีค่าคลอไรด์ (water potential; Ψ) ในระดับต่ำเพื่อชะลอการดูดน้ำของเมล็ดให้ช้าลง (Assefa et al., 2010; Reina and Pascual, 2001; Reina et al., 2001) โดย Smith and Cobb (1991) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวาน ‘Keystone Resistant Giant #3’ ในสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10, 25, 50, 100, 200 และ 300 มิลลิโมลาร์ ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานานถึง 17 วัน ทำให้เมล็ดงอกได้เร็วกว่าเมล็ดที่เตรียมพร้อมด้วยน้ำกลั่น สอดคล้องกับ Saleh et al. (1996) ได้รายงานว่าเมล็ดพริกหวาน ‘Gedeon F1’ ที่ได้เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 เป็นระยะเวลานานถึง 144 ชั่วโมง หรือ 6 วัน มีอัตราการงอก ความสม่ำเสมอในการงอก และความงอกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Ameri et al. (2011) ได้รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวาน ‘California Wonder’ ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 1% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ส่งผลให้เมล็ดมีความงอกสูงและงอกได้เร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ เช่นเดียวกับรายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริก ‘Baklouti’ ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ (0.1%) เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดงอกสูงกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (92 และ 65% ตามลำดับ) (Aloui et al., 2014a) อีกทั้งยังทำให้เมล็ดมีอัตราการงอกเร็ว ต้นกล้ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) โปรลีน (proline) เพิ่มขึ้น และมีการสะสมโปรตีนเพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะเครียดจากเกลือ NaCl (Aloui et al., 2014b) จากปัญหาเมล็ดพันธุ์พริกหวานงอกไม่สม่ำเสมอนอกจากส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์โดยตรง ยังส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อการวางแผนการปลูกในแปลง และความไม่สม่ำเสมอของต้นกล้าที่งอกและผลิตผล ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่มีความเข้มข้นต่างกันต่อความงอกและความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ เพื่อยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์สำหรับการผลิตต้นกล้าที่แข็งแรงและสม่ำเสมอ

วิธีการศึกษา

เมล็ดพันธุ์พริกหวาน ‘ทันเดอร์’ เป็นเมล็ดพันธุ์ผสมเปิด (open-pollinated variety; OP) ที่เก็บเกี่ยวใหม่และได้ทดสอบคุณภาพเริ่มต้นเมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567 โดยมีน้ำหนักเมล็ด 7.40 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด ความชื้น 7% ความงอก 55% และความบริสุทธิ์ทางกายภาพ 98% เมล็ดถูกเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมพอยล์ปิดสนิท ที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ $60 \pm 5\%$ เป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน

วิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์

นำเมล็ดพันธุ์พริกหวานมาเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์โดยการแช่เมล็ดในน้ำ reverse osmosis (RO) และสารละลาย CaCl_2 (Sigma-Aldrich, USA) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนสารละลายทุกวันเพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของสารละลาย เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดล้างเมล็ดให้สะอาดด้วยน้ำ RO ไหล จากนั้นซบเมล็ดให้แห้งด้วยกระดาษซับและลดความชื้นเมล็ดในตู้ดูดความชื้นไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ $40 \pm 2\%$ เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง จนความชื้นของเมล็ดเท่ากับค่าเริ่มต้นประมาณ 7% ทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ ห้อง 509 คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ ตั้งแต่พฤศจิกายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2567 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) มี 5 ทรีตเมนต์ จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด ได้แก่ เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10, 30 และ 50% เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์พริกหวานที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มาทดสอบความงอกมาตรฐานในสภาพห้องปฏิบัติการ

การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์พริกหวาน

นำเมล็ดพันธุ์พริกหวานมาทดสอบความงอกมาตรฐานในสภาพห้องปฏิบัติการตามกฎหมายของสมาคมทดสอบเมล็ดพันธุ์นานาชาติ (International Seed Testing Association) ด้วยวิธีการเพาะเมล็ดบนกระดาษขึ้น (top of paper; TP) ในกล่องพลาสติกใสมีฝาปิดสนิท วางกล่องเพาะเมล็ดในตู้เพาะเมล็ด (seed germinator) ที่ควบคุมอุณหภูมิ $20 \leftrightarrow 30$ องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง ในสภาพมืด สลับกับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ในสภาพมีแสง (International Seed Testing Association, 2024) บันทึกข้อมูลดังนี้

การมีรากงอก (radicle emergence; RE): นับเมล็ดพริกหวานที่มีรากยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร ทุกวัน เป็นระยะเวลา 14 วันหลังเพาะเมล็ด จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณจากสูตร

$$\text{การมีรากงอก (\%)} = (\text{เมล็ดที่มีรากงอก} / \text{จำนวนเมล็ด}) \times 100$$

ความงอก (germination): ประเมินความงอกเมล็ดพันธุ์พริกหวานตามกฎหมายของสมาคมทดสอบเมล็ดพันธุ์นานาชาติ หรือ International Seed Testing Association (International Seed Testing Association, 2024) โดยนับครั้งแรก (first count) เมื่อครบ 7 วันหลังเพาะเมล็ด นับเฉพาะต้นอ่อนปกติที่มีลักษณะรากสมบูรณ์ ลำต้นอ่อนใต้ใบเลี้ยง (hypocotyl) ตั้งตรง และมีใบเลี้ยงสีเขียว 2 ใบ และนับครั้งสุดท้าย (final count) เมื่อครบ 14 วันหลังเพาะเมล็ด ได้แก่ ต้นอ่อนปกติ ต้นอ่อนผิดปกติ เมล็ดสดและเมล็ดตาย จากนั้นคำนวณจากสูตร

$$\text{ความงอก (\%)} = (\text{จำนวนต้นอ่อนปกติ} / \text{จำนวนเมล็ด}) \times 100$$

เวลาที่ใช้ในการมีรากงอกถึง 50% (time to reach 50% radicle emergence; T_{50RE}): นับเมล็ดที่มีรากงอกยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร ทุกวัน เป็นระยะเวลา 14 วันหลังเพาะเมล็ด จากนั้นคำนวณเวลาที่ใช้ในการมีรากงอกถึง 50% โดยดัดแปลงสูตรจาก Coolbear et al. (1984)

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

โดย t_i คือ เวลาที่เมล็ดมีรากงอกได้ครั้งแรก, t_j คือ เวลาถัดจากเวลา t_i , n_i คือ จำนวนเมล็ดที่มีราก ณ เวลา t_i , n_j คือ จำนวนเมล็ดที่มีราก ณ เวลา t_j และ N คือ จำนวนเมล็ดที่มีรากทั้งหมด

จำนวนวันที่มีรากงอก (days to emergence; DTE): นับจำนวนเมล็ดที่มีรากงอกยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร ทุกวัน เป็นระยะเวลา 14 วันหลังเพาะเมล็ด จากนั้นคำนวณจากสูตร (Dhillon, 1995)

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

โดย n คือ จำนวนเมล็ดที่มีรากในวันที่ 1, 2, ..., 14 และ d คือ จำนวนวันหลังเพาะเมล็ด 1, 2, ..., 14

เวลาที่ใช้ในการงอกถึง 50% (time to reach 50% germination; T_{50}): นับจำนวนต้นอ่อนปกติ ทุกวัน เป็นระยะเวลา 14 วันหลังเพาะเมล็ด จากนั้นคำนวณจากสูตร (Coolbear et al., 1984)

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

โดย t_i คือ เวลาก่อนเมล็ดงอกเป็นต้นอ่อนปกติได้ครั้งหนึ่ง, t_j คือ เวลาถัดจากเวลา t_i , n_i คือ จำนวนต้นอ่อนปกติ ณ เวลา t_i , n_j คือ จำนวนต้นอ่อนปกติ ณ เวลา t_j และ N คือ จำนวนต้นอ่อนปกติทั้งหมด

เวลาเฉลี่ยในการงอก (mean germination time; MGT): นับต้นอ่อนปกติทุกวัน เป็นระยะเวลา 14 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณจากสูตร (Ellis and Robert, 1980)

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

โดย n คือ จำนวนต้นอ่อนปกติในวันที่ 1, 2, ..., 14 และ d คือ จำนวนวันหลังเพาะเมล็ด 1, 2, ..., 14

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) ของข้อมูลคุณภาพเมล็ดพันธุ์พริกหวานลักษณะต่าง ๆ และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 และ 0.01 โดยใช้โปรแกรมสถิติ R (Jompuk, 2012)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การมีรากงอกและความงอก

เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) และการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยน้ำหรือสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10, 30 และ 50% ไม่มีผลทำให้เมล็ดมีรากงอกและความงอกแตกต่างทางสถิติ (Table 1) โดยเมล็ดมีรากงอกสูง 90.00-94.50% และเมล็ดมีความงอกสูง 72.50-84.00% โดยต้นอ่อนปกติของพริกหวานมีระบบรากสมบูรณ์ ลำต้นตั้งตรง และใบเลี้ยง 2 ใบ (Figure 1A) แสดงว่าวิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำและสารละลาย CaCl_2 ทุกระดับความเข้มข้น ไม่มีผลในการกระตุ้นความงอกของเมล็ดพริกหวาน อาจเป็นเพราะเมล็ดพริกหวานล็อตนี้เป็นเมล็ดพันธุ์ผสมเปิดที่คล้ายการพักตัวจากที่มีความงอกเริ่มต้น 55% เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน มีความงอกสูงขึ้นเป็น 74.00% แต่ความสม่ำเสมอของเมล็ดภายในล็อตค่อนข้างน้อย จึงทำให้เมล็ดแสดงศักยภาพสูงสุดแล้ว สอดคล้องกับ Prapanoppasin (1999) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริก ‘บางช้าง’ ที่มีความงอกเริ่มต้นสูง 97.5% ด้วยน้ำ เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง ไม่มีผลทำให้เมล็ดมีความงอกแตกต่างทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (97.5-99.5%) อย่างไรก็ตาม การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10% มีแนวโน้มทำให้เมล็ดงอกสูงสุด คือ 84.00% ซึ่งสูงกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ที่มีความงอกเพียง 74.00% (ประมาณ 10%) เพราะสารละลาย CaCl_2 แตกตัวเป็น Ca^{2+} ที่สามารถปรับสมดุลความดันออสโมติก (osmotic pressure) ซึ่งมีผลต่อกระบวนการดูดน้ำของเมล็ด อีกทั้ง CaCl_2 มี Ca เป็นองค์ประกอบหลักที่มีความสำคัญต่อเสถียรภาพของเมมเบรน (membrane) ละลายน้ำได้ดี และ Ca เป็น co-factor ของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ซึ่งมีส่วนช่วยในการย่อยแบ่งที่สะสมอยู่ในเอนโดสเปิร์ม (endosperm) จากโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก จึงส่งเสริมการงอกของเมล็ด (Assefa et al., 2010; Reina and Pascual, 2001; Reina et al., 2001) นอกจากนี้ Wangsawang and Wangsawang (2024) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดมีความงอก 78.70 และ 67.70% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ ที่มีความงอกเพียง 42.35%

เมล็ดพริกหวานที่ไม่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีต้นอ่อนผิดปกติสูงที่สุด คือ 20.50% ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับเมล็ดที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำและสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 30% โดยมีต้นอ่อนผิดปกติ 17.50% เท่ากัน (Figure 2) ต้นอ่อนผิดปกติส่วนใหญ่มีเปลือกเมล็ดยังติดอยู่กับใบเลี้ยง (cotyledons) เกิดจากเมล็ดงอกช้าจึงทำให้ต้นอ่อนพัฒนาช้า ใบเลี้ยงไม่สามารถดันเปลือกเมล็ดออกได้ (Figure 1B, C, D, E) และต้นอ่อนมีรากกุดสั้น (Figure 1E, F) ใบเลี้ยงมีสีน้ำตาล (Figure 1G) และเมล็ดมีรากงอกแต่ถูกเชื้อแบคทีเรียเข้าทำลาย (Figure 1H) ส่วนการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10% มีผลทำให้เกิดต้นอ่อนผิดปกติต่ำที่สุด คือ 7.00% (Figure 2) อาจเป็นเพราะ CaCl_2 มีส่วนช่วยในการเพิ่มความงอกและความแข็งแรงของเมล็ด ทำให้เมล็ดที่มีรากงอกพัฒนาไปเป็นต้นอ่อนปกติได้เพิ่มขึ้น จึงพบต้นอ่อนผิดปกติน้อยลง (Assefa et al., 2010)

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยน้ำและสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ไม่มีผลทำให้เมล็ดสดและเมล็ดตายแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Figure 3 and 4) โดยมีเมล็ดสดเพียง 3.50-6.00% (Figure 2) ซึ่งเมล็ดมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อยจากการที่เมล็ดสามารถดูดน้ำได้แต่ไม่งอก ทั้งนี้เอนโดสเปิร์มและเอนโดสเปิร์มภายในเมล็ดยังสดอยู่ (Figure 1K) แสดงว่าเมล็ดเกิดการพักตัวขั้นทุติยภูมิ (secondary dormancy) อาจเกิดในขั้นตอนการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ในสภาพที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์สูง นอกจากนี้ยังพบเมล็ดตายเพียง 1.50-5.50% (Figure 4) โดยเลือกเมล็ดมีเส้นใยสีดำจากเชื้อราขึ้นปกคลุมเมล็ด และมีเชื้อแบคทีเรียเข้าทำลายทำให้เกิดการเน่าและ (Figure 1I, 1J)

Table 1 Radicle emergence and germination percentages of sweet pepper seeds after priming with different CaCl_2 concentrations

Treatment	Radicle emergence (%)	Germination (%)
Non-primed seeds (control)	94.50±1.00	74.00±8.49
Hydropriming	90.00±4.32	72.50±7.55
Seed priming with 10% CaCl_2 solution	91.00±7.57	84.00±8.16
Seed priming with 30% CaCl_2 solution	92.00±4.90	74.50±6.61
Seed priming with 50% CaCl_2 solution	91.00±2.58	78.00±2.31
F-test	ns	ns
CV (%)	5.06	9.13

ns = not significantly different.

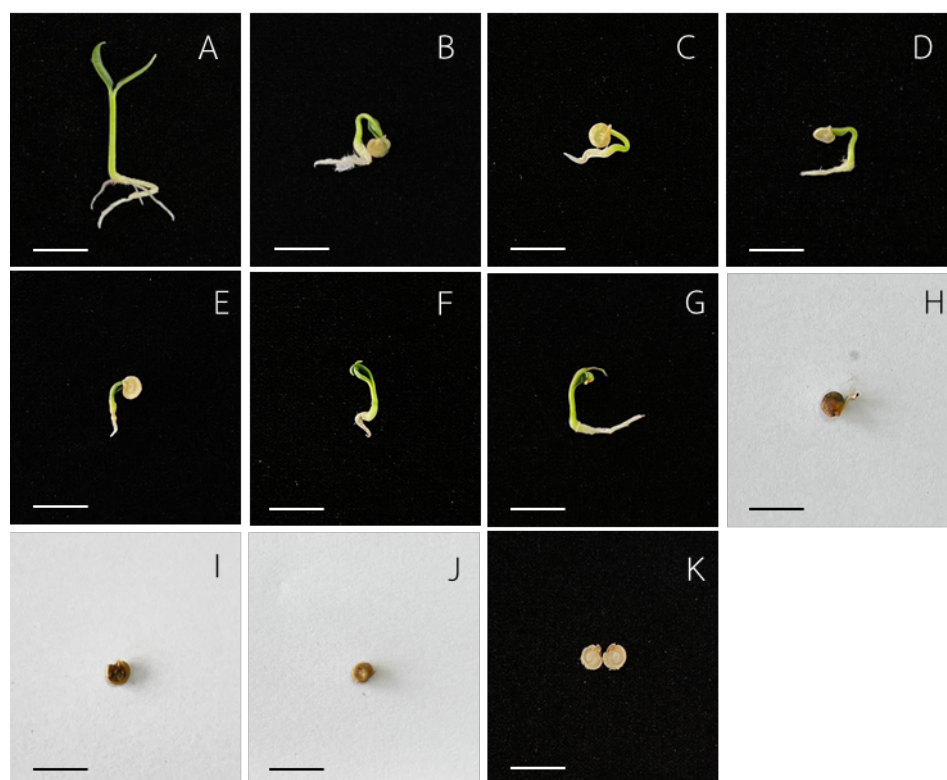


Figure 1 Normal seedling of sweet pepper with a fully developed primary root, hypocotyl, and two cotyledons (A); abnormal seedlings: trapped cotyledons inside the seed coat (B–E), missing primary root (E, F), cotyledon senescence (G), infection (H), dead seed (I, J), and fresh seed (K). Bar indicates 1 cm.

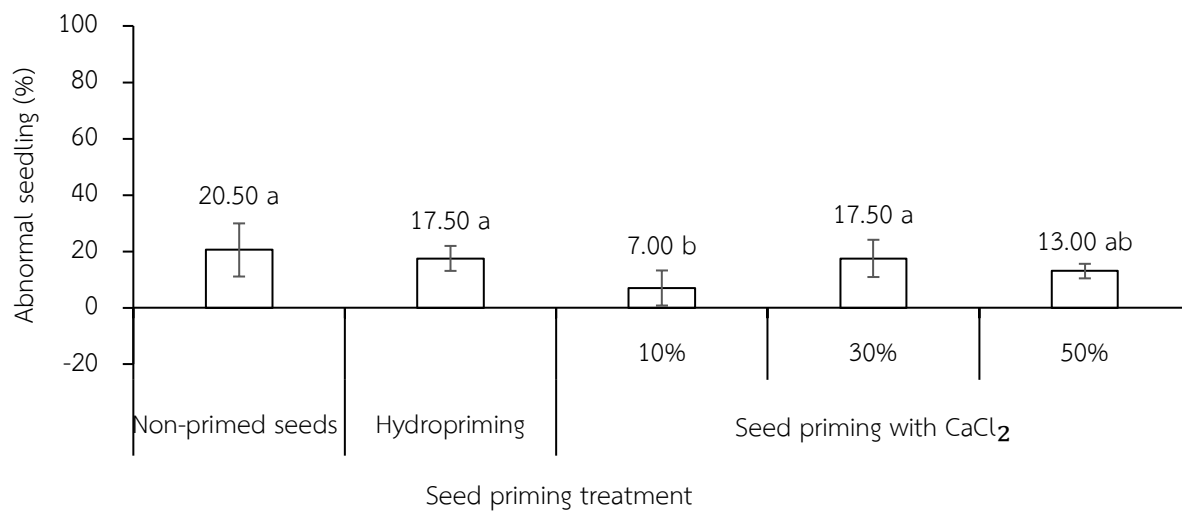


Figure 2 Abnormal seedlings of sweet pepper after priming with different CaCl_2 concentrations

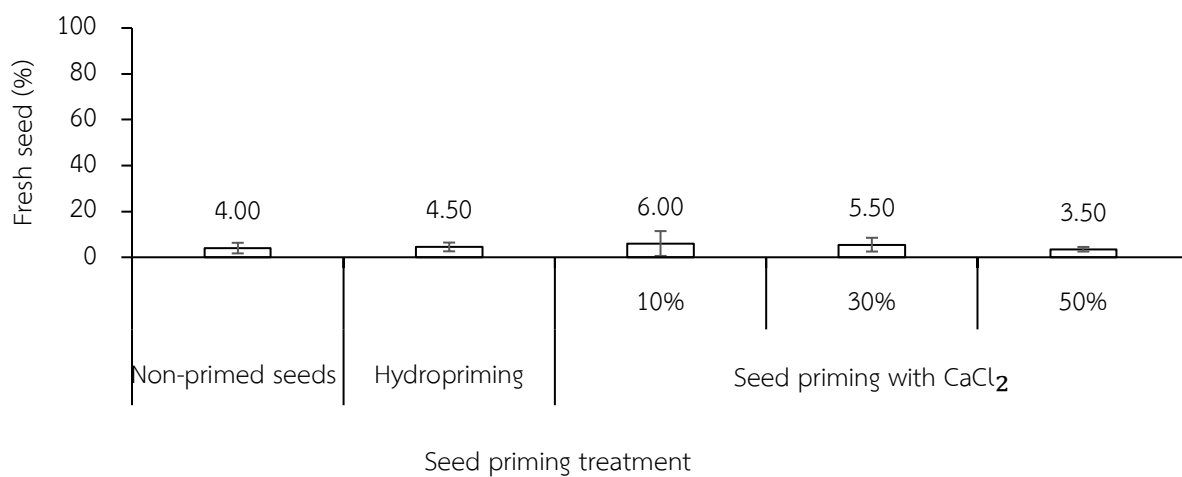


Figure 3 Fresh seeds of sweet pepper after priming with different CaCl_2 concentrations

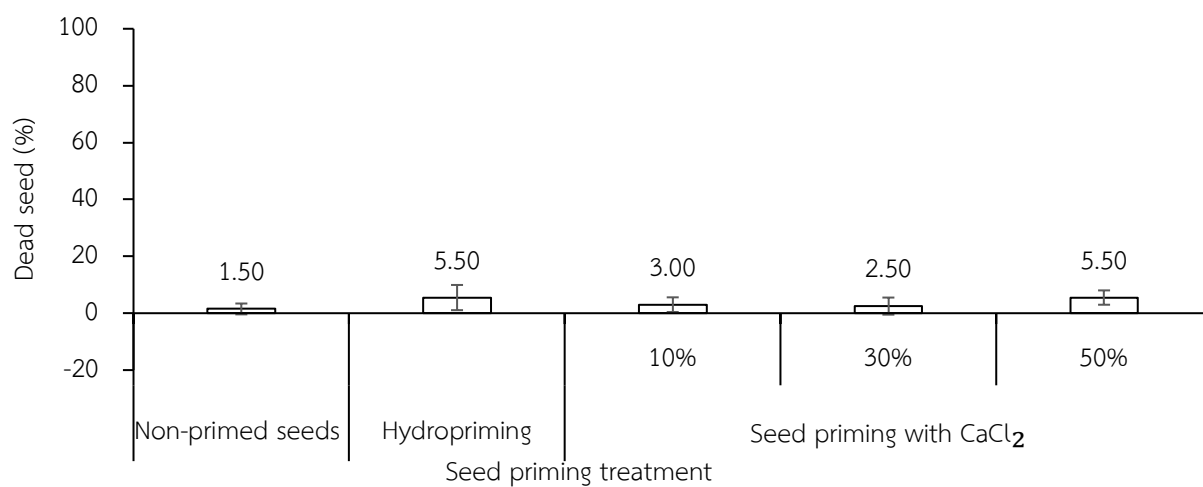


Figure 4 Dead seeds of sweet pepper after priming with different CaCl_2 concentrations

เวลาที่ใช้ในการมีรากงอกถึง 50% และจำนวนวันที่มีรากงอก

เมล็ดพริกหวานที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% และมีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วที่สุด คือ 5.30 และ 6.08 วัน ตามลำดับ (Table 2) รองลงมา คือ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10% (5.81 และ 6.48 วัน ตามลำดับ) ในขณะที่เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) ใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% และมีจำนวนวันที่มีรากงอกช้าที่สุด คือ 6.84 และ 7.45 วัน ตามลำดับ แสดงว่าเมล็ดพริกหวานที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำมีความแข็งแรงจึงงอกรากได้เร็วกว่าเมล็ดที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10, 30 และ 50% และเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ ตามลำดับ เพราะการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำทำให้เมล็ดดูดน้ำบริสุทธิ์ได้เร็วจึงเข้าสู่ระยะ lag phase ได้เร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และปริมาณน้ำหรือความชื้นภายในเมล็ดเพียงพอในระยะที่ 2 หรือระยะงัน ทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเมล็ดสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จากนั้นลดความชื้นลง เมื่อนำเมล็ดที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำไปปลูก เมล็ดจะดูดน้ำและเข้าสู่ระยะ lag phase ได้เร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 และเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากเมล็ดได้เตรียมพร้อมในการงอกแล้ว ทำให้เมล็ดแทงรากได้เร็วขึ้นและสม่ำเสมอ (McDonald, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับ Sa-ngasaeng et al. (2020) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวาน ‘California’ ด้วยน้ำ เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (13.37 และ 15.33 วัน ตามลำดับ) จากการทดลองนี้พบว่า การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานทุกวิธีการมีผลทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% และมีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Table 2) เพราะในกระบวนการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์จะต้องแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำ หรือสารละลาย ซึ่งน้ำสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ที่ย่อยสลายอาหารสะสมภายในเมล็ด เพื่อให้เมล็ดสามารถนำไปใช้ในกระบวนการงอกได้ (Chanprasert, 2010) นอกจากนี้ เมล็ดพริกหวานที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% และมีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ทุกความเข้มข้น เพราะการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ RO เป็นน้ำบริสุทธิ์ที่มีค่าศักย์ (water potential; Ψ) สูง คือ 0 MPa เมื่อนำเมล็ดแห้งที่มีค่าศักย์ต่ำมากถึง -100 ถึง -200 MPa แช่ในน้ำบริสุทธิ์ เมล็ดจึงดูดน้ำอย่างรวดเร็ว จึงทำให้กระบวนการงอกเกิดขึ้นได้เร็ว (Chanprasert, 2010)

เมื่อพิจารณาวิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10% มีค่าศักย์ -6.80 MPa ทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% และมีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 30% มีค่าศักย์ -20.41 MPa และ 50% มีค่าศักย์ -34.01 MPa (Table 2) เนื่องจากการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้นต่ำ 10% มีค่าศักย์สูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จึงทำให้เมล็ดดูดน้ำได้เร็วกว่า ดังนั้น กิจกรรมทางชีวเคมีในระยะที่ 2 หรือ lag phase จึงเกิดได้อย่างสมบูรณ์มากกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง (Siri, 2015) สอดคล้องกับ Aloui et al. (2014a) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริก ‘Baklouti’ ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ หรือ 0.1% เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ

Table 2 Time to reach 50% radicle emergence (T_{50RE}) and days to emergence (DTE) of sweet pepper seeds after priming with different CaCl_2 concentrations

Treatment	T_{50RE} (days)	DTE (days)
Non-primed seeds (control)	6.84±0.17 a	7.45±0.27 a
Hydropriming	5.30±0.16 d	6.08±0.12 d
Seed priming with 10% CaCl_2 solution	5.81±0.28 c	6.48±0.36 c
Seed priming with 30% CaCl_2 solution	6.44±0.13 b	6.99±0.26 b
Seed priming with 50% CaCl_2 solution	6.26±0.18 b	6.91±0.10 b
F-test	**	**
CV (%)	3.10	3.56

** Means±SD within a column followed by the same letter are not significantly when DMRT method of mean comparison at 99% confidence.

เวลาที่ใช้ในการงอกถึง 50% และเวลาเฉลี่ยในการงอก

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10% และน้ำ มีผลทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกถึง 50% เร็วที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ คือ 11.51 และ 11.89 วัน ตามลำดับ (Table 3) เช่นเดียวกับเมล็ดใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ คือ 12.20 และ 12.36 วัน ตามลำดับ (Table 3) ส่วนเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์และเมล็ดที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 30% และ 50% ใช้เวลาในการงอกถึง 50% ช้าที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ คือ 12.63, 12.24 และ 12.38 วัน ตามลำดับ และเมล็ดใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกช้าที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ คือ 12.71, 12.68 และ 12.67 วัน ตามลำดับ แสดงว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10% และน้ำ ทำให้เมล็ดงอกเร็วและเจริญไปเป็นต้นอ่อนจนปกติได้เร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ เพราะเมล็ดที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ได้ผ่านกระบวนการดูดน้ำในระยะ 2 หรือระยะงัน (lag phase) อย่างเพียงพอแล้ว เมื่อนำเมล็ดไปเพาะหรือเมล็ดได้รับน้ำอีกครั้ง จึงทำให้เมล็ดงอกได้อย่างรวดเร็ว (Siri, 2015) นอกจากนี้ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ทำให้ค่าชลศักย์ของสารละลายต่ำลง เมล็ดจะดูดน้ำช้าลง ช่วยยืดระยะเวลาการดูดน้ำของระยะที่ 2 หรือระยะงัน (lag phase) ให้เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (McDonald, 2000) เช่นเดียวกับ Smith and Cobb (1991) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 200 และ 300 มิลลิโมลาร์ ทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกถึง 50% เร็ว 1.88 และ 3.93 วัน ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ ใช้เวลาในการงอกถึง 50% ช้าที่สุด คือ 6.47 วัน อีกทั้งสอดคล้องกับ Wangsawang and Wangsawang (2024) รายงานเมล็ดพริกขี้หนูสวน (*Capsicum frutescens*) ที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ และน้ำ RO เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกเร็ว 10.42 และ 11.33 วัน ตามลำดับ ซึ่งเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกช้า 12.53 วัน อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองนี้พบว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวาน ‘ทันเดอร์’ ด้วยน้ำ เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำให้เมล็ดใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (12.36 และ 12.71 วัน ตามลำดับ) ซึ่งขัดแย้งกับ Sangsawang et al. (2020) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวาน ‘California’ ด้วยน้ำ เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ไม่มีผลทำให้เมล็ดใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกแตกต่างทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (21.34 และ 21.56 วัน ตามลำดับ) อาจเป็นเพราะคุณภาพเริ่มต้นของเมล็ดและพันธุ์พริกหวานแตกต่างกัน โดย ‘California’ มีความงอกเริ่มต้นเพียง 56.50% ซึ่งต่ำกว่า ‘ทันเดอร์’ ที่ใช้ในงานทดลองนี้มีความงอกสูง 74.00% จึงทำให้ตอบสนองต่อการกระตุ้นการงอกต่างกัน ซึ่งพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์อาจมีองค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ดแตกต่างกัน รวมถึงกระบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ ภายในเมล็ดจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน (McDonald, 2000)

Table 3 Time to reach 50% germination (T_{50}) and mean germination time (MGT) of sweet pepper seeds after priming with different CaCl_2 concentrations

Treatment	T_{50} (days)	MGT (days)
Non-primed seeds (control)	12.63±0.28 a	12.71±0.10 a
Hydropriming	11.89±0.40 bc	12.36±0.17 b
Seed priming with 10% CaCl_2 solution	11.51±0.23 c	12.20±0.07 b
Seed priming with 30% CaCl_2 solution	12.24±0.29 ab	12.68±0.08 a
Seed priming with 50% CaCl_2 solution	12.38±0.43 ab	12.67±0.19 a
F-test	**	*
CV (%)	2.75	1.00

**, *Means±SD within a column followed by the same letter are not significantly when DMRT method of mean comparison at 99% and 95% confidence, respectively.

สรุปผลการศึกษา

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10% ที่อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง เป็นวิธีการที่ดีที่สุด เพราะทำให้เมล็ดมีความงอกสูงและเมล็ดมีความแข็งแรงสูง โดยเมล็ดงอกได้เร็วอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเหมาะสำหรับการผลิตต้นกล้าพริกหวาน

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเกษตรเขตร้อน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยในครั้งนี้

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (idea) และ สมมุติฐาน, การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria, การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล, การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: จันทรเจตจำ สूरียะไชย, พิจิตรา แก้วสอน. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ จันทรเจตจำ สूरียะไชย, พิจิตรา แก้วสอน, เบญญา มะโนชัย. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และครุภัณฑ์: พิจิตรา แก้วสอน.

เอกสารอ้างอิง

- Aloui, H., Souguir, M., & Hannachi, C. (2014a). Determination of an optimal priming duration and concentration protocol for pepper seeds (*Capsicum annuum* L.). *Acta Agriculturae Slovenica*, 103(2), 213-221.
- Aloui, H., Souguir, M., Latique, S., & Hannachi, C. (2014b). Germination and growth in control and primed seeds of pepper as affected by salt stress. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 47(3), 83-95.
- Ameri, A., Fatemi, H., Aroiee, H., & Teixeira da Silva, J. A. (2011). What's the effect of saline priming on germination factors of *Capsicum annuum* var. 'California wonder' seeds? *Seed Science and Biotechnology*, 5(1), 47-49.
- Assefa, M. K., Hunje, R., Koti, R. V., & Biradarpatil, N. K. (2010). Enhancement of seed quality in soybean following priming treatments. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 23(5), 787-789.
- Basavaraja, P. K., Nagaraja, A., Jagadeesha, R. C., Yogeesh, H. S., & Junathaiah, H. (1998). Effect of copper ore tailings on fruit yield and seed quality of chilli. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 11(3), 815-817.
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2020). Breaking seed dormancy during dry storage: a useful tool or major problem for successful restoration via direct seeding. *Plants*, 9(5), 636. <https://doi.org/10.3390/plants9050636>.
- Bewley, J. D., & Black, M. (1982). *Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination Volume 2: Viability, Dormancy, and Environmental Control*. Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Bewley, J. D., & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Springer.
- Bradford, K. J. (1986). Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience*, 21(5), 1105-1112.
- Chanprasert, W. (2010). *Seed Physiology*. Extension and Training Office, Kasetsart University. (in Thai).
- Chichaghare, A. R., Raj, R. M., Sreejith, M. M., & Noweshad, S. (2021). Seed treatment: breaking dormancy of seed. In Beura, S., Rout, S., Nayak, S., Pradhan, K., & Khare, N. (Ed.), *Recent Trends in Propagation of Forest and Horticultural Crops*, pp. 43-47. Taran Publishers.
- Coolbear, P., Francis, A., & Grierson, D. (1984). The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. *Journal of Experimental Botany*, 35(160), 1609-1617.
- Dhillon, N. P. S. (1995). Seed priming of male sterile muskmelon (*Cucumis melo* L.) for low temperature germination. *Seed Science and Technology*, 23(3), 881-884.
- Duangyam, T. (2021). *Breeding of Hot-tolerant Sweet Pepper*. Department of Agriculture. (in Thai).
- Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1980). Improved equation for the prediction of seed longevity. *Annals of Botany*, 45(1), 13-30.
- International Seed Testing Association. (2024). *International Rules for Seed Testing*. International Seed Testing Association.
- Jett, L. W., Welbaum, G. E., & Morse, R. D. (1996). Effects of matric and osmotic priming treatments on broccoli seed germination. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(3), 423-429.
- Jompuk, C. (2012). *Statistics: Experimental Design and Data Analysis in Plant Research Using "R"*. Kasetsart University Press. (in Thai).
- Keoboua, B., Yangkhamman, P., Saritnum, O., & Watcharawetsaringkharn, S. (2020). Effect of chitosan and bio-extract in seed priming process on germination and seedling growth of bird chili pepper. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 38(4), 441-448. (in Thai).

- Marín, A., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F. A., & Gil, M. I. (2004). Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 52(12), 3861-3869.
- McDonald, M. B. (2000). Seed priming. In Black, M., & Bewley, J. D. (Eds). **Seed Technology and Its Biology Basis**, pp. 287-326. Sheffield Academic Press, England.
- Munatsi, R., Charachimwe, R. R., Tembo, L., & Chandiposha, M. (2024). Response of sweet pepper (*Capsicum annuum*) to different priming treatments on germination and early growth. **International Journal of Science and Research Archive**, 13(2), 724-732.
- Parera, C. A., & Cantiffe, D. J. (1994). Presowing seed priming. **Horticultural Reviews**, 16(1), 109-141.
- Prapanoppasin, P. (1999). **Studies on Pepper Seed Priming by Hydropriming and Osmopriming**. Master's Special Problem. Kasetsart University. (in Thai).
- Randle, W. M., & Honma, S. (1981). Dormancy in peppers. **Scientia Horticulturae**, 14(1), 19-25.
- Reina, F. G., & Pascual, L. A. (2001). Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds part I theoretical considerations. **Bioelectromagnetics**, 22(8), 589-595.
- Reina, F. G., Pascual, L. A., & Fundora, I. A. (2001). Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds part II experimental results. **Bioelectromagnetics**, 22(8), 596-602.
- Saleh, M. M., Abou-Hadid, A. F., & El-Beltagy, A. S. (1996). Sweet pepper emergence and seedling growth after seed pre-germination. **Acta Horticulturae**, 434(1), 335-340.
- Sa-ngasaeng, U., Chulaka, P., & Kaewson, P. (2020). Effects of concentration of KNO₃ solution and soaking duration during seed priming on quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds. **Thai Science and Technology Journal**, 28(7), 1301-1308. (in Thai).
- Serrano, M., Zapata, P. J., Castillo, S., Guillén, F., Martínez-Romero, D., & Valero, D. (2010). Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. **Food Chemistry**, 118(3), 497-503.
- Siri, B. (2015). **Seed Conditioning and Seed Enhancements**. Khon Kaen University. (in Thai).
- Smith, P. T., & Cobb, B. G. (1991). Accelerated germination of pepper seed by priming with salt solutions and water. **HortScience**, 26(4), 417-419.
- Wangsawang, T., & Wangsawang, S. (2024). Effect of Thai chili (*Capsicum frutescens* L.) seed priming for salinity tolerance with different chemical solutions and different soaking times on growth, yield, some physiological characteristics and secondary compounds contents. **Burapha Science Journal**, 29(3), 998-1021. (in Thai).

ผลของอัตราถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมันต่อสมบัติดินทราย

การดูดใช้ธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของพืช

Effect of Biochar Rate Derived from Rice Husk, Durian Peel and Oil Palm Petiole on Sandy Soil Properties, Nutrient Uptake and Plant Growth

เจนจิรา คงเรือง¹, จักรกฤษณ์ พูนภักดี¹, จำเป็น อ่อนทอง¹ และขวัญตา ขาวมี^{1*}
Jenjira Kongruang¹, Chakkrit Poonpakdee¹, Jumpen Onthong¹ and Khwunta Khawmee^{1*}

Received date: 17 ก.พ. 68 Revised date: 13 พ.ค. 68 Accepted date: 18 มิ.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.266194>

บทคัดย่อ

ดินทรายเป็นดินเนื้อหยาบ อนุภาคของดินส่วนใหญ่เป็นแร่ควอร์ตซ์ ทำให้ดินมีพื้นที่ผิวจำเพาะและประจุไฟฟ้าลบบนน้อย ดินจึงมีความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารพืชได้น้อย ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติของดินทรายก่อนการปลูกพืช การใช้ถ่านชีวภาพเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของดิน เนื่องจากถ่านชีวภาพมีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบและมีความพรุนสูง จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัตราการใช้ถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมัน ต่อสมบัติของดินทราย การเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จำนวน 10 ทรีตเมนต์ ประกอบด้วย ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ ใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมัน อัตราการใช้ร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ทำการทดลองปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในกระถาง ภายใต้สภาพโรงเรือน ผลจากการศึกษา พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 3 ชนิดทำให้ดินมีพีเอช ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น แต่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนทำให้พีเอชดินสูงเกินไป ส่งผลให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดลดลง ขณะที่การใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ให้ผลดีที่สุด โดยมีน้ำหนักแห้งข้าวโพดและการดูดใช้ธาตุอาหารสูงสุด ดังนั้น การใส่ถ่านชีวภาพสามารถใช้เป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติของดินทรายเพื่อการปลูกพืช แต่ควรคำนึงถึงชนิดและอัตราที่เหมาะสม

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ ดินทราย แกนทางปาล์มน้ำมัน เปลือกทุเรียน

Abstract

Sandy soil is a coarse-textured soil in which most of the particles are composed of quartz minerals, exhibiting low specific surface area and negative charges. This leads to poor water and nutrient retention capacity and low fertility. Accordingly, it is necessary to amend sandy soil to improve its properties before cultivating crops. The use of biochar is another approach to improve soil properties due to biochar contains plant nutrients component and high porosity. This study aimed to compare the effects of biochars derived from rice husk, durian peel and oil palm petiole rates on sandy soil properties, plant growth and nutrient uptake. The experiment was designed as a completely randomized design with 3 replications and 10 treatments, consisting of a control (no biochar) and applications of rice husk, durian peel, and oil palm petiole biochars at rates of 1%, 2%, and 3% by weight. The experiment was conducted by growing maize in pots under greenhouse conditions. Results showed that all three biochars increased soil pH, cation exchange capacity and nutrient content. However, durian peel biochar raised soil pH excessively, negatively affecting maize growth. In contrast, rice husk and oil palm petiole biochars at 3% application rate performed best, producing the highest maize dry weight and nutrient uptake. Therefore, biochar is another approach to improve sandy soil properties for cultivating crops, but the type and appropriate application rate must be considered.

Keywords: biochar, sandy soil, oil palm petiole, durian peel

¹ สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90110

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

* Corresponding author: e-mail khwunta.k@psu.ac.th

คำนำ

ดินทราย (sandy soil) เป็นดินเนื้อหยาบ และมีศักยภาพในการเพาะปลูกต่ำ เนื่องจากอนุภาคดินส่วนใหญ่เป็นแร่ควอร์ตซ์ (quartz) มีพื้นที่ผิวจำเพาะและประจุไฟฟ้าลบน้อย ทำให้ดินดูดซับน้ำและธาตุอาหารได้ต่ำ (Brady and Weil, 2008; Onthong, 2017) เมื่อใส่ปุ๋ยทำให้มีการสูญเสียได้ง่าย จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงดินให้สามารถกักเก็บธาตุอาหารได้มากขึ้น ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น การเพิ่มอินทรีย์วัตถุโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Oueriemmi et al., 2021) และในปัจจุบันการใช้น้ำชีวภาพเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการปรับปรุงสมบัติดิน ซึ่งน้ำชีวภาพ คือ ชีวมวลที่ได้รับความร้อนภายใต้สภาพออกซิเจนจำกัดหรือไม่มีออกซิเจน โดยใช้อุณหภูมิในการเผาน้อยกว่า 700 องศาเซลเซียส น้ำชีวภาพประกอบด้วยเถ้า ไฮโดรเจน ออกซิเจน และธาตุอาหารพืช โดยปริมาณธาตุอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล (Lehmann and Joseph, 2009) มีรายงานปริมาณธาตุอาหารพืชที่เป็นองค์ประกอบในน้ำชีวภาพ พบว่า มีปริมาณคาร์บอน 172-905 กรัม/กิโลกรัม ไนโตรเจนทั้งหมด 1.8-56.4 กรัม/กิโลกรัม ฟอสฟอรัสทั้งหมด 2.7-480 กรัม/กิโลกรัม และโพแทสเซียมทั้งหมด 1.0-58 กรัม/กิโลกรัม (Chan and Xu, 2009) น้ำชีวภาพมีความพรุนสูงและพื้นที่ผิวภายในสูง (Downie et al., 2009) และมีพีเอชอยู่ระหว่าง 4-12 (Lehmann, 2007) จากสมบัติดังกล่าว การใส่น้ำชีวภาพทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน ซึ่งส่งผลต่อการปลูกพืชอย่างมาก มีการศึกษาการใช้น้ำชีวภาพจากไม้ลำไยต่อสมบัติทางเคมีของดิน พบว่า ทำให้พีเอชดินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองซึ่งมีพีเอชเท่ากับ 5.0 โดยหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดินมีพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 5.2-5.4 เนื่องจากน้ำชีวภาพมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.31 (Pornamnuaylap and Suaysom, 2021) และมีการศึกษาการใช้น้ำชีวภาพจากไม้ยูคาลิปตัส ที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อใส่น้ำชีวภาพในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ดินหลังปลูกมีพีเอชสูงขึ้นจาก 5.27 เป็น 7.43 (Manonok et al., 2017) สอดคล้องกับการศึกษาน้ำชีวภาพจากไม้ยูคาลิปตัส สามารถปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินทราย โดยการเพิ่มพีเอชดินและให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดได้ดีกว่าการไม่ใส่น้ำชีวภาพ (Butnan et al., 2015) อีกทั้งมีการศึกษาการใส่น้ำชีวภาพจากไม้โดยทำการทดลองกับดินทรายที่ปลูกในกระถาง พบว่า ทำให้ชีวมวลของข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 17 และถั่วพรางเพิ่มขึ้นร้อยละ 43 เนื่องจากพืชได้รับฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและทองแดงที่เพิ่มขึ้นจากการใส่น้ำชีวภาพ (Lehmann et al., 2003) อีกทั้งมีรายงานการนำน้ำชีวภาพจากเปลือกกาแฟทดลองปลูกข้าวโพดในดินทราย พบว่า การใส่น้ำชีวภาพอัตรา 16 เมกะกรัม/กิโลกรัม ส่งผลให้ค่าพีเอช โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ใส่น้ำชีวภาพ จึงส่งผลให้ข้าวโพดมีผลผลิตชีวมวลและน้ำหนักแห้งสูงที่สุด (Lima et al., 2018) เช่นเดียวกับการทดลองใส่น้ำชีวภาพจากไม้ส่งผลให้ข้าวโพดมีผลผลิตมากกว่าการไม่ใส่น้ำชีวภาพ (Major et al., 2010)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีมวลชีวภาพที่ได้จากการผลิตพืชเป็นจำนวนมาก เช่น จากการปลูกข้าว ที่มีผลพลอยได้ คือ แกลบ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการสีข้าวเปลือก ที่มีปริมาณมากถึง 8,145,269 ตัน/ปี (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2019) ซึ่งการใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่จะนำไปเป็นวัตถุดิบในการเป็นวัสดุเพาะปลูก ทำปุ๋ยอินทรีย์ มีการศึกษาโครงสร้างของน้ำชีวภาพจากแกลบ พบว่า ภายในมีพื้นที่ผิวและมีรูพรุนสูง (Ghorbani et al., 2019) อีกทั้งในปัจจุบันเกษตรกรนิยมปลูกทุเรียนมากขึ้น เนื่องจากราคาผลผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นทุก ๆ ปี (Regional Commercial Affairs Division, 2022) ซึ่งมีผลผลิตทุเรียนมากถึง 1,334,169 ตัน/ปี (Regional Commercial Affairs Division, 2022) ในส่วนของเปลือกทุเรียนคิดเป็นปริมาณถึงร้อยละ 75 ของน้ำหนักผลทั้งหมด (Bunjongkarn and Pukanan, 2022) ทำให้มีปริมาณเปลือกทุเรียน ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก จึงสนใจนำมาทำน้ำชีวภาพ ในขณะที่เดียวกันปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจภาคใต้ มีการปลูกเป็นจำนวนมาก เกษตรกรมีการตัดแต่งทางใบปาล์มน้ำมันและกองทิ้งไว้ในสวน ปล่อย่อยสลายเองตามธรรมชาติ ซึ่งมีมากถึง 18,065,006.01 ตัน/ปี (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2019) ทั้งนี้ในส่วนองแกนทางปาล์มน้ำมันต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนาน คาดว่าเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นน้ำชีวภาพ และจากการศึกษาที่ผ่านมา ยังไม่มีรายงานการใช้น้ำชีวภาพจากเปลือกทุเรียนและแกนทางปาล์มน้ำมันปรับปรุงดินทราย จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัตราของการใช้น้ำชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมันต่อสมบัติดินทราย การดูดใช้ธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของพืช

วิธีการศึกษา

การเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำชีวภาพ

นำแกลบดิบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมัน ที่ผ่านการตากแห้งมาเผาด้วยเตาเผาที่ผลิตจากถ่านน้ำมัน 200 ลิตร (Sirising and Suksawang, 2013) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 300-600 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็น และเก็บน้ำชีวภาพมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 0.5 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ (วียิวอลค์เลย์-แบลค) (Onthong and

Poonpakdee, 2020) และขนาด 2 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ ได้แก่ พีเอชและค่าการนำไฟฟ้า (สัดส่วน ถ่าน:น้ำ 1:5 น้ำหนัก/ปริมาตร) ไนโตรเจนทั้งหมด (วิธีเจล-ดัล) แอมโมเนียมและไนเตรต (สกัดด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์และกลั่น) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (สกัดด้วยวิธีเบรย์ท์) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (สกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตด) นอกจากนั้นได้วิเคราะห์ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด โดยย่อยตัวอย่างถ่านชีวภาพด้วยกรดผสม ไนตริกและเพอร์คลอริก สัดส่วน 1:1 โดยปริมาตร แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นฟอสฟอรัส (วิธีเฮลโลโมลิบโดวานโดฟอสฟอริกแอซิด) โพแทสเซียม (ใช้หลักการอะตอมมิกอิมิสชัน) แคลเซียมและแมกนีเซียม (ใช้หลักการอะตอมมิกออบซอร์บชัน) ความจุแลกเปลี่ยน แคตไอออน (สกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตด) (Onthong and Poonpakdee, 2020) และความหนาแน่นรวม (Blake and Hartge, 1986)

การเก็บ เติร์ยม และวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

เก็บดินทรายชุดดินบาเจาะ (Coated, isohyperthermic, Typic Quartzipsamments) ที่ความลึก 0-30 เซนติเมตร นำดินมาผึ่งให้แห้ง แบ่งดินออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก ร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 0.5 มิลลิเมตร ใช้วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (วิธีวอล์คเลย์-แบลค) (Onthong and Poonpakdee, 2020) และร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 มิลลิเมตร ใช้สำหรับวิเคราะห์ พีเอชและค่าการนำไฟฟ้า (สัดส่วนดิน:น้ำ, 1:5 น้ำหนัก/ปริมาตร) ไนโตรเจนทั้งหมด (วิธีเจล-ดัล) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (สกัดด้วยวิธีเบรย์ท์) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (สกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตด) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน จุลธาตุที่สกัดได้ (สกัดด้วยดีทีพีเอ) (Onthong and Poonpakdee, 2020) ความหนาแน่นรวมของดิน ความจุความชื้นสนาม และเนื้อดิน (Blake and Hartge, 1986)

ดินส่วนที่สองนำไปร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 เซนติเมตร สำหรับใช้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในกระถางสภาพโรงเรือน โดยสมบัติทางเคมีของดินทรายที่ใช้ในการทดลองเป็นกรดจัดมาก (pH 4.53) ค่าการนำไฟฟ้า (0.01 เดซิซีเมนส์/เมตร) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ (0.68 เซนติโมล (ประจุ)/กิโลกรัม) อินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนทั้งหมดค่อนข้างต่ำ (5.92 และ 0.29 กรัม/กิโลกรัม) และมีปริมาณธาตุอาหารหลักและรองต่ำ โดยมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (5.68 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โพแทสเซียมที่สกัดได้ (7.87 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (0.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) อยู่ในระดับต่ำมาก และแคลเซียมที่สกัดได้ค่อนข้างต่ำ (0.12 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) มีปริมาณจุลธาตุ ได้แก่ แมงกานีส เหล็ก สังกะสี และทองแดงที่สกัดได้ต่ำ (0.07, 0.57, 0.69 และ 0.004 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ) มีค่าความจุความชื้นสนามร้อยละ 2.13 และเนื้อดินจัดเป็นดินทราย ซึ่งมือนภาทรายร้อยละ 96 ทรายแป้งร้อยละ 2 และอนุภาคดินเหนียวร้อยละ 2

การวางแผนการทดลอง การปลูก การเก็บ และวิเคราะห์ข้อมูล

ดำเนินการทดลอง ณ โรงเรือนทดลอง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (พันธุ์นครสวรรค์ 3) ในสภาพกระถาง ระหว่างเดือนมีนาคม-พฤษภาคม 2566 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ประกอบด้วย 10 ทรีตเมนต์ 3 ซ้ำ ได้แก่ ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (Control) ใส่ถ่านชีวภาพจากกลบ (Hu) เปลือกทุเรียน (Du) และแกนทางปาล์มน้ำมัน (Pa) อัตราร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก (เท่ากับ 50, 100 และ 150 กรัม/กระถาง) ตามลำดับ นำถ่านชีวภาพผสมคลุกเคล้ากับดิน 5 กิโลกรัม และใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ยูเรีย ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์ ให้ได้ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (2.72 กรัม/กระถาง) (แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรก ใส่ 150 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ผสมคลุกเคล้ากับดินและถ่านชีวภาพ และครั้งที่ 2 ใส่ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อข้าวโพดอายุครบ 14 วัน นับจากวันที่ย้ายลงกระถาง) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P_2O_5) และโพแทสเซียมที่ละลายน้ำ (Water soluble K_2O) (ใส่ครั้งเดียวก่อนปลูก) ปริมาณ 150 และ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (1.63 และ 1.67 กรัม/กระถาง) ตามลำดับ และเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกวิเคราะห์สมบัติดินเช่นเดียวกับดินก่อนผสมถ่านชีวภาพ ทำการปลูกข้าวโพดเลี้ยงโดยย้ายกล้าอายุ 7 วัน ปลูกในกระถางทรงกลม (เส้นผ่านศูนย์กลางปากกระถาง 24.00 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้นกระถาง 18.00 เซนติเมตร สูง 19.50 เซนติเมตร) รดน้ำทุกวันเช้าเย็น เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพด โดยวัดความสูง นับจำนวนใบ และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (สูงจากผิวดิน 5 เซนติเมตร) เมื่อข้าวโพดอายุครบ 56 วัน (ระยะก่อนติดฝัก) นำข้าวโพดมาตัดและแยกส่วน ได้แก่ ส่วนเหนือดินและราก นำไปอบและชั่งน้ำหนักแห้ง และนำมาบดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืช ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (วิธีเจล-ดัล) ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด ย่อยด้วยกรดผสมไนตริกและเพอร์คลอริก (สัดส่วน 3:1 โดยปริมาตร) แล้ววิเคราะห์ฟอสฟอรัส (วิธีเฮลโลโมลิบโดวานโดฟอสฟอริกแอซิด) โพแทสเซียม (ใช้หลักการอะตอมมิกอิมิสชัน) แคลเซียมและแมกนีเซียม (ใช้หลักการอะตอมมิกออบซอร์บชัน) (Onthong and Poonpakdee, 2020) และวิเคราะห์สมบัติดินทางเคมีและธาตุอาหารพืชของดินหลังปลูกเช่นเดียวกับดินก่อนปลูก นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติของถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมัน

สมบัติของถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมัน พบว่า ถ่านชีวภาพทั้ง 3 ชนิดมีค่าการนำไฟฟ้าและความหนาแน่นต่ำ ในขณะที่มีพีเอชสูง ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์อยู่ในช่วง 53.57-95.94 กรัม/กิโลกรัม และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในช่วง 15.74-19.74 เซนติโมล (ประจุ)/กิโลกรัม และเมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารในถ่านชีวภาพ พบว่า ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดสูงสุด และมีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Table 1) ทั้งนี้มีรายงานว่าทุเรียนและปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต่อ งดการธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และพัฒนาเป็นผลผลิตในปริมาณสูง (Suratthani Oil Palm Research Center, 2010; Poovarodom, 2021) ดังนั้น จึงมีการสะสมธาตุดังกล่าวในส่วนต่าง ๆ ของพืชสูง โดยมีรายงานถึงปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของปาล์มน้ำมัน พบว่า ทางใบที่ถูกตัดมีธาตุโพแทสเซียม สูงที่สุดเท่ากับ 11.52 กิโลกรัม/ไร่ และรองลงมาคือธาตุไนโตรเจน 10.72 กิโลกรัม/ไร่ และแคลเซียม 7.04 กิโลกรัม/ไร่ ในขณะที่มีฟอสฟอรัส 0.63 กิโลกรัม/ไร่ และแมกนีเซียมเท่ากับ 2.08 กิโลกรัม/ไร่ (Suratthani Oil Palm Research Center, 2010) เช่นเดียวกับในส่วนของเปลือกทุเรียนที่พบว่ามีความเข้มข้นเฉลี่ยของโพแทสเซียมสูงที่สุดร้อยละ 2.49 รองลงมาคือ ไนโตรเจนร้อยละ 0.58 และแคลเซียมร้อยละ 0.43 ขณะที่ฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม มีความเข้มข้นเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 0.22 และ 0.26 ตามลำดับ (Agricultural Production Sciences Research and Development Division, 2017) และในส่วนของแกลบ มีปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนร้อยละ 1.90 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.48 โพแทสเซียมร้อยละ 0.81 แคลเซียมร้อยละ 0.27 และแมกนีเซียมร้อยละ 0.24 (Tyopine, 2014) ซึ่งส่งผลให้ถ่านชีวภาพที่ได้จากเปลือกทุเรียนและแกนทางปาล์มน้ำมันมีธาตุอาหารสูงกว่าแกลบ (Table 1) ซึ่งสมบัติและธาตุอาหารในถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาทำถ่านชีวภาพและอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสที่ต่างกัน (Zhang et al., 2021) สอดคล้องกับการศึกษาถ่านชีวภาพที่ส่วนใหญ่ พบว่า มีสมบัติเป็นด่าง (Pituya and Popradit, 2017) มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงอยู่ในช่วง 0-40 เซนติโมล (ประจุ)/กิโลกรัม (Verheijen et al., 2010) และมีปริมาณธาตุอาหารพืชที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (Chan and Xu, 2009)

Table 1 Biochar properties

Biochar properties	Rice husk	Durian peel	Oil palm petiole
pH (Biochar:Water 1:5 w/v)	9.44	9.95	10.28
EC (dS/m) (Biochar:Water 1:5 w/v)	0.74	0.02	0.01
OC (g/kg)	53.57	70.61	95.94
CEC (cmol _c /kg)	15.74	19.74	19.40
Total N (g/kg)	3.46	9.65	3.05
NH ₄ ⁺ (mg/kg)	6.28	12.36	7.44
NO ₃ ⁻ (mg/kg)	38.00	16.28	8.13
Avail. P (mg/kg)	346.80	558.15	599.35
Total P (g/kg)	2.33	7.70	3.10
Extr. K (mg/kg)	4518.86	61732.91	14006.80
Total K (g/kg)	6.75	88.66	17.53
Extr. Ca (mg/kg)	524.72	2084.63	5180.92
Total Ca (g/kg)	6.02	15.74	25.17
Extr. Mg (mg/kg)	218.99	1826.34	754.26
Total Mg (g/kg)	0.99	14.00	7.59
Density (g/cm ³)	0.31	0.22	0.26

Avail. = available, Extr. = Extractable

ผลของถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมันต่อสมบัติดินทรายก่อนและหลังทดลอง

ดินทรายก่อนการทดลองมีข้อจำกัดสำหรับการเจริญเติบโตของพืชหลายประการ โดยมีสภาพเป็นกรดจัดมาก (pH 4.53) มีธาตุอาหารและความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื้อดินประกอบด้วยอนุภาคทรายสูง (Brady and Weil, 2008; Onthong, 2017) แต่ไม่มีข้อจำกัดด้านความเค็ม และเมื่อนำดินผสมถ่านชีวภาพเพื่อพิจารณาสมบัติดินและธาตุ

อาหารที่เป็นประโยชน์ที่เปลี่ยนแปลงหลังผสมถ่านชีวภาพก่อนปลูกพืช พบว่า การผสมถ่านชีวภาพอัตราที่เพิ่มขึ้นในดินทรายก่อนปลูกส่งผลให้ดินมีพีเอช ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ธาตุอาหารพืชในดินเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ ดินที่มีการผสมถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนทำให้สมบัติทางเคมีและธาตุอาหารในดินสูงกว่าถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์มน้ำมัน (Table 2) สอดคล้องกับสมบัติดินหลังการทดลอง พบว่า เมื่อใส่ถ่านชีวภาพในอัตราที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้พีเอชและธาตุอาหารสูงกว่าในดินที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (Table 3) ทั้งนี้เนื่องจากถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีปริมาณธาตุอาหารสูง (Table 1) จึงปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้มาก แต่พบว่าถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนส่งผลให้ดินมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น และอยู่ในช่วงที่มีสภาพเป็นด่าง (Table 2 และ 3) ในขณะที่พีเอชดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชอยู่ในช่วง 5.5-7.0 (Brady and Weil, 2008) เนื่องจากถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีความหนาแน่นรวมต่ำสุด เมื่อนำมาผสมกับดินสัดส่วนร้อยละ โดยน้ำหนัก จึงใช้ปริมาตรสูงกว่าถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์ม จึงอาจส่งผลให้ดินผสมถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีพีเอชสูงที่สุด นอกจากนี้มีรายงานว่า ความสามารถในการเพิ่มพีเอชของดินโดยถ่านชีวภาพไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ของถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยเฉพาะความเป็นด่าง (alkalinity) และปริมาณธาตุที่เป็นแคตไอออนในถ่านชีวภาพ ถ่านชีวภาพที่มีพีเอชต่ำกว่าแต่มีความเป็นด่างสูงและมีปริมาณธาตุที่เป็นแคตไอออนมาก สามารถเพิ่มพีเอชของดินได้มากกว่าถ่านชีวภาพที่มีพีเอชสูงกว่าแต่มีความเป็นด่างต่ำ (Chintala et al., 2013; Yuan and Xu, 2011) ซึ่งพบว่าในถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้สูงกว่าในถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์มน้ำมัน (Table 1) จึงส่งผลให้พีเอชของดินที่มีการใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีพีเอชสูงสุด มีรายงานการทดลองการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวสาลีในอัตราร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าพีเอชของดินเพิ่มขึ้น (6.08 เป็น 7.18) (Purkaystha et al., 2022) และมีการศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพจากไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ดินหลังปลูกมีพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 5.27 เป็น 7.43 (Mananok et al., 2017) อีกทั้ง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มสูงขึ้นในดินหลังปลูก สอดคล้องกับการศึกษาผลของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่และกลบต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดใช้ในไนโตรเจนของข้าว ส่งผลให้สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูกเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่สกัดได้ (Hemwong, 2014) เนื่องจากในถ่านชีวภาพมีธาตุอาหารดังกล่าวเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้มีการปลดปล่อยออกมาจากถ่านชีวภาพ โดยเป็นการค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้า ๆ (Jilková and Angst, 2022) ดินหลังปลูกที่ผสมถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนในอัตราร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีปริมาณฟอสฟอรัสและปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าในดินหลังปลูกที่ผสมถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์ม อีกทั้งในดินก่อนปลูกมีเหล็กและสังกะสีอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ เมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในดินสูงทำให้พืชดูดเหล็กและสังกะสีได้น้อยลง (Osotsapar, 2015) สอดคล้องกับผลวิเคราะห์เหล็กและสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการทดลองที่มีการผสมถ่านชีวภาพ พบว่า มีค่าต่ำกว่าดินที่ไม่มีการปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพ (Table 3)

ผลของถ่านชีวภาพจากกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมันต่อการเจริญเติบโตของพืช

การใช้ถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันอัตราร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้การเจริญเติบโต (น้ำหนักแห้ง) ของข้าวโพดที่ปลูกในดินทรายสูงกว่าการใช้ถ่านชีวภาพอัตราอื่น ๆ และจากเปลือกทุเรียนทุกอัตราร้อยละชัดเจน (Table 4 และ Figure 1) เนื่องจากการใส่ถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันทำให้ดินมีค่าพีเอชที่เหมาะสมกว่าที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน (Table 2 และ 3) ส่งผลให้ธาตุอาหารในดินเป็นประโยชน์ต่อพืช (Brady and Weil, 2008) นอกจากนี้ อาจมีผลจากความสมดุลของธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในดิน ที่พบว่า สัดส่วนของธาตุดังกล่าวอยู่ในระดับที่ไม่สูงเมื่อเทียบกับที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่มีสัดส่วนโพแทสเซียมต่อแคลเซียมและโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมสูงมาก (Table 2) ซึ่งมีรายงานว่าสัดส่วนที่เหมาะสมของโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมในดินสำหรับพืชไร่ คือ น้อยกว่า 5:1 (Havlin et al., 2005) ในทางตรงกันข้าม พบว่า เมื่อใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ทำให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดต่ำกว่าการใช้ถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันอย่างชัดเจน (Figure 1 และ Table 4) เนื่องจากการใช้ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนทำให้ดินก่อนปลูกมีพีเอชสูง (Table 2) ดินมีความเป็นด่างปานกลางถึงด่างจัดมากส่งผลต่อการปลดปล่อยของธาตุอาหารพืชลดลง (Brady and Weil, 2008) จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด นอกจากนี้อาจมีผลจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน ที่พบว่า ดินที่ผสมถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้สูง (Table 2 และ 3) เนื่องจากถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีโพแทสเซียมที่สกัดได้สูง (61,732.91 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ซึ่งสูงกว่าถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันถึง 14 และ 4 เท่า ตามลำดับ (Table 1) การมีโพแทสเซียมสูงเกินไปส่งผลให้เกิดการขัดขวางการดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียมของพืชได้ (Havlin et al., 2005) จึงส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตไม่ดี

Table 2 Effect of biochar derived from rice husk (Hu), durian peel (Du) and oil palm petiole (Pa) on sandy soil properties before planting

Treat- ment	pH	EC	CEC	OM	Total N	Avail. P	Extr. K	Extr. Ca	Extr. Mg	Bulk density
		(dS/m)	(cmol _e /kg)	<.....(g/kg).....>	<.....(mg/kg).....>					(g/cm ³)
Control	5.27h	0.03e	0.76c	6.34	0.53d	13.00d	10.36d	17.66f	0.88e	1.36a
Hu 1%	5.57g	0.03e	0.76c	5.97	0.62bcd	17.52cd	55.70d	17.73f	7.40de	1.30b
Hu 2%	5.87f	0.04de	0.90bc	6.65	0.56cd	30.14bcd	72.15d	22.47f	11.13de	1.26c
Hu 3%	6.42e	0.06de	1.36ab	6.41	0.65bc	39.36b	136.49d	32.46ef	34.56c	1.22d
Du 1%	8.24b	0.24c	1.09bc	7.51	0.56cd	44.55b	539.26c	53.27e	43.57c	1.28bc
Du 2%	9.22a	0.59b	1.59a	7.18	0.70ab	70.10a	1310.17b	103.93cd	90.94b	1.23d
Du 3%	9.33a	0.77a	1.33ab	6.41	0.79a	75.25a	1604.94a	116.03c	134.06a	1.22e
Pa 1%	6.67e	0.06de	0.83c	5.84	0.52d	25.49bcd	44.84d	89.98d	13.08de	1.33b
Pa 2%	7.08d	0.11de	0.89bc	8.30	0.55cd	30.64bcd	114.85d	155.24b	26.18cd	1.26c
Pa 3%	7.42c	0.16cd	0.99bc	7.44	0.60bcd	34.19bc	180.86d	228.05a	34.53c	1.24de
F-test	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
CV (%)	2.35	33.56	23.81	16.39	8.98	21.21	31.61	17.29	27.43	2.50

Within a column, mean values in denoted by different letters differ significantly * = significant at $P \leq 0.05$; ns = not significant at $P > 0.05$, Control = without biochar, Avail. = Available, Extr. = Extractable

Table 3 Effect of biochar derived from rice husk (Hu), durian peel (Du) and oil palm petiole (Pa) on sandy soil properties after crop harvest

Treatment	pH	EC	OM	Total N	Avail. P	Extr. K	Extr. Ca	Extr. Mg	Avail. Zn	Avail. Fe
		(dS/m)	<....(g/kg)....>	<.....(mg/kg).....>						
Control	5.63f	0.10a	7.10a	0.24	34.27b	25.75cde	79.11c	0.34g	0.46a	8.55ab
Hu 1%	5.80e	0.05bc	6.47abc	0.26	49.17b	14.77e	98.16bc	3.86fg	0.29b	10.24a
Hu 2%	6.03de	0.05bcd	6.61abc	0.29	51.17b	23.75de	126.52bc	7.75ef	0.30b	8.01ab
Hu 3%	6.28d	0.06b	7.37a	0.29	82.84a	30.44cd	150.60b	7.64ef	0.43a	9.30a
Du 1%	6.99c	0.03cd	6.79ab	0.26	76.45a	88.76a	107.43bc	25.73c	0.25bc	8.42ab
Du 2%	7.42ab	0.03cd	5.50c	0.27	91.16a	55.26b	107.17bc	42.47b	0.26bc	6.24bc
Du 3%	7.73a	0.03d	5.82bc	0.27	78.58a	91.93a	113.62bc	58.20a	0.28bc	4.61c
Pa 1%	7.02c	0.04bcd	6.66abc	0.24	78.70a	13.93e	144.10b	3.63fg	0.21c	10.36a
Pa 2%	7.05c	0.03cd	7.35a	0.33	87.59a	26.93cde	225.85a	9.97de	0.24bc	10.07a
Pa 3%	7.25bc	0.03cd	7.22a	0.29	76.46a	37.94c	252.88a	12.60d	0.29b	9.19a
F-test	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
CV (%)	2.83	20	9.57	14.81	16.87	16.95	20.90	13.59	13.33	14.94

Within a column, mean values in denoted by different letters differ significantly * = significant at $P \leq 0.05$; ns = not significant at $P > 0.05$, Control = without biochar, Avail. = Available, Extr. = Extractable

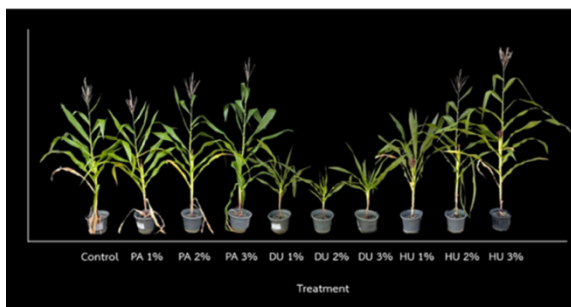


Figure 1 Effect of biochar derived from oil palm petiole (PA), durian peel (Du) and rice husk (HU) on maize growth (age 56 day). Control = without biochar

Table 4 Effect of biochar derived from rice husk (Hu), durian peel (Du) and oil palm petiole (Pa) on leaf number, plant height, stem diameter and dry weight of whole plant (age 56 day)

Treatment	Leaf number	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Dry weight (g)
Control	11.33	151.57ab	22.15a	152.48ab
Hu 1%	10.33	139.57b	20.97a	107.19c
Hu 2%	11.33	149.03ab	21.26a	131.37bc
Hu 3%	11.67	183.90a	20.62a	170.79a
Du 1%	9.66	93.00c	12.96b	40.55d
Du 2%	10.33	69.60c	14.42b	28.50d
Du 3%	7.00	66.03c	11.00b	21.75d
Pa 1%	11.00	146.27ab	22.40a	128.94bc
Pa 2%	9.67	145.17ab	22.51a	112.21c
Pa 3%	11.33	166.07ab	22.97a	173.89a
F-test	ns	*	*	*
CV (%)	20.64	17.36	16.00	17.57

Within a column, mean values in denoted by different letters differ significantly * = significant at $P \leq 0.05$; ns = not significant at $P > 0.05$, Control = without biochar

ผลของถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมันต่อความเข้มข้นของธาตุอาหาร และการดูดใช้ธาตุอาหารในพืช

วิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวโพดส่วนเหนือดินและราก พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ และโดยเฉพาะโพแทสเซียม พบว่า มีความเข้มข้นสูงเมื่อมีการใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนและสูงกว่าการใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันอย่างชัดเจน (Table 5 และ 6) ซึ่งเป็นผลมาจากมีโพแทสเซียมที่สกัดได้ในถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนสูงมากกว่าถ่านชีวภาพจากแกลบและแกนทางปาล์มน้ำมัน (Table 1) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการดูดใช้ธาตุอาหารพืช (Figure 2 และ Figure 3) ซึ่งคำนวณจากความเข้มข้นธาตุอาหารและน้ำหนักแห้ง พบว่า ข้าวโพดที่ปลูกในดินที่ใส่ถ่านชีวภาพจากแกนทางปาล์มน้ำมันอัตราร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีการดูดใช้ธาตุอาหารสูงที่สุด โดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในขณะที่ข้าวโพดที่ปลูกในดินที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีการดูดใช้ธาตุอาหารต่ำที่สุด (Figure 2 และ 3) แม้จะมีความเข้มข้นสูง ปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดจาก dilution effect ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อพืชที่เจริญเติบโตไม่มีการสะสมธาตุอาหารในความเข้มข้นสูง (Jarrell and Beverly, 1981) เนื่องจากธาตุอาหารที่ดูดเข้ามา ถูกกระจายอยู่ในมวลชีวภาพที่น้อย ในกรณีนี้ข้าวโพดที่ปลูกในดินที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีการเจริญเติบโตต่ำ (Table 4) จึงมีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูง แต่การดูดใช้ธาตุอาหารรวมต่ำ

Table 5 Effect of biochar derived from rice husk (Hu), durian peel (Du) and oil palm petiole (Pa) on nutrient concentration (g/kg) in maize above ground

Treatment	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total Zn	Total Fe
Control	14.29b	0.54	9.20c	6.84a	1.49cde	0.06a	0.09acd
Hu 1%	12.79c	0.63	10.00c	2.54c	1.36e	0.05bc	0.07de
Hu 2%	14.08b	0.84	13.58bc	3.47bc	1.65cd	0.05b	0.07de
Hu 3%	10.52d	0.57	6.88c	2.83c	1.56cde	0.04bcd	0.04e
Du 1%	18.58a	1.48	18.47ab	3.97bc	2.10a	0.04de	0.11ac
Du 2%	14.92b	2.00	20.64a	2.44c	2.03a	0.03ef	0.09acd
Du 3%	11.10d	1.75	17.94ab	3.40bc	1.96ab	0.02f	0.12a
Pa 1%	11.54d	0.62	9.47c	4.64b	1.39e	0.04cd	0.08cde
Pa 2%	14.26b	0.88	9.54c	3.00bc	1.73bc	0.05bc	0.18a
Pa 3%	12.84c	0.99	10.26c	2.68c	1.43de	0.03de	0.09cd
F-test	*	ns	*	*	*	*	*
CV (%)	4.82	64.08	30.08	24.30	8.38	12.20	19.35

Within a column, mean values in denoted by different letters differ significantly * = significant at $P \leq 0.05$; ns = not significant at $P > 0.05$, Control = without biochar

Table 6 Effect of biochar derived from rice husk (Hu), durian peel (Du) and oil palm petiole (Pa) on nutrient concentration (g/kg) in maize root

Treatment	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total Zn	Total Fe
Control	7.18f	0.82f	5.82g	4.38c	0.68g	0.02d	0.99bc
Hu 1%	9.58bc	1.05e	10.39e	2.40d	0.88f	0.04ab	0.78c
Hu 2%	8.23d	1.15d	12.06e	3.95c	0.85f	0.04ab	0.83c
Hu 3%	7.55ef	1.35c	17.02d	2.88d	1.09e	0.03bc	0.70c
Du 1%	11.23a	1.48b	32.03b	5.14b	1.38d	0.04a	2.57a
Du 2%	9.80b	1.38c	40.47a	5.14b	1.82b	0.02d	1.07bc
Du 3%	9.15c	1.55a	33.30b	6.22a	2.21a	0.03bc	0.72c
Pa 1%	7.32ef	1.17d	8.11f	5.63ab	1.47cd	0.03c	2.70a
Pa 2%	8.14d	1.54a	12.32e	5.10b	2.15a	0.03c	1.51b
Pa 3%	7.76de	1.03e	21.82c	3.78c	1.54c	0.02d	0.62c
F-test	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	3.61	1.60	5.95	8.97	3.57	16.67	24.80

Within a column, mean values in denoted by different letters differ significantly * = significant at $P \leq 0.05$. Control = without biochar

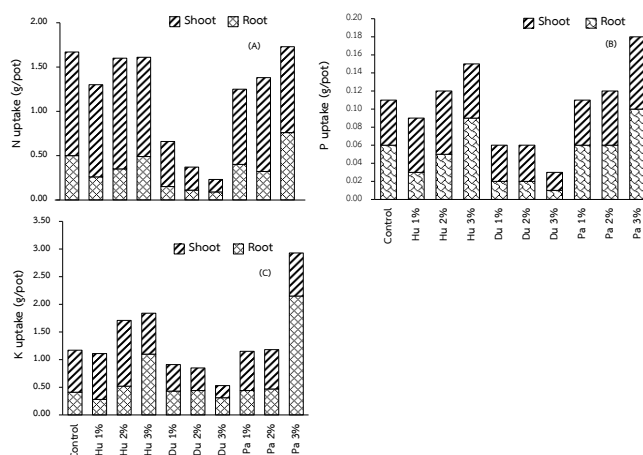


Figure 2 Effect of biochar derived from rice husk (Hu), durian peel (Du) and oil palm petiole (Pa) on nitrogen (a), phosphorus (b), and potassium (c) uptake of maize shoot and root. Control = without biochar

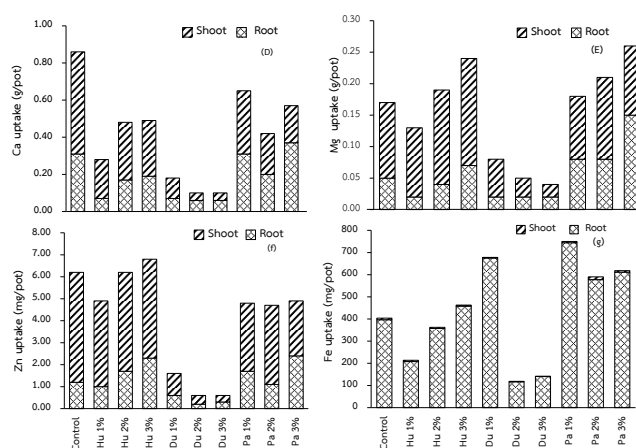


Figure 3 Effect of biochar derived from rice husk, durian peel and oil palm petiole on calcium (d), magnesium (e), zinc (f), and iron (g) uptake of maize shoot and root. Control = without biochar

สรุปผลการศึกษา

ดินทราย เป็นดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมัน ที่มีพีเอชสูง มีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเป็นองค์ประกอบ ส่งผลให้ดินทรายมีพีเอช ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และมีปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนทำให้พีเอชดินก่อนปลูกสูงเกินไปและมีโพแทสเซียมที่สกัดได้สูงมากเมื่อเทียบกับถ่านจากแกลบและแกนทางปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดลดลง ขณะที่การใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ให้ผลดีที่สุด โดยมีน้ำหนักแห้งข้าวโพดและการดูดใช้ธาตุอาหารสูงสุด ดังนั้น การนำถ่านชีวภาพไปใช้ในดินทรายควรคำนึงถึงชนิดและอัตราการใส่ที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงสมบัติดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม สมมุติฐาน การทดลอง กราฟ ตาราง การวิเคราะห์ข้อมูล และ บทความวิจัยฉบับร่าง: เจนจิรา คงเรือง. การวิเคราะห์ข้อมูล แปลผล ตรวจสอบ และ แก้ไขบทความวิจัยฉบับร่าง: จำเป็น อ่อนทอง. การวิเคราะห์ข้อมูล แปลผล ตรวจสอบ และ แก้ไขบทความวิจัยฉบับร่าง: จักรกฤษณ์ พูนภักดี. ความคิดริเริ่ม สมมุติฐาน ออกแบบการทดลอง วิธีการเก็บข้อมูล การ

วิเคราะห์ข้อมูล แปลผล เปรียบเทียบกับข้อสรุปผลกับทฤษฎี ตรวจสอบแก้ไขบทความวิจัยฉบับร่างและสมบูรณ์ และ กำกับดูแล
แผนงาน: ขวัญตา ขาวมี.

เอกสารอ้างอิง

- Agricultural Production Sciences Research and Development Division. (2017). **Macro and Micro Nutrient Removal by Commercial Durian Cultivar in Eastern Region**. Retrieved from: <https://www.doa.go.th/plan/wp-content/uploads/2021/05/431.2การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่สูญเสียไปกับผลผลิตทุเรียน.pdf>. (in Thai).
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). **Methods of Soil Analysis**. Soil Science Society of America Madison.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). **The Nature and Properties of Soils**. Pearson Education.
- Bunjongkarn, B., & Pukanan, Y. (2022). The study of concept test of durian rind products and market research of the new product from durian rind. **Rajabhat Rambhai Barni Research Journal**, 16(1), 66-78. (in Thai).
- Butnan, S., Deenik, J. L., Toomsan, B., Antal, M. J., & Vityakon, P. (2015). Biochar properties affecting corn growth in a sandy soil of Northeast Thailand. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 43(Suppl. 1), 354-359. (in Thai).
- Chan, K. Y., & Xu, Z. (2009). Biochar: Nutrient properties and their enhancement. In Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.), **Biochar for Environmental Management Science and Technology**, pp. 67-81. London Sterling VA.
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D., & Julson, J. L. (2013). Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 60(3), 393-401. <https://doi.org/10.1080/03650340.2013.789870>.
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2019). **Biomass Statistics of Thailand**. Retrieved from: http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html?fbclid=IwY2xjawK3rABleHRuA2FlbQlXMAbicmlkETfXsJVPe. (in Thai).
- Downie, A., Crosky, A., & Munroe, P. (2009). Physical properties of biochar. In Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.), **Biochar for Environmental Management Science and Technology**, pp. 13-29. London Sterling VA.
- Ghorbani, M., Asadi, H., & Abrishamkesh, S. (2019). Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil. **Internation Soil and Water Conservation Research**, 7(3), 258-265.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2005). **Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management**. Pearson.
- Hemwong, S. (2014). Effects of bamboo and rice husk biochars on yield and nitrogen use efficiency of Chainat 1 rice variety. **Journal of Science & Technology Ubon Ratchathani University**, 16(1), 69-75. (in Thai).
- Jarrell, W. M., & Beverly, R. B. (1981). The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, 34(1), 197-224. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60887-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60887-1).
- Jilkov, V., & Angst, G. (2022). Biochar and compost amendments to a coarse-textured temperate agricultural soil lead to nutrient leaching. **Applied Soil Ecology**, 173(1), 1-6.
- Lehmann, J., Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertiliser, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, 249(1), 343-357.
- Lehmann, J. (2007). A handful of carbon. **Nature**, 447(1), 143-144.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: An Introduction. In Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.), **Biochar for Environmental Management Science and Technology**, pp. 1-9. London Sterling VA.
- Lima, J. R., Silva, W. M., Medeiros, E. V., Duda, G. P., Corrêa, M. M., Filho, A. P. M., Dauphin, C. C., Antonino, A. C. D., & Hammecker, C. (2018). Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. **Geoderma**, 319(1), 14-23.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., & Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant & Soil**, 333(1), 117-128.
- Manaonok, J., Gonkhamdee, S., Dejbhimon, K., Polpinit W. K., & Jothityangkoon, D. (2017). Biochar: Its effect on soil properties and growth of wet-direct seeded rice (A pot trial). **Khon Kaen Agriculture Journal**, 45(2), 209-220. (in Thai).
- Onthong, J. (2017). **Problem Soil and Management**. Prince of Songkla University Songkhla. (in Thai).
- Onthong, J., & Poonpakdee, C. (2020). **Soil and Plant Analysis Guide**. Department of Earth Science Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University Songkhla. (in Thai).
- Osotsapar, Y. (2015). **Plant Nutrition**. Kasetsart University. (in Thai).
- Oueriemmi, H., Kidd, P. S., Cepeda, C. T., Garrido, B. R., Zoghalmi, R. I., Ardhaoui, K., Fernández, A. P., & Moussa, M. (2021). Evaluation of composted organic wastes and farmyard manure for improving fertility of poor sandy soils in arid regions. **Agriculture**, 11(5), 415. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050415>.
- Pituya, P., & Popradit, A. (2017). Development and restoration of Sandy soil in the Rain-shadow area with bio-charcoal. **VRU Research and Development Journal Science and Technology**, 12(3), 27-38. (in Thai).

- Poovarodom, S. (2021). **Creating Durian Garden from Beginner to Professional**. Kehakaset. (in Thai).
- Pornamnuaylap, D., & Suaysom, W. (2021). **Effect of Biochar on the Growth and Yield of Maize on Sloping Land in Soil Series Group No 55 Nan Province**. Retrieved from: <https://e-library.ldd.go.th/library/flip/bib10544f/bib10544f.html> (in Thai).
- Purkaystha, J., Prasher, S., Afzal, T. M., Nzediegwu, C., & Dhiman, J. (2022). Wheat straw biochar amendment significantly reduces nutrient leaching and increases green pepper yield in a less fertile soil. **Environmental Technology and Innovation**, 28(1), 1-16.
- Regional Commercial Affairs Division. (2022). **Durian**. Retrieved from: <https://regional.moc.go.th/th/file/get/file/20240618af6901156ca698425efd29b556b804b6093140.pdf>. (in Thai).
- Sirising, S., & Suksawang, O. (2013). Biochar application to soil improvement for agriculture. **Journal of Social Sciences and Humanities**, 39(2), 212-225. (in Thai).
- Suratthani Oil Palm Research Center. (2010). **Oil Palm Innovation**. Suratthani Oil Palm Research Center. (in Thai).
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., van der Velde, M., & Diafas, I. (2010). **Biochar Application to Soils**. European Communities.
- Tyopine, A. A. (2014). Comparative assessment of the nutritive value of compost rice husks and NPK branded inorganic fertilizers. **Science Journal of Agricultural Research and Management**, 274(1), 1-4.
- Yuan, J. H., & Xu, R. K. (2011). The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. **Soil Use and Management**, 27(1), 110-115.
- Zhang, C., Huang, X., Zhang, X., Wan, L., & Wang, Z. (2021). Effects of biochar application on soil nitrogen and phosphorous leaching loss and oil peony growth. **Agricultural Water Management**, 255(1), 1-13.

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มกะปิคลองด่านชุมชน 3

ตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ

Development of Packaging for Khlong Dan Shrimp Paste Community Enterprise Group 3,
Klong Dan Subdistrict, Bang Bo District, Samut Prakan Provinceญาณวิทย์ เที่ยวนาราโรจน์¹, ฉันททัย เกิดศรีเสริม^{1*} และอภิชาติ สุขเจริญคนา²
Yannawit Thiennararoj¹, Chanhathai Kerdsriserm^{1*} and Apichat Sukcharoenkana²

Received date: 27 ก.พ. 68 Revised date: 19 มิ.ย. 68 Accepted date: 25 มิ.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.265543>

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาปัญหาความต้องการในการออกแบบบรรจุภัณฑ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มกะปิคลองด่านชุมชน 3 ตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ 2) เพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ และ 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจต่อรูปแบบบรรจุภัณฑ์ของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ ใช้วิธีวิจัยแบบผสมผสานวิธี (Mixed Methods Research) ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยมีประชากรทั้งหมด 9 ราย และประยุกต์กระบวนการวิจัยแบบมีส่วนร่วม เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ แบบสัมภาษณ์เชิงลึก แบบสอบถามความพึงพอใจ และกิจกรรมสนทนากลุ่ม การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยสถิติพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษาพบว่า สภาพปัญหาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ ยังขาดบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมแก่การเป็นของฝากและต้องการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมโดยใช้วัสดุเป็นกระดาษ มีรูปแบบเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าพร้อมหูจับ สามารถพับเก็บขนส่งสะดวก ซ้อนทับได้ และมีความแข็งแรงทนทาน บรรจุภัณฑ์ใช้เป็นสีน้ำตาลอ่อนมีฉลากสีขาว และระบุรายละเอียดในฉลากดังนี้ สูตรทำน้ำพริกกะปิ ส่วนประกอบ วันผลิตและวันหมดอายุ ความเป็นมาวิสาหกิจชุมชน ฯ QR Code สถานที่ผลิต และใช้ภาพที่ตั้งกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ เป็นภาพประกอบ ผลการศึกษาความพึงพอใจพบว่า บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1 มีความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.57$, S.D. = 0.22) โดยด้านสีมีความพึงพอใจมากที่สุด รองลงมาด้านฉลากมีความพึงพอใจมาก และน้อยที่สุดด้านคุณสมบัติมีความพึงพอใจปานกลาง

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ครั้งนี้ช่วยเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากเดิมราคา 60 บาท เป็น 159 บาท โดยออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้มีความทันสมัย สะดวก และน่าเชื่อถือทำให้ดึงดูดผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น โดยมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นของสมาชิกซึ่งเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนากลุ่มวิสาหกิจชุมชนอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ วิสาหกิจชุมชน ผลิตภัณฑ์กะปิ

Abstract

This research aimed to 1) study the problems and needs regarding packaging design for the Khlong Dan Shrimp Paste Community Enterprise Group 3, located in Klong Dan Subdistrict, Bang Bo District, Samut Prakan Province, 2) develop packaging for the community enterprise group, and 3) assess members' satisfaction with the developed packaging design. The study employed a mixed methods research approach, integrating both qualitative and quantitative methods, with a total of 9 participants. A participatory action research process was applied throughout the study. Data collection instruments included in-depth interviews, a satisfaction questionnaire, and focus group discussions. Quantitative data were analyzed using descriptive statistics including frequency, percentage, mean, and standard deviation.

The findings revealed that the community enterprise group lacked suitable packaging for use as a local souvenir product. The group expressed the need for packaging made from paper, in a rectangular box shape with a handle, foldable for convenient transport, stackable, and durable. The packaging was designed in a light

¹ สำนักงานบริหารหลักสูตรสหวิทยาการเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520¹

² สำนักงานเกษตรอำเภอบางบ่อ สมุทรปราการ 10560

¹ Office of Administrative Interdisciplinary Program on Agricultural Technology, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

² Bang Bo District Agricultural Office, Samut Prakan 10560

*Corresponding author, Email: Chanhathai.ke@kmitl.ac.th

brown color with a white label. The label contained product details including: the recipe for shrimp paste chili dip, list of ingredients, production and expiration dates, a brief history of the community enterprise, QR code, production location, and a background image of the group's geographical location according to the satisfaction assessment, the first packaging design received the highest overall satisfaction ($\mu = 4.57$, S.D. = 0.22). In terms of specific elements, the color received the highest level of satisfaction, followed by the label design, while the lowest satisfaction was found in terms of functional attributes.

This packaging development significantly enhanced the product's market value, increasing its price from 60 THB to 159 THB. The newly designed packaging emphasized modernity, convenience, and trustworthiness, contributing to greater consumer appeal. Moreover, the exchange of ideas among group members during the research process laid a strong foundation for the sustainable development of the community enterprise.

Keywords: packaging development, community enterprise, shrimp paste products

คำนำ

ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 13 หมายความว่า 1 ไทยเป็นประเทศชั้นนำสินค้าเกษตรและสินค้าเกษตรแปรรูปมูลค่าสูง ตามเป้าหมายที่ 1 เพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตรและเกษตรแปรรูปสูงขึ้น โดยเน้นส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพผู้ประกอบการท้องถิ่นระดับชุมชน เพื่อให้เกิดการสร้างงาน สร้างรายได้ให้กับธุรกิจต่าง ๆ จากแนวคิดดังกล่าว จึงเกิดแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนให้แข็งแกร่ง สามารถแข่งขันกับตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศได้มากขึ้น (Office of the National Economic and Social Development Council, 2022)

ในปี 2566 ได้มีวิสาหกิจชุมชนที่จดทะเบียนมากกว่า 82,000 แห่ง สามารถสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจกว่า 8,000 ล้านบาท ต่อปี (Department of Agricultural Extension, 2024) มีการดำเนินกิจการเกี่ยวกับการผลิตสินค้าและการให้บริการ โดยคนที่อยู่ภายในชุมชนและรวมตัวกันประกอบธุรกิจเพื่อสร้างรายได้ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในระดับประเทศในการสร้างความเข้มแข็งด้านเศรษฐกิจและสังคมในระดับท้องถิ่นของประเทศไทย (Department of Agricultural Extension, 2014) แสดงให้เห็นถึงการแข่งขันของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่เพิ่มมากขึ้น มีการพัฒนาความสามารถและยกระดับศักยภาพให้แข็งแกร่งขึ้น เช่น ด้านปัจจัยการผลิต ด้านพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ด้านพัฒนาผลิตภัณฑ์ ด้านการตลาด ทำให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็กมีความเข้มแข็ง และสามารถพึ่งพาตนเองได้ รวมไปถึงสามารถแข่งขันกับวิสาหกิจชุมชนขนาดใหญ่ นำกลยุทธ์ทางการตลาดด้านบรรจุภัณฑ์มาเป็นเครื่องมือช่วยในการดำเนินธุรกิจให้ประสบความสำเร็จ เมื่อผู้บริโภคเห็นสินค้าและยอมรับในการออกแบบของบรรจุภัณฑ์จะนำไปสู่การกระตุ้นความต้องการซื้อสินค้า และเกิดการตัดสินใจซื้อในที่สุด บรรจุภัณฑ์จึงต้องโดดเด่น ไม่ใช่แค่เพียงทำหน้าที่เป็นแค่ภาชนะบรรจุปกป้องสินค้าเท่านั้น แต่ยังเป็นเครื่องมือสำหรับผู้ประกอบการในการใช้กลยุทธ์การตลาดช่วยส่งเสริมภาพลักษณ์ที่ดี ของผลิตภัณฑ์ ทำให้สินค้าเป็นที่จดจำมีความน่าสนใจและยังเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับตัวสินค้าสร้างภาพลักษณ์ให้สินค้ามีความน่าสนใจ (Department of Agricultural Extension, 2023)

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มกะปิคลองด่านชุมชน 3 จดทะเบียนกลุ่มวันที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2561 มีสมาชิกจำนวน 9 ราย และมีการจ้างแรงงานในชุมชนเพื่อผลิตสินค้าในเขตชายฝั่งทะเล มีทรัพยากรธรรมชาติทางทะเลจำนวนมาก ได้รับการถ่ายทอดภูมิปัญญาในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางทะเล เช่น กะปิ จากบรรพบุรุษมายาวนานกว่า 100 ปี เพื่อสร้างอาชีพและรายได้ให้กับคนในพื้นที่ โดยมุ่งเน้นการผลิตกะปิคุณภาพสูง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับในด้านความสดใหม่ รสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ และกระบวนการผลิตที่สะอาดและปลอดภัยตามมาตรฐาน (Department of Agricultural Extension, 2024) อย่างไรก็ตามถึงแม้ผลิตภัณฑ์กะปิของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนนี้จะมีคุณภาพสูง แต่ยังมีบางผลิตภัณฑ์ที่มีบรรจุภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานและขาดเอกลักษณ์ที่จะดึงดูดผู้บริโภคทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถจำหน่ายภายนอกชุมชนได้อย่างกว้างขวางและไม่สร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ขาดองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ดึงดูดใจผู้บริโภค และตรงตามความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ๆ จึงได้มีการศึกษางานวิจัยเรื่อง การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ๆ เกี่ยวกับรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตลักษณ์ โดดเด่นสามารถดึงดูดความสนใจ รวมไปถึงได้นำทฤษฎีโดยเลือกสีตามวงล้อคู่สีของ (Morton, 1995) มาใช้ในการออกแบบ เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในตัวสินค้าจากผู้บริโภค เพิ่มศักยภาพการแข่งขันในตลาดให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ๆ ให้มีความเข้มแข็งและสามารถพึ่งพาตนเองได้

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบผสมผสานวิธีประกอบด้วยวิธีการวิจัยเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ (Mixed Methods Research) ใช้กระบวนการดำเนินการวิจัยโดยประยุกต์กระบวนการวิจัยแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research) เพื่อให้เกิดการมีส่วนร่วมของชุมชน ประชากรที่ใช้ศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ประธานและสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชน จำนวน 9 ราย เครื่องมือที่ใช้ดำเนินการ ได้แก่ แบบสัมภาษณ์เชิงลึก แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจ กิจกรรมสนทนากลุ่มและได้ศึกษางานวิจัยเรื่อง การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์แคหมูนายแม่ จังหวัดลำปาง (Bunliang, 2018) เพื่อสร้างเครื่องมือแบบสัมภาษณ์เชิงลึกและได้ศึกษางานวิจัย การพัฒนาป้ายฉลากน้ำตาลสด กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลิ่นไอดาล ตำบลบางโพธิ์ อำเภอมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร (Samphaongen and Noodaeng, 2020) เพื่อสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจ และได้ตรวจสอบเครื่องมือ โดยนำแบบสอบถามฉบับร่างที่ได้ดำเนินการแก้ไขไปตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยหาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ได้ผลการวิเคราะห์ค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม มีค่าเฉลี่ยของดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ได้ 0.50 – 1.00 อยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ทุกข้อ

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) ศึกษาแนวคิดการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ด้านวัสดุ ด้านรูปแบบ ด้านคุณสมบัติ ด้านฉลาก ด้านสี ด้านตัวอักษร ด้านภาพประกอบตลอดจนด้านวัฒนธรรมรวมไปถึงอัตลักษณ์ท้องถิ่น

2) ดำเนินการสัมภาษณ์ลักษณะบรรจุภัณฑ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน จำนวน 9 ราย โดยใช้แบบสัมภาษณ์เชิงลึกประธานและสมาชิกของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน จำนวน 9 ราย ในประเด็นด้านวัสดุ ด้านรูปแบบ ด้านคุณสมบัติ ด้านฉลาก ด้านสี ด้านตัวอักษร ด้านภาพประกอบ

3) การออกแบบร่าง (Sketch Design) โดยจัดกิจกรรมสนทนากลุ่มกับประธานและสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชน จำนวน 9 รายกำหนดแนวคิดในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ กำหนดกรอบแนวคิดการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ วัสดุ รูปแบบ คุณสมบัติ ฉลาก สี ตัวอักษร ภาพประกอบ เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ผู้วิจัยจึงออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่สอดคล้องกับอัตลักษณ์ชุมชน

4) พัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเก็บข้อมูลทั้งจากสัมภาษณ์เชิงลึก และกิจกรรมสนทนากลุ่ม ออกมา 5 รูปแบบ

5) นำต้นแบบบรรจุภัณฑ์ที่ได้ให้เจ้าหน้าที่สำนักงานเกษตรอำเภอบางบ่อ จำนวน 2 ท่าน เพื่อประเมินความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์

6) ออกแบบบรรจุภัณฑ์รอบสุดท้าย เลือกแบบที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของเจ้าหน้าที่สำนักงานเกษตรอำเภอบางบ่อ และนำไปเสนอให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

7) สำนักรวความพึงพอใจต้นแบบบรรจุภัณฑ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชน จำนวน 9 ราย โดยมีข้อคำถามวัดระดับความพึงพอใจ 5 ระดับ แบบ Likert Scale โดยลักษณะของข้อมูลเป็นสเกลอันดับความพึงพอใจ (Interval Scale) (Srineeel, 2017) โดยหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกำหนดการแปลความหมายเป็น 5 ระดับ (Phaimahaniyom, 2023)

ช่วงคะแนนเฉลี่ย 4.50 – 5.00 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด

ช่วงคะแนนเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายถึง พึงพอใจมาก

ช่วงคะแนนเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง

ช่วงคะแนนเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายถึง พึงพอใจน้อย

ช่วงคะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด

ขั้นตอนการออกแบบบรรจุภัณฑ์

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เป็นขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อให้บรรจุภัณฑ์มีความเหมาะสมสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ภายในบรรจุภัณฑ์การกำหนดแนวทางในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ และตัดสินใจเลือกบรรจุภัณฑ์ ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดผลิตภัณฑ์ที่จะดำเนินการออกแบบบรรจุภัณฑ์

2) ศึกษาแบบบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกัน

3) วางแนวทางและออกแบบบรรจุภัณฑ์ต้นแบบ

4) ตรวจสอบและรับข้อเสนอแนะจากเจ้าหน้าที่สำนักงานเกษตรอำเภอบางบ่อ

5) แก้ไขและปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ตามข้อเสนอแนะของเจ้าหน้าที่สำนักงานเกษตรอำเภอบางบ่อ

6) นำบรรจุภัณฑ์ไปสอบถามความคิดเห็นจากประธานและสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

7) สรุปผลการพัฒนาและออกแบบ พร้อมนำบรรจุภัณฑ์ไปใช้จริง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการสัมภาษณ์เชิงลึก พบข้อมูลสภาพปัญหาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ๑ คือ ขาดบรรจุภัณฑ์กะปิอัดก้อนที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นของฝาก มีแนวทางการแก้ไขปัญหาคือ พัฒนาบรรจุภัณฑ์ให้สามารถนำไปใช้เป็นของฝากได้ โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบบรรจุภัณฑ์โดยนำข้อมูลความต้องการพัฒนาบรรจุภัณฑ์มาเป็นแนวทางในการออกแบบ แบ่งออกเป็น 7 ด้าน ซึ่งทางกลุ่มได้เลือกตั้งนี้ ด้านวัสดุต้องการใช้เป็นกระดาษมากที่สุด รองลงมาคือพลาสติก ด้านรูปแบบให้บรรจุภัณฑ์มีลักษณะทรงสี่เหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า กล่องมีหูหิ้วหรือหูจับ ด้านคุณสมบัติให้มีความแข็งแรงทนทาน พับเก็บขนส่งง่าย พกพาสะดวก ซ้อนทับได้ และมีลักษณะภายนอกเหมาะสมแก่การเป็นของฝาก รองลงมาคือ สามารถเห็นผลิตภัณฑ์ภายในได้ ด้านฉลากให้บ่งบอกถึงอัตลักษณ์ชุมชน โดยให้มีลวดลายคลื่น, ทะเล, สื่อความหมายถึงกะปิ, วิสาหกิจชุมชน ๑, เคย และระบุรายละเอียดในฉลากดังนี้ สูตรน้ำพริกกะปิ ส่วนประกอบ วันผลิตวันหมดอายุ ความเป็นมาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ๑ QR Code ช่องทางการติดต่อ เบอร์โทรศัพท์ เรื่องราวสั้น ๆ ตราสินค้า ชื่อกลุ่ม และสถานที่ผลิต ด้านสีให้ใช้สีน้ำตาล สีน้ำเงิน สีชมพูเป็นสีบรรจุภัณฑ์ และสีฉลากใช้สีขาว สีน้ำตาล แดง ด้านตัวอักษรให้ใช้ตัวอักษรปกติที่ทันสมัย ตัวอักษรมีหัวหรือไม่มีหัวตามความเหมาะสมขนาดตัวอักษรที่พอดีกับขนาดบรรจุภัณฑ์ และใช้สีดำ สีเขียว สีขาว และสีทองเป็นตัวอักษร ด้านภาพประกอบต้องการภาพที่ตั้งกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ภาพเคยแดง และให้ใส่ภาพเครื่องหมายวิสาหกิจชุมชน ๑ เครื่องหมาย OTOP เครื่องหมายอาหารและยา และตรากรมส่งเสริมการเกษตรบนฉลาก โดยมีลวดลายบนบรรจุภัณฑ์ที่บ่งบอกถึงจุดเด่นของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ลวดลายเคยแดง ภูเขา อ่าวคลองด่าน ชื่อผลิตภัณฑ์ และเขียนคำว่ากะปิให้ชัดเจน มีข้อเสนอแนะอื่น ๆ ให้เล่าความเป็นมาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนสั้น ๆ และเคล็ดลับในการปรุงอาหาร

จากการจัดกิจกรรมสนทนากลุ่มพบว่า ทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ๑ ได้ตัดสินใจเลือกใช้กระดาษเป็นวัสดุและได้ช่วยกันเลือกรูปแบบบรรจุภัณฑ์โดยได้นำตัวอย่างมาให้ผู้วิจัยใช้เป็นต้นแบบในการออกแบบกราฟิก รวมไปถึงได้ร่วมกันถ่ายภาพที่ตั้งกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ๑ เพื่อนำภาพใส่บนบรรจุภัณฑ์

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยได้ออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ๑ 5 รูปแบบ ที่มีมาตรฐานและสร้างความโดดเด่น (Figure 1 - 5)

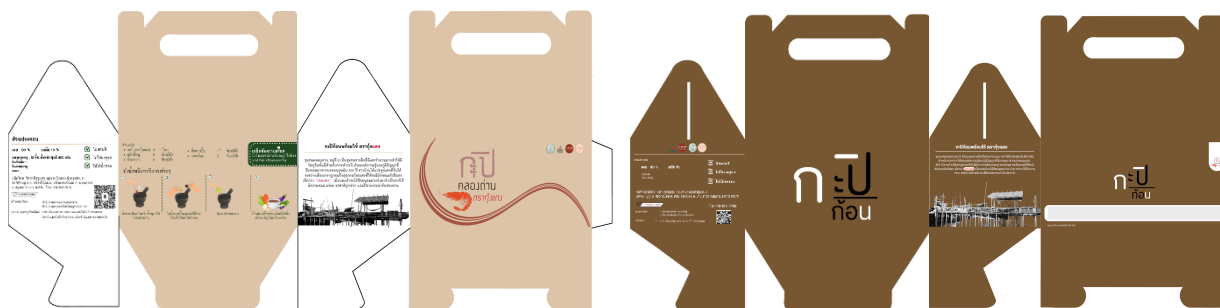


Figure 1 Packaging format 1

Figure 2 Packaging format 2



Figure 3 Packaging format 3

Figure 4 Packaging format 4



Figure 5 Packaging format 5

นำบรรจุภัณฑ์ทั้ง 5 รูปแบบไปนำเสนอให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ เพื่อหาความพึงพอใจต่อรูปแบบบรรจุภัณฑ์โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูล ผลการวิจัยพบว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ มีความพึงพอใจต่อรูปแบบที่ 1 มากที่สุดดังนี้



Figure 6 Package scale 1:3

ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดจำนวน 9 ราย ส่วนใหญ่เป็นเพศชายคิดเป็นร้อยละ 66.67 และเป็นสมาชิกวิสาหกิจชุมชน 5 - 6 ปี คิดเป็นร้อยละ 77.78 มากที่สุดมีช่วงอายุระหว่าง 51 - 60 ปี คิดเป็นร้อยละ 44.44 และมีอาชีพพ่อค้าแม่ค้า คิดเป็นร้อยละ 44.44 (Table 1)

Table 1 General Information

Characteristics	Frequency (N)	Percentage (%)
Gender		
Male	6	66.67
Female	3	33.33
Age		
Less than or equal 40	1	11.11
41 - 50	2	22.22
51 - 60	4	44.44
Year of community enterprise membership		
1 – 2 Year	1	11.11
3 – 4 Year	1	11.11
5 – 6 Year	7	77.78
Occupation		
Vendors	4	44.44
Fisheries	3	33.34
Housewife	2	22.22

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจต่อรูปแบบบรรจุภัณฑ์ทั้ง 5 รูปแบบ

จากการศึกษาพบว่า ความพึงพอใจต่อรูปแบบบรรจุภัณฑ์ พบว่า บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1 มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.57$) รองลงมา บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2 ($\mu = 3.49$) และน้อยที่สุดบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 5 ($\mu = 2.90$)

Table 2 Results of the analysis of satisfaction data on the 5 packaging formats

Characteristics	Format 1 μ Interpret Results	Format 2 μ Interpret Results	Format 3 μ Interpret Results	Format 4 μ Interpret Results	Format 5 μ Interpret Results
Material aspect	4.67 Highest	4.67 Highest	4.67 Highest	4.67 Highest	4.67 Highest
Format aspect	4.63 High	4.63 Highest	4.63 Highest	4.63 Highest	4.63 Highest
Features	3.82 High	3.73 High	3.98 High	3.07 Moderate	2.91 Moderate
Label side	4.69 Highest	3.72 High	4.03 High	3.47 Moderate	3.47 Moderate
Color side	4.74 Highest	3.30 Moderate	3.26 Moderate	3.67 High	2.19 LOW
Character side	4.48 High	3.04 Moderate	3.48 Moderate	3.00 Moderate	2.70 Moderate
Illustration	4.33 High	3.81 Moderate	3.93 High	3.22 Moderate	3.04 Moderate
Total average	4.57 Highest	3.49 Moderate	3.70 High	3.35 Moderate	2.90 Moderate

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจต่อรูปแบบบรรจุภัณฑ์รายด้านของบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1

ด้านวัสดุพบว่า วัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรงทนทานสามารถป้องกันผลิตภัณฑ์ภายในบรรจุภัณฑ์ มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.89$, S.D. = 0.33) วัสดุบรรจุภัณฑ์มีความเหมาะสมสอดคล้องกับชนิดผลิตภัณฑ์ที่อยู่ด้านใน มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.67$, S.D. = 0.50) วัสดุที่ใช้มีความปลอดภัยเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.44$, S.D. = 0.73)

ด้านรูปแบบพบว่า รูปแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.56$, S.D. = 1.01) รูปแบบบรรจุภัณฑ์แสดงถึงความคิดสร้างสรรค์มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.55$, S.D. = 0.73) รูปแบบบรรจุภัณฑ์มีขนาดที่พกพาสะดวกมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.80$, S.D. = 0.67)

ด้านคุณสมบัติพบว่า บรรจุภัณฑ์สามารถทำให้จดจำผลิตภัณฑ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มกะปิคลองด่านชุมชน 3 มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.67$, S.D. = 0.71) บรรจุภัณฑ์ใช้งานง่ายสามารถเปิดปิดนำสินค้าออกมาและเก็บได้อย่างสะดวกมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.33$, S.D. = 1.00) บรรจุภัณฑ์เหมาะแก่การซื้อไปเป็นของฝากมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.67$, S.D. = 0.71) บรรจุภัณฑ์จัดเก็บสะดวกสามารถซ้อนทับเพื่อประหยัดพื้นที่ในการขนส่งและวางจำหน่าย มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.44$, S.D. = 0.53)

ด้านฉลากพบว่า ฉลากบรรจุภัณฑ์มีข้อมูลรายละเอียดสำคัญครบถ้วนตามที่ผู้บริโภคควรทราบมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.78$, S.D. = 0.67) ฉลากบ่งบอกถึงอัตลักษณ์ชุมชนของผลิตภัณฑ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มกะปิคลองด่านชุมชน 3 มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.56$, S.D. = 0.88) มีการปรับขนาดตราสินค้าอย่างเหมาะสม มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.48$, S.D. = 0.67) มีการจัดวางตราสินค้าที่เหมาะสม มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.67$, S.D. = 0.50)

ด้านสีพบว่า สีมีความสวยงามน่าดึงดูด มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.67$, S.D. = 0.71) การจับคู่สีมีความเหมาะสมน่าสนใจมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.78$, S.D. = 0.67) สีฉลากมีความเหมาะสมในการอ่านรายละเอียดสินค้า มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.78$, S.D. = 0.44)

ด้านตัวอักษรพบว่า รูปแบบตัวอักษร อ่านง่าย มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.33$, S.D. = 0.87) ขนาดตัวอักษร มีสัดส่วนเหมาะสม มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.44$, S.D. = 0.53) สีตัวอักษรสามารถมองเห็นได้ชัดเจนและโดดเด่น มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.67$, S.D. = 0.44)

ด้านภาพประกอบพบว่า ภาพเครื่องหมายต่าง ๆ มีขนาดชัดเจนมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.33$, S.D. = 0.87) ภาพประกอบที่นำมาใช้ (ภาพลายเส้น ภาพวาด และภาพตัดแปลง) มีความประสานกลมกลืนกันมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.44$, S.D. = 0.73) ภาพประกอบที่ใช้บนบรรจุภัณฑ์ช่วยสร้างความน่าสนใจให้กับสินค้าและแสดงถึงอัตลักษณ์ชุมชน มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.22$, S.D. = 0.22) (Table 3)

จากผลการศึกษาความพึงพอใจของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1 ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด ผู้วิจัยได้พิจารณาผลการศึกษายกตามวัตถุประสงค์ดังนี้

วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ปัญหาและความต้องการในการออกแบบบรรจุภัณฑ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ พบว่า บรรจุภัณฑ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ ยังไม่ได้มาตรฐานและขาดอัตลักษณ์ที่จะสร้างความดึงดูดผู้บริโภคทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถจำหน่ายภายนอกชุมชนได้อย่างกว้างขวางและไม่สามารถสร้างความเชื่อมั่นในแบรนด์ให้กับผู้บริโภค ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์กะปิอัดก้อนให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ ซึ่งสอดคล้องกับ (Thepburi et al., 2019) ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ของผู้ประกอบการรายย่อย ได้แก่ การออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่ดีและมีคุณภาพตามมาตรฐาน เพื่อให้สะดวกในการใช้งานต้องมีลักษณะที่โดดเด่นและชัดเจน เพื่อให้ลูกค้ามั่นใจในคุณภาพและมาตรฐานสินค้า

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 การพัฒนาบรรจุภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าสินค้ากลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาบรรจุภัณฑ์รูปแบบใหม่ โดยพิจารณา 7 ด้าน ดังนี้ ด้านวัสดุ ด้านรูปแบบ ด้านคุณสมบัติ ด้านฉลาก ด้านตัวอักษร ด้านสี และด้านภาพประกอบ

ด้านคุณสมบัติ บรรจุภัณฑ์สามารถทำให้จดจำผลิตภัณฑ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ และผู้วิจัยได้ออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้ใช้งานง่าย สามารถเปิด-ปิดได้สะดวก เพื่อให้สามารถนำสินค้าออกมาใช้งานและเก็บรักษาได้อย่างสะดวกและง่ายต่อการขนส่งจัดเก็บ สอดคล้องกับ (Mukem, 2017) ได้ศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนาบรรจุภัณฑ์น้ำพริกกุ้งเสียบ กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านปริง จังหวัดพังงา พบว่า บรรจุภัณฑ์ควรป้องกันไม่ให้สินค้าเสื่อมสภาพหรือเสียหาย มีขนาดที่เหมาะสม เปิด-ปิดได้สะดวก ง่ายต่อการใช้งาน บรรจุภัณฑ์ของสินค้าตรงตามมาตรฐานสากล สามารถจัดวางได้เหมาะสมกับชั้นวางสินค้า

ด้านฉลาก ผู้วิจัยได้ระบุข้อมูลรายละเอียดสำคัญลงบนบรรจุภัณฑ์ครบถ้วนตั้งแต่ ตรายีนส์คำ น้ำหนักสุทธิ ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ วันเดือนปีที่ผลิตวันหมดอายุ ชื่อที่อยู่ผู้ผลิตสินค้า และมีการเล่าเรื่องความเป็นมาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ รวมไปถึงวัตถุดิบทำกะปิซึ่งบ่งบอกถึงภูมิปัญญาท้องถิ่นและผลิตภัณฑ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ ได้เป็นอย่างดีทำให้ผู้บริโภคได้รับรู้เรื่องราวสร้างการรับรู้ร่วม สอดคล้องกับ (Kumchomphu, 2018) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่บอกเล่าเรื่องราวของสินค้าเป็นเทคนิคการออกแบบเพื่อบอกเล่าสิ่งที่มีชื่อเสียงในท้องถิ่นที่เป็นต้นกำเนิดของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ มาเล่าเรื่องราวบนบรรจุภัณฑ์เพื่อให้ผู้บริโภครับรู้ถึงรายละเอียดในผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์ข้อที่ 3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ ต่อรูปแบบบรรจุภัณฑ์ จากการศึกษาความพึงพอใจของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ ต่อบรรจุภัณฑ์ทั้ง 5 รูปแบบ บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1 มีผลรวมระดับความพึงพอใจมากที่สุด โดยพิจารณารายด้าน พบว่ามี 4 ด้าน มีระดับความพึงพอใจมากที่สุดได้แก่ ด้านสี ด้านรูปแบบ ด้านฉลาก และด้านวัสดุ

Table 3 The results of the analysis of satisfaction data for each item of the packaging format

Evaluation Criteria	μ	S.D.	Interpret Results
Material aspect			
The materials used for the packaging are strong and durable, capable of protecting the products inside	4.89	0.33	Highest
The packaging materials are suitable and compatible with the type of product inside	4.67	0.50	Highest
The materials used are safe and appropriate for the product	4.44	0.73	Highest
Design aspect			
The structural design of the packaging is suitable for the product	4.56	1.01	Highest
The packaging design reflects creativity	4.55	0.73	Highest
The packaging design is compact and portable	4.80	0.67	Highest
The packaging helps identify the product of the Khlong Dan Community Enterprise Group 3	4.67	0.71	Highest
The packaging is user-friendly, allowing easy opening, closing, and convenient product storage	4.33	1.00	High
The packaging is suitable for purchasing as a souvenir	4.67	0.71	Highest
The packaging is easy to store and can be stacked to save space during transportation and display	4.44	0.53	High
Labeling			
The packaging label contains all the essential information that consumers need to know	4.78	0.67	Highest
The label reflects the community identity of the Klong Dan Shrimp Paste community enterprise group	4.56	0.88	Highest
The brand logo size is appropriately adjusted	4.48	0.67	High
The brand logo is well-positioned	4.67	0.50	Highest
Color			
The colors are visually appealing and attractive	4.67	0.71	Highest
The color combinations are appropriate and interesting	4.78	0.67	Highest
The label colors are suitable for reading the product details	4.78	0.44	Highest

Table 3 (Continuous)

Evaluation Criteria	μ	S.D.	Interpret Results
Typography			
The font style is easy to read	4.33	0.87	High
The font size is proportionate	4.44	0.53	High
The font color is clearly visible and stands out	4.67	0.44	Highest
Illustrations			
The images of symbols are clear in size	4.33	0.87	High
The illustrations used (such as line art, drawings, and modified images) are cohesive and harmonious	4.44	0.73	High
The illustrations on the packaging enhance the product's appeal and reflect the community identity	4.22	0.83	High

ด้านสีผู้วิจัยได้ออกแบบการใช้สีตามตามทฤษฎีสีโดยเลือกสีตามวงล้อคู่สีของ Morton (1995) ผลการศึกษามีระดับความพึงพอใจมากที่สุด คือ สีบรรจุภัณฑ์มีความสวยงามน่าดึงดูด การจับคู่สีบรรจุภัณฑ์กับสีฉลากมีความเหมาะสมน่าสนใจ และสบายตาในการอ่านรายละเอียดสินค้ารวมไปถึงช่วยสร้างการจดจำบ่งบอกถึงตัวตนของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะสีน้ำตาลที่สื่อถึงความเป็นธรรมชาติหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับ (Samphaongen and Noodaeng, 2020) ที่ศึกษาการพัฒนาป้ายฉลากน้ำตาลสด กลุ่มวิสาหกิจชุมชนชนกลั่นไธยา ตำบลบางโพธิ์ อำเภอมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร พบว่าโทนสีน้ำตาลเป็นหลัก ส้ม และเหลือง สื่อถึงความเป็นมิตร ความพิถีพิถัน ให้ความรู้สึกสมบูรณ์เชื่อมโยงกับธรรมชาติแวดล้อม

ด้านวัสดุมีระดับความพึงพอใจมากที่สุดคือ วัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรงทนทานสามารถป้องกันผลิตภัณฑ์ภายในบรรจุภัณฑ์ รวมไปถึงการเลือกใช้กระดาษทำบรรจุภัณฑ์ช่วยส่งเสริมภาพลักษณ์การรักษาสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับ (Patcharametha, 2016) ที่ศึกษาผลิตภัณฑ์หัตถกรรมกับการพัฒนาสู่สินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ พบว่าสินค้าท้องถิ่นมีความจำเป็นในการสร้างคุณค่าด้านความงาม ประโยชน์ใช้สอย และความเป็นอัตลักษณ์ท้องถิ่น โดยพิจารณาเรื่องคุณค่าของวัสดุและกระบวนการสร้างคุณค่า

ด้านรูปแบบมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด คือ โครงสร้างบรรจุภัณฑ์มีลักษณะเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ และแสดงให้เห็นถึงความคิดสร้างสรรค์ โดยรูปแบบบรรจุภัณฑ์มีขนาดที่พกพาสะดวกสามารถพับเก็บได้หลากหลายรูปแบบทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการเก็บรักษาและการจัดแสดงผลิตภัณฑ์บนชั้นวางสินค้า รวมไปถึงรูปแบบบรรจุภัณฑ์สะดวกต่อการเปิด-ปิดเพื่อนำผลิตภัณฑ์ออกมาใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ (Chankingthong et al., 2018) ที่ศึกษาระดับความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์และป้ายฉลากเครื่องแกงตำมือ บ้านทุ่ง ชุมพลพัฒนา ตำบลลานข่อย อำเภอบางปะอิน จังหวัดพิจิตร พบว่า ผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์ รูปแบบของบรรจุภัณฑ์สะดวกในการบริโภค มีขนาดที่พกพาได้สะดวก เปิดบริโภคและจัดเก็บส่วนที่เหลือได้สะดวกและสีที่สวยงาน สร้างความน่าจดจำ แสดงถึงความเป็นอัตลักษณ์บ่งบอกถึงจุดเด่นของผลิตภัณฑ์

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ จำนวนสมาชิก 9 ราย พบปัญหาขาดบรรจุภัณฑ์ลักษณะที่เหมาะสมไม่สามารถนำไปเป็นของฝากได้ จึงได้ดำเนินการค้นหาความต้องการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ด้านวัสดุต้องการใช้กระดาษมากที่สุด ด้านรูปแบบให้บรรจุภัณฑ์มีลักษณะทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีหูหิ้ว ด้านคุณสมบัติให้มีความแข็งแรงทนทาน พับเก็บขนส่งง่าย พกพาสะดวก ซ้อนทับได้ และมีลักษณะภายนอกเหมาะสมแก่การเป็นของฝาก ด้านฉลากบ่งบอกถึงอัตลักษณ์ชุมชน โดยให้มีลวดลายคลื่นหรือทะเล สื่อความหมายเกี่ยวกับกะปิ วิสาหกิจชุมชน เคย และระบุรายละเอียดในฉลากดังนี้ สูตรทำน้ำพริกกะปิ ส่วนประกอบ วันผลิตและหมดอายุ,ความเป็นมาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ QR Code,ช่องทางการติดต่อ เบอร์โทรศัพท์ ตราสินค้า ชื่อกลุ่ม และสถานที่ผลิต ด้านสีให้ใช้สีน้ำตาล สีน้ำเงิน สีชมพูเป็นสีบรรจุภัณฑ์ และสีฉลากใช้สีขาว สีน้ำตาล และสีแดง ด้านตัวอักษรใช้รูปแบบตัวอักษรปกติที่ทันสมัย ตัวอักษรมีหัวหรือไม่มีหัวตามความเหมาะสม มีขนาดตัวอักษรพอดีกับขนาดบรรจุภัณฑ์ และใช้สีดำ,สีเขียว,สีขาว และสีทองเป็นตัวอักษร ด้านภาพประกอบ ต้องการภาพที่ตั้งกลุ่มวิสาหกิจชุมชน,เคยแดง,เครื่องหมายวิสาหกิจชุมชน ฯ เครื่องหมาย OTOP เครื่องหมายอาหารและยา และตรากรมส่งเสริมการเกษตรลงบนฉลาก โดยมีลวดลายบน

บรรจุภัณฑ์ที่บ่งบอกถึงจุดเด่นของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ลวดลายเคยแดง ภูเขา อ่าวคลองด่าน ชื่อผลิตภัณฑ์ และเขียนคำว่ากะปิให้ชัดเจน และข้อเสนอแนะอื่น ๆ ให้เล่าความเป็นมาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนสั้น ๆ เคล็ดลับในการปรุงอาหาร ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการออกแบบบรรจุภัณฑ์ 5 รูปแบบ และจากการประเมินความพึงพอใจต่อรูปแบบบรรจุภัณฑ์ พบว่าบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1 มีผลรวมค่าเฉลี่ยความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.57$) รองลงมา บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2 ($\mu = 3.49$) และน้อยที่สุด คือ บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 5 ($\mu = 2.90$) เมื่อพิจารณาารายด้านของบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1 อันดับแรก คือ ด้านสีมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.74$) ด้านฉลากมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.69$) ด้านวัสดุมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.67$) ด้านรูปแบบมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.63$) ด้านตัวอักษรมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.48$) ด้านภาพประกอบมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 4.33$) และด้านคุณสมบัติมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\mu = 3.82$)

จากการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ พบว่า บรรจุภัณฑ์ที่ได้รับการออกแบบขึ้นใหม่ สามารถตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้หลังจากสิ้นสุดกระบวนการวิจัย ทางวิสาหกิจชุมชนได้นำบรรจุภัณฑ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้จริงในการบรรจุผลิตภัณฑ์กะปิก้อนและออกจำหน่าย ณ งานศิลปาชีพประทีปไทย OTOP โดยราคาจำหน่ายต่อหน่วยเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีราคา 60 บาท เป็น 159 บาทต่อหน่วย ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่สินค้า และยังช่วยยกระดับภาพลักษณ์ผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังสามารถนำเสนอผลิตภัณฑ์ในเชิงของ “ของฝาก” หรือ “ของดีชุมชน” ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ผู้บริโภคเกิดความเชื่อมั่น และความสนใจมากขึ้น

งานวิจัยครั้งนี้ไม่เพียงแต่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงรูปธรรมในด้านมูลค่าสินค้าเท่านั้น แต่ยังเป็นจุดเริ่มต้นการพัฒนาศักยภาพของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในการสร้างแบรนด์ของตนเอง ซึ่งจะนำไปสู่ความเข้มแข็งและการเติบโตอย่างยั่งยืนในระยะยาว

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนของประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมติฐาน: ญาณวิชญ์ เจริญนาราโรจน์, อภิชาติ สุขเจริญคุณา. ออกแบบและวางแผนงานวิจัย: ดร.ฉันทัททย เกิดศรีเสริม. สร้างเครื่องมือ: ญาณวิชญ์ เจริญนาราโรจน์, อภิชาติ สุขเจริญคุณา. ตรวจสอบเครื่องมือ: ดร.ฉันทัททย เกิดศรีเสริม. การเก็บข้อมูล: ญาณวิชญ์ เจริญนาราโรจน์, อภิชาติ สุขเจริญคุณา. การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล การวิพากษ์วิจารณ์ผล: ญาณวิชญ์ เจริญนาราโรจน์. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ญาณวิชญ์ เจริญนาราโรจน์, ดร.ฉันทัททย เกิดศรีเสริม. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ: อภิชาติ สุขเจริญคุณา.

เอกสารอ้างอิง

- Bunliang, P. (2018). *Developing Nai Mae Pork Rind Packaging in Lampang Province*. Master's Thesis. Maejo University.
- Chankingthong, W. (2018). Development of packaging and labels for hand-made curry paste Ban Thung Chumphon Phatthana, Lan Khoi Subdistrict, Pa Phayom District, Phatthalung Province. In *The 9th Hatyai National and International Conference*, pp. 1491-1505. Hatyai University. (in Thai).
- Department of Agricultural Extension. (2014). *The Establishment of Community Enterprises to Support Entry into the AEC*. Department of Agricultural Extension. (in Thai).
- Department of Agricultural Extension. (2023). *Community Enterprise Competition Book for the Klong Dan Shrimp Paste Community Group 3*. Department of Agricultural Extension. (in Thai).
- Department of Agricultural Extension. (2024). *Building Community Enterprise Development Teams Towards High-Value Agriculture and Enhancing Capital Productivity*. Retrieved from: <https://doanews.doe.go.th/archives/24064>. (in Thai).
- Kumchomphu, S. (2018). Design of souvenir packaging for tourism in Japan. *Journal of Fine Arts and Architecture*, 9(1), 185. (in Thai).
- Morton, J. (1995). *Basic Color Theory*. Retrieved from: <https://www.colormatters.com/color-and-design/basic-color-theory>.
- Mukem, D. (2017). Development of packaging appearance for dried shrimp chili paste Ban Pring agricultural housewives group Phang Nga province. *Journal of Humanities and Social Sciences*, 3(2), 69-79. (in Thai).
- Office of the National Economic and Social Development Council. (2022). *13th National Economic and Social Development Plan (2023-2027)*. Office of the National Economic and Social Development Council. (in Thai).
- Patcharametha, T. (2016). Handicraft products and their development into one tambon one product (OTOP). *Silpakorn University Journal*, 36(1), 67-80. (in Thai).

- Phaimahaniyom, T. (2023). **Determining the Index of Item-Objective Congruence (IOC) Using Microsoft Excel**. Kamphaeng Phet Rajabhat University. (in Thai).
- Samphaongen, S. & Noodaeng, S. (2020). **Development of Label Design for Fresh Sugarcane by the Klink Ai Tal Community Enterprise Group Bang Tho Rat Subdistrict Mueang Samut Sakhon District Samut Sakhon Province**. Master's Thesis. Rajamangala University of Technology Krungthep. (in Thai).
- Srineel, B. (2017). **Business Research Design: Data Collection, Questionnaire Design, and Sampling**. Master's Thesis. Chiang Mai University. (in Thai).
- Thepburi, C., Srikha, T., Saelim, N., Mueanpho, S., & Ratsamitath, W. (2019). Factors influencing small entrepreneurs' decision to choose environmentally friendly packaging. *Journal of Humanities and Social Sciences*, 3(1), 50-58. (in Thai).

ผลของปุ๋ยคอกและปุ๋ยชีวภาพต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารอินนูลินในแก่นตะวัน ภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์

Effects of Farm Manure and Bio-Fertilizer on Growth, Tuber Yield and Inulin Content in Jerusalem Artichoke under Organic Farming System

รัตติกาล เสนน้อย^{1*} และวชิราภรณ์ เรือนแป้น¹Rattikarn Sennoi^{1*} and Wachiraporn Ruanpan¹

Received date: 9 เม.ย. 68 Revised date: 14 ก.ค. 68 Accepted date: 26 ส.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.266896>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยคอก+ปุ๋ยชีวภาพ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของแก่นตะวันในระบบเกษตรอินทรีย์ ทดสอบปุ๋ย 9 ตำรับ ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย 2) ปุ๋ยมูลโค 3) ปุ๋ยมูลแพะ 4) จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง 5) น้ำหมักชีวภาพ 6) ปุ๋ยมูลโค+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง 7) ปุ๋ยมูลโค+น้ำหมักชีวภาพ 8) ปุ๋ยมูลแพะ+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และ 9) ปุ๋ยมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพ ใช้แก่นตะวันพันธุ์ HEL 65 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design มี 4 ซ้ำ ในสภาพแปลง ปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยมูลแพะ ปุ๋ยมูลแพะ+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และปุ๋ยมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพ ทำให้แก่นตะวันมีดอกแรกบาน และดอกบาน 50% เร็วกว่าตำรับปุ๋ยอื่น ๆ ตำรับปุ๋ยส่วนใหญ่ไม่ส่งผลให้ความสูงต้น น้ำหนักสดต้น และดัชนีเก็บเกี่ยวแตกต่างทางสถิติกับตำรับควบคุม ปุ๋ยมูลแพะ ปุ๋ยมูลโค+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง ปุ๋ยมูลแพะ+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และปุ๋ยมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพ ทำให้น้ำหนักหัวสดสูง ตำรับปุ๋ยที่แตกต่างกันทำให้จำนวนหัวแก่นตะวันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.01$) แต่ไม่ทำให้ความกว้างหัว และความยาวหัวแตกต่างกัน ปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยมูลโค+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง ปุ๋ยมูลโค+น้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูง และปุ๋ยมูลแพะ+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงทำให้ปริมาณอินนูลินสูงกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$)

คำสำคัญ: ปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยมูลแพะ จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง ซุปเปอร์ พด.2

Abstract

This research aimed to compare the effects of farm manure, bio-fertilizer, and the combination of farm manure + bio-fertilizer on the growth and yield of Jerusalem artichoke in organic farming system. Nine fertilizer treatments were applied including 1) no fertilizer, 2) cattle manure, 3) goat manure, 4) photosynthetic bacteria, 5) bio-extract, 6) cattle manure + photosynthetic bacteria, 7) cattle manure + bio-extract, 8) goat manure + photosynthetic bacteria, and 9) goat manure + bio-extract to Jerusalem artichoke cultivar HEL 65, arranged in a Randomized Complete Block Design with four replications in field conditions. Cattle manure, goat manure, goat manure + photosynthetic bacteria, and goat manure + bio-extract promoted earlier occurrence of first flowering and 50% faster flowering compared to other fertilizer treatments. Almost all fertilizer treatments did not significantly affect plant height, fresh shoot weight, and harvest index compared to the control treatment. Goat manure, cattle manure + photosynthetic bacteria, goat manure + photosynthetic bacteria and goat manure + bio-extract resulted in high fresh tuber weight. The different fertilizer treatments significantly affected the number of tubers in Jerusalem artichoke ($P=0.01$), but did not affect tuber width or tuber length. Cattle manure, cattle manure + photosynthetic bacteria, cattle manure + bio-extract, and goat manure + bio-extract resulted in high total soluble solids. The goat manure + photosynthetic bacteria treatment caused a significant rise in inulin content compared to the control ($P=0.05$).

Keywords: cattle manure, goat manure, photosynthetic bacteria, super LDD 2

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

¹ Department of Plant Production Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi 20110

* Corresponding author: sennoi.rattikarn@gmail.com

คำนำ

แก่นตะวัน (*Helianthus tuberosus* L.) เป็นพืชตระกูลเดียวกับทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) โดยทานตะวันใช้เมล็ดสกัดน้ำมัน ขณะที่แก่นตะวันปลูกเพื่อใช้ประโยชน์จากหัวเนื่องจากมีสารอินูลินสูง (Suzuki and Chatterton, 1993) อินูลินเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพรุคแทน ไม่สามารถย่อยในระบบย่อยอาหารส่วนบนได้ แต่จะถูกดูดซึมโดยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ใหญ่ จัดเป็นเยื่อใยอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Flamm et al., 2001) ช่วยป้องกันโรคไม่ติดต่อ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคหลอดเลือดสมอง และโรคเบาหวาน (Saiki et al., 2022) สามารถรับประทานแก่นตะวันเป็นผักสด ปรงสุก และแปรรูปเป็นแป้ง ใช้กับตำรับอาหารได้หลากหลายเช่นเดียวกับมันฝรั่ง แป้งแก่นตะวันสามารถนำมาใช้เสริมในแป้งทั่วไปเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารทั้งในอาหารคนและอาหารสัตว์ การเติมแป้งแก่นตะวันในอัตรา 0.5 และ 0.75% ในอาหารไก่ช่วยเพิ่มอัตราการแลกไข่และน้ำหนักไข่ (Shang et al., 2010)

เกษตรอินทรีย์ เป็นระบบการผลิตพืชเพื่อความยั่งยืนที่ปลอดภัยต่อสุขภาพคน สัตว์ และสิ่งแวดล้อม ลดมลพิษ และเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ สินค้าเกษตรอินทรีย์ช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มในตลาด หลักการคือ ไม่ใช้สารเคมีทุกชนิด รวมทั้งปุ๋ยเคมี ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตพืชด้วยปุ๋ยจะเป็นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยคอกเป็นกลุ่มปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำได้ง่ายและราคาไม่แพง จึงได้รับความสนใจในการนำมาผลิตพืชอินทรีย์ การใช้ปุ๋ยคอกทำให้ดินดีและช่วยเพิ่มสิ่งมีชีวิตในดิน เป็นแหล่งของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช แต่องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยคอกมีความแปรปรวนสูง ขึ้นอยู่กับชนิดปุ๋ย ชนิดสัตว์ และสภาพการเก็บรักษา (Chen et al., 2022) การใช้ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยชีวภาพเป็นการเพิ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยย่อยสลายในดิน อาจเสริมประสิทธิภาพของปุ๋ยคอกได้ ปุ๋ยชีวภาพ คือ ปุ๋ยที่ได้มาจากการนำจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหาร หรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืชมาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินทางชีวภาพ กายภาพ หรือชีวเคมี และหมายความรวมถึงหัวเชื้อจุลินทรีย์ (Saelim, 2016) โดยน้ำหมักชีวภาพและจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (Photosynthetic Bacteria) เป็นปุ๋ยชีวภาพที่สามารถช่วยเพิ่มการย่อยสลายสารอินทรีย์ และธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน (Theerak et al., 2020) การศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การใช้ปุ๋ยมูลไก่และมูลค่างควาร่วมกับน้ำหมักชีวภาพส่งผลให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียว และผักกาดหัว มีแนวโน้มสูงกว่าการใช้ปุ๋ยมูลไก่และมูลค่างควาเพียงอย่างเดียว (Nilawong, 2019)

การใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยชีวภาพเป็นแนวทางการเพิ่มผลผลิตแก่นตะวันในระบบเกษตรอินทรีย์ การปลูกแก่นตะวันในระบบการผลิตทั่วไปที่มีการใช้สารกำจัดแมลงและวัชพืช รวมทั้งปุ๋ยเคมีในประเทศไทยให้ผลผลิตหัวสดประมาณ 2-3 ตันต่อไร่ (Puttha and Charoenphun, 2020) มีรายงานการทดสอบปุ๋ยคอก และปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ดในแก่นตะวัน พบว่า การใส่ปุ๋ยคอกมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตหัวสดแก่นตะวันสูงกว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ด และปุ๋ยเคมี โดยคิดเป็นผลผลิต 1.9 ตันต่อไร่ (Srihanoo et al., 2022) และในการทดสอบปุ๋ยมูลค่างควากับแก่นตะวันในสภาพโรงเรือน พบว่า แก่นตะวันให้ผลผลิตหัวสดประมาณ 1 ตันต่อไร่ (Puttha, 2016) อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ สูตรและวิธีการใช้ รวมถึงคุณสมบัติของดิน และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังไม่มีการศึกษาผลร่วมกันของปุ๋ยคอกและปุ๋ยชีวภาพในแก่นตะวันมาก่อน ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ เปรียบเทียบผลของปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และผลร่วมกันของปุ๋ยคอกและปุ๋ยชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของแก่นตะวัน เพื่อคัดเลือกตำรับปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพในระบบการผลิตแก่นตะวันอินทรีย์

วิธีการศึกษา

การเตรียมพืช ปุ๋ยอินทรีย์ และการวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) มี 4 ซ้ำ ใช้แก่นตะวันพันธุ์ HEL 65 ทดสอบกับปุ๋ยอินทรีย์ 9 ตำรับ ประกอบไปด้วย 1) ตำรับควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) 2) ปุ๋ยมูลโค 3) ปุ๋ยมูลแพะ 4) จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง 5) น้ำหมักชีวภาพ 6) ปุ๋ยมูลโค+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง 7) ปุ๋ยมูลโค+น้ำหมักชีวภาพ 8) ปุ๋ยมูลแพะ+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และ 9) ปุ๋ยมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพ

ใช้ปุ๋ยมูลโคและปุ๋ยมูลแพะในสภาพดั้งเดิมที่ได้รับมาจากฟาร์มในอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ เตรียมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง โดยผสมหัวเชื้อ ในอาหารเลี้ยงเชื้อประกอบด้วยไข่ไก่ ผงชูรส น้ำปลา (1:1:1) และน้ำสะอาดปราศจากคลอรีน 1.5 ลิตร จากนั้นบรรจุหัวเชื้อที่ผสมแล้วลงในขวดพลาสติกใสปิดฝาขวดเก็บไว้ในที่มืดแสงแดดจนกระทั่งน้ำเปลี่ยนเป็นสีแดง น้ำหมักชีวภาพเตรียมโดยใช้ซูเปอร์ พด.2 ผสม กับอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุที่เหลือทิ้งต่าง ๆ เช่น เศษปลา และเปลือกสับปะรด ผสมกับน้ำ เก็บหัวเชื้อที่ผสมแล้วไว้ในร่มจนกระทั่งเกิดฝ้าสีขาวที่ผิวน้ำ วิธีใช้เจือจางจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และ น้ำหมักชีวภาพ ด้วยน้ำสะอาดอัตรา 200 มิลลิลิตรต่อ 20 ลิตร

การจัดการพืช

การปลูกและการดูแลรักษา

ไถเตรียมดิน 2 ครั้ง คราดและปรับระดับ ทำแปลงยกร่องขนาด 1 x 5 เมตร ทำร่องระบายน้ำรอบแปลงปลูก รวมแปลงปลูกทั้งหมด 36 แปลง เตรียมต้นกล้าแก่จนตะวัน 14 วันก่อนย้ายปลูก โดยเริ่มจากตัดหัวแก่จนตะวันเป็นชิ้นเล็ก ๆ ให้มีตา 3-4 ตา แล้วนำมาเพาะในวัสดุเพาะชำ หลังจากแก่จนตะวันงอกย้ายไปเพาะในถาดหลุม เมื่อต้นกล้ามีใบ 6-8 ใบ (ประมาณ 10-14 วัน) จึงย้ายปลูกลงแปลง ปลูกแก่จนตะวันโดยใช้ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร 1 ต้นต่อหลุม แปลงละ 20 ต้น ให้น้ำแก่จนตะวันด้วยระบบน้ำแบบสปริงเกอร์ วันละสองครั้งตั้งแต่ย้ายปลูกจนแก่จนตะวันตั้งตัวได้ หลังจากแก่จนตะวันตั้งตัวได้แล้วให้น้ำทุกวันวันละ 1 ครั้ง กำจัดวัชพืชด้วยมือเดือนละ 1 ครั้ง

การใส่ปุ๋ย

นำดินก่อนปลูกไปวิเคราะห์ โดยได้ผลการวิเคราะห์ดินดังตารางที่ 1 ปุ๋ยมูลแพะและปุ๋ยมูลโคใส่เพียงครั้งเดียวในวันย้ายปลูกที่อัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อใส่ปุ๋ยแล้วพรวนกลบปุ๋ยที่โคนต้น จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และน้ำหมักชีวภาพ อยู่ในรูปปุ๋ยน้ำใช้อัตรา 5 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่นที่ผิวดินทุก 30 วัน จนกระทั่งเก็บเกี่ยว เริ่มต้นฉีดพ่นเมื่อ 30 วันหลังย้ายปลูก

การเก็บข้อมูล

ข้อมูลพืช

เก็บข้อมูลจำนวนวันหลังปลูกจนดอกแรกบาน และดอกบาน 50% ในระยะออกดอก เก็บข้อมูลความสูงของต้นเมื่อออกดอก 50% โดยวัดจากระดับผิวดินถึงข้อบนสุดของลำต้น เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่ออายุ 104 วันหลังย้ายปลูก โดยสังเกตจากลำต้นเริ่มเหลืองเหี่ยวประมาณ 80% ของลำต้น เก็บข้อมูลน้ำหนักสดต้น (รวมลำต้นใบและกิ่ง เก็บทุกต้นในแปลงย่อย) น้ำหนักหัวสด (ทุกต้นในแต่ละแปลงย่อย) จำนวนหัว น้ำหนักหัว ความยาวหัว และความกว้างหัว สุ่มจาก 10 ต้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดวัดโดย hand refractometer แสดงค่าเป็น °Brix และปริมาณอินนูลินวัดโดยใช้วิธีการของ Saengkanuk et al. (2011)

ข้อมูลดิน

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวแก่จนตะวัน ดินก่อนปลูกเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองทุกแปลงแล้วเอามารวมกัน ตากให้แห้งในที่ร่ม แล้วส่งตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ยังห้องปฏิบัติการหน่วยวิเคราะห์วิจัยดิน พืช และวัสดุเกษตร ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม เพื่อวิเคราะห์ค่า pH การนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ดินหลังเก็บเกี่ยวสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแต่ละตำรับปุ๋ยทุกซ้ำมารวมกันและส่งไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีเช่นเดียวกันกับดินก่อนปลูก

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) การวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดทำในโปรแกรม STATISTIX 8 (Analytical Software, Tallahassee, Florida, USA)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

คุณสมบัติทางเคมีของดิน

ปุ๋ยอินทรีย์ทุกตำรับมีแนวโน้มทำให้ดินหลังเก็บเกี่ยวแก่จนตะวันมีคุณสมบัติดีขึ้น การใส่ปุ๋ยมูลโคมีแนวโน้มทำให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากขึ้นกว่าตำรับอื่น ส่วนการใส่ปุ๋ยมูลโค+น้ำหมักชีวภาพมีแนวโน้มทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง ในขณะที่ปุ๋ยมูลแพะ+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงมีแนวโน้มทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง ส่วนปุ๋ยมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพมีแนวโน้มทำให้ดินหลังเก็บเกี่ยวแก่จนตะวันมีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง โดยจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ ที่พบในน้ำหมักชีวภาพและจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน (Saelim, 2016; Theerak et al., 2020)

การศึกษาครั้งนี้ Table 1 พบว่าแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูงหลังการปลูกแก่จนตะวันในทุกตำรับปุ๋ย แคลเซียมเป็นธาตุที่สามารถแลกเปลี่ยนได้โดยสามารถแลกเปลี่ยนกับธาตุอื่นให้แคลเซียมเพิ่มสูงขึ้นได้ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างธาตุแมกนีเซียม โพแทสเซียม และแคลเซียมสามารถทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในดินสูงขึ้น (Huntley, 2023) การใช้น้ำหมักชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกทำให้แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว ขัดแย้งกับผลการศึกษาของ Nooprom et al. (2017) ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับน้ำหมักชีวภาพในบล็อกโคลี่ไม่ส่งผลให้

แคลเซียมและแมกนีเซียมในดินสูงกว่าการใช้ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืช สัตว์น้ำหมักชีวภาพ และวิธีการใช้ร่วมกับปุ๋ยคอก รวมถึงคุณสมบัติของดิน และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

วันดอกแรกบานและวันดอกบาน 50%

การรับปุ๋ยที่ต่างกันทำให้จำนวนวันจนถึงดอกแรกบาน และดอกบาน 50% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$) (Table 2) วันดอกแรกบานมีพิสัยแคบ ๆ ตั้งแต่ 51.75 ถึง 57.50 วัน วันดอกบาน 50% อยู่ระหว่าง 57.00 และ 62.00 วัน ความแตกต่างของวันดอกแรกบานและวันดอกบาน 50% อยู่ระหว่าง 3.50 ถึง 7.00 วัน ปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยมูลแพะ ปุ๋ยมูลแพะ+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และปุ๋ยมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพ ทำให้แก่นตะวันมีดอกแรกบานและดอกบาน 50% เร็วกว่าปุ๋ยตัวอื่น ยกเว้นน้ำหมักชีวภาพที่ดอกแรกบานเร็วกว่าแต่ดอกบาน 50% ช้ากว่า

จากการศึกษาของ Kays and Kultur (2005) วันออกดอกของแก่นตะวันอยู่ระหว่าง 21 ถึง 126 วัน หลังปลูก ขึ้นอยู่กับพันธุ์ และสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานถึงผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อวันออกดอกของแก่นตะวันมาก่อน การทดสอบใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในทานตะวันซึ่งอยู่ตระกูลเดียวกันกับแก่นตะวัน ของ Oshundiya et al. (2014) พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้ทานตะวันออกดอกเร็วกว่าการควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ในการศึกษาของ Zurbano et al. (2023) พบว่า การใช้ น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ไม่ทำให้ทานตะวันออกดอกเร็วขึ้น การรับปุ๋ยที่ทำให้ดอกบานเร็วอาจเป็นผลมาจากธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่มีบทบาทสำคัญต่อการกระตุ้นกระบวนการออกดอกของพืช โดยฟอสฟอรัสมีความจำเป็นในการถ่ายโอนพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของดอก ขณะที่โพแทสเซียมช่วยควบคุมกระบวนการทางสรีรวิทยาหลายประการที่มีผลต่อการสร้างดอก (Zhang et al., 2023) ในศึกษานี้แก่นตะวันในทุกการรับสามารถเก็บเกี่ยวได้พร้อมกัน การเก็บข้อมูลวันออกดอกมีความสำคัญต่อการวางแผนการผลิต โดยอายุเก็บเกี่ยวของแก่นตะวันขึ้นอยู่กับพันธุ์และวัตถุประสงค์ในการเก็บเกี่ยวซึ่งเป็นข้อพิจารณาสำคัญในการเก็บเกี่ยวแก่นตะวันให้มีผลผลิตคุณภาพสูง (Liava et al., 2021)

Table 1 Soil chemical properties for pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM) and available phosphorus (P) of the soils before planting and after harvesting Jerusalem artichoke

Treatment	pH	EC (dS m ⁻¹)	OM (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)
<i>Soil chemical properties before planting</i>							
	6.45	0.22	0.52	192.20	18.57	166.97	18.57
<i>Soil chemical properties after harvesting</i>							
Un-fertilized control	7.14	0.57	0.57	214.90	43.30	388.86	46.39
Cattle manure	7.16	0.86	0.65	239.89	69.30	443.98	48.13
Goat manure	7.28	0.71	0.56	205.46	67.11	438.55	53.25
Photosynthetic bacteria	6.97	0.56	0.50	206.13	43.05	357.40	44.47
Bio-extract	7.03	0.53	0.50	228.06	42.79	341.34	33.43
Cattle manure + Photosynthetic bacteria	6.86	0.71	0.67	227.72	47.85	360.00	38.62
Cattle manure + Bio-extract	7.08	0.74	0.84	219.62	70.18	547.49	61.85
Goat manure + Photosynthetic bacteria	7.36	0.64	0.55	216.25	80.41	401.01	53.04
Goat manure + Bio-extract	6.89	0.79	0.66	199.39	72.38	503.65	73.24
Mean	7.08	0.68	0.61	217.49	59.60	420.25	50.27

ความสูงของต้น น้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดหัว และดัชนีเก็บเกี่ยว

การรับปุ๋ยที่ต่างกันทำให้ความสูงต้น น้ำหนักสดหัว และดัชนีเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$) แต่ไม่ทำให้น้ำหนักสดต้นแตกต่างกัน (Table 3) การรับปุ๋ยส่วนใหญ่ไม่ทำให้ความสูงต้น น้ำหนักสดต้น และดัชนีเก็บเกี่ยว แตกต่างจากการควบคุม ปุ๋ยมูลแพะ มูลโค+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง มูลแพะ+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพ ทำให้ผลผลิตหัวสดแก่นตะวันสูง จะเห็นได้ว่าการใช้ปุ๋ยมูลแพะอย่างเดียว หรือการใช้ร่วมกับหมักชีวภาพและจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง

ต่างทำให้แก่งตวันมีผลผลิตหัวสดสูง อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาถึงผลของปุ๋ยมูลแพะต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของแก่งตวันมาก่อน

น้ำหนักต้นของแก่งตวันที่มีรายงานมาก่อนส่วนมากรายงานเป็นน้ำหนักแห้ง Chaimala et al. (2020) รายงานว่า น้ำหนักแห้งต้นแก่งตวันที่ปลูกในระบบชลประทานอยู่ระหว่าง 0.082 ถึง 0.242 ตันต่อไร่ ในระบบการผลิตแบบเคมีที่ใช้ปุ๋ยสูตรผสม NPK (9-18-27) อัตรา 60 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถให้น้ำหนักแห้งต้นได้ถึง 2.2 ตันต่อไร่ (Matias et al., 2013) แต่ยังไม่มีการรายงานถึงน้ำหนักต้นของแก่งตวันในระบบการผลิตแบบอินทรีย์ ดัชนีเก็บเกี่ยวแก่งตวันตามที่มีรายงานอยู่ในช่วง 0.57 ถึง 0.83 (Chaimala et al., 2020) โดยดัชนีเก็บเกี่ยวที่คำนวณจากน้ำหนักแห้งจะมีค่าสูงกว่าดัชนีเก็บเกี่ยวที่คำนวณจากน้ำหนักสด

การผลิตแก่งตวันของประเทศไทยในระบบปลูกทั่วไปที่มีการใช้ปุ๋ยเคมี และสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ให้ผลผลิตหัวสดประมาณ 2-3 ตันต่อไร่ (Puttha and Charoenphun, 2020) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตแก่งตวันในการศึกษาครั้งนี้เป็นการผลิตในระบบเกษตรอินทรีย์ดังนั้นผลผลิตหัวจึงต่ำกว่าที่มีรายงาน ในการทดสอบปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีกับแก่งตวันที่ผ่านมา พบว่า การใส่ปุ๋ยคอกมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตหัวสดแก่งตวันสูงกว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ด และปุ๋ยเคมี โดยมีน้ำหนักหัวสดอยู่ที่ 1.9 ตันต่อไร่ (Srihanoo et al., 2022) ธาตุโพแทสเซียมในปุ๋ยมีส่วนช่วยเร่งกระบวนการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากลำต้นไปยังหัวของมันฝรั่ง ทำให้ผลผลิตหัวเพิ่มขึ้น (Westermann et al., 1994) การศึกษาครั้งนี้พบว่า การใส่ปุ๋ยมูลแพะร่วมกับน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยมูลแพะร่วมกับจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง มีแนวโน้มทำให้ดินหลังเก็บเกี่ยวโพแทสเซียมสูงขึ้น

Table 2 Means for days to first flowering and days to 50% flowering of Jerusalem artichoke at harvest as affected by different treatments of organic fertilizers

Treatment	Days to first flowering (Day)	Days to 50% flowering (Day)	Difference (Day) ^a
Un-fertilized control	56.00 ^a	60.00 ^a	4.00
Cattle manure	52.00 ^b	59.00 ^b	7.00
Goat manure	51.75 ^b	57.50 ^b	5.75
Photosynthetic bacteria	55.75 ^a	59.25 ^b	3.50
Bio-extract	54.75 ^b	60.25 ^a	5.50
Cattle manure + Photosynthetic bacteria	55.00 ^a	60.75 ^a	5.75
Cattle manure + Bio-extract	57.50 ^a	62.00 ^a	4.50
Goat manure + Photosynthetic bacteria	53.25 ^b	57.00 ^b	3.75
Goat manure + Bio-extract	53.75 ^b	58.25 ^b	4.50
Mean	54.43	59.33	4.90
F-test	*	*	-
C.V.%	3.9	3	-

* significant at 0.05 probability level by LSD.

^a Difference (Day) was calculated as the number of days to 50% flowering minus the number of days to first flowering, and no statistical analysis was performed.

Means in the same column followed by the same subscript letter are not significantly different by LSD.

น้ำหมักชีวภาพจากปลาช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ เนื่องจากมีจุลินทรีย์ทั้งเชื้อราและแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ (Alves et al., 2019) ในทำนองเดียวกัน จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงมีบทบาทในการช่วยย่อยสลายแร่ธาตุในดินให้พืชนำมาใช้ได้เช่นกัน (Theerak et al., 2020) นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืชอีกด้วย (Lee, 2005)

จำนวนหัว ความกว้างหัว และความยาวหัว

ตำรับปุ๋ยที่แตกต่างกันทำให้จำนวนหัวต่อต้นของแแก่นตะวันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.01$) แต่ไม่ทำให้ความกว้างหัว และความยาวหัวแตกต่างกัน (Table 4) สอดคล้องกับการศึกษาผลของปุ๋ยคอกต่อคุณภาพหัวแแก่นตะวันของ Puttha (2016) พบว่า ปุ๋ยคอกชนิดต่าง ๆ ที่ศึกษาไม่ทำให้ความกว้าง และความยาวหัวของแแก่นตะวันแตกต่างกันทางสถิติ ตำรับปุ๋ยที่ทำให้แแก่นตะวันมีจำนวนหัวมาก ได้แก่ ปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยมูลโค+จุลินทรีย์สังเคราะห์ ปุ๋ยมูลแพะ+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และ ปุ๋ยมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพ แต่ตำรับปุ๋ยดังกล่าวไม่ทำให้จำนวนหัวต่อต้นแตกต่างจากตำรับควบคุม ลักษณะองค์ประกอบผลผลิตเหล่านี้เกี่ยวข้องกับโดยตรงกับการเพิ่มผลผลิตและความสม่ำเสมอของหัวและน้ำหนักหัว ในการประเมินแแก่นตะวัน 20 พันธุ์ ของ Berenji and Sikora (2001) พบว่า จำนวนหัวแแก่นตะวันมีค่าอยู่ระหว่าง 12 และ 72 หัวต่อต้น และขนาดของหัวมีค่าอยู่ระหว่าง 29 และ 132 กรัมต่อหัว แต่เป็นการปลูกในระบบทั่วไปไม่ใช่ระบบอินทรีย์ หัวแแก่นตะวันมีลักษณะขรุขระไม่เรียบ ดังนั้นหากต้องการเปรียบเทียบขนาดของหัวกับการศึกษาอื่น ๆ ควรใช้น้ำหนักต่อหัวเป็นเกณฑ์เพราะความกว้างและความยาวหัวอาจมีความคลาดเคลื่อนจากคนวัดได้ (human error)

Table 3 Means for plant height, shoot fresh weight, tuber fresh weight and harvest index of Jerusalem artichoke at harvest as affected by different treatments of organic fertilizers

Treatment	Plant height (cm)	Shoot fresh weight (kg Plant ⁻¹)	Tuber fresh weight (T Rai ⁻¹)	Harvest index
Un-fertilized control	81.4 ^b	1.025	0.9b	0.48 ^a
Cattle manure	88.7 ^a	1.175	0.9b	0.45 ^a
Goat manure	81.9 ^b	1.350	1.1a	0.46 ^a
Photosynthetic bacteria	83.8 ^b	1.200	0.7b	0.38 ^b
Bio-extract	76.4 ^b	1.275	0.8b	0.41 ^a
Cattle manure + Photosynthetic bacteria	79.8 ^b	1.275	1.0a	0.45 ^a
Cattle manure + Bio-extract	78.5 ^b	1.025	0.9b	0.47 ^a
Goat manure + Photosynthetic bacteria	86.5 ^b	1.275	1.0a	0.46 ^a
Goat manure + Bio-extract	78.1 ^b	1.425	1.1a	0.44 ^a
Mean	81.7	1.225	0.9	0.45
F-test	*	ns	*	*
C.V.%	4.9	30.98	27.8	8.9

ns, * nonsignificant and significant at 0.05 probability level by LSD

Means in the same column followed by the same subscript letter are not significantly different by LSD.

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณอินนูลิน

ตำรับปุ๋ยที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณอินนูลิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.01$ และ $P=0.05$) (Table 5) ปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยมูลโค+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง ปุ๋ยมูลโค+น้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูงกว่าปุ๋ยตำรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปุ๋ยอินทรีย์ทุกตำรับไม่ทำให้ปริมาณอินนูลินแตกต่างจากตำรับควบคุม ยกเว้น ปุ๋ยมูลแพะ+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง ที่ทำให้แแก่นตะวันมีปริมาณอินนูลินสูงกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในแแก่นตะวันมีค่าอยู่ระหว่าง 18.4 ถึง 29.1 °Brix (Puakrai et al., 2013; Saengthongpinit and Sajjaanantakul, 2005) โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในแแก่นตะวันเปลี่ยนแปลงไปตามวันเก็บเกี่ยว และระยะเวลาในการเก็บรักษา (Saengthongpinit and Sajjaanantakul, 2005) จากการทดสอบผลของปุ๋ยคอกต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของ Puttha (2016) พบว่า ปุ๋ยคอกไม่ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดแตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ย ในพืชชนิดอื่น เช่น มะเขือเทศ พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

ในระดับที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี (Alia et al., 2005) แต่ในการศึกษาของ Kandil et al. (2011) ที่ทดสอบปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในมันฝรั่ง พบว่า ปุ๋ยเคมีทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ นอกจากนี้ธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมในดินที่มีบทบาทสำคัญในการสะสมแป้งและน้ำตาลในหัวของพืชหัว (Westermann et al., 1994) ฟอสฟอรัสเป็นอีกธาตุหนึ่งที่มีบทบาทหลากหลายในกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืชหัวด้วยเช่นกัน โดยมีอิทธิพลต่อคุณภาพของหัวผ่านการควบคุมการแบ่งเซลล์ การสังเคราะห์แป้งในหัว และการสะสมแป้ง มีผลต่อองค์ประกอบของแป้ง กรดแอสคอร์บิก โปรตีน และน้ำตาลในหัว (Marschner, 2012; Raghothama, 2000) โดยการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ตำรับปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยมูลโค+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และปุ๋ยมูลโค+น้ำหมักชีวภาพ มีแนวโน้มให้ปริมาณฟอสฟอรัสสูง Kusi et al. (2021) พบว่า ปริมาณน้ำตาลในหัวชูการ์บีทสูงขึ้นตามปริมาณการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับผลของการใช้ปุ๋ยคอกร่วมกับน้ำหมักชีวภาพและจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในแก่ต้นวัน

Table 4 Means for tuber number, tuber width and tuber length of Jerusalem artichoke at harvest as affected by different treatments of organic fertilizers

Treatment	Tuber number (Tubers/Plant)	Tuber width (cm)	Tuber length (cm)
Un-fertilized control	16.10 ^a	2.73	4.30
Cattle manure	14.28 ^a	2.43	4.25
Goat manure	11.28 ^b	2.53	4.03
Photosynthetic bacteria	13.58 ^b	2.40	4.18
Bio-extract	11.70 ^b	2.23	4.05
Cattle manure + Photosynthetic bacteria	14.01 ^a	2.53	4.65
Cattle manure + Bio-extract	10.78 ^b	2.35	4.85
Goat manure + Photosynthetic bacteria	15.28 ^a	2.40	4.13
Goat manure + Bio-extract	14.40 ^a	2.30	4.43
Mean	13.48	2.43	4.31
F-test	**	ns	ns
C.V.%	11.08	21.5	13.6

ns, ** nonsignificant and significant at 0.01 probability level by LSD

Means in the same column followed by the same subscript letter(s) are not significantly different by LSD.

ตำรับปุ๋ยอินทรีย์ทุกตำรับไม่ทำให้ปริมาณอินนูลินแตกต่างจากตำรับควบคุม ยกเว้น ปุ๋ยมูลแพะ+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงที่มีปริมาณอินนูลินสูงกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาของ Pinmongkhonkul et al. (2021) ที่ตรวจประเมินปริมาณอินนูลินของแก่ต้นวันในแปลงเกษตรอินทรีย์ 3 แปลงที่จังหวัดพะเยา พบว่า อินนูลินมีค่าอยู่ระหว่าง 59.9 ถึง 81.5% ส่วนในการศึกษาเปรียบเทียบผลของปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก และปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ดในแก่ต้นวัน ของ Srihanoo et al. (2022) พบว่า ปุ๋ยต่างชนิดกันไม่มีผลต่อปริมาณอินนูลินในหัวแก่ต้นวัน แต่มีแนวโน้มว่าการใส่ปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ดทำให้ปริมาณอินนูลินสูงที่สุด คือ 65.91% รองลงมาคือปุ๋ยคอก (61.38%) ปุ๋ยเคมี (59.64%) และไม่ใส่ปุ๋ย (53.41%) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาผลของปุ๋ยมูลแพะและจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงต่อสารอินนูลินในหัวแก่ต้นวันมาก่อน Michalska-Ciechanowska et al. (2019) รายงานว่าการเพิ่มอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมมีผลทำให้แก่ต้นวันพันธุ์ Topstar มีปริมาณอินนูลินเพิ่มขึ้น โดยการศึกษาของผู้วิจัยตำรับปุ๋ยที่มีแนวโน้มของธาตุโพแทสเซียมสูงกว่าตำรับอื่น ๆ คือ ปุ๋ยมูลแพะ+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง แต่กลไกของโพแทสเซียมกับการเพิ่มขึ้นของอินนูลินยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจน ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับบทบาทในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากลำต้นไปยังหัว (Westermann et al., 1994) สำหรับบทบาทของจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงต่อปริมาณอินนูลินนั้นเป็นไปได้ว่าจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงทำหน้าที่ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ช่วยให้โพแทสเซียมอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเชิงลึกถึงอิทธิพลของจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และผลร่วมกับปุ๋ยคอกในแก่ต้นวันต่อไป

Table 5 Means for total soluble solid and inulin content of Jerusalem artichoke at harvest as affected by different treatments of organic fertilizers

Treatment	Total soluble solid (°Brix)	Inulin content (%)
Un-fertilized control	19.05 ^b	64.46 ^{bc}
Cattle manure	21.98 ^a	67.58 ^b
Goat manure	20.30 ^b	69.05 ^b
Photosynthetic bacteria	20.58 ^b	68.88 ^b
Bio-extract	20.58 ^b	67.16 ^b
Cattle manure + Photosynthetic bacteria	21.95 ^a	70.22 ^b
Cattle manure + Bio-extract	24.50 ^a	70.94 ^{ab}
Goat manure + Photosynthetic bacteria	18.70 ^b	75.58 ^a
Goat manure + Bio-extract	24.45 ^a	70.76 ^{ab}
Mean	21.34	69.40
F-test	**	*
C.V.%	9.6	4.89

*,** Significant at 0.5 and 0.01 probability levels by LSD

Means in the same column followed by the same subscript letter(s) are not significantly different by LSD.

สรุปผลการศึกษา

การใช้ปุ๋ยคอกและปุ๋ยชีวภาพที่แตกต่างกันทำให้ ดอกแรกบาน ดอกบาน 50% ความสูง ผลผลิตหัวสด ดัชนีเก็บเกี่ยว จำนวนหัวต่อต้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และสารอินูลิน แตกต่างกันทางสถิติ ดำรับปุ๋ยที่ทำให้ดอกแรกบาน และ ดอกบาน 50% เร็ว ได้แก่ ปุ๋ยมูลโค มูลแพะ มูลแพะ+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยมูลโคทำให้ต้นแก่ขึ้น ตะวันสูงกว่าปุ๋ยตัวอื่น ๆ ส่วนดำรับปุ๋ยที่ทำให้ผลผลิตหัวสดสูง ได้แก่ ปุ๋ยมูลแพะ มูลโค+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง มูลแพะ+ จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยทุกตัวรับมีดัชนีเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างจากดำรับควบคุม ยกเว้น จุลินทรีย์ สังเคราะห์แสงที่ต่ำกว่า ดำรับปุ๋ยที่ทำให้แก่ขึ้นมีจำนวนหัวมาก ได้แก่ ปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยมูลโค+จุลินทรีย์สังเคราะห์ ปุ๋ยมูลแพะ+ จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และ ปุ๋ยมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพ แต่ไม่แตกต่างจากดำรับควบคุม ปุ๋ยมูลโค มูลโค+จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง มูลโค+น้ำหมักชีวภาพ และมูลแพะ+น้ำหมักชีวภาพ ทำให้แก่ขึ้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูง และปุ๋ยมูลแพะ+ จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง เป็นปุ๋ยดำรับเดียวที่ทำให้แก่ขึ้นมีปริมาณอินูลินสูงกว่าดำรับควบคุม การใช้ปุ๋ยหมักชีวภาพและ จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงอย่างเดียวมีแนวโน้มทำให้ลักษณะที่ศึกษาไม่แตกต่างจากดำรับควบคุม ลักษณะที่สะท้อนถึงศักยภาพเชิง พาณิขย์ของแก่ขึ้น ได้แก่ ผลผลิตหัวสด และปริมาณอินูลิน หากใช้ทั้งสองลักษณะเป็นเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพของ ปุ๋ย จะพบว่า การใช้ปุ๋ยมูลแพะร่วมกับจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงมีแนวโน้มให้ผลลัพธ์ที่ดี อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาผลของการใช้ ปุ๋ยคอกและปุ๋ยชีวภาพในการเพิ่มผลผลิตแก่ขึ้นแบบระยะยาวเชิงลึกต่อไป

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำหรับทุนในการดำเนินการวิจัย มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก และขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำหรับสิ่งอำนวยความสะดวก ห้องปฏิบัติการและ พื้นที่ในการดำเนินการวิจัย

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และสมมุติฐาน: รัตติกาล เสนน้อย. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบการทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: รัตติกาล เสนน้อย และ วชิราภรณ์ เรือนแป้น. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: รัตติกาล เสนน้อย และ วชิราภรณ์ เรือนแป้น.การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: รัตติกาล เสนน้อย และ วชิราภรณ์ เรือนแป้น.การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript: รัตติกาล เสนน้อย และ วชิราภรณ์ เรือนแป้น. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ: วชิราภรณ์ เรือนแป้น.

เอกสารอ้างอิง

- Alia, M., & Shaista, A. (2005). Effects of organic and inorganic fertilizers on yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). **Pakistan Journal of Botany**, 37(3), 681-687.
- Alves, D., Villar, I., & Mato, S. (2019). Thermophilic composting of hydrocarbon residue with sewage sludge and fish sludge as cosubstrates: Microbial changes and TPH reduction. **Journal of Environmental Management**, 239(1), 30-37.
- Berenji, J., & Sikora, V. (2001). Variability and stability of tuber yield of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **Helia**, 24(35), 25-32.
- Chaimala, A., Jogloy, S., Vorasoot, N., Toomsan, B., Jongrunklang, N., Kesmala, T., Holbrook, C. C., & Kvien, C. K. (2020). Responses of total biomass, shoot dry weight, yield and yield components of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) varieties under different terminal drought duration. **Agriculture**, 10(6), 198.
- Chen, J., Song, D., Luan, H., Liu, D., Wang, X., Sun, J., Zhou, W., & Liang, G. (2022). Living and dead microorganisms in mediating soil carbon stocks under long-term fertilization in a rice-wheat rotation. **Frontiers in Microbiology**, 13(1), 854216.
- Flamm, G., Glinsmann, W., Kritchevsky, D., Prosky, L., & Roberfroid, M. (2001). Inulin and oligofructose as dietary fiber: A review of the evidence. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 41(5), 353-62.
- Huntley, B. J. (2023). **Soil, Water and Nutrients**. Springer.
- Kandil, A. A., Attia, A. N., Badawi, M. A., Sharief, A. E., & Abido, W. A. E. (2011). Influence of water stress and organic and inorganic fertilization on quality, storability and chemical analysis of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Journal of Applied Sciences Research**, 7(3), 187-199.
- Kays, S. J., & Kultur, F. (2005). Genetic variation in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) flowering date and duration. **Horticultural Science**, 40, 1675-1678.
- Kusi, N. Y. O., Stevens, W. B., Sintim, H. Y., Garcia, A., & Mesbah, A. O. (2021). Phosphorus fertilization and enhanced efficiency products effects on sugarbeet. **Industrial Crops and Products**, 171(1), 113887.
- Lee, S. (2005). Photosynthetic bacteria and their potential for enhancing plant growth and chlorophyll production. **Journal of Applied Microbiology**, 99(2), 210-215.
- Liava, V., Karkanis, A., Danalatos, N., & Tsiropoulos, N. (2021). Cultivation practices, adaptability and phytochemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A weed with economic value. **Agronomy**, 11(5), 914.
- Marschner, P. (2012). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd Ed. Academic Press.
- Matías, J., González, J., Cabanillas, J., & Royano, L. (2013). Influence of NPK fertilization and harvest date on agronomic performance of Jerusalem artichoke crop in the Guadiana Basin (Southwestern Spain). **Crop Production**, 48(1), 191-197.
- Michalska-Ciechanowska, A., Wojdyło, A., Bogucka, B., & Dubis, B. (2019). Moderation of inulin and polyphenolics contents in three cultivars of *Helianthus tuberosus* L. by potassium fertilization. **Agronomy**, 9(12), 884.
- Nilawonk, W. (2019). Influence of organic and bio-extracts on the growth and yield of Okra, Chinese radish, and kale. **Journal of Science and Technology Ubon Ratchathani University**, 21(3), 95-103.
- Nooprom, K., Chumthong, A., Mansuriwong, P., & Thongnui, F. (2017). Effect of cattle manure and bioextract on growth and yield of broccoli. **Journal of Science and Technology**, 25(4), 627-638.
- Oshundiya, F. O., Olowe, V. I. O., Sowemimo, F. A., & Odedina, J. N. (2014). Seed yield and quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as influenced by staggered sowing and organic fertilizer application in the humid tropics. **Helia**, 37(61), 237-255.
- Pinmongkhonkul, S., Ganranoo, L., Timsom, Y., Jantapatak, Y., & Boonriam, W. (2021). Inulin evaluation of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) from organic cultivation areas, Phayao, Thailand. **International Journal of Agricultural Technology**, 17(2), 627-640.
- Puakrai, M., Puthorm, S., Techawongsatien, S., & Jogloy, S. (2013). Effects of temperature and packaging ventilation on quality of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 41(Suppl. 1), 597-601. (in Thai).
- Puttha, R. (2016). Effect of manure types on growth, quantitative and quality of tubers of Kaentawan (*Helianthus tuberosus* L.). **Songklanakarin Journal of Plant Science**, 3(Suppl.), 24-29. (in Thai).
- Puttha, R., & Charoenphun, N. (2020). Planting techniques of Jerusalem artichoke in Thailand and guidelines for utilization of Jerusalem artichoke tubers in the food industry. **Thai Science and Technology Journal**, 29(6), 919-940. (in Thai).

- Raghothama, K. G. (2000). Phosphate transport and signaling. **Current Opinion in Plant Biology**, 3(3), 182–187.
- Saelim, S. (2016). **Organic Fertilizers and their Utilization in Thailand**. Retrieved from: http://www1.ddd.go.th/WEB_PSD/PDF/expert%20work/3.pdf (in Thai).
- Saengkanuk, A., Nuchadomrong, S., Jogloy, S., Patanathai, A., & Srijaranai, S. (2011). A simplified spectrophotometric method for the determination of inulin in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. **European Food Research and Technology**, 233(4), 609-616.
- Saengthongpinit, W., & Sajjaanantakul, T. (2005). Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. **Postharvest Biology and Technology**, 37(1), 93-100.
- Saiki, P., Yoshihara, M., Kawano, Y., Miyazaki, H., & Miyazaki, K. (2022). Anti-inflammatory effects of Heliangin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) leaves might prevent atherosclerosis. **Biomolecules**, 12(1), 91.
- Shang, H. M., Hu, T. M., Lu, Y. J., & Wu, H. X. (2010). Effects of inulin on performance, egg quality, gut microflora and serum and yolk cholesterol in laying hens. **British Poultry Science**, 51(6), 791-796.
- Srihanoo, C., Pinta, W., & Aninbon C. (2022). Influence of fertilizer types on total phenolic and inulin contents in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **King Mongkut's Agricultural Journal**, 40(1), 68-75.
- Suzuki, M., & Chatterton, N. J. (1993). **Fructans in Crop Production and Preservation**. CRC Press.
- Theerak, W., Sumranram, V., & Rattanakaew, T. (2020). Effects of photosynthetic bacteria and bio extract on growth and yield of RD43 rice cultivated in organic systems. **Journal of Agriculture Research and Extension**, 37(2), 25-35.
- Westermann, D. T., James, D. W., Tindall, T. A., & Hurst, R. L. (1994). Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: Sugars and starch. **American Potato Journal**, 71(7), 433–453.
- Zhang, Y., Liu, B., Kong, F., & Chen, L. (2023). Nutrient-mediated modulation of flowering time. **Frontiers in Plant Science**, 14(1), 1101611. <https://doi:10.3389/fpls.2023.1101611>.
- Zurbano, L. Y., Merjudio, M. B. T. D., Alcantara, D. M. D., Remando, S. J., & Arela, H. (2023). Growth, flowering performance and seed yield of sunflower (*Helianthus annuus*) applied with fermented fruit juice and rice water. **Universal Journal of Agricultural Research**, 11(2), 314–321.

การจัดการดินร่วมกับปลูกถั่วลิสงต่อผลผลิตและ
คุณภาพหญ้าอาหารสัตว์พันธุ์พลิแคทูลัมในระบบเกษตรอินทรีย์
Soil Management and Peanut Intercropping for Plicatulum Grass Yield and
Quality in Organic Farming Systems

สุทธิเดชา ขุนทอง^{1*}, ปราณี จอมอุ่น², สุภาภรณ์ ขุนทอง¹, วารุณี อติศักดิ์กุล³, กฤษณะ รามสูต¹, สุมาลี กลางสุข⁴ และหทัยกานต์ พัดยา⁵
Sutdacha Khunthong¹, Pranee Chomun², Supaporn Khunthong¹, Warunee Atisakul³,
Krichsana Ramsot¹, Sumalee Klangluk⁴, and Hataikarn Phadya⁵

Received date: 21 เม.ย. 68 Revised date: 23 ส.ค. 68 Accepted date: 4 ก.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.267039>

บทคัดย่อ

หญ้าพลิแคทูลัมเป็นหญ้าที่มีศักยภาพในการผลิตอาหารสัตว์สูง อย่างไรก็ตาม การผลิตให้ได้ปริมาณและคุณภาพผลผลิตที่ดี จำเป็นต้องมีการจัดการดินอย่างเหมาะสม โดยเฉพาะในระบบเกษตรอินทรีย์ที่เน้นการปรับปรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการจัดการดินร่วมกับการปลูกถั่วลิสงต่อผลผลิตหญ้าพลิแคทูลัมในระบบเกษตรอินทรีย์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) มี 6 ตำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ (T1) ควบคุม (T2) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์วิธีเกษตรกร (T3) ปลูกถั่วลิสง (T4) ปลูกถั่วลิสง + ใส่ปุ๋ยอินทรีย์วิธีเกษตรกร (T5) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามชีวมวลที่สูญเสีย และ (T6) ปลูกถั่วลิสง + ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามชีวมวลที่สูญเสีย ผลการศึกษาพบว่า การปลูกถั่วลิสงร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามชีวมวลที่สูญเสีย (T6) มีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และระดับความชื้นสูงสุดที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังส่งผลให้การสะสมไนโตรเจนและโพแทสเซียมในหญ้าพลิแคทูลัมเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ทำให้ได้รับผลผลิตสูงสุดและสามารถยกระดับคุณภาพของโปรตีนจากระดับต่ำมาสู่ระดับปานกลางได้อย่างชัดเจน ดังนั้น การปลูกหญ้าพลิแคทูลัมร่วมกับการปลูกถั่วลิสงและใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามชีวมวลที่สูญเสียจึงเป็นวิธีที่ควรส่งเสริมเกษตรกร

คำสำคัญ: หญ้าพลิแคทูลัม เกษตรอินทรีย์ การจัดการดิน ถั่วลิสง ชีวมวล

Abstract

Plicatulum grass is a high-potential forage crop. However, achieving high yield and quality requires appropriate soil management, particularly in organic agriculture that prioritizes soil amendment with organic matter. This study aimed to evaluate the effects of soil management combined with peanut intercropping on the yield of plicatulum grass in an organic system. A randomized complete block design (RCBD) with six treatments and four replications was employed: (T1) control, (T2) farmer's method (organic fertilizer), (T3) peanut intercropping, (T4) peanut intercropping + farmer's method, (T5) nutrient management based on lost biomass, and (T6) peanut intercropping + nutrient management based on lost biomass. The results indicated that peanut intercropping with nutrient management based on lost biomass (T6) tends to increase soil organic matter content. Additionally, available phosphorus and available water capacity were significantly enhanced. This treatment also resulted in a marked increase in nitrogen and potassium accumulation in the grass, leading to the highest yield and improved protein quality, shifting from low to medium levels. Therefore, peanut intercropping with nutrient management based on loss biomass is a recommended practice for farmers.

Keywords: plicatulum grass, organic agriculture, soil management, peanuts, biomass

¹ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 11 จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84130

² สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ 10900

³ กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรุงเทพฯ 10900

⁴ กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรุงเทพฯ 10900

⁵ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 12 จังหวัดสงขลา 90100

¹ Land Development Regional Office 11, Surat Thani 84130

² Office of Science for Land Development, Bangkok 10900

³ Division of Land use Planning and Policy, Bangkok 10900

⁴ Division of Soil Biotechnology, Bangkok 10900

⁵ Land Development Regional Office 12, Songkhla 90100

* Corresponding author: email sutdacha@hotmail.com

คำนำ

หญ้าปลีแคทูลัม (*Paspalum plicatulum* Michx.) เป็นหนึ่งในสายพันธุ์ที่ได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตได้ดี ทนทานต่อสภาพแวดล้อม และให้ผลผลิตสูง (Animal Feed Development Division, 2023) อย่างไรก็ตาม การผลิตหญ้าอาหารสัตว์ให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีต้องอาศัยการจัดการดินที่เหมาะสม โดยเฉพาะในระบบเกษตรอินทรีย์ที่ไม่สามารถใช้ปุ๋ยเคมีได้ การเพิ่มอินทรีย์วัตถุและการปรับปรุงสมบัติดินจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช (Asha et al., 2023; Liu et al., 2024a) ประกอบกับดินปลูกหญ้าอาหารสัตว์ส่วนใหญ่มักมีข้อจำกัดทางด้านกายภาพและเคมีของดิน เช่น ความเป็นกรดสูง ธาตุอาหารต่ำ หรือมีปัญหาการระบายน้ำ ทำให้ไม่สามารถปลูกพืชชนิดอื่นได้คุ้มค่ากับเงินลงทุน จึงมักถูกใช้สำหรับทำปุ๋ยสัตว์ และปลูกพืชอาหารสัตว์ (Philp et al., 2019; Khangura et al., 2023) การใช้พื้นที่เหล่านี้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจำเป็นต้องมีการปรับปรุงหรือจัดการอย่างเหมาะสมเพื่อลดข้อจำกัดของดิน การปลูกพืชร่วมเป็นหนึ่งในแนวทางการจัดการดินที่ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอ โดยเฉพาะถั่วลิสง เป็นพืชตระกูลถั่วที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศและเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพดินและเพิ่มผลผลิตของพืชหลักในระบบการปลูกร่วมได้ (Stagnari et al., 2017; Mao et al., 2023; Liu et al., 2024b) เมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงยังสามารถหาได้ง่าย ผลผลิตสามารถขายได้ มีลักษณะทางสรีรวิทยาที่ไม่สูงจนเกินไป ทำให้ไม่บดบังแสงแดด โดยเฉพาะในระบบปลูกสลับแถบที่เปิดโอกาสให้แสงส่องได้ทั่วถึง (Shah et al., 2016) มีรายงานการปลูกพืชตระกูลถั่วกับหญ้าอาหารสัตว์สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณค่าทางอาหารของหญ้าได้อย่างมีนัยสำคัญ (Pinto et al., 2022; Tramacere et al., 2024) นอกจากนี้ การจัดการดินโดยการคืนธาตุอาหารตามชีวมวลที่สูญเสียออกจากพื้นที่ เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยรักษาสสมดุลธาตุอาหารในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ที่ต้องเติมคืนสู่ดินในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ต้องไม่น้อยกว่า 35, 20 และ 37 กก./ไร่/ปี ตามลำดับ และหากไม่สามารถชดเชยธาตุอาหารได้เพียงพอ อาจทำให้ดินเสื่อมโทรมและส่งผลกระทบต่อผลผลิตในระยะยาว (Potash Development Association, 2005) การใช้ปุ๋ยสำหรับหญ้าปลีแคทูลัมควรใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่ เป็นปุ๋ยรองพื้น และใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 10-20 กก./ไร่ หลังการตัดทุกครั้ง (Animal Feed Development Division, 2023) ขณะที่ระบบเกษตรอินทรีย์ไม่สามารถใช้ปุ๋ยเคมีได้ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารครบในปริมาณที่เหมาะสมจึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยปรับปรุงดินและรักษาระดับผลผลิตของพืช (Peng et al., 2023; Xing et al., 2024) อย่างไรก็ตาม คำแนะนำการจัดการดินและปุ๋ยสำหรับผลิตหญ้าปลีแคทูลัมในระบบเกษตรอินทรีย์ ยังมีการศึกษาน้อย ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการจัดการดินและการปลูกถั่วลิสงร่วมต่อผลผลิตและคุณภาพของหญ้าปลีแคทูลัมในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยเปรียบเทียบวิธีการจัดการดินแบบเกษตรกรและการจัดการดินตามปริมาณชีวมวลที่สูญเสีย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาแนวทางปรับปรุงดินที่เหมาะสมสำหรับผลิตหญ้าอาหารสัตว์อย่างยั่งยืน

วิธีการศึกษา

ดำเนินการทดลองในภาคสนาม ชุดดินพัทลุง (Phattalung series: Ptl) บ้านท่าเสาเขา ตำบลพลายวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี พิกัด Lat: 9.179441, Long: 99.510385 เริ่มการทดลองในเดือน พฤษภาคม 2566 - มีนาคม 2567 ช่วงระยะเวลาดำเนินการมีปริมาณน้ำฝนสะสม 1,611 มม. การคายระเหยน้ำ 1,159 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 33.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 24.1 องศาเซลเซียส การปลูกเริ่มจากไถเตรียมดิน ลึก 15 ซม. ตากดินไว้ 7 วัน จากนั้นไถพรวนดินให้ละเอียด เก็บวัชพืชออก ปลูกหญ้าปลีแคทูลัม โดยใช้เมล็ดโรยเป็นแถว ในร่องลึก 1 ซม. อัตรา 2 กก./ไร่ จากนั้นกลบดินบาง ๆ การจัดการดินใช้วิธีที่แตกต่างกัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) มี 6 ดำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย (T1) ดำรับควบคุม (T2) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์วิธีเกษตรกร (T3) ปลูกถั่วลิสง (T4) ปลูกถั่วลิสง + ใส่ปุ๋ยอินทรีย์วิธีเกษตรกร (T5) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามชีวมวลที่สูญเสีย และ (T6) ปลูกถั่วลิสง + ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามชีวมวลที่สูญเสีย ทุกดำรับการทดลอง แก้ปัญหาความเป็นกรดของดิน โดยใช้โดโลไมท์ตามปริมาณความต้องการปูน อัตรา 1.1 ตัน/ไร่ ดำรับควบคุม ไม่ใส่ปุ๋ยและไม่ปลูกถั่วลิสง วิธีเกษตรกร ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารหลักเป็นองค์ประกอบ (N 1.29% : P_2O_5 1.03% : K_2O 1.39%) อัตรา 1 ตัน/ไร่ ในขั้นตอนเตรียมดินก่อนปลูก ดำรับการทดลองที่ปลูกถั่วลิสงใช้ถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 ปลูกพร้อมกับหญ้าปลีแคทูลัมครั้งเดียวตลอดการทดลอง โดยปลูกหญ้า 2 แถว สลับกับถั่ว 1 แถว ระยะห่างระหว่างแถว 50 ซม. การปลูกถั่วลิสง ใช้วิธีขุดหลุมลึก 5 ซม. แต่ละหลุมห่างกัน 20 ซม. ใช้เมล็ดถั่วลิสง 3 เมล็ดต่อหลุม ดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามชีวมวลที่สูญเสีย ใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกับของเกษตรกรในขั้นตอนเตรียมดิน ในอัตรา 2.7 ตัน/ไร่ เพื่อให้ได้รับธาตุอาหารชดเชยส่วนที่สูญเสียไปกับผลผลิตตามอัตราแนะนำ N : P_2O_5 : K_2O ไม่น้อยกว่า 35 : 20 : 37 กก./ไร่/ปี วิธีจัดการดินที่ต่างกันทำให้ปริมาณธาตุอาหารที่ดินได้รับในแต่ละดำรับการทดลองมีความแตกต่างกัน (Table 1) ก่อนและหลังการทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างดิน ที่ระดับความลึก 0-15

เซนติเมตร วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน ตามคู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า (Office of Science for Land Development, 2004a) ประกอบด้วย พีเอช (pH ดิน: น้ำ 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (EC ดิน:น้ำ 1:5) อินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. K Ca Mg Na) ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (EA) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ประสิทธิภาพ (ECEC) เนื้อดิน (Soil texture) ความหนาแน่นรวม (Soil bulk density : ρ_b) และความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (AWCA) ระหว่างการทดลองบันทึกข้อมูลผลผลิตพืชอาหารสัตว์ในแปลงทดลอง ครั้งแรกที่ระยะ 60 วันหลังปลูก หลังจากนั้นทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตทุก ๆ 45 วัน รวมเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมด 7 ครั้ง ประเมินผลผลิตต่อไร่ต่อปี การเก็บเกี่ยวผลผลิตรอบสุดท้าย สุ่มเก็บตัวอย่างผลผลิตส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ สำหรับใช้ประเมินน้ำหนักแห้ง ติดตามการสะสมธาตุอาหาร และวิเคราะห์คุณภาพผลผลิต ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน โซเดียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงทั้งหมด ตามคู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า (Office of Science for Land Development, 2004b) และนำผลวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมาประเมินปริมาณโปรตีน โดยอาศัยหลักการที่ โปรตีนมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 16 เปอร์เซ็นต์ (Onthong and Poonpakdee, 2020) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลตามวิธีสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป

Table 1 Organic matter and nutrients from soil amendments in experimental treatments

Treatments	OM	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Fe	Mn	Cu	Zn	Na
Kg/rai												
T1					352.8	222.7						
T2	253.4	12.9	10.3	13.9	412.4	233.3	1.7	10.6	0.7	0.2	0.3	1.5
T3					352.8	222.7						
T4	253.4	12.9	10.3	13.9	412.4	233.3	1.7	10.6	0.7	0.2	0.3	1.5
T5	684.2	34.8	27.8	37.5	513.8	251.3	4.6	28.5	1.9	0.4	0.9	4.1
T6	684.2	34.8	27.8	37.5	513.8	251.3	4.6	28.5	1.9	0.4	0.9	4.1

T1 = control, T2 = farmer method (compost at 1 t/rai), T3 = peanuts between the rows (no compost), T4 = peanuts between the rows + farmer method (compost at 1 t/rai), T5 = nutrient management based on lost biomass (compost at 2.7 t/rai), T6 = peanuts between the rows + nutrient management based on lost biomass (compost at 2.7 t/rai). All experimental treatments were applied with dolomite at a rate of 1.1 t/rai.

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติดินก่อนทดลอง

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของชุดดินพัทลุงก่อนการทดลอง (Table 2) บ่งชี้ถึงข้อจำกัดหลายประการ โดยดินมีปัญหาความเป็นกรด (pH 4.9) เนื่องจากแคตไอออนประจุบวกต่างถูกชะละลายออกไป เหลือเพียงแคตไอออนที่ทำให้ดินเป็นกรด (Office of the Royal Society, 2019) ส่งผลให้มีปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้สูง (8.4 เซนติโมลของประจุ/กก.) คิดเป็น 65.2 เปอร์เซ็นต์ของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน สูงกว่าช่วงแนะนำสำหรับพืชทั่วไป (Onthong, 2022) ในขณะที่ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในช่วงต่ำกว่าคำแนะนำ เนื่องจากถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนไอออนและอะลูมิเนียมไอออน นอกจากนี้ ดินยังมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำมาก เนื่องจากถูกตรึงอยู่กับออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง (Office of Science for Land Development, 2004a) จากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิดที่เกิดจากการทับถมของตะกอนดินผสมคลุกเคล้ากับอินทรีย์สารขนาดเล็กที่พัดพามากับน้ำ (Soil Survey and Soil Resources Research Division, 2017) ด้านสมบัติทางกายภาพ ดินมีเนื้อดินร่วนเหนียวปนทราย มีความหนาแน่นรวมสูง (1.6 ก/ลบ.ซม.) ใกล้เคียงกว่าวิกฤตที่จำกัดการขนไชของรากพืช และดินมีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ (11.5%) สะท้อนถึงปัญหาการระบายน้ำ ถ่ายเทอากาศ และกักเก็บความชื้นของดิน (Office of Science for Land Development, 2004a) ในภาพรวม สมบัติทางเคมีของดินมีข้อจำกัดด้านความเป็นกรด การขาดแคลนฟอสฟอรัส และความไม่สมดุลของแคตไอออนประจุบวกต่าง ส่วนสมบัติทาง

กายภาพมีข้อจำกัดด้านโครงสร้าง การระบายน้ำ และการกักเก็บความชื้น ดังนั้น การปลูกพืชบริเวณดังกล่าว จำเป็นต้องปรับปรุงดินโดยใช้วัสดุปูนทางการเกษตรตามปริมาณความต้องการปูน เพื่อเพิ่มพีเอช ปลดปล่อยฟอสฟอรัส และปรับสมดุลแคตไอออน รวมถึงการจัดการธาตุอาหารโดยใช้ปุ๋ยชดเชยตามความต้องการของพืช และปรับปรุงโครงสร้างดินโดยเพิ่มอินทรีย์วัตถุอย่างเหมาะสม

Table 2 Soil properties before experiment

pH	EC 1:5	Avail. P	Exch.Ca	Exch.Mg	Exch.Na	Exch.K	EA	ECEC	OM	BS	AWCA	ρ_b	Soil
1:1	(dS/m)	(mg/kg)	(cmol _c /kg)							(%)		(g/cm ³)	texture
4.9	0.04	2.3	3.96	0.92	0.04	0.23	8.4	13.6	1.8	34.8	11.5	1.6	scl

pH = potential of hydrogen ion, EC = electrical conductivity, Avail. P = available phosphorus, Exch. Ca = exchangeable calcium, Exch. Mg = exchangeable magnesium, Exch. Na = exchangeable sodium, Exch. K = exchangeable potassium, EA = exchangeable acidity, ECEC = effective cation exchange capacity, OM = organic matter, BS = base saturation, AWCA = available water capacity, ρ_b = soil bulk density, scl = sandy clay loam.

สมบัติดินหลังทดลอง

ผลวิเคราะห์ดินหลังการทดลอง (Table 3) พบว่า พีเอช และค่าการนำไฟฟ้า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างดำรับ การทดลอง แต่การปลูกถั่วลิสงร่วมกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย (pH 5.6-6.4, EC 0.04-0.07 dS/m) เนื่องจากการตรึงไนโตรเจนของถั่วลิสงมีส่วนช่วยในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์และลดค่าการนำไฟฟ้าของดิน เมื่อดินมีไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจะส่งเสริมกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เติมลงไป และอาจปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมาทำให้ดินมีพีเอชลดลงเล็กน้อย ปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่เพิ่มขึ้น มีอำนาจไล่ที่ไอออนประจุบวกที่เป็นองค์ประกอบของสารละลายเกลือ จึงช่วยลดค่าการนำไฟฟ้าของดิน การเปลี่ยนแปลง พีเอชและค่าการนำไฟฟ้าจึงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Aydinsakir et al., 2015) ส่วนอินทรีย์วัตถุ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ แต่การปลูกถั่วลิสงร่วมกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเศษซากพืชและการส่งเสริมกระบวนการย่อยสลาย แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีแนวโน้มที่ดีในการปรับปรุงดินในระยะยาว ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามชีวมวลที่สูญเสียเพิ่มฟอสฟอรัสในดิน (> 10 มก./กก.) (Office of Science for Land Development, 2004a) การที่ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่เหมาะสม ส่งผลดีต่อการปลูกพืชในครั้งต่อไป ขณะที่ ความหนาแน่นรวม แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวด้วยต่าง และกรดที่แลกเปลี่ยนได้ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อาจเนื่องจากอินทรีย์วัตถุที่ได้รับในแต่ละดำรับการทดลองยังอยู่ในระดับต่ำ มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพียงแคปีเดียว จึงยังไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างดิน และความสามารถในการดูดซับประจุบวกของดิน ประกอบกับอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่สูงในรอบปีทำให้กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ดินสูญเสียอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มลงไปอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ดำรับการทดลองที่ปลูกถั่วลิสงร่วมกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามปริมาณชีวมวลที่สูญเสีย มีการสะสมโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าดำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังจัดอยู่ในระดับปานกลาง ไม่กระทบต่อสมดุลธาตุอาหารในดิน (Onthong, 2022) อาจเนื่องจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามชีวมวลที่สูญเสีย ส่งผลให้หญ้าอาหารสัตว์และถั่วลิสงเจริญเติบโตได้ดี ทำให้มีการดูดสะสมโซเดียมจากปุ๋ยอินทรีย์เก็บไว้ในส่วนของราก เมื่อรากพืชย่อยสลายจึงปลดปล่อยโซเดียมคืนสู่ดิน ทำให้ดินมีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าดำรับการทดลองอื่น โดยเฉพาะกรณีของถั่วลิสง มีรายงานความเค็มของดินที่เกิดจากเกลือโซเดียม ที่ระดับไม่เกิน 4 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ส่งผลเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตของถั่วลิสง (Aydinsakir et al., 2015) นอกจากนี้ ดำรับการทดลองที่ให้ผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์สูงจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามชีวมวลที่สูญเสียเพียงอย่างเดียวหรือใส่ร่วมกับการปลูกถั่วลิสง มีผลให้ระดับความชื้นสูงสุดที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูงกว่าดำรับการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งให้เห็นว่า การปลูกหญ้าอาหารสัตว์ร่วมกับการจัดการดินอย่างเหมาะสมช่วยให้ดินสามารถกักเก็บน้ำในส่วนที่พืชสามารถดูดใช้ได้เพิ่มขึ้น ดังนั้น การปลูกหญ้าอาหารสัตว์ นอกจากช่วยเพิ่มรายได้แก่เกษตรกร ยังมีส่วนช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน จึงเป็นพืชทางเลือกที่ควรส่งเสริมเกษตรกรให้เห็นถึงประโยชน์ในการนำมาใช้สร้างรายได้และช่วยรักษาความชื้นในดิน

Table 3 Soil properties after experiment

Treatments	pH	EC 1:5 (dS/ m)	Avail. P (mg/kg)	Exch.Ca	Exch.Mg	Exch.Na	Exch.K	EA	ECEC	OM	BS	AWCA	ρ_b (g/cm ³)
	1:1			(cmol _e /kg)						(%)			
T1	6.0	0.07	4.7b	5.2	2.1	0.2b	0.2	4.3	12.0	1.1	62.7	9.8b	1.5
T2	6.7	0.09	6.3ab	6.0	2.2	0.1b	0.2	3.3	11.9	1.3	71.8	10.2ab	1.6
T3	6.9	0.11	6.1ab	6.4	2.9	0.1b	0.3	3.4	13.1	1.4	73.9	10.9ab	1.6
T4	5.6	0.04	9.0ab	2.8	1.2	0.1b	0.2	4.7	8.9	1.8	42.8	9.9ab	1.6
T5	5.6	0.08	13.4ab	4.5	2.0	0.2b	0.3	4.7	11.7	1.8	58.3	11.3ab	1.5
T6	6.4	0.07	18.9a	5.7	1.9	0.3a	0.4	3.9	12.1	1.8	62.7	11.6a	1.6
F-test	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
C.V.%	13.1	53.6	42.2	50.8	40.3	28.8	56.4	26.7	22.3	29.2	24.7	7.1	7.4

T1 = control, T2 = farmer method, T3 = peanuts between the rows, T4 = peanuts between the rows + farmer method, T5 = nutrient management based on lost biomass, T6 = peanuts between the rows + nutrient management based on lost biomass. Different letters indicate significant differences between treatment means at $P \leq 0.05$, * = significant at $P \leq 0.05$ and ns= non-significant.

ธาตุอาหารในหญ้าอาหารสัตว์

การวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบช่วยบ่งชี้ความเพียงพอหรือความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช จากการประเมินความเข้มข้นธาตุอาหารในหญ้าฟลิแคทูล์มหลังการทดลอง ประกอบด้วย ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง จุลธาตุบางชนิด รวมถึงปริมาณโซเดียม (Table 4) พบว่า ความเข้มข้นธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ มีความผันแปรตามตำรับการทดลอง จากการใช้วิธีจัดการดินที่ต่างกัน ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง หลังการทดลอง พบว่า การสะสมธาตุอาหารในแต่ละตำรับการทดลองส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ยกเว้นกรณีของไนโตรเจน และโพแทสเซียม ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามปริมาณชีวมวลที่สูญเสียร่วมกับการปลูกถั่วลิสงมีการสะสมไนโตรเจน และโพแทสเซียม สูงกว่าตำรับการทดลองควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ให้ธาตุอาหารตามปริมาณที่สูญเสียออกจากพื้นที่ ช่วยให้หญ้าอาหารสัตว์ได้รับไนโตรเจนทดแทนส่วนที่ติดไปกับผลผลิต ประกอบกับการปลูกถั่วลิสงช่วยเพิ่มไนโตรเจนในดิน จากกิจกรรมจุลินทรีย์กลุ่มไรโซเบียมบริเวณรากถั่ว ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศภายในช่องว่างในดิน (Mao et al., 2023) จึงช่วยเพิ่มแหล่งของไนโตรเจนให้หญ้าอาหารสัตว์ดูดใช้ได้อย่างเพียงพอ เมื่อหญ้าอาหารสัตว์เพิ่มการสะสมไนโตรเจน จึงส่งเสริมให้หญ้าอาหารสัตว์ดูดใช้โพแทสเซียมเพิ่มขึ้น เนื่องจากธาตุทั้งสองมีบทบาทหน้าที่ร่วมกันอย่างเด่นชัด ไนโตรเจนทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน และเป็นองค์ประกอบคลอโรฟิลล์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อผลิตอาหารในรูปของน้ำตาลกลูโคส ก่อนจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลซูโครสและเคลื่อนย้ายเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหาร ส่วนโพแทสเซียมทำหน้าที่ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน และช่วยลำเลียงน้ำตาลที่ได้ไปสะสมยังแหล่งรับ สำหรับใช้ในกิจกรรมการเจริญเติบโตของพืช ธาตุทั้งสองจึงมีอันตรกิริยาเชิงบวกต่อกัน (Osotsapar, 2009) ในขณะที่ตำรับการทดลองอื่น ๆ ได้รับธาตุอาหารไม่สอดคล้องกับความต้องการของหญ้าฟลิแคทูล์ม จึงมีการดูดใช้ไนโตรเจนและโพแทสเซียมในปริมาณที่น้อยกว่า ส่วนปริมาณโซเดียมและจุลธาตุ หลังการทดลอง พบว่า การสะสมโซเดียม เหล็ก สังกะสี และทองแดงในหญ้าอาหารสัตว์ ของแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ยกเว้นกรณีของแมงกานีส ตำรับการทดลองที่มีการสะสมไนโตรเจนในหญ้าอาหารสัตว์อย่างเด่นชัด จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดี่ยวหรือร่วมกับการปลูกถั่วลิสงมีแนวโน้มสะสมแมงกานีสสูงกว่าตำรับการทดลองควบคุม โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยอินทรีย์วิธีเกษตรกรรมร่วมกับการปลูกถั่วลิสง และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามชีวมวลที่สูญเสีย ส่งผลให้หญ้าอาหารสัตว์สะสมแมงกานีสสูงกว่าตำรับการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากแมงกานีสมีอันตรกิริยาเชิงบวกกับไนโตรเจน ในบทบาทช่วยสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ จึงมีการดูดใช้สะสมในทิศทางเดียวกับไนโตรเจน (Osotsapar, 2009) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความเหมาะสมความเข้มข้นธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของหญ้าอาหารสัตว์สำหรับเลี้ยงโค (Whiteman, 1980) ชี้ให้เห็นว่า ธาตุอาหารส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่เพียงพอ ยกเว้นกรณีของฟอสฟอรัส พบว่า อยู่ในระดับต่ำกว่าคำแนะนำอย่างเด่นชัด น้อยกว่า 2.2 ก/กก. เนื่องจากข้อจำกัดของดิน ที่มีสภาพเป็นกรด จึงลดความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน ในขณะที่ เหล็ก และแมงกานีส มีความเข้มข้นสูงกว่าคำแนะนำหลายเท่าตัว อาจเกิดสภาวะความไม่สมดุลในการดูดใช้ธาตุอาหาร จากสภาวะการเป็นปฏิปักษ์ต่อกัน ทำให้การสะสมฟอสฟอรัสในหญ้าฟลิแคทูล์มยังอยู่ในระดับไม่เพียงพอ

ถึงแม้การปลูกถั่วลิสงร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามชีวมวลที่สูญเสีย ช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ดังนั้น ยังจำเป็นต้องประเมินความต้องการปุ๋ยเพื่อแก้ปัญหาคือความเป็นกรดของดิน ปรับสมดุลธาตุอาหาร และเพิ่มการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ เพื่อให้หญ้าอาหารสัตว์สามารถใช้ฟอสฟอรัสได้อย่างเพียงพอ และลดการดูดใช้เหล็กและแมงกานีส ป้องกันความเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อพืชในกรณีที่มีการดูดสะสมธาตุทั้งสองอย่างต่อเนื่อง

Table 4 Nutrients in plicatulum grass from the final harvest

Treatments	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	(g/kg)							(mg/kg)			
T1	7.3b	0.6	18.5b	4.7	2.4	0.6	0.5	95	570cd	21	25
T2	8.1b	0.7	20.0ab	4.7	2.6	0.5	0.5	174	569d	30	26
T3	8.2b	0.6	20.0ab	4.8	2.6	0.6	0.5	103	612bcd	25	25
T4	8.3b	0.7	20.1ab	5.0	2.6	0.4	0.6	120	697a	33	23
T5	8.9ab	0.7	21.1a	4.5	2.6	0.5	0.6	99	678ab	26	21
T6	10.8a	0.7	21.3a	5.2	2.6	0.3	0.9	100	652abc	27	21
Sufficient level	≥8	≥2.2	≥3.1	≥2.2	≥1.2	-	≥0.5	≥30	≥40	≥20	≥4
F-test	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
C.V.%	12.4	8.2	4.5	9.8	6.1	46.4	40.2	40.5	5.8	30.2	12.1

T1 = control, T2 = farmer method, T3 = peanuts between the rows, T4 = peanuts between the rows + farmer method, T5 = nutrient management based on lost biomass, T6 = peanuts between the rows + nutrient management based on lost biomass. Sufficient level (adapted from Whiteman, 1980). Different letters indicate significant differences between treatment means at $P \leq 0.05$, * = significant at $P \leq 0.05$ and ns= non-significant.

ผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์

การศึกษาปริมาณและคุณภาพผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ เป็นตัวแปรประกอบการตัดสินใจ ในการคัดเลือกวิธีการจัดการดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกหญ้าอาหารสัตว์ ผลศึกษาการให้ผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์โดยรวม ตลอดระยะเวลาการทดลองในรอบ 1 ปี จากการเก็บเกี่ยวผลผลิต 7 ครั้ง พบว่า ผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์มีความผันแปรตามตำรับการทดลอง การเพิ่มธาตุอาหารตามชีวมวลที่สูญเสียเพียงอย่างเดียว หรือร่วมกับการปลูกถั่วลิสง มีผลให้ได้รับผลผลิตน้ำหนักรากสูงสุด 16,179 และ 18,414 กก./ไร่ ตามลำดับ สูงกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งให้ผลผลิตน้ำหนักราก 8,643 กก./ไร่ (Figure 1a) สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตน้ำหนักราก การเพิ่มธาตุอาหารตามชีวมวลที่สูญเสียเพียงอย่างเดียว หรือร่วมกับการปลูกถั่วลิสง ให้ผลผลิตน้ำหนักรากสูงสุด 2,883 และ 3,730 กก./ไร่ ตามลำดับ สูงกว่าค่าเฉลี่ยผลผลิตหญ้าพลิแคตูลัมที่ปลูกทั่วไป มีรายงานผลผลิตน้ำหนักราก 2,200 กก./ไร่/ปี (Vaithanomsat et al., 2015) ในขณะที่ ตำรับการทดลองควบคุมให้ผลผลิตน้ำหนักรากต่ำสุด 1,264 กก./ไร่ (Figure 1b) นอกจากนี้ ผลประเมินคุณภาพหญ้าอาหารสัตว์ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักราก และปริมาณโปรตีน พบว่า สอดคล้องกับข้อมูลผลผลิตน้ำหนักรากและน้ำหนักรากของหญ้าอาหารสัตว์ การเพิ่มธาตุอาหารตามชีวมวลที่สูญเสียเพียงอย่างเดียว หรือร่วมกับการปลูกถั่วลิสง มีผลให้หญ้าอาหารสัตว์มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักรากและปริมาณโปรตีนสูงกว่าตำรับการทดลองอื่น โดยเฉพาะตำรับการทดลองที่ปลูกถั่วลิสงร่วมกับการเพิ่มธาตุอาหารตามชีวมวลที่สูญเสีย ส่งผลให้หญ้าอาหารสัตว์มีน้ำหนักราก (Figure 1c) และปริมาณโปรตีน (Figure 1d) สูงสุด 20.30 และ 6.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลตัวอย่าง พบว่า การปลูกถั่วลิสงร่วมกับการเพิ่มธาตุอาหารตามชีวมวลที่สูญเสียในรูปของปุ๋ยอินทรีย์ สามารถยกระดับปริมาณโปรตีนของหญ้าอาหารสัตว์จากระดับต่ำมาสู่ระดับปานกลางได้ทั้ง 4 แปลงทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม ในขณะที่ตำรับการทดลองอื่น การกระจายของผลวิเคราะห์โปรตีนในแต่ละแปลงทดสอบคาบเกี่ยวอยู่ระหว่างช่วงคุณภาพระดับต่ำกับปานกลาง (Department of Livestock Development, 2004) ซึ่งให้เห็นว่า วิธีดังกล่าวมีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้เพิ่มปริมาณโปรตีนของหญ้าอาหารสัตว์ จึงเป็นวิธีที่ควรนำไปส่งเสริมเกษตรกร เนื่องจากการเพิ่มธาตุอาหารตามปริมาณชีวมวลที่สูญเสีย ทำให้หญ้าอาหารสัตว์ได้รับธาตุอาหารขดเคี้ยวส่วนที่ติดไปกับผลผลิต ส่งผลให้ยังคงมีธาตุอาหารเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตและสร้างองค์ประกอบผลผลิตในรอบถัดไป (Marques et al., 2024) ประกอบกับการปลูกถั่วลิสงช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนจากกระบวนการตรึงไนโตรเจนจากอากาศบริเวณช่องว่างในดินโดยกิจกรรมของแบคทีเรียกลุ่มไรโซเบียม (Stagnari et al., 2017) ทำ

ให้หญ้าอาหารสัตว์ได้รับไนโตรเจนเพียงพอ ซึ่งเป็นธาตุที่จำเป็นต้องใช้ในระบบการสังเคราะห์ด้วยแสงและสร้างองค์ประกอบผลผลิต เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์และโปรตีน จึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มปริมาณและคุณภาพของหญ้าอาหารสัตว์

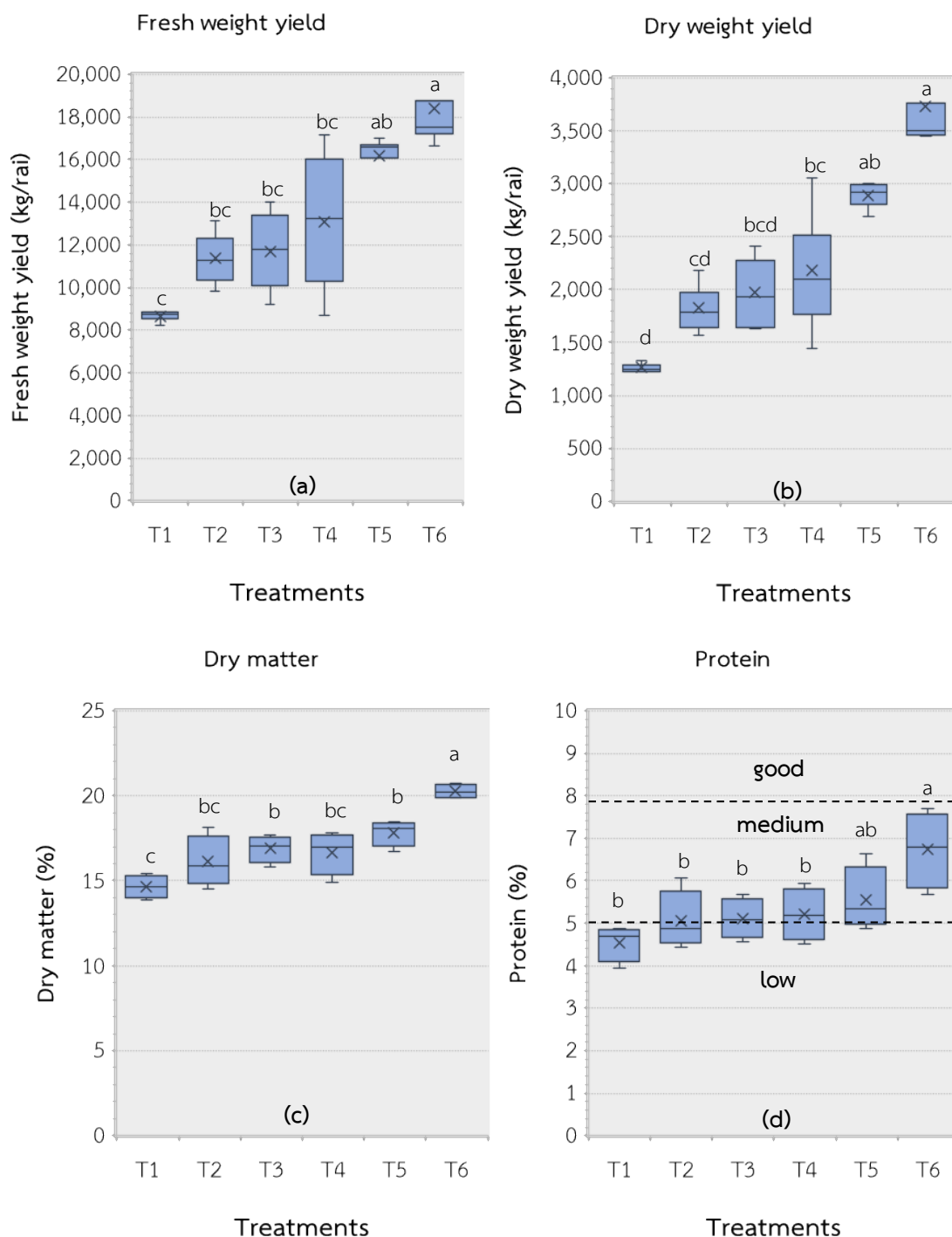


Figure 1 Fresh weight yield (a) dry weight yield (b) dry matter percentage (c) and protein (d) of plicatulum grass. T1 = control, T2 = farmer method, T3 = peanuts between the rows, T4 = peanuts between the rows + farmer method, T5 = nutrient management based on lost biomass, T6 = peanuts between the rows + nutrient management based on lost biomass. Different letters indicate significant differences between treatment means at $P \leq 0.05$. Protein level classification in forage grass (Department of Livestock Development, 2004)

อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้ดำเนินการเพียงแค่ปีเดียว เมื่อประเมินประโยชน์ที่ได้รับในระยะยาวทั้งในแง่การรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน และคุณภาพผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ที่ได้รับ การเลือกใช้วิธีจัดการดินตามชีวมวลที่สูญเสียโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการปลูกถั่วลิสง เป็นวิธีที่ควรได้รับการส่งเสริม และศึกษาถึงผลตอบแทนที่ได้รับในช่วงปีที่ 2 หรือ 3 ต่อไป เนื่องจากเป็นตำรับการทดลองที่ได้รับผลผลิตสูงสุด ทั้งนี้ การจัดการดินด้วยวิธีดังกล่าวในช่วง 2-3 ปีต่อเนื่อง อาจช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น และมีโอกาสช่วยเร่งอัตราการเพิ่มผลผลิตได้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์มีความสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารช้ากว่าการใช้ปุ๋ยเคมี แต่สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้สามารถระบายน้ำถ่ายเทอากาศได้อย่างเหมาะสม ในระยะยาวจึงช่วยส่งเสริมการดูดใช้น้ำและธาตุอาหารของหญ้าอาหารสัตว์ได้อย่างเพียงพอ

สรุปผลการศึกษา

การจัดการดินสำหรับปลูกหญ้าฟลิแคทูลัมโดยปลูกถั่วลิสงแทรกหว่านร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามชีวมวลที่สูญเสีย ช่วยลดข้อจำกัดของดินในด้านเคมีและกายภาพบางประการ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม มีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล และความอิ่มตัวด้วยต่างของดิน ในขณะที่ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และระดับความชื้นสูงสุดที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ พบว่า การสะสมไนโตรเจนและโพแทสเซียมในหญ้าอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ส่งผลให้ได้รับผลผลิตสูงสุด และสามารถยกระดับคุณภาพของโปรตีนจากระดับต่ำมาสู่ระดับปานกลาง ได้อย่างชัดเจน ดังนั้น การจัดการดินสำหรับปลูกหญ้าฟลิแคทูลัม โดยปลูกถั่วลิสงแทรกหว่านร่วมกับขดเชยธาตุอาหารตามชีวมวลที่สูญเสีย เป็นวิธีที่ควรใช้ส่งเสริมเกษตรกร

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ 2566 จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: สุทธิเดช ขุนทอง. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: สุทธิเดช ขุนทอง, สุภาภรณ์ ขุนทอง, วารุณี อดิศักดิ์กุล, กฤษณะ รามสูตร, สุมาลี กลางสุข, หทัยกานต์ พัตยา. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: สุทธิเดช ขุนทอง, สุภาภรณ์ ขุนทอง, ปราณี จอมอุ่น, วารุณี อดิศักดิ์กุล. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม: สุทธิเดช ขุนทอง. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ (manuscript) : สุทธิเดช ขุนทอง, ปราณี จอมอุ่น, สุภาภรณ์ ขุนทอง. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครุภัณฑ์: ปราณี จอมอุ่น.

เอกสารอ้างอิง

- Animal Feed Development Division. (2023). **Quality Forage Plants**. Department of Livestock Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Asha, D. S., Sanwal, P., Dagar, S., & Dagar, H. (2023). Impact of organic farming practices on soil organic matter: a review. **International Journal of Plant and Soil Science**, 35(19), 1599-1603.
- Aydinsakir, K., Buyuktas, D., Dinc, N., & Karaca, C. (2015). Impact of salinity stress on growing, seedling development and water consumption of peanut (*Arachis hypogaea* cv. NC-7). **Akdeniz Universitesi Ziraat Fakultesi Dergisi**, 28(2), 77-84.
- Department of Livestock Development. (2004). **Dried Forage Standards**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Khangura, R., Ferris, D., Wagg, C., & Bowyer, J. (2023). Regenerative agriculture - a literature review on the practices and mechanisms used to improve soil health. **Sustainability**, 15(3), 2338. <https://doi.org/10.3390/su15032338>.
- Liu, Y., Lan, X., Hou, H., Ji, J., Liu, X., & Lv, Z. (2024a). Multifaceted ability of organic fertilizers to improve crop productivity and abiotic stress tolerance: review and perspectives. **Agronomy**, 14(6), 1141. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061141>
- Liu, Z., Nan, Z., Lin, S., Meng, W., Xie, L., Yu, H., Zhang, Z., & Wan, S. (2024b). Peanut-based intercropping systems altered soil bacterial communities, potential functions, and crop yield. **The Journal of Life and Environmental Sciences**, 12(1), 16907. <http://doi.org/10.7717/peerj.16907>.

- Mao, J., Wang, P., Xiao, C. L., Wu, J. P., Zhang, W. P., He, J. R., Lambers, H., & Li, L. (2023). Rhizobium inoculation improves yield advantages and soil Olsen phosphorus by enhancing interspecific facilitation in intercropping. *Plant Soil*, 506(1), 359-373. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06425-5>.
- Marques, B. d. S., Costa, K. A. d. P., do Nascimento, H. L. B., Bilego, U. O., Hara, E., Tavares, R. L. M., Cabral, J. S. R., da Silva, L. M., Bento, J. C., de Moraes, B. F., Costa, A. C., & Paim, T. D. P. (2024). Efficiency of desiccation, biomass production, and nutrient accumulation in zuri and quenya guinea grasses in integrated crop-livestock systems and second-crop maize. *Plants*, 13(22), 3250. <https://doi.org/10.3390/plants13223250>.
- Office of Science for Land Development. (2004a). **Manual Analysis of Soil Samples for Water, Fertilizer, Soil Improvement Materials and Analysis for Product Certification, Volume I**. Department of Land Development. (in Thai).
- Office of Science for Land Development. (2004b). **Manual Analysis of Soil Samples for Water, Fertilizer, Soil Improvement Materials and Analysis for Product Certification, Volume II**. Department of Land Development. (in Thai).
- Office of the Royal Society. (2019). **Royal Institute's Dictionary of Soil Science Terms**. Office of the Royal Society. (in Thai).
- Onthong, J. (2022). **Soil and Plant Analysis**. Faculty of Natural Resources, Prince of Songkhla University. (in Thai).
- Onthong, J., & Poonpakdee, C. (2020). **Soil and Plant Analysis Guide**. Department of Earth Science Faculty of Natural Resources, Prince of Songkhla University. (in Thai).
- Osotsapar, Y. (2009). **Plants Nutrient**. Kasetsart University. (in Thai).
- Peng, G., Tuo, Z., Xing-yu, L., Xin-wei, C., Yao-xiong, L., Peng-fei, F., Shi-ping, L., Jing, H., Ju-sheng, G., Zhen-hua, Z., & Hui-min, Z. (2023). Improvement of soil fertility and rice yield after long-term application of cow manure combined with inorganic fertilizers. *Journal of Integrative Agriculture*, 22(7), 2221-2232.
- Philp, J. N. M., Vance, W., Bell, R. W., Chhay, T., Boyd, D., Phimphachanhvongsod, V., & Denton, M. D. (2019). Forage options to sustainably intensify smallholder farming systems on tropical sandy soils a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(3), 30-49. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0576-0>.
- Pinto, P., Cartoni-Casamitjana, S., Cureton, C., Stevens, A. W., Stoltenberg, D. E., Zimbric, J., & Picasso, V. D. (2022). Intercropping legumes and intermediate wheatgrass increases forage yield, nutritive value, and profitability without reducing grain yields. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6(1), 977841. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.977841>.
- Potash Development Association. (2005). **Nutrient Requirements of Forage Crops**. Retrieved from: www.pda.org.uk/pda_leaflets/26-nutrient-requirements-of-forage-crops.
- Shah, A. N., Iqbal, J., Ullah, A., Yang, G., Yousaf, M., Fahad, S., Tanveer, M., Hassan, W., Tung, S. A., Wang, L., Khan, A., & Wu, Y. (2016). Allelopathic potential of oil seed crops in production of crops: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(1), 14854-14867. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6969-6>.
- Soil Survey and Soil Resources Research Division. (2017). **Soil Series of Eastern and Southern Regions: Basic Knowledge for Agriculture**. Land Development Department. (in Thai).
- Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A., & Pisante, M. (2017). Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(1), 2-15. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>.
- Tramacere, L. G., Antichi, D., Mele, M., Ragolini, G., & Mantino, A. (2024). Effects of intercropping on the herbage production of a binary grass-legume mixture (*Hedysarum coronarium* L. and *Lolium multiflorum* Lam.) under artificial shade in Mediterranean rainfed conditions. *Agroforestry Systems*, 98(1), 1445-1460. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01012-8>.
- Vaithanomsat, P., Thongsuntie, P., Khomkamon, P., & Srichana, D. (2015). Forage crops as substrate for animal feed and ethanol production in Thailand. *African Journal of Biotechnology*, 14(2), 119-124. <https://doi.org/10.5897/AJB2014.14264>.
- Whiteman, P. C. (1980). **Tropical Pasture Science**. Oxford University Press.
- Xing, Y., Li, Y., Zhang, F., & Wang, X. (2024). Appropriate application of organic fertilizer can effectively improve soil environment and increase maize yield in loess plateau. *Agronomy*, 14(5), 993. <https://doi.org/10.3390/agronomy14050993>.

ผลของ BAP และ NAA ต่อการเร่งการออกดอกและการเจริญเติบโตของเอื้องผึ้ง (*Dendrobium lindleyi* Steud.) ในสภาพปลอดเชื้อ

Effects of BAP and NAA on *In Vitro* Acceleration of Flowering and Growth of *Dendrobium lindleyi* Steud.

นพรัตน์ อินธา^{1*}, พุทธพงษ์ สร้อยเพชรเกษม¹, มงคล ศิริจันทร์¹ และนุชนาฏ ภัคคี¹
Nopparat Intha^{1*}, Puttapong Sroyphetkasem¹, Mongkon Sirijan¹ and Nutchanat Phakdee¹

Received date: 4 มิ.ย. 68 Revised date: 1 ก.ย. 68 Accepted date: 4 ก.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.267526>

บทคัดย่อ

กล้วยไม้เอื้องผึ้ง (*Dendrobium lindleyi* Steud.) มีดอกสีเหลืองอมส้ม มีกลิ่นหอมหวานคล้ายกลิ่นน้ำผึ้งจึงเป็นที่นิยมในหมู่นักเพาะเลี้ยงกล้วยไม้ การขยายพันธุ์กล้วยไม้ด้วยเมล็ดในธรรมชาติมีอัตราการรอดชีวิตต่ำ เจริญเติบโตและออกดอกช้า ข้อจำกัดดังกล่าวเป็นอุปสรรคต่อการขยายพันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์กล้วยไม้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ 6-benzylaminopurine (BAP) ร่วมกับ 1-naphthaleneacetic acid (NAA) ต่อการออกดอกและการเจริญเติบโตของกล้วยไม้เอื้องผึ้งในสภาพปลอดเชื้อ เพาะเลี้ยงต้นอ่อนอายุ 10 สัปดาห์ บนอาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ร่วมกับ NAA ได้แก่ 0+0, 0.5+0.5, 0.5+1.0, 0.5+1.5 และ 0.5+2.0 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นระยะเวลา 20 สัปดาห์ ผลการทดลอง พบว่า อาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.5+1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และ 0.5+2.0 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้เกิดจำนวนดอกเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 0.6 ดอก/ตัวอย่างพืช หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ อาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.5+0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้จำนวนยอดเฉลี่ยและความสูงยอดเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 11.9 ยอด/ตัวอย่างพืช และ 2.4 เซนติเมตร ตามลำดับ อาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.5+1.5 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้จำนวนรากเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 18.8 ราก/ตัวอย่างพืช ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คำสำคัญ: กล้วยไม้, การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ, สารควบคุมการเจริญเติบโตพืช, การออกดอกในสภาพเพาะเลี้ยง

Abstract

The *Dendrobium lindleyi* Steud. has yellow-orange flowers and a sweet honey-like scent, making it popular among orchid growers. Propagation of orchids by seeds in nature have a low survival rate, slow growth and flowering. Such limitations are obstacles to the propagation and breeding of orchids. This research aimed to study the effects of 6-benzylaminopurine (BAP) in combination with 1-naphthaleneacetic acid (NAA) on the *in vitro* growth and flowering of *Dendrobium lindleyi*. The ten-week-old seedlings were cultured on modified MS medium supplemented with BAP and NAA at 0+0, 0.5+0.5, 0.5+1.0, 0.5+1.5, and 0.5+2.0 mg/L for twenty weeks. The results showed that the modified MS medium supplemented with BAP and NAA at 0.5+1.0 mg/L and 0.5+2.0 mg/L resulted in the highest average number of flowers, which was 0.6 flowers/explant, at the fourth weeks of cultured. The modified MS medium supplemented with BAP and NAA at a concentration of 0.5+0.5 mg/L resulted in the highest average number of shoots (11.9 shoots/explant) and shoot height (2.4 cm). The modified MS medium supplemented with BAP and NAA at a concentration of 0.5+1.5 mg/L resulted in the highest average root number of 18.8 roots/explant. The means were statistically significantly different at the 95% confidence level.

Keywords: orchid, tissue culture, plant growth regulators, *in vitro* flowering

¹ สาขาวิชาเกษตรแม่นยำ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

¹ Precision Agriculture, Faculty of Agriculture Natural resources and environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000

* Corresponding author: nopparati@nu.ac.th

คำนำ

เอื้องผึ้ง (*Dendrobium lindleyi* Steud.) เป็นกล้วยไม้ประเภทซิมโพเดียล (Sympodial) มีการเจริญเติบโตในแนวนอน โดยจะแตกหน่อใหม่จากลำลูกกล้วยเดิมและเมื่อลำลูกกล้วยใหม่เจริญเติบโตเต็มที่จะออกดอกและหยุดการเจริญเติบโต จากนั้นหน่อใหม่ก็จะเกิดขึ้นและทำหน้าที่ต่อไป ลักษณะเช่นนี้ทำให้กล้วยไม้ซิมโพเดียลมีการแตกกอและแผ่ขยายออกไปเรื่อย ๆ (Bottom, 2024) เอื้องผึ้งพบได้ในป่าดิบแล้งเกือบทุกภาคยกเว้นภาคใต้ของประเทศไทย ลักษณะประจำพันธุ์ของเอื้องผึ้ง คือ ลำลูกกล้วยสีเขียวเข้ม ยาวประมาณ 2 – 3 นิ้ว แต่ละลำจะมีเพียง 1 ใบเท่านั้น ใบมีลักษณะกลมรี ใบหนา ยาวประมาณ 1 นิ้ว ช่อดอกเกิดจากข้อและห้อยลงเป็นพวงยาวประมาณ 7 เซนติเมตร มีดอกประมาณ 7 – 20 ดอก ดอกเริ่มบานจะมีสีเหลืองอมเขียว ต่อมาสีจะเข้มขึ้นจนเป็นสีเหลืองอมส้ม ออกดอกในระหว่างเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคมของทุกปี (Lanna Magazine on Cloud, 2021) การขยายพันธุ์และการอนุรักษ์พันธุ์กรรมของกล้วยไม้ป่าไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสภาพนิเวศวิทยาของป่าไม้และการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก เช่น ไฟป่า ฝนแล้ง การทำไร่เลื่อนลอย และการสร้างเขื่อน เป็นต้น ทำให้อัตราการงอกและการรอดชีวิตของเมล็ดกล้วยไม้ในธรรมชาติต่ำมาก ส่งผลกระทบโดยตรงต่อจำนวนประชากรกล้วยไม้ป่า การขยายพันธุ์ในสภาพปลอดเชื้อจึงเป็นวิธีการขยายพันธุ์กล้วยไม้ที่เหมาะสมที่สุด (Ritti et al., 2017) นอกจากนี้ การปรับปรุงพันธุ์และการคัดเลือกพันธุ์กล้วยไม้ลูกผสมด้วยวิธีดั้งเดิมใช้ระยะเวลานาน เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านวงจรชีวิตของกล้วยไม้ที่ใช้ในการออกดอกครั้งแรกใช้ระยะเวลานานหลายปีและสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ยาก (Teixeira da Silva et al., 2013) ดังนั้น หากสามารถชักนำให้กล้วยไม้ดอกออกในสภาพเพาะเลี้ยงจะช่วยย่นระยะเวลาการปรับปรุงพันธุ์ลงได้มาก

การขยายพันธุ์กล้วยไม้ในสภาพปลอดเชื้อสามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี ได้แก่ (1) การเพาะเมล็ดกล้วยไม้ในสภาพปลอดเชื้อ คือ การนำเมล็ดกล้วยไม้ไปเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์ จนเกิดเป็นโปรโตคอร์ม (protocorm) และพัฒนาไปเป็นต้นใหม่ที่สมบูรณ์ได้ วิธีนี้เหมาะสำหรับเพาะเมล็ดกล้วยไม้ลูกผสมที่ปรับปรุงพันธุ์ขึ้นมาใหม่ หรือเพื่ออนุรักษ์พันธุ์กรรมกล้วยไม้พันธุ์พื้นบ้านหรือพันธุ์ป่า และ (2) การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยไม้ คือ การนำหน่ออ่อน ช่อดอกอ่อน ใบและราก ไปเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์จนเกิดเป็นโปรโตคอร์มเทียม (protocorm-like body) และพัฒนาไปเป็นต้นใหม่ที่สมบูรณ์ได้ วิธีนี้เหมาะสำหรับเพิ่มจำนวนต้นให้ได้ปริมาณมากและมีลักษณะเหมือนต้นเดิม นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกล้วยไม้ตัดดอกและกล้วยไม้กระถาง (Piluek, 2015) นอกจากนี้ การขยายพันธุ์กล้วยไม้ในสภาพปลอดเชื้อยังมีข้อดีอีกหลายประการ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การออกสูง เอ็มบริโอเจริญอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์แข็งแรงตรงตามสายพันธุ์ การเจริญเติบโตมีความสม่ำเสมอ ปราศจากโรคและแมลงศัตรูพืช เป็นต้น การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจึงถูกนำมาใช้ผลิตกล้วยไม้เชิงการค้าอย่างกว้างขวางจนกลายเป็นพืชอุตสาหกรรม (Department of Agricultural Extension, 2016) การขยายพันธุ์ในสภาพปลอดเชื่อนิยมเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตพืช ได้แก่ ไซโทไคนิน (Cytokynins) และออกซิน (Auxins) เพื่อกระตุ้นการแบ่งเซลล์การพัฒนาของเซลล์พืช ซึ่งต้องมีอัตราส่วนที่เหมาะสม (Kieber and Schaller, 2024) ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเอื้องผึ้ง สามารถใช้ 6-benzylaminopurine (BAP) ร่วมกับ 1-Naphthaleneacetic acid (NAA) จะทำให้มีจำนวนราก จำนวนใบ จำนวนหน่อและน้ำหนักสดสูงที่สุด (Supinrach and Supinrach, 2014) แต่ยังคงขาดข้อมูลการเร่งการออกดอกภายในสภาพปลอดเชื้อ

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ BAP และ NAA ต่อการเร่งการออกดอกและการเจริญเติบโตของกล้วยไม้เอื้องผึ้งในสภาพปลอดเชื้อ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการขยายพันธุ์ การอนุรักษ์พันธุ์กรรมและการปรับปรุงพันธุ์กล้วยไม้ ซึ่งการเร่งการออกดอกและเจริญเติบโตของกล้วยไม้อย่างรวดเร็วภายในสภาพปลอดเชื้อ จะทำให้นักปรับปรุงพันธุ์สามารถสังเกตสีของดอก รูปร่างหรือลักษณะของดอกกล้วยไม้ได้เร็วกว่าการเพาะเลี้ยงในธรรมชาติ

วิธีการศึกษา

การฟอกฆ่าเชื้อและชักนำต้นอ่อนกล้วยไม้เอื้องผึ้ง

นำฝักกล้วยไม้เอื้องผึ้งมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างจานและขัดด้วยแปรงสีฟัน 2 ครั้ง ซับให้แห้งด้วยกระดาษซับแล้วนำเข้าตู้ปลอดเชื้อ ฟอกฆ่าเชื้อฝักกล้วยไม้เอื้องผึ้งด้วยสารละลาย Clorox® ความเข้มข้น 10% เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้น นำฝักกล้วยไม้เอื้องผึ้งไปจุ่มในเอทานอล 95% เป็นเวลา 3 วินาที แล้วนำไปลงไฟด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์ 2 ครั้ง ๆ ละ 3 วินาที หรือ จนแอลกอฮอล์ที่อยู่บริเวณผิวฝักกล้วยไม้ถูกไฟไหม้จนหมด นำฝักกล้วยไม้มาตัดบริเวณส่วนหัวและส่วนท้ายฝัก แล้วผ่าฝักกล้วยไม้ตามแนวแยกของฝัก แกะฝักกล้วยไม้แล้วนำเมล็ดที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่อุณหภูมิ $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ในสภาพมืดเป็นเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้น เพาะเลี้ยงในสภาพให้แสง 2,500 ลักซ์ (16 ชั่วโมง/วัน) เป็นเวลา 9 สัปดาห์ เพื่อชักนำให้เมล็ดกล้วยไม้เจริญเป็นโปรโตคอร์มและพัฒนาเป็นต้นอ่อนตามลำดับ

การศึกษาผลของ BAP และ NAA ต่อการเร่งการออกดอกและการเจริญเติบโตของกล้วยไม้เอื้องผึ้ง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี ๆ ละ 20 ขั้ว คัดเลือกต้นอ่อนกล้วยไม้เอื้องผึ้งที่มีความสูงประมาณ 0.5 เซนติเมตร ตัดรากออกแล้วนำไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ร่วมกับ NAA ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 0+0, 0.5+0.5, 0.5+1.0, 0.5+1.5 และ 0.5+2.0 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเพาะเลี้ยง 1 ต้น/ขวด จากนั้น นำไปเพาะเลี้ยงในสภาพให้แสง 2,500 ลักซ์ (16 ชั่วโมง/วัน) ที่อุณหภูมิ 25±2°C เป็นเวลา 20 สัปดาห์

การบันทึกผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

บันทึกผลการทดลองทุก ๆ 1 สัปดาห์ ได้แก่ สัปดาห์ที่เริ่มออกดอก จำนวนดอก จำนวนยอด ความสูงของยอดและจำนวนราก เป็นระยะเวลา 20 สัปดาห์ วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การฟอกฆ่าเชื้อและชักนำต้นอ่อนกล้วยไม้เอื้องผึ้ง

การฟอกฆ่าเชื้อและชักนำต้นอ่อนกล้วยไม้เอื้องผึ้ง หลังจากเพาะเลี้ยงเมล็ดกล้วยไม้เอื้องผึ้งบนอาหารสูตร MS ภายใต้สภาพมืดเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า เมล็ดเริ่มงอกและเจริญเป็นโปรโตคอร์ม ภายหลังจากเพาะเลี้ยงในสภาพให้แสงโปรโตคอร์มเริ่มมีสีเขียวและพัฒนาเป็นต้นอ่อนตามลำดับจนกระทั่งต้นอ่อนที่มีความสูงประมาณ 0.5 เซนติเมตร หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 10 สัปดาห์

การศึกษาผลของ BAP และ NAA ต่อการออกดอกและการเจริญเติบโตของกล้วยไม้เอื้องผึ้ง

การศึกษาผลของ BAP และ NAA ต่อการออกดอกของกล้วยไม้เอื้องผึ้ง พบว่า การเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชไม่มีการออกดอก แต่อาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ร่วมกับ NAA ได้แก่ 0.5+0.5, 0.5+1.0, 0.5+1.5 และ 0.5+2.0 มิลลิกรัม/ลิตร สัปดาห์ที่เริ่มออกดอก คือ 4 – 5 สัปดาห์หลังจากเพาะเลี้ยง เปอร์เซ็นต์การออกดอก เท่ากับ 0, 33.3, 40.0, 26.7 และ 40.0% ตามลำดับ และสามารถชักนำให้เกิดดอกเฉลี่ย 0.5, 0.6, 0.3 และ 0.6 ดอก/ตัวอย่างพืช ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของจำนวนดอกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 1, Figure 1) ความเข้มข้นและอัตราที่เหมาะสมระหว่าง BAP และ NAA คือ 0.5+1.0 และ 0.5+2.0 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชักนำการออกดอกและเปอร์เซ็นต์การออกดอก 0.6 ดอก/ตัวอย่างพืช และ 40% ตามลำดับ สอดคล้องกับ Zhao et al. (2012) ที่เพาะเลี้ยงกล้วยไม้ *D. strongylanthum* บนอาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 2.0+0.2 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชักนำให้มีเปอร์เซ็นต์การออกดอกสูงสุด 40% นอกจากนี้ ยังพบว่ากล้วยไม้ *D. nobile* ที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม Thidiazuron (TDZ) ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชักนำให้เปอร์เซ็นต์การออกดอกสูงสุด 54% (Nadal et al., 2023) ได้อีกด้วย

Table 1 Effect of BAP and NAA on flower induction of *Dendrobium lindleyi* in vitro

Trt	BAP (mg/L)	NAA (mg/L)	Flowering initiation (weeks after cultured)	Flowering (%)	No. of flowers (flowers/explants)
1	0	0	0	0	0.0±0.0 ^b
2	0.5	0.5	5	33.3	0.5±0.3 ^a
3	0.5	1.0	4	40.0	0.6±0.4 ^a
4	0.5	1.5	5	26.7	0.3±0.3 ^{ab}
5	0.5	2.0	4	40.0	0.6±0.4 ^a

Means±standard deviation followed by a letter indicates statistical difference using DMRT at 95% significance level.

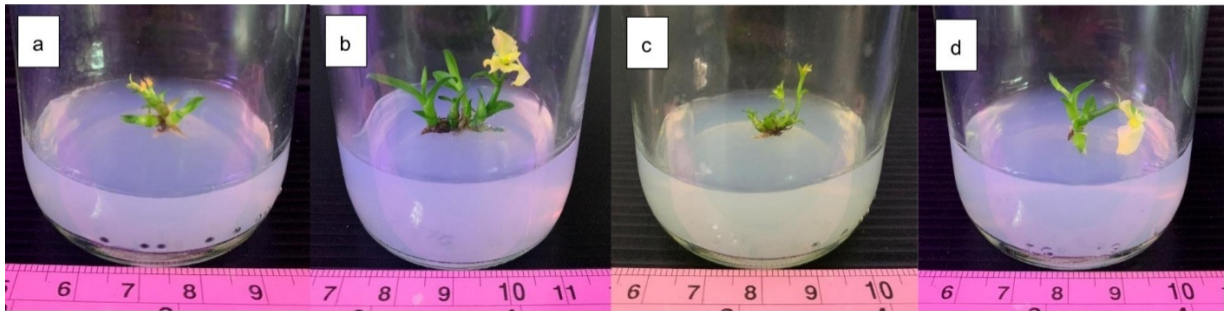


Figure 1 The *Dendrobium* orchids bloomed at five weeks of cultured on MS medium supplemented with BA and NAA at concentrations of 0.5+0.5 (a), 0.5+1.0 (b), 0.5+1.5 (c) and 0.5+2.0 (d) mg/L, whereas no flowering occurred in the control

กล้วยไม้เอื้องผึ้งที่ออกดอกภายในหลอดทดลอง (*in vitro* flowering) สามารถสังเกตเห็นลักษณะลำต้น หรือ ลำลูกกล้วย (pseudobulbs) ได้ชัดเจน มีใบเขียวสดขนาดเล็กและมีดอกสีเหลืองสด แต่มีขนาดและจำนวนน้อยกว่าดอกที่เกิดตามธรรมชาติ เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เป็นจำกัดศักยภาพการเจริญเติบโต (Figure 2) การปรากฏลักษณะดังกล่าวมีความสำคัญและมีข้อดีหลายประการโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการวิจัย การปรับปรุงพันธุ์และอุตสาหกรรมกล้วยไม้ เนื่องจากกล้วยไม้มีวงจรชีวิตที่ยาวนานและใช้ระยะเวลาหลายปีกว่าจะออกดอกครั้งแรก (Teixeira da Silva et al., 2013) ดังนั้น การชักนำให้กล้วยไม้ดอกภายในหลอดทดลองได้ จึงเป็นกระบวนการเร่งการออกดอกให้เร็วขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้สามารถสังเกตลักษณะของดอกกล้วยไม้ภายในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับนักวิจัยและนักปรับปรุงพันธุ์ อันจะสามารถประเมินลักษณะของลูกผสมใหม่ ๆ ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น หรือลดระยะเวลาในการคัดเลือกลูกผสมได้อย่างมีนัยสำคัญก่อนที่จะนำไปขยายพันธุ์ต่อไป นับว่ามีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ช่วยย่นระยะเวลาในโครงการปรับปรุงพันธุ์ ประหยัดพื้นที่และทรัพยากร เนื่องจากการเพาะเลี้ยงในหลอดทดลองใช้พื้นที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการปลูกกล้วยไม้ขนาดใหญ่ในโรงเรือนหรือแปลงปลูก สามารถทดลองกับตัวอย่างจำนวนมากสามารถวางแผนการทดลองที่มีชุดการทดลองและซ้ำจำนวนมากได้ในพื้นที่จำกัด ลดต้นทุนในการดูแลรักษา เช่น ค่าปุ๋ย ค่าสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช หรือค่าแรงงานที่ต้องใช้ในการดูแลกล้วยไม้ภายในแปลงขนาดใหญ่ (Kaur, 2022) ที่ผ่านมามีรายงานความสำเร็จในการชักนำการออกดอกของกล้วยไม้สกุลหวายลูกผสม (*Dendrobium* hybrids) ในสภาพปลอดเชื้อ (Murthy et al., 2012) การชักนำกล้วยไม้ให้ดอกภายในหลอดทดลองดังที่กล่าวมา สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยและการปรับปรุงพันธุ์กล้วยไม้สกุลหวาย โดยสามารถศึกษาลักษณะของลำต้นและดอกภายในหลอดทดลองหรือนำออกมาศึกษาลักษณะต่าง ๆ ภายนอกหลอดทดลองได้เช่นกัน

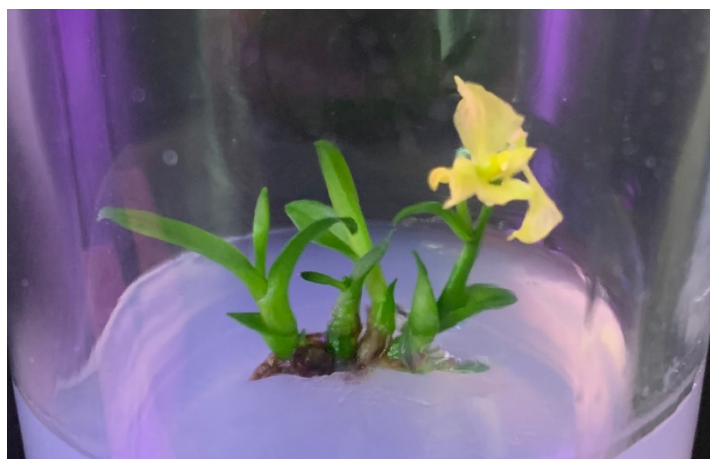


Figure 2 The characteristics of the *Dendrobium* orchid that grew and flowered after five weeks of cultivation.

การศึกษาลงของ BAP และ NAA ต่อการชักนำยอดของกล้วยไม้เอื้องผึ้ง พบว่า อาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ร่วมกับ NAA ได้แก่ 0+0, 0.5+0.5, 0.5+1.0, 0.5+1.5 และ 0.5+2.0 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเวลา 20 สัปดาห์ สามารถชักนำให้เกิดยอดเฉลี่ย 9.4, 11.9, 11.3, 9.5 และ 7.8 ยอด/ตัวอย่างพืช ตามลำดับ (Table 2, Figure 3) ค่าเฉลี่ยของจำนวนยอดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความเข้มข้นและอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง BAP และ NAA คือ 0.5+0.5 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชักนำให้เกิดยอดเฉลี่ยสูงสุด 11.9 ยอด/ตัวอย่างพืช สอดคล้องกับ Goswami et al. (2015) ที่เพาะเลี้ยงกล้วยไม้ *Dendrobium* sp. ด้วยปลายใบอ่อนบนอาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP และ NAA ความเข้มข้น 0.5+0.5 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชักนำให้เกิดยอดเฉลี่ย 11 ยอด/ตัวอย่างพืช ทำให้เกิดยอดจำนวนมากกว่า Parthibhan et al. (2015) ที่เพาะเลี้ยงกล้วยไม้ *D. aqueum* บนอาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชักนำให้เกิดยอดเฉลี่ย 1.4 ยอด/ตัวอย่างพืช นอกจากอาหารสูตร MS แล้ว ยังนิยมเพาะเลี้ยงกล้วยไม้บนอาหารสูตร Vacin and Went (VW) ที่เติมมันฝรั่งบด สามารถชักนำให้เกิดยอดเฉลี่ย 11.4 ยอด/ตัวอย่างพืช (Bouasavanh et al., 2021) แม้ว่าค่าเฉลี่ยของจำนวนยอดในแต่ละกรรมวิธีจะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใช้ BAP ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการกระตุ้นให้เกิดยอดเฉลี่ยสูงสุด BAP เป็นฮอร์โมนในกลุ่มไซโตไคนิน ทำหน้าที่หลักในการ กระตุ้นการแบ่งเซลล์และการสร้างยอดพืช (Fosket, 1994) ส่วน NAA เป็นฮอร์โมนในกลุ่มออกซิน มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้น การยึดตัวของเซลล์ การสร้างราก และการพัฒนาของเนื้อเยื่อต่าง ๆ (Davies, 2013) อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไซโตไคนิน และออกซินจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการสร้างยอดใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ฮอร์โมนเพียงชนิดเดียว (Pierik, 1997)

การศึกษาลงของ BAP และ NAA ต่อความสูงของยอดกล้วยไม้เอื้องผึ้ง พบว่า อาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ร่วมกับ NAA ได้แก่ 0+0, 0.5+0.5, 0.5+1.0, 0.5+1.5 และ 0.5+2.0 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเวลา 20 สัปดาห์ สามารถชักนำให้ยอด มีความสูงเฉลี่ย 1.4, 2.4, 1.8, 2.1 และ 1.8 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 3, Figure 3) ค่าเฉลี่ยความสูงของยอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความเข้มข้นและอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง BAP และ NAA คือ 0.5+0.5 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชักนำให้ยอดมีความสูงเฉลี่ยสูงสุด 2.4 เซนติเมตร สอดคล้องกับ Goswami et al. (2015) ที่เพาะเลี้ยง กล้วยไม้บนอาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP และ NAA ความเข้มข้น 0.5+0.5 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชักนำให้ยอดมีความสูง เฉลี่ยสูงสุด 3.6 เซนติเมตร ซึ่งสามารถชักนำให้ยอดมีความสูงมากกว่า Parthibhan et al. (2015) ที่เพาะเลี้ยงกล้วยไม้ *D. aqueum* บนอาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ความเข้มข้น 7 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชักนำให้ยอดมีความสูงเฉลี่ย 0.8 เซนติเมตร ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า BAP และ NAA ส่งผลต่อความสูงของยอดกล้วยไม้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อใช้ร่วมกันในความเข้มข้นที่เหมาะสม ทำให้เกิดการเสริมฤทธิ์กัน (synergistic) ระหว่าง BAP (ไซโตไคนิน) และ NAA (ออกซิน) ในการส่งเสริมการแบ่งเซลล์และการยึดตัวของเซลล์ ทำให้ยอดเจริญเติบโตได้ดีขึ้น ซึ่งแตกต่างจากการใช้ BAP ในความเข้มข้นสูง เพียงอย่างเดียว

Table 2 Effect of MS medium supplemented with various concentration of BAP and NAA on *in vitro* shoots induction of *Dendrobium lindleyi* at 1st to 20th weeks

BAP (mg/L)	NAA (mg/L)	Number of shoots (shoots/explant)				
		weeks				
		1	5	10	15	20
0	0	1.0±0.0 ^{ns}	3.0±1.2 ^{ns}	5.3±1.9 ^{ns}	7.1±3.0 ^{ns}	9.4±6.9 ^{ns}
0.5	0.5	1.0±0.0 ^{ns}	3.1±1.3 ^{ns}	5.3±1.6 ^{ns}	7.6±1.8 ^{ns}	11.9±4.2 ^{ns}
0.5	1.0	1.0±0.0 ^{ns}	3.6±1.4 ^{ns}	5.0±2.1 ^{ns}	7.0±3.7 ^{ns}	11.3±5.9 ^{ns}
0.5	1.5	1.0±0.0 ^{ns}	3.2±1.0 ^{ns}	5.5±2.3 ^{ns}	8.9±3.7 ^{ns}	9.5±5.3 ^{ns}
0.5	2.0	1.0±0.0 ^{ns}	3.2±0.9 ^{ns}	4.1±1.6 ^{ns}	6.8±3.5 ^{ns}	7.8±5.3 ^{ns}

Means±standard deviation followed by a letter indicates statistical difference using DMRT at 95% significance level

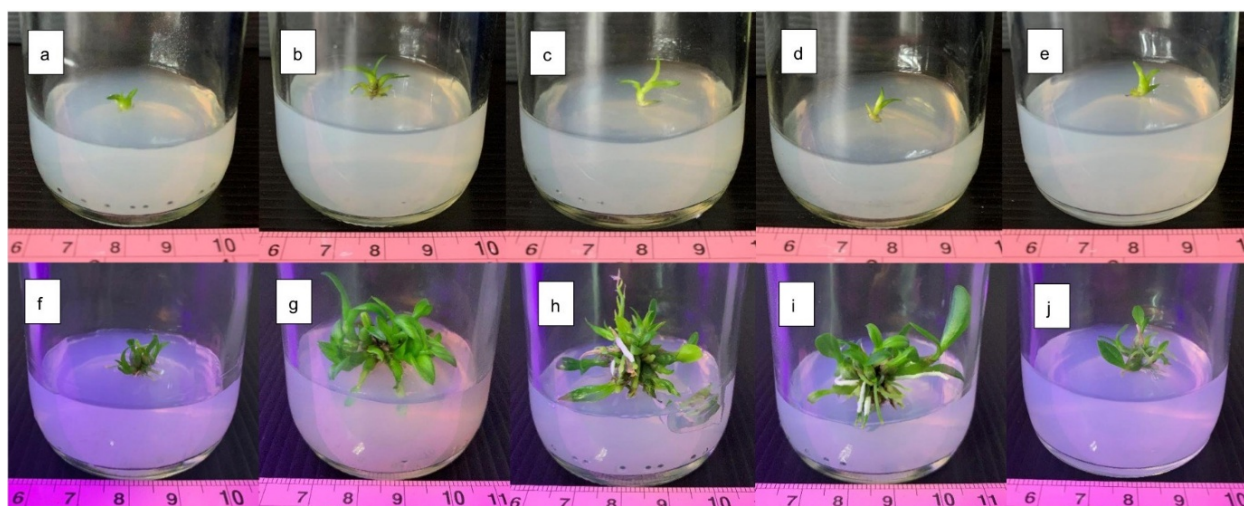


Figure 3 The characteristics of *Dendrobium* orchids at the first week (a – e) of cultured and after twenty weeks (f – j) of cultured on MS medium supplemented with BA and NAA at concentrations of 0+0 (a, f), 0.5+0.5 (b, g), 0.5+1.0 (c, h), 0.5+1.5 (d, i) and 0.5+2.0 (e, j) mg/L.

การศึกษาลักษณะของ BAP และ NAA ต่อจำนวนรากของกล้วยไม้เอื้องผึ้ง พบว่า อาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ร่วมกับ NAA ได้แก่ 0+0, 0.5+0.5, 0.5+1.0, 0.5+1.5 และ 0.5+2.0 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเวลา 20 สัปดาห์ สามารถชักนำให้เกิดรากเฉลี่ย 9.9, 5.1, 6.9, 18.8, และ 3.5 ราก/ตัวอย่างพืช ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของจำนวนรากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเท่ากับ 73.3, 66.7, 80.0, 93.3 และ 66.7% ตามลำดับ (Table 4, Figure 3) ความเข้มข้นและอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง BAP และ NAA คือ 0.5+1.5 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชักนำให้เกิดรากเฉลี่ยสูงสุด 18.8 ราก/ตัวอย่าง สอดคล้องกับ Goswami et al. (2015) ที่เพาะเลี้ยงกล้วยไม้บนอาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP และ NAA ความเข้มข้น 0.5+0.5 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชักนำให้เกิดรากเฉลี่ยสูงสุด 4.0 ราก/ตัวอย่างพืช ซึ่งสามารถชักนำให้รากมีจำนวนมากกว่า Parthibhan et al. (2015) ที่เพาะเลี้ยงกล้วยไม้ *D. aqueum* บนอาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชักนำให้เกิดรากเฉลี่ย 1.5 ราก/ตัวอย่างพืช นอกจากนี้ Parthibhan et al. (2015) ยังรายงานว่า NAA สามารถชักนำรากกล้วยไม้ *D. chrysanthum* และ *Dendrobium* sp. ได้เช่นกัน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้ BAP ร่วมกับ NAA ในอัตราส่วนที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการสร้างรากจำนวนมากได้ เนื่องจากปริมาณของ NAA มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อจำนวนรากที่เกิดขึ้น (Davies, 2013)

Table 3 Effect of MS medium supplemented with various concentration BAP and NAA on *in vitro* shoot height of *Dendrobium lindleyi* at 1st to 20th weeks

BAP (mg/L)	NAA (mg/L)	Shoot height (cm)				
		weeks				
		1	5	10	15	20
0	0	1.0±0.4 ^{ns}	0.7±0.24 ^b	0.9±0.2 ^b	1.1±0.3 ^b	1.4±0.3 ^b
0.5	0.5	1.0±0.4 ^{ns}	1.0±0.43 ^a	1.4±0.6 ^a	1.7±0.7 ^a	2.4±1.2 ^a
0.5	1.0	1.0±0.4 ^{ns}	1.0±0.46 ^{ab}	1.3±0.5 ^{ab}	1.4±0.6 ^{ab}	1.8±0.8 ^{ab}
0.5	1.5	1.0±0.4 ^{ns}	1.0±0.23 ^{ab}	1.4±0.3 ^a	1.4±0.4 ^{ab}	2.1±0.6 ^{ab}
0.5	2.0	1.0±0.4 ^{ns}	0.8±0.34 ^{ab}	1.0±0.4 ^{ab}	1.1±0.3 ^b	1.8±0.4 ^{ab}

Means±standard deviation followed by a letter indicates statistical difference using DMRT at 95% significance level

Table 4 Effect of MS medium supplemented with various concentration BAP and NAA on *in vitro* root induction of *Dendrobium lindleyi*

Trt	BAP (mg/L)	NAA (mg/L)	No. of roots (roots/explants)	Rooting (%)
1	0	0	9.9±3.2 ^b	73.3
2	0.5	0.5	5.1±5.0 ^b	66.7
3	0.5	1.0	6.9±5.0 ^b	80.0
4	0.5	1.5	18.8±5.2 ^a	93.3
5	0.5	2.0	3.5±1.3 ^b	66.7

Means±standard deviation followed by a letter indicates statistical difference using DMRT at 95% significance level

สรุปผลการศึกษา

ผลของ BAP และ NAA ต่อการออกดอกและการเจริญเติบโตของเอื้องผึ้ง (*Dendrobium lindleyi*) พบว่า อาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.5+1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และ 0.5+2.0 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้เกิดจำนวนดอกเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 0.60 ดอก/ตัวอย่างพืช หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ อาหารสูตร MS ดัดแปลงที่เติม BAP ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.5+0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้เกิดจำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุด 11.88 ยอด/ตัวอย่างพืช ความสูงยอดเฉลี่ยสูงสุด 2.44 ยอด/ตัวอย่างพืช จำนวนรากเฉลี่ย เท่ากับ 5.12 ราก/ตัวอย่างพืช และมีเปอร์เซ็นต์การเกิดราก 66.67% หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 20 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนครุภัณฑ์ และสถานที่ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม ออกแบบการทดลอง การปฏิบัติการวิจัย เก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและเขียนต้นฉบับ: นพรัตน์ อินธา. มีส่วนร่วมในการปฏิบัติการวิจัย เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล: พุทธพงษ์ สร้อยเพชรเกษม, มงคล ศิริจันทร์, นุชนาฏ ภัคดี.

เอกสารอ้างอิง

- Bottom, S. (2024). *Orchid Parts and Why They Matter*. Retrieved from: <https://www.aos.org/orchids/articles/orchid-parts-and-why-they-matter>.
- Bouasavanh, K., Tongbai, W., & Koto, R. (2021). *In vitro* propagation of *Dendrobium scabrilingue* Linld. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 39(1), 30-38. (in Thai).
- Davies, P. J. (2013). *The Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. Springer.
- Department of Agricultural Extension. (2016). *Tissue Culture*. The Agricultural Co-operative Federation of Thailand, Ltd. (in Thai).
- Fosket, D. E. (1994). *Plant Growth and Development: A Molecular Approach*. Academic Press.
- Goswami, K., Yasmin, S., Nasiruddin, K. M., Khatun, F., & Akte, J. (2015). *In vitro* regeneration of *Dendrobium* sp. of orchid using leaf tip as explant. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 8(2), 75-78.
- Kaur, S. (2022). *In vitro* florigenesis with special reference to orchids-A review. *Recent Patents on Biotechnology*, 16(4), 311-318.
- Kieber, J. J., & Schaller, G. E. (2014). Cytokinins. *Arabidopsis Book*, 2014(12), e0168. <https://doi.org/10.1199/tab.0168>
- Lanna Magazine on Cloud. (2021). *Yellow Orchid (Honey Fragrant Orchids)*. Retrieved from: <https://accl.cmu.ac.th/Knowledge/details/2124>. (in Thai).
- Murthy, K. S. R., Kondamudi, R., Rao, C. P. V., & Pullaiah, T. (2012). *In vitro* flowering-A review. *Journal of Agricultural Technology*, 8(5), 1517-1536.
- Nadal, M. C., Andrade, G. V. S., Flores, J. H. N., Reis, M. V. D., Rodrigues, V. A., & Pasqual, M. (2023). *Dendrobium nobile in vitro* flowering induction. *Ornamental Horticulture*, 29(2), 135-142.

- Parthibhan, S., Rao, M. V., & Kumar, T. S. (2015). *In vitro* regeneration from protocorms in *Dendrobium aqueum* Lindley – An imperiled orchid. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, 13(2), 227-233.
- Pierik, R. L. M. (1997). *In Vitro Culture of Higher Plants*. Springer.
- Piluek, J. (2015). Tissue culture of orchid. **Agriculture Extension Journal**, 60(2), 24-35. (in Thai).
- Ritti, W., Chourykaew, B., Nontharak, K., & Kitcharoen, T. (2017). Effects of TDZ and 2,4-D on growth and development of *in vitro* seedling culture of *Dendrobium formosum* Roxb. ex Lindl. **KKU Science Journal**, 45(2), 360-368. (in Thai).
- Supinrach, S., & Supinrach, I. (2014). Effects of BA and NAA on *in vitro* growth of *Dendrobium lindleyi* Steud. seedlings. **Burapha Science Journal**, 19(2), 84-92. (in Thai).
- Teixeira da Silva, J. A., Kerbaui, G. B., Zeng, S., Chen, Z., & Duan, J. (2013). *In vitro* flowering of orchids. **Critical Reviews in Biotechnology**, 34(1), 56-76.
- Zhao, D. K., Li, C. F., Chen, Z. Y., & Yang, J. B. (2012). *In vitro* flowering and conservation of *Dendrobium strongylanthum* Rchb.f. **Subtropical Plant Science**, 4(1), 48-50.

ผลของวัสดุเพาะกล้าต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ในระบบเกษตรอินทรีย์

Effects of Seedling Substrate on Germination and Growth of Butterhead Lettuce in an Organic Farming System

วีระยุทธ เงินเจริญ¹, ลือพงษ์ ลือนาม¹ และปัญญา หมั่นเก็บ^{1*}

Weerayut Ngenjaroen¹, Luepong Luenam¹ and Panya Mankeb^{1*}

Received date: 25 ก.พ. 68 Revised date: 13 ส.ค. 68 Accepted date: 4 ก.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.265585>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวัสดุเพาะกล้าชนิดต่างๆ ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักสลัดบัตเตอร์เฮดเพื่อทดแทนการใช้พีทมอสในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 7 กรรมวิธี 3 ซ้ำ กรรมวิธีที่ 1 คือ T1 (พีทมอส) T2 (ปุ๋ยหมัก ขุยมะพร้าว และเหินแดง อัตราส่วน 1:1:1) T3 (ปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว เหินแดง อัตราส่วน 1:1:1:1) T4 (ปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว เหินแดง อัตราส่วน 1:2:1:1) T5 (ปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว เหินแดง อัตราส่วน 1:1:2:1) และ T7 (ปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว เหินแดง อัตราส่วน 2:1:1:1) ผลการทดลอง พบว่า T1 (พีทมอส) ให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุด (98.39%) และดัชนีการงอกสูง (50.89) แต่ใช้เวลางอกเฉลี่ยนานที่สุด (3.94 วัน) รองลงมา T4 โดยให้เปอร์เซ็นต์การงอก 83.65% และดัชนีการงอก 43.05 ในขณะที่ T3 มีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำที่สุด (55.44%) และมีระยะเวลาการงอกสั้นที่สุด (2.18 วัน) สำหรับลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้า พบว่า T4 ให้ความสูงต้นกล้าสูงที่สุด (7.27 ซม.) ขณะที่ T6 ให้น้ำหนักสด (28.42 กรัม) และความกว้างใบ (3.37 ซม.) สูงที่สุด ส่วน T7 มีขนาดทรงพุ่มกว้างที่สุด (8.18 ซม.) ในขณะที่กรรมวิธีควบคุม (T1) ให้ผลต่ำที่สุดในทุกตัวชี้วัดด้านการเจริญเติบโต โดยสรุป แม้พีทมอสจะให้ผลดีด้านการงอกสูงที่สุด แต่วัสดุเพาะกล้าโดยเฉพาะกรรมวิธี T4 มีศักยภาพสูงในการใช้ทดแทนพีทมอส ทั้งในด้านประสิทธิภาพการงอกและคุณภาพต้นกล้า จึงเป็นทางเลือกเพื่อสนับสนุนการใช้วัสดุในท้องถิ่นเป็นวัสดุเพาะกล้าสำหรับเกษตรกรในระบบเกษตรอินทรีย์ ต่อไป

คำสำคัญ: วัสดุเพาะกล้า ปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว เหินแดง

Abstract

This study aimed to evaluate the effects of different seedling substrates on the germination and growth of Butterhead lettuce as an alternative to peat in organic farming systems. The experiment was conducted using a completely randomized design (CRD) with seven treatments and three replications. The treatments were as follows: T1 (Peat moss (control)), T2 (compost, coconut coir dust and azolla in a ratio of 1:1:1) T3 (compost, vermicompost, coconut coir dust and azolla in a ratio of 1:1:1:1), T4 (compost, vermicompost, coconut coir dust and azolla in a ratio of 1:2:1:1), T5 (compost, vermicompost, coconut coir dust, and azolla in a ratio of 1:1:2:1), T6 (compost, vermicompost, coconut coir dust, and azolla in a ratio of 1:1:1:2) and T7 (compost, vermicompost, coconut dust, and azolla in a ratio of 2:1:1:1). The experimental results revealed that T1 (peat moss) achieved the highest germination percentage (98.39%) and germination index (50.89); however, it also required the longest average germination time (3.94 days). Following this, T4 exhibited a germination percentage of 83.65% and a germination index of 43.05. Conversely, T3 demonstrated the lowest germination percentage (55.44%) and the shortest germination duration (2.18 days). In terms of seedling growth, T4 produced the tallest seedlings (7.27 cm), while T6 achieved the highest fresh weight (28.42 g) and leaf width (3.37 cm). T7 resulted in the widest canopy spread (8.18 cm). By comparison, the control treatment (T1) consistently recorded the lowest values across all growth parameters. Overall, while peat moss (T1) yielded superior germination performance, the seedling substrate in T4 demonstrated considerable potential as a viable peat moss

¹ สำนักงานบริหารหลักสูตรสหวิทยาการเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹ Office of Administrative Interdisciplinary Program on Agricultural Technology (OAIPAT), School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology ladkrabang, Bangkok 10520

* Corresponding author: panya.ma@kmitl.ac.th

alternative, offering competitive germination efficiency and improved seedling growth quality. These results highlight the feasibility of utilizing locally sourced materials as seedling substrates, particularly for organic farming systems.

Keywords: seedling substrate, compost, vermicompost, coconut dust, azolla

คำนำ

ปัจจุบันกระแสความตระหนักด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมกำลังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกษตรกรอินทรีย์กลายเป็นรูปแบบการเกษตรที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคและสังคมในวงกว้าง การทำเกษตรอินทรีย์เน้นลดการใช้สารเคมีสังเคราะห์ควบคู่ไปกับการรักษาสสมดุลของระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ (Olaria et al., 2016) ไม่เพียงช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังสร้างผลผลิตที่ปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคและเสริมสร้างความยั่งยืนของทรัพยากรธรรมชาติ (Office of the Permanent Secretary for Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2021; Olaria et al., 2016)

จากผลสำรวจผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์จำนวน 3,356 คนทั่วประเทศ พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่เลือกซื้อผักสดมากที่สุด (46%) รองลงมาคือผลไม้ (26%) ข้าว (21%) ธัญพืชและสมุนไพร (4%) เนื้อสัตว์และไข่ (2%) และอื่น ๆ (1%) ซึ่งสะท้อนถึงความต้องการที่เพิ่มขึ้นของผู้บริโภคที่ใส่ใจต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม (Office of Agricultural Economics Region 9, 2018) ในช่วงเวลาที่ผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของอาหารปลอดภัยและคุณภาพชีวิต เกษตรอินทรีย์จึงเป็นทางเลือกสำคัญที่ช่วยลดผลกระทบจากการเกษตรเคมีที่เน้นผลผลิตสูง แต่สร้างปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ (Lorio and Asis, 2021)

ผักสลัดบัตเตอร์เฮด (*Lactuca sativa* L.) เป็นผักสลัดอีกชนิดหนึ่งที่มีความนิยมในระบบเกษตรอินทรีย์ เนื่องจากมีใบที่หวาน กรอบ และนุ่ม เหมาะสำหรับการบริโภคสด อีกทั้งยังเป็นแหล่งสารอาหารที่สำคัญ เช่น ไฟเบอร์ วิตามินซี และสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งช่วยเสริมสุขภาพและบำรุงร่างกาย แม้จะได้รับความนิยม แต่กระบวนการผลิตยังเผชิญปัญหาจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวย เช่น อุณหภูมิสูงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด โดย Sakornwas and Nathewaet (2016) รายงานว่า อุณหภูมิสูง 39°C/29°C ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซและกระบวนการสังเคราะห์แสงของผักกาดหอมในกลุ่มไฮโดรโปนิคส์และกลุ่มบัตเตอร์เฮดลดลง ส่งผลให้มวลน้ำหนักแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

การผลิตต้นกล้าที่มีคุณภาพเป็นขั้นตอนสำคัญซึ่งมีผลโดยตรงต่อความสำเร็จของการปลูกพืชผักและผลผลิตสุดท้าย โดยเฉพาะในระบบเกษตรอินทรีย์ซึ่งมีข้อจำกัดในการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีทางการเกษตร ต้นกล้าที่แข็งแรงและสมบูรณ์สามารถตั้งตัวได้เร็ว ทนทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช รวมทั้งสามารถปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมได้ดี ส่งผลให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพ (Sterrett, 2001; Olaria et al., 2016) ดังนั้น การคัดเลือกและเตรียมวัสดุเพาะกล้าที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเพาะกล้าอย่างมีประสิทธิภาพ พีทมอส (peat moss) เป็นวัสดุเพาะกล้าที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เอื้อต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า ได้แก่ ความหนาแน่นรวมต่ำ ความพรุนรวมสูง และความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารสูง ส่งผลให้สามารถอุ้มน้ำได้ดีและช่วยให้เมล็ดงอกได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ (Abad et al., 2001) อย่างไรก็ตาม พีทมอสเป็นทรัพยากรที่เกิดขึ้นใหม่ได้ช้า (slowly renewable natural resource) เกิดจากการย่อยสลายของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ ซึ่งเป็นระบบนิเวศที่เปราะบางและมีคุณค่าทางนิเวศวิทยาสูง (Bustamante et al., 2008) การเก็บเกี่ยวพีทมอสอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบนิเวศ การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Olaria et al., 2016; Harenda et al., 2017) นอกจากนี้ พีทมอสยังมีราคาสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น

เพื่อลดการพึ่งพาพีทมอสและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีการศึกษาการใช้วัสดุเพาะกล้าในท้องถิ่นที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย เช่น ขุยมะพร้าว แกลบดำ ปุ๋ยหมัก และแหนแดง ซึ่งมีศักยภาพในการใช้ทดแทนพีทมอสได้ จากรายงานของ Wannakroiro et al. (2019) พบว่าส่วนผสมของขุยมะพร้าว แกลบ และปุ๋ยหมักในอัตราส่วน 1:1:1 สามารถใช้แทนพีทมอสในการเพาะกล้าผักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การเลือกวัสดุเพาะกล้าที่เหมาะสมมีความสำคัญคิดเป็นร้อยละ 60 ของความสำเร็จในการเพาะต้นกล้า (Netrphakdee, 2021) เนื่องจากต้นกล้าที่แข็งแรงจะส่งผลโดยตรงต่ออัตราการรอดตายและคุณภาพผลผลิตเมื่อนำไปปลูกในสภาพแปลงจริง

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุเพาะกล้าหลากหลายชนิดในพืชชนิดอื่นๆ แต่การศึกษาเกี่ยวกับผลของวัสดุเพาะกล้าต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักสลัดบัตเตอร์เฮดในระบบเกษตรอินทรีย์ยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงเป็นประเด็นที่ต้องการวิจัยเพิ่มเติม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวัสดุเพาะกล้าชนิดต่าง ๆ ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักสลัดบัตเตอร์เฮดภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์ เพื่อหาทางเลือกที่ยั่งยืนและลดการใช้พีทมอสในการเพาะกล้าผักสลัดบัตเตอร์เฮดและผักชนิดอื่นๆ ต่อไป

วิธีการศึกษา

สถานที่ทดลองและการวางแผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการทดลองที่ฟาร์ม A Little Farmer Organic Farm เลขที่ 88/18 หมู่ 1 ตำบลดอนยายหอม อำเภอเมือง นครปฐม จังหวัดนครปฐม พิกัดทางภูมิศาสตร์ $13^{\circ}42'46.4''$ ละติจูดเหนือ $100^{\circ}04'41.2''$ ลองจิจูดตะวันออก ดำเนินการทดลอง ระหว่างวันที่ 27 พฤษภาคม 2567 ถึง 13 กันยายน 2567 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี (Treatment) 3 ซ้ำ (Replication) ซ้ำละ 104 เมล็ด รายละเอียดแต่ละกรรมวิธีมีดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 เพาะกล้าด้วยพีทมอส (Control)

กรรมวิธีที่ 2 เพาะกล้าด้วยปุ๋ยหมัก ขุยมะพร้าว แหนแดง อัตราส่วน 1:1:1

กรรมวิธีที่ 3 เพาะกล้าด้วยปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว แหนแดง อัตราส่วน 1:1:1:1

กรรมวิธีที่ 4 เพาะกล้าด้วยปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว แหนแดง อัตราส่วน 1:2:1:1

กรรมวิธีที่ 5 เพาะกล้าด้วยปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว แหนแดง อัตราส่วน 1:1:2:1

กรรมวิธีที่ 6 เพาะกล้าด้วยปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว แหนแดง อัตราส่วน 1:1:1:2

กรรมวิธีที่ 7 เพาะกล้าด้วยปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว แหนแดง อัตราส่วน 2:1:1:1

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีบางประการในวัสดุปลูก มีรายละเอียด ดังนี้ (Table 1)

วิธีการ

การเตรียมปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกอง โดยมีขั้นตอนการทำตามวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของสูตร “วิศกรรมแม่โจ้ 1 (Rojanapornphithip, 2024) เริ่มต้นด้วยการนำเศษฟางข้าว เศษวัชพืช และเศษผักต่างๆ 4 ส่วน วางเป็นชั้น บาง ๆ แต่ละชั้นสูงประมาณ 10 เซนติเมตร และมีฐานกว้างประมาณ 2.5 เมตร โดยไม่ต้องเหยียบ โปรยทับด้วยมูลสัตว์ 1 ส่วนแล้ว รดน้ำ ทำเช่นนี้จนได้จำนวน 10-15 ชั้น รดน้ำแต่ละชั้นให้ความชื้น โดยกองปุ๋ยหมักจะเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมสูงประมาณ 1.5 เมตร ความยาวขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบ เพื่อสนับสนุนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งต้องการธาตุคาร์บอนจากเศษพืชและธาตุ ไนโตรเจนจากมูลสัตว์ ควบคุมความชื้นในกองปุ๋ยที่ 60-70% โดยรดน้ำวันละ 1-2 ครั้ง หลังจากครบ 10 วัน ให้ใช้ไม้แทงรูในกอง ปุ๋ยและกรอกน้ำลงไปในระยะห่างประมาณ 40 เซนติเมตร ทำซ้ำ 5 ครั้ง โดยเว้นระยะห่าง 10 วันต่อครั้ง ในช่วง 5 วันแรก อุณหภูมิ ภายในกองปุ๋ยหมักจะสูงถึง 70 องศาเซลเซียส จากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และจะค่อย ๆ ลดลงจนเข้าสู่ภาวะปกติภายใน 60 วัน เมื่อครบกำหนด ควรหยุดการให้น้ำเพื่อให้ปุ๋ยเข้าสู่ระยะการทำแห้ง โดยสามารถปล่อยทิ้งไว้ในกองประมาณ 1 เดือน หรือนำไปแผ่กระจายในความหนา 20-30 เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้แห้งภายใน 3-4 วัน

การเตรียมมูลไส้เดือน การเตรียมมูลไส้เดือนเริ่มต้นด้วยการเจาะรูขนาดเล็กรูทั่วกะละมังที่ใช้เลี้ยงไส้เดือน เพื่อให้สามารถระบายน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและป้องกันการเกิดน้ำขัง จากนั้นให้เตรียมมูลวัวโดยการแช่ในน้ำเป็นระยะเวลา 1-2 สัปดาห์ เพื่อลดแก๊สที่ไม่พึงประสงค์และลดอุณหภูมิ เมื่อแช่มูลวัวครบตามระยะเวลาที่กำหนด ให้นำไปใส่ในกะละมังจนถึงระดับสองในสามของ กะละมัง จากนั้นให้ใส่ไส้เดือนลงไปโดยไม่ต้องกลบ เพราะไส้เดือนสามารถเคลื่อนตัวลงไปได้เอง ควรรดน้ำเพิ่มความชื้นประมาณ 1 ครั้งทุก 3-4 วัน หลังจากเลี้ยงไส้เดือนได้ประมาณ 1 เดือน สามารถร่อนมูลไส้เดือนเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไปได้

การเตรียมแหนแดง เริ่มต้นด้วยการจัดเตรียมบ่อเพาะเลี้ยงขนาดกว้าง 1.20 เมตร และยาว 8 เมตร พร้อมติดตั้งสแลน กรองแสงในอัตราส่วน 50% จากนั้นให้นำมูลวัวแห้งจำนวน 1 กระสอบใส่ลงในบ่อและเติมน้ำให้สูงประมาณ 15 เซนติเมตร ทิ้งไว้ เป็นเวลา 1 คืน เมื่อครบกำหนดให้ช้อนเศษฟางที่ลอยอยู่บนผิวน้ำออก และเติมแหนแดงในปริมาณ 1 กิโลกรัมลงในบ่อ เมื่อแหนแดงเจริญเติบโตจนเต็มพื้นที่แล้ว ให้นำไปตากแดดเป็นระยะเวลา 4-5 วันจนแห้งสนิท จากนั้นจึงบดเพื่อใช้เป็นวัสดุเพาะกล้าต่อไป

การเตรียมขุยมะพร้าว นำขุยมะพร้าวแช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 3-5 วัน โดยจะมีการเปลี่ยนน้ำทุกๆ วัน เพื่อล้างสารแทนนินที่เป็นพิษต่อพืช โดยจะสังเกตได้ว่าน้ำมีสีน้ำตาลแดง (สารแทนนิน) ในน้ำจะค่อย ๆ จางและลดลง จนน้ำใสขึ้นเรื่อย ๆ จึงนำมาใช้ได้ เนื่องจากสารแทนนินจะเป็นพิษต่อต้นกล้า (Phimsuwan, 2012) การดำเนินการดังกล่าวนี้จะช่วยลดระดับสารพิษในขุยมะพร้าว ทำให้สามารถใช้เป็นวัสดุปลูกได้อย่างปลอดภัย

การเตรียมวัสดุเพาะเมล็ดผักสลัดบัตเตอร์เฮด เริ่มต้นด้วยการร่อนปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว และแหนแดง ด้วยตะแกรงเพื่อให้ได้วัสดุที่ละเอียด จากนั้นนำวัสดุที่ร่อนแล้วมาผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดในแผนการทดลอง โดยบรรจุวัสดุที่ ผสมลงในถาดเพาะขนาด 104 หลุม ซึ่งประกอบด้วย 7 กรรมวิธี (Treatment) และ 3 ซ้ำ (Replication) โดยแต่ละซ้ำใช้เมล็ด 104 เมล็ด สำหรับการเพาะเมล็ดผักสลัดบัตเตอร์เฮด โดยหยอดเมล็ดลงในหลุม ๆ ละ 1 เมล็ด แล้วนำถาดเพาะไปวางในโรงเรือนเพาะ กล้าและรดน้ำทุกวัน เช้าและเย็น เพื่อรักษาความชื้นให้เหมาะสม

Table 1 Some physical and chemical properties of the material for use as a seedling substrate

Material	Physical properties	Chemical properties	Source
Compost	good water retention, coarse structure	pH 6.9, CE 0.2 dSm ⁻¹ , N 2.22%, P 1.27%, K 0.61%, Ca 3.21%, Mg 0.21% Pb: 12 mg.kg ⁻¹ , Cu: 43.23 mg.kg ⁻¹ , Zn: 170.8 mg.kg ⁻¹ , Cd: 0.19 mg.kg ⁻¹ , Fe: 3177.3 mg.kg ⁻¹ , Mn: 360.5 mg.kg ⁻¹	Angelova, et al. (2013); Sornsawan and Tawinteung (2019)
Peat moss	High water retention capacity, lightweight, highly porous	pH 3.9-6.08, EC 0.20-0.21 dS/m, N: 0.48-0.80%, P: 0.16-0.27%, K: 0.36-0.4%	Carlile, et al. (2015); Wannakroiro, et al. (2019)
Vermicompost	Balanced texture, good moisture retention, fully decomposed organic matter, high in NPK	pH 7.5, EC 2.2 dSm ⁻¹ , N: 1.57%, P: 1.02%, K: 1.05%, Ca: 3.18%, Mg: 0.78%, Pb: 32.3 mg.kg ⁻¹ , Cu: 53.3 mg.kg ⁻¹ , Zn: 270.3 mg.kg ⁻¹ , Cd: 0.69 mg.kg ⁻¹ , Fe: 11814 mg.kg ⁻¹ , Mn: 423.3 mg.kg ⁻¹	Angelova et al. (2013)
Coconut coir dust	Good aeration, dense texture	pH 6.2-6.78, EC 0.51-0.9 dSm ⁻¹ , N: 0.31-0.45%, P: 0.05-0.3%, K: 0.55-0.71%,	Carlile et al. (2015); Wannakroiro et al. (2019)
Azolla	Good water retention and release	pH 5.9, EC 1.0-2.0 dSm ⁻¹ N: 4.69-4.81%, P: 0.33-0.65%, K: 1.17-5.08%, Ca: 1.88-2.59%, Mg: 0.39-3.37%, Fe: 0.20%, Cu: 13.76 mg.kg ⁻¹ Zn: 59.66 mg.kg ⁻¹ Mn: 0.18%	Kaewsuralikhit et al. (2020); Wimoonchart (2020); Intana et al. (2023)

การเก็บและรวบรวมข้อมูล

จัดบันทึกข้อมูลความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักสลัดบัตเตอร์เฮด ดังต่อไปนี้

ความงอก โดยการนับจำนวนต้นกล้าที่งอกปกติคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การงอก จากสูตรเปอร์เซ็นต์การงอก (%) = (จำนวนต้นที่งอก × 100) ÷ (จำนวนเมล็ดที่เพาะ)

ดัชนีความงอก (germination index : GI) คือ เป็นการวัดความเร็วในการงอกของเมล็ดโดยนับต้นกล้าปกติทุกวัน แล้วคำนวณค่าดัชนีความงอกจากสูตร ดัชนีความงอกของเมล็ด (GI) = ผลรวมของจำนวนต้นกล้าที่งอกปกติในแต่ละวัน ÷ จำนวนวันหลังเพาะ

ระยะเวลาเฉลี่ยในการงอก (mean germination time : MGT) คือ การตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติที่งอกทุกวันหลังการเพาะเมล็ด คำนวณจากสูตร ระยะเวลาเฉลี่ยในการงอก (MGT) = ผลรวมของ (จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกในแต่ละวัน × จำนวนวันที่นับหลังจากเพาะเมล็ด) / จำนวนต้นกล้าที่งอกปกติทั้งหมด

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต โดยใช้ต้นกล้าอายุ 21 วัน จำนวนซ้ำละ 10 ต้น (Chittawanij et al., 2020)

ความสูง (เซนติเมตร) โดยวัดจากโคนถึงปลายใบที่ยาวที่สุด

ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) โดยวัดจากด้านหนึ่งของทรงพุ่มไปยังอีกด้านหนึ่งของทรงพุ่ม

น้ำหนักสดต้นและราก (กรัม)

ความยาวราก (เซนติเมตร) โดยวัดจากโคนถึงปลายรากที่ยาวที่สุด

ความกว้างใบ (เซนติเมตร) โดยวัดจากกึ่งกลางของใบที่กว้างที่สุด

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ IBM SPSS Statistics version 29

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การงอกของต้นกล้าผักสลัดบัตเตอร์เฮดในวัสดุเพาะกล้าสูตรต่าง ๆ

ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การงอก (%) ดัชนีการงอก (GI) และระยะเวลาเฉลี่ยในการงอก (MGT) ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในวัสดุเพาะกล้าสูตรต่าง ๆ ภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์ ดังแสดงใน Table 2

เปอร์เซ็นต์การงอก:

พบว่าวัสดุเพาะกล้าสูตร T1 (พีทมอส, Control) มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุดที่ 98.39% ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) กับวัสดุเพาะกล้าสูตรอื่น ๆ รองลงมา T4 และ T5 มีเปอร์เซ็นต์การงอก 83.65% และ 72.11% ตามลำดับ ขณะที่ T3 มีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำที่สุดที่ 55.44%

ดัชนีการงอก (GI):

ดัชนีการงอกมีแนวโน้มคล้ายกับเปอร์เซ็นต์การงอก โดยวัสดุ T1 (พีทมอส, Control) มีค่า GI สูงที่สุดที่ 50.89 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) กับวัสดุเพาะกล้าสูตรอื่น ๆ รองลงมา T4 และ T5 มีค่า GI ที่ 43.05 และ 33.80 ตามลำดับ ขณะที่ T3 มีค่า GI ต่ำที่สุดที่ 28.30

ระยะเวลาเฉลี่ยในการงอก (MGT):

พบว่าวัสดุเพาะกล้าสูตร T1 (พีทมอส, Control) มีระยะเวลาเฉลี่ยในการงอกนานที่สุดที่ 3.94 วัน ซึ่งแสดงถึงการงอกที่ช้ากว่าสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ในขณะที่ T3 (ปุ๋ยหมัก: มูลไส้เดือน: ขุยมะพร้าว: แหนแดง ในอัตราส่วน 1:1:1:1) มีระยะเวลาเฉลี่ยในการงอกสั้นที่สุดที่ 2.18 วัน

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวัสดุเพาะกล้าสูตร T1 (พีทมอส, Control) เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับการงอกของต้นกล้าผักสลัดบัตเตอร์เฮดในระบบเกษตรอินทรีย์ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากคุณสมบัติเด่นของพีทมอส เช่น ความสามารถในการเก็บน้ำสูง ความพรุนที่ดี และการมีธาตุอาหารเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Edwards and Neuhauser, 1988)

ในขณะเดียวกัน T3 ซึ่งมีผลการทดลองต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกกรรมวิธี (Treatment) อาจเกิดจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารในวัสดุเพาะกล้าหรือการระบายอากาศที่ไม่ดี โดยวัสดุอย่างมูลไส้เดือนและขุยมะพร้าวอาจมีความชื้นสูงเกินไป ทำให้ออกซิเจนที่จำเป็นสำหรับการงอกลดลง (Edwards and Batey, 1992; Orozco et al., 1996)

สำหรับวัสดุเพาะกล้าสูตรที่ใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับส่วนผสมอื่น ๆ (T4–T7) พบว่าแม้ว่าการปรับสัดส่วนของมูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว และแหนแดงอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการงอกของต้นกล้า แต่ผลที่ได้ยังไม่สามารถเทียบเท่ากับวัสดุเพาะกล้าพีทมอส

นอกจากนี้ ระยะเวลาเฉลี่ยในการงอกที่นานกว่าในสูตร T2 แสดงถึงกระบวนการงอกที่ค่อยเป็นค่อยไปและสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีสำหรับการเตรียมต้นกล้าเพื่อย้ายปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ ขณะที่สูตร T3 มีระยะเวลาเฉลี่ยในการงอกที่สั้นกว่า อาจบ่งชี้ถึงการงอกที่รวดเร็วแต่มีความไม่สม่ำเสมอและคุณภาพต้นกล้าที่ต่ำกว่า

จากผลการศึกษาถึงแม้พีทมอสจะเป็นวัสดุเพาะกล้าที่มีประสิทธิภาพสูงสุด แต่เนื่องจากพีทมอสมีราคาสูง จำเป็นต้องมีการพัฒนาสูตรวัสดุเพาะกล้าทางเลือกโดยใช้ปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว และแหนแดงเพื่อให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับพีทมอส และลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่จำกัด

ดังนั้นสูตรวัสดุเพาะกล้า จากผลการศึกษาที่สามารถจะทดแทนพีทมอสคือ T4 (ปุ๋ยหมัก: มูลไส้เดือน: ขุยมะพร้าว: แหนแดง ในอัตราส่วน 1:2:1:1) และ T5 (ปุ๋ยหมัก: มูลไส้เดือน: ขุยมะพร้าว: แหนแดง ในอัตราส่วน 1:1:2:1) มีศักยภาพที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานในระบบเกษตรอินทรีย์ ทั้งสองสูตรมีความแตกต่างในด้านเปอร์เซ็นต์การงอก ดัชนีการงอก (GI) และระยะเวลาเฉลี่ยในการงอก (MGT) ดังนี้:

T4: มีเปอร์เซ็นต์การงอก 83.65%, GI เท่ากับ 43.05 และ MGT เท่ากับ 3.31 วัน

T5: เปอร์เซ็นต์การงอก 72.11%, GI เท่ากับ 36.63 และ MGT เท่ากับ 2.82 วัน

โดยมีข้อพิจารณา ดังนี้

1) หากมุ่งเน้นการเพาะกล้าที่มี เปอร์เซ็นต์การงอกสูงและมีความสม่ำเสมอ สูตร T4 จะเหมาะสมกว่า เนื่องจากให้ เปอร์เซ็นต์การงอกและดัชนีการงอกที่สูง ซึ่งช่วยลดการสูญเสียต้นกล้าและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

2) หากมุ่งเน้นการ ผลิตต้นกล้าที่งอกเร็ว และลดเวลาในกระบวนการเพาะกล้า สูตร T5 อาจเหมาะสมกว่า เนื่องจากมี ระยะเวลาเฉลี่ยในการงอกที่สั้น

3) สูตร T4 ใช้มูลไส้เดือนในอัตราส่วนที่สูงกว่า (1:2:1:1) ซึ่งอาจเพิ่มต้นทุนหรือความยุ่งยากในการเตรียมวัสดุเพาะ หากทรัพยากรจำกัด สูตร T5 (1:1:2:1) อาจเป็นทางเลือกที่คุ้มค่ากว่า

4) แม้ T4 จะใช้เวลางอกนานกว่าเล็กน้อย (3.31 วัน) แต่เปอร์เซ็นต์การงอกและดัชนีการงอกที่สูงกว่าอาจบ่งชี้ถึงคุณภาพ ต้นกล้าที่ดีกว่า ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตในระยะย้ายปลูก

Table 2 Germination percentage, germination index (GI), and mean germination time (MGT) of butterhead lettuce in organic farming

Treatment	Germination (%)	GI	MGT
T1. Peat moss (Control)	98.39±1.10 ^{a1/}	50.89±0.89 ^a	3.94±0.09 ^a
T2. Compost: Coconut coir dust: azolla (1:1:1)	60.25±2.42 ^e	30.44±0.91 ^f	2.34±0.08 ^e
T3. Compost: vermicompost: Coconut coir dust: azolla (1:1:1:1)	55.44±1.47 ^f	28.30±1.06 ^g	2.18±0.08 ^f
T4. Compost: vermicompost: Coconut coir dust: azolla (1:2:1:1)	83.65±1.66 ^b	43.05±0.96 ^b	3.31±0.08 ^b
T5. Compost: vermicompost: Coconut coir dust: azolla (1:1:2:1)	72.11±1.92 ^c	36.63±0.80 ^c	2.82±0.07 ^c
T6. Compost: vermicompost: Coconut coir dust: azolla (1:1:1:2)	66.34±0.96 ^d	33.80±0.89 ^d	2.60±0.08 ^d
T7. Compost: vermicompost: Coconut coir dust: azolla (2:1:1:1)	63.78±1.46 ^d	32.13±0.91 ^e	2.50±0.09 ^d
F-test	**	**	**
CV(%)	2.29	2.53	2.96

^{1/}Within a column, means followed by different letters are significant at p<0.01 (DMRT).

**Significantly different at p<0.01.

การเจริญเติบโตของต้นกล้าผักสลัดบัตเตอร์เฮด

การศึกษามูลของวัสดุเพาะกล้าสูตรต่าง ๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักสลัดบัตเตอร์เฮด ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักสด ความยาวราก และความกว้างใบ ผลการทดลองสรุปไว้ใน Table 3 ดังนี้:

1) ความสูง (ซม.)

ความสูงของต้นกล้ามากที่สุดพบในสูตร T4 (ปุ๋ยหมัก:มูลไส้เดือน:ขุยมะพร้าว:แหนแดง อัตรา 1:2:1:1) เท่ากับ 7.27 ซม. ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) กับกรรมวิธีอื่น ๆ ส่วนความสูงต่ำที่สุดพบในสูตร T1 (ฟิทมอส, Control) เท่ากับ 5.30 ซม. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุเพาะสูตร T4 ที่ประกอบด้วยปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว และแหนแดง อัตราส่วน 1:2:1:1 มีปริมาณธาตุอาหารและคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า

2) ความกว้างของทรงพุ่ม (ซม.)

สูตร T7 (ปุ๋ยหมัก:มูลไส้เดือน:ขุยมะพร้าว:แหนแดง อัตรา 2:1:1:1) ให้ทรงพุ่มกว้างที่สุดที่ 8.18 ซม. ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) กับกรรมวิธีอื่น ๆ ขณะที่ทรงพุ่มแคบที่สุดพบในสูตร T1 เท่ากับ 6.06 ซม. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสูตร T7 สนับสนุนการเจริญเติบโตด้านข้างได้ดี อาจเนื่องมาจากความสามารถในการเก็บกักน้ำและการระบายอากาศที่ดี

3) น้ำหนักสด (กรัม)

สูตร T6 (ปุ๋ยหมัก:มูลไส้เดือน:ขุยมะพร้าว:แหนแดง อัตรา 1:1:1:2) ให้ผลน้ำหนักสดมากที่สุดที่ 28.42 กรัม รองลงมาคือ T7 (23.47 กรัม) และ T5 (23.26 กรัม) ขณะที่น้ำหนักสดต่ำที่สุดพบใน T1 เท่ากับ 15.67 กรัม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของวัสดุเพาะที่มีความสมดุลในด้านธาตุอาหารสำหรับการสะสมมวลชีวภาพ

4) ความยาวของราก (ซม.)

สูตร T2 (ปุ๋ยหมัก:ขุยมะพร้าว:แหนแดง อัตรา 1:1:1) ให้รากยาว 11.59 ซม. ส่วนรากสั้นที่สุดพบในสูตร T1 เท่ากับ 9.31 ซม. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสูตร T2 ที่ประกอบด้วยปุ๋ยหมัก ขุยมะพร้าว และแหนแดง มีคุณสมบัติที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของราก

5) ความกว้างของใบ (ซม.)

สูตร T6 ให้ความกว้างของใบมากที่สุดที่ (3.37 ซม.) รองลงมาคือ T5 (3.20 ซม.) ขณะที่ความกว้างของใบแคบที่สุดพบใน T1 (2.38 ซม.) ซึ่งเน้นย้ำถึงบทบาทของวัสดุเพาะที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการสนับสนุนการขยายใบที่สำคัญต่อการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าส่วนผสมของวัสดุเพาะกล้าส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักสลัดบัตเตอร์เฮด ดังนี้

1. ฟิทมอส (T1) (สูตรควบคุม)

ฟิทมอสแสดงผลการเจริญเติบโตต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกกรรมวิธี ซึ่งบ่งชี้ว่าถึงแม้ฟิทมอสจะเป็นวัสดุที่นิยมใช้เป็นวัสดุเพาะกล้า แต่ก็อาจไม่เพียงพอในการให้ธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตที่เหมาะสม

2. การผสมปุ๋ยหมักและมูลไส้เดือน (T3-T7):

สูตรที่มีการผสมปุ๋ยหมักและมูลไส้เดือนแสดงผลการเจริญเติบโตอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ซึ่งอาจเป็นผลมาจากธาตุอาหารและคุณสมบัติการอุ้มน้ำที่ดีขึ้น (Edwards and Bate, 1992) โดยเฉพาะ T6 และ T7 ที่แสดงผลลัพธ์ที่ดีเด่นในด้านน้ำหนักสดและความกว้างของทรงพุ่มตามลำดับ

3. สูตร T4 (1:2:1:1)

สูตร T4 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในด้านความสูงของต้นกล้า ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสัดส่วนมูลไส้เดือนที่เพิ่มขึ้นอาจช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตในแนวตั้งได้อย่างเหมาะสม

4. น้ำหนักสดและความกว้างของใบ

สูตร T6 ให้น้ำหนักสดและความกว้างของใบมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของแหนแดงที่เพิ่มขึ้นช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของใบได้ดีขึ้น อันเนื่องมาจากความเข้มข้นของไนโตรเจนสูง นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุที่สำคัญ เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง และสังกะสี เป็นต้น (Tangsombatvichit et al., 2020; Kaewsuralikhit et al., 2020; Wimonchart 2020; Intana et al., 2023) และมีวิตามินหลายชนิด เช่น วิตามิน A, วิตามิน B-12 และ เบต้าแคโรทีน โดยมีสัดส่วนโปรตีนของแหนแดงประมาณ 25-35% ตามน้ำหนักแห้ง (Singh and Subudhi, 1978)

5. ความยาวราก

สูตร T2 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในด้านความยาวของราก ซึ่งอาจเกิดจากโครงสร้างที่โปร่งของขุยมะพร้าวที่ช่วยให้รากแผ่ขยายได้ดีและส่งเสริมการยืดยาวของราก

จากผลการวิจัย ชี้ให้เห็นว่าวัสดุเพาะกล้าที่มีการผสมปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน และแหนแดงในสัดส่วนต่าง ๆ สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักสลัดบัตเตอร์เฮดได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับพีทมอส สำหรับการเลือกใช้วัสดุเพาะกล้า แนะนำให้ใช้ T6 (อัตรา 1:1:1:2) หรือ T4 (อัตรา 1:2:1:1) ขึ้นอยู่กับว่าจะเน้นน้ำหนักสดหรือความสูงเป็นลำดับแรก

ส่วนสำหรับเกษตรกร สูตร T6 (ปุ๋ยหมัก:มูลไส้เดือน:ขุยมะพร้าว:แหนแดง อัตรา 1:1:1:2) เป็นวัสดุเพาะกล้าที่เหมาะสมที่สุด เพราะช่วยเพิ่มคุณภาพต้นกล้าในด้านน้ำหนักสดและความกว้างของใบได้ดีสุด

Table 3 Effect of seedling media on height, canopy width, fresh weight, root length, and leaf width of butterhead lettuce seedlings

Treatment	Height (cm)	Canopy width (cm)	Fresh weight (g)	Root length (cm)	Leaf width (cm)
T1. Peat (Control)	5.30±0.20 ^{e1/}	6.06±0.34 ^d	15.67±0.23 ^f	9.31±0.17 ^d	2.38±0.01 ^f
T2. Compost: Coconut dust: azolla (1:1:1)	6.39±0.02 ^{cd}	6.69±0.28 ^{b^c}	19.48±0.38 ^e	11.59±0.03 ^a	2.92±0.05 ^{cd}
T3. Compost: vermicompost: Coconut dust: azolla (1:1:1:1)	6.34±0.20 ^{cd}	6.50±0.18 ^c	20.71±0.15 ^c	10.48±0.28 ^c	2.79±0.18 ^{cd}
T4. Compost: vermicompost: Coconut dust: azolla (1:2:1:1)	7.27±0.04 ^a	7.11±0.06 ^b	20.21±0.10 ^d	11.44±0.15 ^{ab}	2.77±0.06 ^e
T5. Compost: vermicompost: Coconut dust: azolla (1:1:2:1)	6.93±0.09 ^b	6.48±0.28 ^c	23.26±0.17 ^b	10.32±0.11 ^c	3.2±0.03 ^b
T6. Compost: vermicompost: Coconut dust: azolla (1:1:1:2)	6.27±0.03 ^d	6.55±0.07 ^c	28.42±0.29 ^a	11.16±0.28 ^b	3.37±0.07 ^a
T7. Compost: vermicompost: Coconut dust: azolla (2:1:1:1)	6.53±0.10 ^c	8.18±0.26 ^a	23.47±0.14 ^b	10.30±0.31 ^c	2.99±0.04 ^c
F-test	**	**	**	**	**
CV(%)	1.90	3.51	1.07	2.03	2.86

^{1/}Within a column, means followed by different letters are significant at p<0.01 (DMRT)

**Significantly different at p<0.01

สรุปผลการศึกษา

การศึกษารองและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักสลัดบัตเตอร์เฮดในวัสดุเพาะสูตรต่าง ๆ ภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์ พบว่าวัสดุเพาะที่ประกอบด้วยปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือน ขุยมะพร้าว และแหนแดงในสัดส่วนต่างกัน ส่งผลต่อการงอกและลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) ผลการศึกษาพบว่าสูตร T4 (1:2:1:1) ให้ประสิทธิภาพสูงสุดทั้งด้านเปอร์เซ็นต์การงอก ดัชนีการงอก และการเจริญเติบโตในภาพรวม จึงเหมาะสมต่อการแนะนำให้เกษตรกรใช้เป็นวัสดุเพาะกล้าสำหรับผักสลัดบัตเตอร์เฮด รวมถึงผักสลัดชนิดอื่นและพืชผักใบเขียวทั่วไป การใช้สูตรดังกล่าวยังเป็นการส่งเสริมการใช้ทรัพยากรในท้องถิ่นที่หาได้ง่าย มีต้นทุนต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อันจะช่วยลดการพึ่งพาพิทมอสจากต่างประเทศ และส่งเสริมการผลิตผักในระบบเกษตรอินทรีย์อย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณสาริสา นามสิน เจ้าของฟาร์ม และ คุณยุทธชัย กรีแสง ผู้จัดการฟาร์ม ที่อำนวยความสะดวกและสนับสนุนด้านสถานที่ ตลอดทั้งวัสดุอุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนของรับรองว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ผู้เขียนความคิดริเริ่มงานวิจัย กำหนดวัตถุประสงค์การวิจัย ออกแบบการทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล แปลผลและวิจารณ์ผลการทดลอง วิจารณ์เงินเจริญ ลือพงษ์ ลือนาม และปัญญา ห่มนึ่งเก็บ.

เอกสารอ้างอิง

- Abad, M., Noguera, P., & Bures, S. (2001). National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology*, 77(2), 197-200.
- Angelova, V. R., Akova, V. I., Artinova, N. S., & Ivanov, K. I. (2013). The effect of organic amendments on soil chemical characteristics. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(5), 958-971.
- Bustamante, M. A., Paredes, C., Moral, R., Agulló, E., Pérez-Murcia, M. D., & Abad, M. (2008). Composts from distillery wastes as peat substitutes for transplant production. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(5), 792-799.
- Carlile, W. R., Cattivello, C., & Zaccaro, P. (2015). Organic growing media: Constituents and properties. *Vadose Zone Journal*, 14(6), vzj2014-09.
- Chittawanij, A., Pornsuriya, P., & Yemor, T. (2020). Mixed medias for growing red oak lettuce. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 48(Suppl 1), 1093-1100. (in Thai).
- Edwards, C. A., & Bate, J. E. (1992). The use of earthworms in environmental management. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(12), 1683-1689.
- Edwards, C. A., & Neuhauser, E. F. (1988). *Earthworms in Waste and Environmental Management*. SPB Academic Publ. Retrieved from: <https://www.cabdigitalibrary.org/doi/full/10.5555/19891352736>.
- Harenda, K. M., Lamentowicz, M., Samson, M., & Chojnicki, B. H. (2017). The role of peatlands and their carbon storage function in the context of climate change. In *Interdisciplinary approaches for Sustainable Development Goals: Economic Growth, Social Inclusion and Environmental Protection*, pp. 169-187. Springer International Publishing.
- Intana, W., Khomphet, T., Srichai, N., Bundit, N., & Islam, S. S. (2023). Application of azolla spp. as a growing medium component for melon grown in a soilless culture system. *Applied Sciences*, 13(18), 10288.
- Kaewsuralikhit, S., Namwong, P., Thongra-ar, P., Thaweenut, N., & Chatchaisiri, K. (2020). Mineralization and chemical properties changes in soil amended with azolla. *Thai Agricultural Research Journal*, 38(2), 139-149. (in Thai).
- Lorio, J., & Asis, G. (2021). Effects of organic soil amendments for growth, yield, and fruit contents of hot pepper (*Capsicum frutescens* L.). *Agrikultura Cri Journal*, 1(1), 1-11.
- Netrphakdee, M. (2021). *My Little Farm VOL. 8: Easy-to-Grow Salad Greens*. Baan Lae Suan. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics Region 9. (2018). *Consumer Behavior towards Organic Agricultural Products*. Retrieved from: <https://www.tcijthai.com/news/2018/09/scoop/8477>. (in Thai).
- Office of the Permanent Secretary for Ministry of Agriculture and Cooperatives (OPSMOAC). (2021). *How to Practice Organic Agriculture and How It Differs from Conventional Agriculture*. Retrieved from: <https://www.opsmoac.go.th/datacenter-wb-topic-402791791793>. (in Thai).
- Olaria, M., Nebot, J. F., Molina, H., Troncho, P., Lapeña, L., & Llorens, E. (2016). Effect of different substrates for organic agriculture in seedling development of traditional species of Solanaceae. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(1), e0801.
- Orozco, F. H., Cegarra, J., Trujillo, L. M., & Roig, A. (1996). Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia fetida*: effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biology and Fertility of Soils*, 22(1), 162-166.
- Phimsuwan, S. (2012). *Effect of Various Types of Growing Media on the Growth of Venus Flytrap (Dionaea muscipula)*. Research Project, Plant Production Technology and Landscape Department, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai).
- Rojanapornphithip, J. (2024). *Method for Producing the Organic Fertilizer "Maejo Engineering 1" Formula in only 60 days - No Need to Turn the Pile, but with Five Precautions to Watch Out for*. Retrieved from: https://www.khaosod.co.th/technologychaoban/featured/article_127626. (in Thai).
- Sakornwas, S., & Nathewaet, P. (2016). *Developing Method for Using Physiological Index for Evaluating Heat Tolerance in Plant*. Faculty of Agricultural Production, Maejo University. (in Thai).
- Singh, P. K., & Subudhi, B. P. R. (1978). Utilize azolla in poultry feed. *Indian Farming*, 27(10), 37-39. Retrieved from: <https://www.cabdigitalibrary.org/doi/full/10.5555/19781470074>.
- Sornsawan, K., & Tawintung, N. (2019). Influenced of composting time to chemical properties changes of municipal solid waste by earthworms (*Eudrilus eugeniae*). *Thai Journal of Soils and Fertilizers*, 41(1), 59-68. (in Thai).
- Sterrett, S. B. (2001). Compost as horticultural substrates for vegetable transplant production. In StoVella, P. J., & Kahn, B. A. (Eds.), *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*, pp. 227-240. Lewis Publication.

- Tangsombatvichit, P., Suksaard, P., Buranasaksee, U., & Boonlerthirun, K. (2020). Effects of vermicompost and water fern (*Azolla pinnata*) on growth of green oak lettuce (*Lactuca sativa*). *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*, 13(2), 343-356. (in Thai).
- Wannakroiro, P., Julka, P., Noonang, W., & Samokorn, J. (2019). Peat moss-substituted media for nursing stage of potted *Nepenthes ampullaria* plants production. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 47(1), 141-150. <https://doi.org/10.14456/kaj.2019.15> (in Thai).
- Wimoonchart, P. (2020). *Azolla Microphylla Production for Agriculture*. Master's Thesis. Thammasat University.

ความต้องการรูปแบบสื่อออนไลน์เพื่อการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของนักศึกษาในกลุ่ม Gen Z

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Needs for Online Media Types on Agritourism among Generation Z Students of

Khon Kaen University

รัชนิกร หัตถรัชชัย¹ และศศิพิมพ์ พุ่มพิมล^{1*}Radchaneekorn Hudrudchai¹ and Sasipim Poompimol^{1*}

Received date: 16 ก.ค. 68 Revised date: 8 ก.ย. 68 Accepted date: 25 ก.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.268305>

บทคัดย่อ

การท่องเที่ยวเชิงเกษตรเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจฐานราก โดยเฉพาะในยุคที่สื่อออนไลน์มีบทบาทต่อการตัดสินใจเดินทางของกลุ่ม Gen Z อย่างไรก็ดี ยังขาดข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความต้องการสื่อของกลุ่มเป้าหมายดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาลักษณะทั่วไป พฤติกรรมการใช้สื่อ และความต้องการด้านแพลตฟอร์ม ประเภท รูปแบบ และเนื้อหาของสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของนักศึกษา Gen Z พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างของความต้องการตามเพศ อายุ รายได้ และประสบการณ์การท่องเที่ยวเชิงเกษตร กลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษา Gen Z ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ประเทศไทย จำนวน 381 คน ที่ตอบแบบสอบถามออนไลน์ด้วยความสมัครใจ โดยใช้เครื่องมือแบบมาตรวัดสามระดับ (ค่าความเชื่อมั่น 0.96) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา t-test และ ANOVA พร้อมทดสอบ LSD post hoc

ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 20 ปี เคยเห็นสื่อด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรทางออนไลน์ (ร้อยละ 76) แต่ร้อยละ 60 ยังไม่เคยเดินทางจริง แพลตฟอร์มที่ต้องการสูงสุดคือ Facebook, TikTok, YouTube และ Instagram โดยเน้นวิดีโอสั้นที่สร้างแรงบันดาลใจ ให้ความบันเทิง และให้ข้อมูล พบความแตกต่างของความต้องการตามเพศ รายได้ และประสบการณ์การเดินทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า สื่อออนไลน์ที่ใช้สื่อสารกับกลุ่มเป้าหมายควรนำเสนอในรูปแบบวิดีโอสั้นและอินโฟกราฟิก โดยเน้นเนื้อหาที่กระชับ เข้าใจง่าย และสอดคล้องกับความสนใจของนักศึกษา Gen Z เช่น ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว ร้านอาหาร ความปลอดภัย และโปรโมชั่น ทั้งนี้ หน่วยงานด้านการท่องเที่ยวและผู้ประกอบการสามารถนำข้อค้นพบไปใช้ในการออกแบบกลยุทธ์สื่อสารเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ความต้องการข้อมูลข่าวสาร สื่อออนไลน์ การท่องเที่ยวเชิงเกษตร Gen Z ขอนแก่น

Abstract

Agritourism serves as a key mechanism for developing local economies, particularly in an era where online media plays a crucial role in shaping the travel decisions of Generation Z. However, there is still a lack of in-depth understanding regarding their media preferences. This study aimed to examine the general characteristics, media usage behaviors, and needs for platforms, media types, formats, and content related to agritourism online media among Gen Z students. It also aimed to compare differences in media needs based on gender, age, income and prior experience with agritourism. The sample consisted of 381 Gen Z students of Khon Kaen University, Thailand, who voluntarily responded to an online questionnaire. The research instrument was a three-level rating scale (reliability = 0.96). Data were analyzed using descriptive statistics, t-test, and ANOVA with LSD post hoc analysis.

The findings revealed that most participants were female, with an average age of 20. While 76% had previously seen agritourism-related media online, 60% had never engaged in agritourism travel. The most preferred platforms were Facebook, TikTok, YouTube, and Instagram, with a strong preference for short-form videos that inspire, entertain, and inform. The analysis revealed statistically significant differences in media needs across gender, income, and travel experience ($p < .05$). The study suggests that online media for communicating with Generation Z should focus on short-form videos and infographics, with concise and engaging

¹ สาขาวิชาการส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002¹ Department of Agricultural Extension and Development, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University Khon Kaen 40002* Corresponding author: sasipim@kku.ac.th

content that aligns with their interests such as tourist attractions, food, safety, and promotions. These insights can guide tourism authorities and entrepreneurs in designing effective communication strategies to promote agritourism.

Keywords: information needs, online media, agritourism, Gen Z, Khon Kaen

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีศักยภาพด้านทรัพยากร และภูมิปัญญาท้องถิ่นสูง ส่งผลให้กิจกรรมทางการเกษตรสามารถต่อยอดเป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงเกษตร (Agritourism) ได้หลากหลาย ทั้งในรูปแบบการเรียนรู้วิถีชีวิตเกษตรกร การเข้าร่วมกิจกรรมเก็บเกี่ยวผลผลิต หรือการชมผลิตภัณฑ์จากฟาร์มโดยตรง ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการกระจายรายได้สู่ท้องถิ่น และยกระดับคุณภาพชีวิตของเกษตรกร (Chenchitsin and Euajarusphan, 2023; Pitisan, 2018) โดยรายงานของ Department of Agricultural Extension (2025) ระบุว่า ระหว่างปี 2563–2567 มีแหล่งท่องเที่ยวเชิงเกษตรที่ได้รับการพัฒนาเพิ่มขึ้น 343 แห่ง และสร้างรายได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 12% แก่ครัวเรือนเกษตรกร นอกจากนี้ บริษัทยักษ์ใหญ่ด้านการวิเคราะห์ตลาดอย่าง Technavio (2025) ยังคาดการณ์ว่า ตลาด Agritourism ทั่วโลกจะเติบโตอย่างต่อเนื่องจนมีมูลค่ากว่า 7.5 พันล้านดอลลาร์สหรัฐภายในปี 2572 ด้วยอัตราการเติบโตเฉลี่ย (CAGR) ร้อยละ 3.7 ต่อปี

การเติบโตของการท่องเที่ยวเชิงเกษตรในศตวรรษที่ 21 ไม่อาจแยกออกจากบทบาทของเทคโนโลยี โดยเฉพาะสื่อดิจิทัลที่กลายเป็นช่องทางหลักในการสื่อสาร ประชาสัมพันธ์ และสร้างแรงจูงใจด้านการท่องเที่ยว งานวิจัยในประเทศ พบว่า พฤติกรรมการรับรู้ข้อมูลจากสื่อออนไลน์มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจเลือกแหล่งท่องเที่ยวเชิงเกษตรของนักท่องเที่ยวชาวไทยในแง่ของความถี่ในการเดินทาง การตัดสินใจซื้อสินค้า และการกลับมาเยี่ยมชมซ้ำ (Chaimoolwong et al., 2019) อีกทั้งผลการศึกษาของ Mokanan and Sabaijai (2023) ยังชี้ว่า การสื่อสารการตลาดออนไลน์บน Facebook และ Instagram สามารถกระตุ้นพฤติกรรม การซื้อซ้ำได้ ขณะที่ Yodkaew and Sabaijai (2025) ระบุว่า กลยุทธ์นำเสนอข้อมูลผ่านวิดีโอสั้นมีอิทธิพลอย่างมากต่อการสร้างภาพลักษณ์เชิงบวก และจูงใจกลุ่มนักท่องเที่ยวให้เดินทางสู่ชุมชน

หนึ่งในกลุ่มเป้าหมายสำคัญที่มีศักยภาพในการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงเกษตร คือ กลุ่ม Gen Z (ผู้ที่เกิดระหว่างปี 1997–2012) ซึ่งในปี 2568 จะมีอายุระหว่าง 13–28 ปี Gen Z เติบโตมากับเทคโนโลยีดิจิทัล และมีพฤติกรรมบริโภคข้อมูลที่เน้นสื่อภาพและวิดีโอ ผ่านแพลตฟอร์มสังคมออนไลน์ เช่น TikTok, YouTube และ Instagram (Johnston, 2023; De Jong, 2024) โดยมักใช้สื่อออนไลน์เพื่อค้นหาแรงบันดาลใจในการท่องเที่ยว วางแผนเส้นทาง และเลือกบริการที่มีความยั่งยืน (Wongwicht et al., 2022; Tourism Authority of Thailand Academy, 2023) จากรายงานของ Shearer and Mitchell (2020) และ Booking.com. (2019) ยังพบว่า Gen Z ให้ความสำคัญกับการเดินทางเชิงเรียนรู้และแหล่งที่มาของอาหาร โดยนิยมเลือกที่พักที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หรือฟาร์มที่มีการดำเนินการอย่างยั่งยืน

อย่างไรก็ดี แม้งานวิจัยหลายชิ้นจะกล่าวถึงบทบาทของสื่อออนไลน์ต่อการตัดสินใจด้านการท่องเที่ยวโดยรวม (Nuchanong and Jones, 2020; Dewi et al., 2021) แต่ยังคงขาดงานศึกษาที่มุ่งสำรวจความต้องการเฉพาะด้านแพลตฟอร์มประเภท รูปแบบ และเนื้อหาสื่อออนไลน์เกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตร โดยเฉพาะในกลุ่ม Gen Z ซึ่งมีพฤติกรรมผู้บริโภคแตกต่างจากรุ่นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในด้านความคาดหวังต่อรูปแบบการนำเสนอ ประสบการณ์ผู้ใช้งาน และคุณค่าที่ได้รับจากสื่อ

ทั้งนี้ หากพิจารณาจากทฤษฎีการใช้และความพึงพอใจ (Uses and Gratifications Theory) ซึ่งเสนอโดย Katz et al. (1973) จะอธิบายได้ว่าผู้ใช้สื่อเลือกแพลตฟอร์มและเนื้อหาตามแรงจูงใจและความต้องการเฉพาะ เช่น ความบันเทิง การได้รับข้อมูลข่าวสารใหม่ และการมีส่วนร่วมทางสังคม ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมของกลุ่ม Gen Z ที่มักเลือกใช้สื่อที่ตอบสนองความรวดเร็วและการสื่อสารแบบโต้ตอบได้ นอกจากนี้ แนวคิดการแพร่กระจายนวัตกรรม (Rogers, 2003) ยังอธิบายความแตกต่างของการเลือกใช้สื่อระหว่างกลุ่มประชากรที่มีเพศ อายุ รายได้ และประสบการณ์ที่หลากหลาย ดังนั้น การศึกษาความต้องการแพลตฟอร์ม รูปแบบ และเนื้อหาสื่อออนไลน์ของนักศึกษากลุ่ม Gen Z จึงมีรากฐานจากทั้งประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นจริง และหลักการเชิงทฤษฎีที่สนับสนุนอย่างชัดเจน

จากช่องว่างองค์ความรู้ดังกล่าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทั่วไป การเปิดรับข้อมูลข่าวสารผ่านสื่อออนไลน์ และความต้องการด้านแพลตฟอร์ม ประเภท รูปแบบ และเนื้อหาของสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของนักศึกษากลุ่ม Gen Z พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างของความต้องการตามเพศ อายุ รายได้ และประสบการณ์การท่องเที่ยวเชิงเกษตร โดยมุ่งตอบคำถามว่าแพลตฟอร์มใด รูปแบบสื่อใด และเนื้อหาแบบใดที่สอดคล้องกับพฤติกรรมและความคาดหวังของ

กลุ่มดังกล่าว เพื่อเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์สำหรับการออกแบบสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีประสิทธิภาพ และส่งเสริมการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวเชิงเกษตรอย่างยั่งยืนในอนาคต

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยมีพื้นที่ศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งเป็นมหาวิทยาลัยขนาดใหญ่ในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย กลุ่มประชากรเป้าหมาย ได้แก่ นักศึกษาระดับปริญญาตรี และระดับบัณฑิตศึกษาทุกคณะ ณ ปีการศึกษา 2567 รวมทั้งสิ้น 39,851 คน กลุ่มประชากรนี้ได้รับการเลือกเนื่องจากนักศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 18–27 ปี ซึ่งตรงกับกลุ่ม Gen Z ตามนิยามของ Parker and Igielnik (2019) อีกทั้งมหาวิทยาลัยขอนแก่นยังเป็นสถาบันการศึกษาระดับสูงของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีความเชื่อมโยงกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตรในพื้นที่โดยตรง ภายในมหาวิทยาลัยมีนักศึกษาจากหลากหลายคณะและสาขา จึงสามารถสะท้อนถึงความหลากหลายทางเศรษฐกิจและสังคมของกลุ่ม Gen Z ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังเอื้อต่อความสะดวกในการเข้าถึงกลุ่มตัวอย่างเพื่อการเก็บข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้วิจัยกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของ Cochran (1977) สำหรับประชากรที่ทราบจำนวน โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95% (Confidence Level) และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Margin of Error) ไม่เกิน $\pm 5\%$ ส่งผลให้ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมจำนวน 381 คน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาและบริบทการเข้าถึงกลุ่มเป้าหมาย ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Non-probability Sampling) ประเภทการสรรหาโดยสมัครใจ (Volunteer Sampling) โดยเผยแพร่แบบสอบถามออนไลน์ผ่านกลุ่ม KKU GROUP บน Facebook ซึ่งเป็นชุมชนเสมือนของนักศึกษามหาวิทยาลัยขอนแก่น

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถามแบบมีโครงสร้าง (Structured Questionnaire) ประกอบด้วย 4 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปด้านเศรษฐกิจ สังคม และพฤติกรรมการใช้สื่อออนไลน์บางประการ (คำถามปลายปิดและเปิด) ตอนที่ 2 ประสิทธิภาพในการได้รับข้อมูลเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตรผ่านสื่อออนไลน์ (คำถามปลายปิดและเปิด) ตอนที่ 3 ความต้องการรับสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตร จำแนกตามแพลตฟอร์ม ประเภทสื่อ รูปแบบการนำเสนอ และเนื้อหา (มาตราวัด 3 ระดับ ตามแนวคิดของ Srisurat (2002) เรียงลำดับจาก ต้องการน้อย = 1 ถึง ต้องการมาก = 3) และตอนที่ 4 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม (คำถามปลายเปิด)

แบบสอบถามฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน และนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างนำร่องจำนวน 50 คน จากนั้นจึงวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ด้วยวิธีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha) ได้ค่าเท่ากับ 0.96

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ประกอบด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าความถี่ (Frequency) ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) รวมทั้งสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ การทดสอบ Independent-samples t-test สำหรับการเปรียบเทียบกลุ่มที่มีสองกลุ่ม และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) สำหรับการเปรียบเทียบกลุ่มที่มีมากกว่าสองกลุ่มขึ้นไป หากผลการวิเคราะห์พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่เพิ่มเติมด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) post hoc test

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการศึกษาความต้องการการรับสื่อสังคมออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของกลุ่ม Gen Z มหาวิทยาลัยขอนแก่น สามารถ นำเสนอผลการวิจัยออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

ข้อมูลพื้นฐานทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และพฤติกรรมในการเปิดรับข้อมูลข่าวสารผ่านสื่อออนไลน์บางประการของกลุ่ม Gen Z

ผลการศึกษา พบว่า นักศึกษากลุ่ม Gen Z ที่ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 63.3) รองลงมาคือเพศชาย (ร้อยละ 31.2) และไม่ระบุเพศ (ร้อยละ 5.5) กลุ่มอายุส่วนใหญ่อยู่ที่ 20 ปี (ร้อยละ 52.5) รองลงมาคืออายุต่ำกว่า 19 ปี (ร้อยละ 26.2) และอายุมากกว่า 20 ปี (ร้อยละ 21.3) นักศึกษาเกือบทั้งหมดอยู่ในระดับปริญญาตรี (ร้อยละ 98.4) ในด้านภูมิลำเนา พบว่านักศึกษาส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คิดเป็น (ร้อยละ 90.55) ส่วนใหญ่มีรายได้ส่วนบุคคลมากกว่า 5,000 บาทต่อเดือน คิดเป็น (ร้อยละ 65.1) ขณะที่ร้อยละ 34.9 มีรายได้ไม่เกิน 5,000 บาทต่อเดือน สำหรับรายได้ครัวเรือน พบว่าอยู่

ในช่วง 25,001–30,000 บาทต่อเดือนสูงสุด (ร้อยละ 37.5) รองลงมาคือช่วง 30,001–35,000 บาทต่อเดือน (ร้อยละ 31.0) และไม่เกิน 25,000 บาทต่อเดือน (ร้อยละ 22.0) โดยส่วนใหญ่ยังไม่มีการทำ (ร้อยละ 81.1)

สำหรับประสบการณ์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตร ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่เคยมีประสบการณ์เดินทางท่องเที่ยวเชิงเกษตรมาก่อน (ร้อยละ 60.1) ขณะที่ร้อยละ 39.9 เคยมีประสบการณ์ดังกล่าว

ด้านพฤติกรรมการเปิดรับข้อมูลข่าวสารผ่านสื่อออนไลน์ ผลการศึกษาพบว่า ร้อยละ 90.3 ของกลุ่ม Gen Z ใช้สื่อออนไลน์เป็นประจำทุกวัน โดยร้อยละ 50.7 ใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 3–4 ชั่วโมงต่อวัน ช่วงเวลาที่ใช้งานมากที่สุดคือช่วงค่ำ (เวลา 21:00–23:59 น.) คิดเป็นร้อยละ 80.8 ส่วนแพลตฟอร์มที่ได้รับความนิยมสูงสุด ได้แก่ Facebook (ร้อยละ 99.5) รองลงมาคือ Instagram (ร้อยละ 99.0) และ YouTube (ร้อยละ 96.9) สำหรับประเภทเนื้อหาที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือข่าวสาร (ร้อยละ 80.1) รองลงมาคือความบันเทิง (ร้อยละ 72.2) และเนื้อหาท่องเที่ยว (ร้อยละ 44.6) สอดคล้องกับ Sidoti et al. (2025) ที่ระบุถึงลักษณะเฉพาะของกลุ่ม Gen Z ว่าเติบโตมาพร้อมกับเทคโนโลยีดิจิทัล ส่งผลให้มีพฤติกรรมการเปิดรับข้อมูลแบบภาพ และวิดีโอ การเข้าถึงข้อมูลแบบทันทีทันใด และความต้องการสื่อที่มีความบันเทิง ซึ่งการใช้งานแพลตฟอร์มเหล่านี้ช่วยตอบสนองต่อความสนใจส่วนบุคคล และสามารถเชื่อมต่อกับเพื่อนและชุมชนออนไลน์ได้ จึงเป็นเหตุผลที่กลุ่ม Gen Z มักเลือกเปิดรับข้อมูลข่าวสารผ่านแพลตฟอร์มเหล่านี้เป็นหลัก

จากข้อมูลทางเศรษฐกิจและสังคมของกลุ่มตัวอย่างสะท้อนว่า นักศึกษา Gen Z ส่วนใหญ่ยังอยู่ในวัยพึ่งพิง และไม่มีรายได้ประจำ โดยมีฐานะครัวเรือนระดับปานกลาง และส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wongwicht et al. (2022) ที่พบว่า Gen Z ในประเทศไทยมีความสนใจด้านการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการเก็บข้อมูลดำเนินการเฉพาะที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงทำให้ผลการศึกษาออกมาเช่นนี้ ทั้งนี้การกระจุกตัวของกลุ่มตัวอย่างในภูมิภาคเดียวก็นี้อาจจำกัดการตีความผลลัพธ์ในระดับประเทศ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของ Sampling Theory และ External Validity ในการวิจัยเชิงปริมาณที่ระบุว่าการเลือกกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นตัวแทนของประชากรทั้งหมดอาจทำให้ผลการศึกษาสะท้อนลักษณะเฉพาะของกลุ่มตัวอย่างเท่านั้น (Creswell, 2014; Fraenkel, Wallen and Hyun, 2012) จึงควรใช้ผลการศึกษานี้อย่างระมัดระวัง และเสนอให้มีการขยายพื้นที่ศึกษาในอนาคตเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่ม Gen Z ส่วนใหญ่ยังไม่มีประสบการณ์ท่องเที่ยวเชิงเกษตร แต่มีการเข้าถึงและเปิดรับข้อมูลข่าวสารผ่านสื่อออนไลน์เป็นประจำ ซึ่งข้อค้นพบนี้อาจเป็นได้ว่าถือเป็นโอกาสในการส่งเสริมให้กลุ่มนี้เปิดรับประสบการณ์ใหม่ โดยเฉพาะหากมีการสื่อสารผ่านช่องทาง และรูปแบบที่ตรงกับความต้องการ ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของ Tourism Authority of Thailand Academy (2023) ที่ระบุว่าการวางแผนกลยุทธ์การสื่อสารสามารถจูงใจให้กลุ่มเยาวชนเข้ามามีส่วนร่วมในกิจกรรมท่องเที่ยวรูปแบบใหม่ ๆ ได้

ยิ่งไปกว่านั้น ผลการศึกษายังพบว่า แพลตฟอร์มออนไลน์ที่เป็นที่นิยมในกลุ่ม Gen Z ได้แก่ Facebook, Instagram และ Youtube ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยของ Sampattawanich et al. (2022) ที่รายงานว่าคนรุ่นใหม่ในประเทศไทยนิยมสื่อที่เน้นการสื่อสารผ่านภาพและวิดีโอเป็นหลัก นอกจากนี้ เนื้อหาที่ Gen Z สนใจคือข่าวสาร ความบันเทิง และข้อมูลท่องเที่ยว โดยเฉพาะในช่วงเวลาว่างยามค่ำซึ่งสะท้อนพฤติกรรมการใช้งานเชิงสันทนาการ ลักษณะดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยแนวคิด Uses and Gratifications Theory (Katz et al., 1973) ที่ชี้ว่าผู้ใช้สื่อจะเลือกบริโภคเนื้อหาตามแรงจูงใจส่วนบุคคล เช่น การแสวงหาข้อมูล ความบันเทิง หรือการยืนยันอัตลักษณ์ตนเอง จึงอาจกล่าวได้ว่ากลุ่ม Gen Z มีแนวโน้มเปิดรับสื่อออนไลน์ที่ตรงกับความสนใจเฉพาะบุคคล ทำให้เวลาใช้งานที่สอดคล้องกับจังหวะชีวิตของตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยก่อนหน้านี้ที่ระบุว่า Gen Z มีรูปแบบการบริโภคสื่อแบบ On-demand และมุ่งเลือกแพลตฟอร์มที่ตอบสนองต่อความต้องการเฉพาะด้านอย่างรวดเร็ว จึงอาจกล่าวได้ว่ากลุ่ม Gen Z มีแนวโน้มเปิดรับสื่อออนไลน์ที่สอดคล้องกับความสนใจและจังหวะชีวิตของตนเอง ส่งผลให้แพลตฟอร์มที่มีความยืดหยุ่นและเน้นการสื่อสารแบบโต้ตอบได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่อง Sidoti et al. (2025)

การได้รับข้อมูลข่าวสารผ่านสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของกลุ่ม Gen Z

ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างนักศึกษา Gen Z ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 76.4) เคยได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตรผ่านสื่อออนไลน์ ขณะที่ร้อยละ 23.6 ไม่เคยได้รับข้อมูลดังกล่าว สำหรับแพลตฟอร์มที่กลุ่มตัวอย่างเคยได้รับข้อมูลมากที่สุด คือ Facebook (ร้อยละ 98.8) รองลงมาคือ Instagram (ร้อยละ 65.5) และ TikTok (ร้อยละ 44.3)

ข้อค้นพบนี้สะท้อนให้เห็นถึงบทบาทของสื่อออนไลน์ในฐานะแหล่งข้อมูลหลักของคนรุ่นใหม่ โดยเฉพาะในกลุ่ม Gen Z ที่มีพฤติกรรมการใช้งานดิจิทัลเป็นประจำ และเปิดรับเนื้อหาผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์มากกว่าสื่อดั้งเดิม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ

Tourism Authority of Thailand Academy (2023) ที่ระบุว่า Gen Z เป็นกลุ่มประชากรที่เติบโตมาพร้อมกับเทคโนโลยีดิจิทัล และมีแนวโน้มเปิดรับข้อมูลข่าวสารผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ในสัดส่วนสูง

นอกจากนี้ การที่แพลตฟอร์มที่ได้รับความนิยมในการเข้าถึงข้อมูลคือ Facebook, Instagram และ TikTok บ่งชี้ว่า เนื้อหาที่ปรากฏในรูปแบบภาพ และวิดีโอสั้น เป็นที่นิยมสำหรับการนำเสนอเนื้อหาด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรในกลุ่ม Gen Z ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของสื่อสมัยใหม่ที่เน้นความรวดเร็วในการสื่อสาร และการดึงดูดความสนใจผ่านการเล่าเรื่องในรูปแบบกระชับ อย่างไรก็ตาม ความนิยมของ Gen Z ต่อสื่อสั้นและกระชับสามารถอธิบายได้ด้วย Cognitive Load Theory (Sweller, 1988; Mayer, 2009) ที่ชี้ว่ามนุษย์มีข้อจำกัดด้านหน่วยความจำระยะสั้น การนำเสนอข้อมูลอย่างกระชับและใช้สื่อภาพช่วยลดภาระทางปัญญา (Cognitive load) และเอื้อต่อการจดจำและทำความเข้าใจอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเสพสื่อของ Gen Z ที่คุ้นชินกับการทำงานหลายอย่างไปพร้อมกัน (Multitasking) และการรับข้อมูลหลายช่องทางพร้อมกัน นอกจากนี้ รายงานของ Microsoft (2015) และ Shearer and Mitchell (2020) ยังพบว่า Gen Z มีช่วงความสนใจ (Attention Span) เฉลี่ยสั้นลงเมื่อเทียบกับเจนเนอร์เรชันก่อน ทำให้เนื้อหาที่สั้น กระชับ และดึงดูดสายตาผ่านวิดีโอสั้นหรืออินโฟกราฟิกตอบสนองต่อพฤติกรรมการรับรู้ข้อมูลได้ดีกว่า ดังนั้น การที่แพลตฟอร์มอย่าง TikTok, Reels หรือ Shorts ได้รับความนิยม จึงไม่เพียงสะท้อนแรงจูงใจเชิงความบันเทิงและข้อมูลเท่านั้น แต่ยังสอดคล้องกับขีดจำกัดทางการรับรู้และลักษณะการใช้สื่อเฉพาะของ Gen Z อีกด้วย

อย่างไรก็ตาม การที่ยังมีผู้ตอบแบบสอบถามบางส่วน (ร้อยละ 23.6) ไม่เคยได้รับข้อมูลด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตร อาจมีสาเหตุจากความสนใจเฉพาะบุคคล หรือข้อจำกัดของระบบอัลกอริทึมของแพลตฟอร์มสื่อออนไลน์ ซึ่งเลือกแสดงเนื้อหาตามพฤติกรรมของผู้ใช้ เช่น การกดไลก์ การแชร์ หรือการค้นหาเฉพาะด้าน หากผู้ใช้ไม่เคยแสดงความสนใจหรือปฏิสัมพันธ์กับเนื้อหาการท่องเที่ยวเชิงเกษตรมาก่อน ระบบอาจมองว่าเนื้อหาดังกล่าวไม่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ และไม่แสดงผลให้เห็นบ่อยครั้ง ประเด็นนี้สอดคล้องกับแนวคิด Filter Bubble ของ Pariser (2011) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอัลกอริทึมของสื่อสังคมออนไลน์มีแนวโน้มคัดกรองข้อมูลให้ผู้ใช้เห็นเฉพาะสิ่งที่สอดคล้องกับความสนใจเดิม ทำให้ขาดโอกาสในการรับรู้ข้อมูลใหม่ หรือข้อมูลที่หลากหลาย ส่งผลให้ผู้ใช้บางคนแม้จะใช้งานแพลตฟอร์มออนไลน์อยู่ทุกวัน ก็อาจไม่ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตรเลย

ความต้องการรับข้อมูลข่าวสารผ่านสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของกลุ่ม Gen Z

จากผลการวิจัย พบว่า กลุ่มนักศึกษา Gen Z มีความต้องการรับข้อมูลข่าวสารผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ในระดับต้องการมาก โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ Facebook ($M = 2.98$) Instagram ($M = 2.89$) YouTube ($M = 2.86$) TikTok ($M = 2.75$) และ X ($M = 2.50$) สำหรับรูปแบบของสื่อออนไลน์ที่ได้รับความนิยมในระดับต้องการมาก ได้แก่ วิดีโอสั้น เช่น TikTok และ Reels ($M = 2.95$) บทความและภาพถ่ายประกอบ ($M = 2.94$) Infographic ($M = 2.67$) และ วิดีโอยาว เช่น YouTube ($M = 2.43$)

ในด้านเนื้อหาสื่อที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตร พบว่ากลุ่มตัวอย่างต้องการเนื้อหาเกี่ยวกับร้านอาหาร ($M = 2.94$), ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว ($M = 2.92$) และ ข้อเสนอหรือโปรโมชั่น ($M = 2.91$) ขณะที่รูปแบบการนำเสนอข้อมูลที่ได้รับความต้องการในระดับต้องการมาก ได้แก่ การมุ่งสร้างแรงบันดาลใจ ($M = 2.97$) ความบันเทิง ($M = 2.96$) และ แผนที่นำทาง ($M = 2.76$)

ข้อค้นพบนี้สะท้อนว่า กลุ่ม Gen Z ไม่ได้คาดหวังเพียงสาระข้อมูล แต่ยังแสวงหาคุณค่าทางอารมณ์และประสบการณ์ร่วมจากสื่อด้วย ผลลัพธ์นี้สามารถอธิบายได้ด้วย Expectancy-Value Theory (Eccles and Wigfield, 2002) ซึ่งชี้ว่าพฤติกรรมการเลือกสื่อสัมพันธ์กับการคาดหวังว่าจะได้รับประโยชน์ เช่น ข้อมูลโปรโมชั่น และคุณค่าที่มอบให้ เช่น ความเพลิดเพลินหรือแรงบันดาลใจ นอกจากนี้ แนวคิด Elaboration Likelihood Model (Petty and Cacioppo, 1986) ยังช่วยอธิบายได้ว่า เนื้อหาที่นำเสนอในรูปแบบดึงดูดสายตา เช่น วิดีโอสั้นและอินโฟกราฟิก มักถูกประมวลผลผ่านเส้นทางการโน้มน้าวการตัดสินใจในเส้นทางริม (Peripheral Route) ซึ่งอาศัยปัจจัยด้านอารมณ์และแรงจูงใจในการตัดสินใจรับสารมากกว่าการวิเคราะห์เชิงลึก ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Pongwatcharanon and Sridee (2025) ที่เสนอว่าการสื่อสารการท่องเที่ยวเชิงเกษตรสำหรับ Gen Z ควรแทรกองค์ประกอบด้านแรงบันดาลใจ ความบันเทิง และความรู้สึกเชื่อมโยงกับชุมชน เพื่อเพิ่มการมีส่วนร่วมและกระตุ้นการตัดสินใจเดินทางได้จริง ดังนั้น หากผู้ผลิตสื่อสามารถออกแบบเนื้อหาที่ผสมผสานทั้งคุณค่าด้านสาระและอารมณ์ จะช่วยเพิ่มศักยภาพของการสื่อสารให้ก้าวไกลกว่าการเปิดรับข้อมูล ไปสู่การมีส่วนร่วมและการตัดสินใจเชิงพฤติกรรมในที่สุด

ผลการศึกษานี้สามารถเชื่อมโยงกับแนวคิดของ Hunt and Ruben (1993, อ้างใน Satawethin, 2003) ซึ่งชี้ว่า มนุษย์มีความต้องการในการเปิดรับสารที่แตกต่างกัน และมักเลือกเปิดรับเฉพาะสารที่สอดคล้องกับความสนใจ หรือความต้องการของตน ขณะที่หลีกเลี่ยงสารที่ไม่เกี่ยวข้อง หรือไม่ตอบสนองตนเอง ซึ่งสามารถใช้ให้เห็นถึงแนวโน้มว่าการเปิดรับสื่อออนไลน์บางประเภท

อาจมีบทบาทต่อการสร้างแรงบันดาลใจหรือความสนใจในการเดินทางท่องเที่ยวเชิงเกษตรของกลุ่ม Gen Z แม้ว่างานวิจัยนี้จะได้วัดการตัดสินใจเดินทางโดยตรง แต่ก็สะท้อนให้เห็นศักยภาพของสื่อออนไลน์ในการโน้มน้าวพฤติกรรมดังกล่าว

ดังนั้น หากผู้ผลิตสื่อด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรสามารถออกแบบเนื้อหา และกลยุทธ์การสื่อสารให้ตรงกับความต้องการของกลุ่ม Gen Z ดังที่ปรากฏในผลการศึกษานี้ จะช่วยเพิ่มโอกาสในการเปิดรับสาร ส่งผลให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในเชิงพฤติกรรม ผลลัพธ์อาจไม่เพียงหยุดอยู่ที่การเปิดรับข้อมูลเท่านั้น แต่ยังสามารถนำไปสู่การมีส่วนร่วมต่อเนื่อง เช่น การกดแชร์ การค้นหาข้อมูลเพิ่มเติม การวางแผนการเดินทาง หรือการตัดสินใจเดินทางท่องเที่ยวในแหล่งท่องเที่ยวเชิงเกษตรที่ได้รับการประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อออนไลน์ได้อย่างแท้จริง

การเปรียบเทียบความต้องการเกี่ยวกับสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของกลุ่ม Gen Z จำแนกตามตัวแปร

เพศ

ผลการเปรียบเทียบความต้องการเกี่ยวกับสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของกลุ่ม Gen Z จำแนกตาม เพศ แสดงดัง Table 1 พบว่า เพศมีผลต่อความต้องการรับข้อมูลข่าวสารด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตร โดย เพศหญิงต้องการรับข้อมูลผ่าน Instagram ($t = 2.368, p = .05$) และ TikTok ($t = 2.480, p = .05$) มากกว่าเพศชาย รวมถึงต้องการรูปแบบสื่อประเภทบทความ และภาพถ่ายมากกว่าเพศชาย ($t = 1.874, p = .05$) อีกทั้งเพศหญิงต้องการเนื้อหาสื่อเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตรด้านสถานที่ท่องเที่ยว ($t = 2.010, p = .05$), ร้านอาหาร ($t = 2.307, p = .05$) และความปลอดภัย ($t = 1.993, p = .05$) มากกว่าเพศชาย ในทางกลับกัน เพศชายต้องการรูปแบบการนำเสนอที่เน้นการแชร์ประสบการณ์การเดินทางมากกว่าเพศหญิง ($t = 1.956, p = .05$)

ข้อค้นพบนี้สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีความแตกต่างด้านเพศในการเลือกใช้สื่อ (Gendered Media Preferences) ของ Meyers-Levy and Loken (2015) ที่เสนอว่า เพศหญิงมักให้ความสำคัญกับสื่อที่ให้ความรู้สึกเชิงอารมณ์ และการเชื่อมโยงทางสังคม เช่น ความปลอดภัย บรรยากาศ หรือความสวยงามของสถานที่ ขณะที่เพศชายมักสนใจการแบ่งปันประสบการณ์หรือการใช้สื่อในลักษณะที่สื่อสารตัวตน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ ทฤษฎีการใช้และความพึงพอใจ (Uses and Gratifications Theory) ของ Katz et al. (1973) ที่อธิบายว่า ผู้บริโภคสื่อเลือกเปิดรับเนื้อหาเพื่อตอบสนองความต้องการส่วนบุคคล เช่น ความบันเทิง การแสดงตัวตน หรือการแสวงหาข้อมูล ซึ่งในบริบทนี้ เพศหญิงอาจใช้สื่อเพื่อตอบโต้ภัยด้านอารมณ์ และความมั่นใจในการเดินทาง ในขณะที่เพศชายเน้นการใช้สื่อเพื่อการสื่อสารตนเองหรือการแบ่งปันประสบการณ์

Table 1 Comparison of online media needs regarding agritourism among Gen Z, classified by Gender

(n=381)

Item	Mean Male (1) (n = 119)	Mean Female (2) (n = 242)	t-value	P-Value
Platform				
Instagram	2.82	2.93	2.368	0.019*
TikTok	2.65	2.80	2.480	0.001*
Media Format				
Articles and Photographs	2.91	2.96	1.874	0.031*
Media content related to agritourism				
Tourist attraction information	2.88	2.95	2.010	0.0023*
Restaurant information	2.90	2.97	2.307	0.011*
Safety information	2.71	2.80	1.993	0.024*
Presentation Style				
Travel experience sharing	2.46	2.35	1.956	0.026*

* = significant at the .05 level

อายุ

ผลการเปรียบเทียบความต้องการเกี่ยวกับสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของกลุ่ม Gen Z จำแนกตาม อายุ แสดงดัง Table 2 พบว่า อายุที่แตกต่างกันมีผลต่อความต้องการเกี่ยวกับสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรแตกต่างกัน โดยกลุ่มที่มีอายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 19 ปี ต้องการรับข้อมูลข่าวสารผ่าน X ($F = 4.451, p = .05$) Treads ($F = 7.416, p = .01$) และ Google Map ($F = 5.159, p = .01$) มากกว่ากลุ่มที่มีอายุมากกว่า 20 ปี ในขณะเดียวกัน กลุ่มที่มีอายุ 20 ปี ต้องการรับข้อมูลข่าวสารผ่าน Treads มากกว่า กลุ่มที่มีอายุมากกว่า 20 ปี ($F = 7.416, p = .01$) ด้านรูปแบบสื่อ พบว่า กลุ่มที่มีอายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 19 ปี และกลุ่มที่มีอายุ 20 ปี ต้องการรูปแบบ Infographic มากกว่า กลุ่มที่มีอายุมากกว่า 20 ปี ($F = 7.014, p = .01$) ในส่วนด้านเนื้อหาสื่อเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตร พบว่า กลุ่มที่มีอายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 19 ปี ต้องการข้อมูลด้านความปลอดภัย ($F = 3.118, p = .05$) และข้อมูลที่ปัก ($F = 9.838, p = .05$) น้อยกว่ากลุ่มที่มีอายุ 20 ปี และอายุมากกว่า 20 ปี ในขณะที่กลุ่มที่มีอายุมากกว่า 20 ปี มีความต้องการข้อมูลด้านแผนที่นำทาง น้อยกว่า กลุ่มที่มีอายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 19 ปี และกลุ่มที่มีอายุ 20 ปี ($F = 9.917, p = .05$) ด้านรูปแบบการนำเสนอข้อมูล พบว่า กลุ่มที่มีอายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 19 ปี มีความต้องการรูปแบบการนำเสนอ โปรโมชัน ($F = 3.181, p = .05$) และ AI และเทคโนโลยี VR/AR ($F = 5.798, p = .05$) น้อยกว่ากลุ่มอายุมากกว่า 20 ปี

ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับ Junpensuk (2017) ที่ระบุว่าอายุเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความต้องการรับสื่อและรูปแบบการนำเสนอ แม้กลุ่มเป้าหมายจะอยู่ในเจนเนอเรชันเดียวกัน แต่แต่ละช่วงวัยก็ยังสะท้อนแรงจูงใจและพฤติกรรมการใช้สื่อที่ต่างกัน การอธิบายผลลัพธ์นี้สามารถเชื่อมโยงกับ Uses and Gratifications Theory (Blumler and Katz, 1974) ซึ่งชี้ว่าผู้ใช้สื่อนั้นอยู่ในกลุ่มเดียวกันก็มีแรงจูงใจเฉพาะที่แตกต่าง และยังสัมพันธ์กับแนวคิดเรื่อง Age Cohort Theory (Strauss and Howe, 1991) ที่มองว่าแต่ละช่วงวัยมีประสบการณ์และความคาดหวังไม่เหมือนกัน จึงสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นที่ผู้ผลิตสื่อควรออกแบบเนื้อหาและเลือกแพลตฟอร์มให้เหมาะสมกับแต่ละกลุ่มอายุ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสารและสร้างแรงดึงดูดที่ตรงกับความต้องการของผู้รับสารมากที่สุด

Table 2 Comparison of online media needs regarding agritourism among Gen Z, classified by Age

(n=381)

Item	≤ 19 years (n = 100)	20 years (n = 200)	> 20 years (n = 81)	F	P-Value
Platform					
X	2.63 ^a	2.50 ^{ab}	2.34 ^b	4.451	.012*
Treads	2.36 ^a	2.25 ^{ab}	2.01 ^b	7.416	.001**
Google Maps	2.33 ^a	2.16 ^{ab}	2.02 ^b	5.159	.006**
Media Format					
Infographic	2.74 ^a	2.71 ^a	2.46 ^b	7.014	.001**
Agritourism Content					
Safety information	2.68 ^b	2.81 ^a	2.81 ^a	3.118	.045*
Accommodation information	2.44 ^a	2.61 ^{ab}	2.78 ^b	9.838	.000**
Route & map guidance	2.74 ^a	2.79 ^a	2.73 ^a	9.917	.000**
Presentation Style					
Promotions	2.29 ^a	2.40 ^{ab}	2.48 ^b	3.181	.043*
AI / VR-AR	2.20 ^a	2.31 ^{ab}	2.46 ^b	5.798	.003**

Values are means; superscripts a, b indicate significant differences between age groups based on LSD post hoc comparisons ($p < .05$). Groups sharing the same superscript do not differ significantly.

* = significant at the .05 level, ** = significant at the .01 level

รายได้บุคคล (บาท/เดือน)

ผลการเปรียบเทียบความต้องการเกี่ยวกับสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของกลุ่ม Gen Z จำแนกตาม รายได้บุคคล บาท/เดือน แสดงดัง Table 3 พบว่า รายได้บุคคลที่แตกต่างกันมีผลต่อความต้องการเกี่ยวกับสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรแตกต่างกัน โดย กลุ่มที่มีรายได้ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 5,000 บาท ต้องการรับข้อมูล ผ่าน TikTok ($t = 4.739, p = .001$) และ Instagram ($t = 2.628, p = .001$) น้อยกว่า กลุ่มที่มีรายได้มากกว่า 5,000 บาท ในทางกลับกัน กลุ่มที่มีรายได้ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 5,000 บาท ต้องการรับข้อมูลผ่าน LINE มากกว่า กลุ่มที่มีรายได้มากกว่า 5,000 บาท ($t = 1.681, p = .001$) ด้านรูปแบบสื่อ พบว่า กลุ่มที่มีรายได้ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 5,000 บาท มีความต้องการสื่อในรูปแบบ โลกีสต ($t = 2.843, p = .001$) และพอดแคสต์/เสียง ($t = 2.777, p = .001$) มากกว่า กลุ่มที่มีรายได้ มากกว่า 5,000 บาท ด้านเนื้อหาสื่อเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตร พบว่า กลุ่มที่มีรายได้ ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 5,000 บาท ต้องการข้อมูล ที่พัก ($t = 7.341, p = .001$) และแผนที่การเดินทาง ($t = 6.575, p = .001$) มากกว่า กลุ่มที่มีรายได้มากกว่า 5,000 ด้านรูปแบบการนำเสนอข้อมูล พบว่า กลุ่มที่มีรายได้ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 5,000 บาท ต้องการรูปแบบการนำเสนอ ชุมชนออนไลน์/ฟอรัม ($t = 5.040, p = .001$) และ AI และ เทคโนโลยี VR/AR ($t = 5.168, p = .001$) มากกว่า กลุ่มที่มีรายได้มากกว่า 5,000 บาท/เดือน

Table 3 Comparison of online media needs regarding agritourism among Gen Z, classified by personal income (Bath/Month)

(n=381)				
Item	Mean ≤5,000 Bath/Month (n = 133)	Mean >5,000 Bath/Month (n = 248)	t-value	P-Value
Platform				
TikTok	2.57	2.85	4.739	0.000***
Instagram	2.82	2.93	2.628	0.000***
LINE	2.19	2.09	1.681	0.000***
Media Format				
Live streaming	2.32	2.17	2.843	0.000***
Podcast/audio	2.28	2.13	2.777	0.000***
Media content related to agritourism				
Route and map guidance	2.86	2.52	6.575	0.000***
Accommodation information	2.85	2.46	7.341	0.000***
Presentation Style				
Online	2.43	2.17	5.040	0.000***
Communities/Forums				
AI and VR/AR	2.49	2.21	5.168	0.000***

*** = Statistically significant at the .001 level

ความแตกต่างด้านรายได้ของกลุ่ม Gen Z มีผลอย่างชัดเจนต่อแพลตฟอร์ม รูปแบบสื่อ เนื้อหา และรูปแบบการนำเสนอข้อมูลด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตร โดยกลุ่มที่มีรายได้ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 5,000 บาท มีแนวโน้มต้องการสื่อที่เข้าถึงง่ายหรือใช้งานได้ฟรี เช่น LINE โลกีสต พอดแคสต์/เสียง ชุมชนออนไลน์/ฟอรัม และข้อมูลเกี่ยวกับที่พักหรือแผนที่เดินทาง ในขณะที่กลุ่มที่มีรายได้สูงกว่ามีความต้องการสื่อผ่านแพลตฟอร์มเช่น TikTok และ Instagram มากกว่า และมีความสนใจเนื้อหาเชิงประสบการณ์หรือเทคโนโลยีเชิงสร้างสรรค์มากกว่า ผลลัพธ์นี้สะท้อนให้เห็นว่าปัจจัยทางเศรษฐกิจมีบทบาทสำคัญต่อการเลือกใช้สื่อและเนื้อหาที่ต้องการ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยแนวคิด Digital Divide (Norris, 2001) ที่ชี้ให้เห็นว่าความแตกต่างด้านรายได้และฐานะทางเศรษฐกิจเป็นตัวกำหนดโอกาสในการเข้าถึงเทคโนโลยีและการใช้ประโยชน์จากสื่อดิจิทัล ดังนั้น กลุ่มที่มีรายได้ต่ำมักเลือกใช้สื่อที่

ต้นทุนต่ำกว่าและเข้าถึงได้สะดวก ขณะที่กลุ่มรายได้สูงมีแนวโน้มเปิดรับสื่อที่เน้นประสบการณ์ใหม่และเทคโนโลยีขั้นสูงมากกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Junpensuk (2017) ที่พบว่า รายได้ของนักท่องเที่ยวที่แตกต่างกันมีความต้องการเนื้อหา การนำเสนอ การเปิดรับข้อมูลจากสื่อแตกต่างกัน ข้อค้นพบนี้ชี้ให้เห็นว่า การออกแบบการสื่อสารเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรควร พิจารณาความแตกต่างด้านรายได้ของผู้รับสาร โดยเฉพาะในกลุ่ม Gen Z ที่มีความแตกต่างทางเศรษฐกิจ เพื่อให้การสื่อสารตรง ตามความสนใจ และพฤติกรรมของผู้รับสารได้อย่างเหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับ ทฤษฎีการเปิดรับแบบเลือกสรร (Selective Exposure Theory) ที่ชี้ว่าผู้รับสารมักเลือกสื่อที่สอดคล้องกับสถานะทางสังคมและเศรษฐกิจของตน (Klapper, 1960)

รายได้ครอบครัว (บาท/เดือน)

ผลการเปรียบเทียบความต้องการเกี่ยวกับสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของกลุ่ม Gen Z จำแนกตาม รายได้ ครอบครัว บาท/เดือน แสดงดัง Table 4 พบว่า รายได้ครอบครัวที่แตกต่างกันมีผลต่อความต้องการเกี่ยวกับสื่อออนไลน์ด้านการ ท่องเที่ยวเชิงเกษตรแตกต่างกัน โดย กลุ่ม Gen Z ที่มีรายได้ครอบครัว 30,001-35,000 บาท ต้องการข้อมูลผ่าน TikTok ($F = 6.466, p = .001$), X ($F = 6.554, p = .001$) และ Treads ($F = 6.111, p = .001$) มากกว่ากลุ่มที่มีรายได้ครอบครัวน้อยกว่า หรือเท่ากับ 25,000 บาท, 25,001-30,000 บาท และ มากกว่า 35,000 บาท ด้านรูปแบบสื่อ พบว่า กลุ่มที่มีรายได้ครอบครัวน้อยกว่า หรือเท่ากับ 25,000 บาท ต้องการรูปแบบสื่อประเภท ไลฟ์สด ($F = 2.980, p = .05$) และพอดแคสต์/เสียง ($F = 3.886, p = .05$) มากกว่ากลุ่มที่มีรายได้สูงกว่า ด้านเนื้อหาสื่อเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตร พบว่า กลุ่มที่มีรายได้ครอบครัวน้อยกว่าหรือ เท่ากับ 25,000 บาท ต้องการเนื้อหาเกี่ยวกับ ข้อมูลที่พัก ($F = 16.893, p = .001$) และแผนที่นำทาง ($F = 14.153, p = .001$) มากกว่ากลุ่มที่มีรายได้สูงกว่า ด้านรูปแบบการนำเสนอ พบว่า กลุ่มที่มีรายได้ครอบครัวน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25,000 บาท ต้องการ รูปแบบ ชุมชนออนไลน์/พอร์ม ($F = 7.182, p = .001$) และ AI และเทคโนโลยี VR/AR ($F = 7.528, p = .001$) มากกว่ากลุ่มที่มี รายได้สูงกว่า

ความแตกต่าง รายได้ครอบครัวของกลุ่ม Gen Z มีผลต่อ แพลตฟอร์ม รูปแบบสื่อ เนื้อหา และรูปแบบการนำเสนอ เช่น กลุ่มที่มีรายได้ครอบครัว 30,001–35,000 บาท/เดือน มีความต้องการรับข้อมูลผ่าน TikTok, X และ Threads มากกว่ากลุ่มรายได้ ครอบครัวอื่น ๆ และกลุ่มที่มีรายได้ครอบครัว น้อยกว่าหรือเท่ากับ 25,000 บาท/เดือน ต้องการรูปแบบสื่อประเภท ไลฟ์สดและ พอดแคสต์/เสียง เนื้อหาเกี่ยวกับ ที่พักและแผนที่นำทาง รวมถึงรูปแบบการนำเสนอแบบ ชุมชนออนไลน์/พอร์ม และ AI/VR/AR มากกว่ากลุ่มรายได้สูง จึงอาจสันนิษฐานได้ว่า รายได้ครอบครัวเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดพฤติกรรมการบริโภคสื่อออนไลน์ด้านการ ท่องเที่ยวเชิงเกษตรของ Gen Z ความแตกต่างนี้สะท้อนให้เห็นว่าฐานะทางเศรษฐกิจของครอบครัวเป็นตัวกำหนดทั้งโอกาสในการ เข้าถึงสื่อ และการเลือกรูปแบบสื่อที่ตอบสนองต่อความต้องการที่แท้จริงของผู้บริโภค แม้จะเป็นกลุ่ม Gen Z ที่คุ้นเคยกับดิจิทัล แต่ข้อจำกัดด้านรายได้ครอบครัวยังคงมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการเลือกใช้สื่อและเนื้อหา ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานของ Dipendra et al. (2025) ซึ่งพบว่า คุณภาพการเข้าถึงและความสามารถในการใช้ดิจิทัลมีผลต่อพฤติกรรมการใช้สื่อมากกว่าการ เข้าถึงพื้นฐานเพียงอย่างเดียว และได้รับการสนับสนุนจากงานของ Livingstone (2017) ที่ชี้ว่าเยาวชนในประเทศที่มีรายได้ปาน กลาง เช่น ไทย ยังคงเผชิญอุปสรรคในการเข้าถึงสื่อดิจิทัลเทียบเท่ากับ ซึ่งสนับสนุนมุมมอง Resources and Opportunities (Van Dijk, 2005) ซึ่งขยายจากแนวคิด Digital Divide โดยชี้ให้เห็นว่าความแตกต่างทางเศรษฐกิจไม่เพียงส่งผลต่อการเข้าถึง เทคโนโลยี แต่ยังส่งผลต่อคุณภาพการใช้และรูปแบบการบริโภคสื่อด้วย ดังนั้น การออกแบบสื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรควร คำนึงถึงความแตกต่างทางเศรษฐกิจของครัวเรือน เพื่อให้การสื่อสารตอบสนองความต้องการได้ตรงกลุ่มมากที่สุด

Table 4 Comparison of online media needs regarding agritourism among Gen Z, classified by Household income, (Bath/Month)

(n=381)

Item	≤25,000 (n = 84)	25,001–30,000 (n = 143)	30,001–35,000 (n = 118)	>35,000 (n = 36)	F	p
Platform						
TikTok	2.58 ^b	2.70 ^{ab}	2.90 ^a	2.86 ^a	6.466	.000***
X	2.33 ^b	2.47 ^{ab}	2.70 ^a	2.39 ^{ab}	6.554	.000***
Treads	2.14 ^{ab}	2.22 ^{ab}	2.40 ^a	1.94 ^b	6.111	.000***
Media Format						
Live streaming	2.37 ^a	2.18 ^b	2.17 ^b	2.19 ^b	2.980	.031*
Podcast / Audio	2.35 ^a	2.12 ^b	2.14 ^b	2.14 ^b	3.886	.010*
Agritourism Content						
Accommodation information	2.90 ^a	2.58 ^b	2.41 ^c	2.58 ^b	16.893	.000***
Route & Map	2.93 ^a	2.59 ^b	2.50 ^c	2.58 ^b	14.153	.000***
Presentation Style						
Online Communities / Forums	2.45 ^a	2.27 ^b	2.14 ^c	2.19 ^c	7.182	.000***
AI and VR/AR	2.52 ^a	2.27 ^b	2.19 ^b	2.33 ^{ab}	7.528	.000***

Values are means. Superscript letters (a, b, c) indicate significant differences between groups based on LSD post hoc comparisons ($p < .05$). Groups sharing the same letter do not differ significantly.

* = significant at the .05 level, ** = significant at the .01 level and *** significant at the .001 level

ประสบการณ์การเดินทางท่องเที่ยวเชิงเกษตร

ผลการเปรียบเทียบความต้องการเกี่ยวกับสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของกลุ่ม Gen Z จำแนกตามประสบการณ์การเดินทางท่องเที่ยวเชิงเกษตร แสดงดัง Table 5 พบว่า ประสบการณ์การเดินทางท่องเที่ยวเชิงเกษตรแตกต่างกันมีผลต่อความต้องการเกี่ยวกับสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตร โดย กลุ่มที่เคยมีประสบการณ์เดินทางต้องการรับข้อมูลผ่าน YouTube ($t = 2.097, p = .001$) และเว็บไซต์หน่วยงานภาครัฐมากกว่ากลุ่มที่ไม่เคยมีประสบการณ์เดินทาง ($t = 3.660, p = .001$) ขณะที่กลุ่มที่ไม่เคยมีประสบการณ์เดินทางต้องการรับข้อมูลผ่าน Google Map มากกว่า ($t = 2.595, p = .001$) ด้านรูปแบบสื่อ พบว่า กลุ่มที่เคยมีประสบการณ์เดินทางต้องการเปิดรับสื่อในรูปแบบ ไลฟ์สด ($t = 2.776, p = .001$) และพอดแคสต์/เสียง ($t = 2.869, p = .001$) มากกว่ากลุ่มที่ไม่เคยมีประสบการณ์เดินทาง รวมถึงด้านเนื้อหาสื่อเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตร พบว่า กลุ่มที่เคยมีประสบการณ์เดินทางต้องการเปิดรับเนื้อหาเกี่ยวกับ ข้อมูลที่พัก ($t = 4.018, p = .001$) มากกว่า กลุ่มที่ไม่เคยมีประสบการณ์เดินทาง อีกทั้งพบว่า กลุ่มที่เคยมีประสบการณ์เดินทางต้องการรูปแบบการนำเสนอข้อมูลที่ มุ่งเน้นความบันเทิง ($t = 1.403, p = .001$), สร้างแรงบันดาลใจ ($t = 1.976, p = .01$) และใช้เทคโนโลยี AI และ VR/AR ($t = 4.454, p = .001$) มากกว่ากลุ่มที่ไม่เคยมีประสบการณ์เดินทาง

ข้อค้นพบนี้สะท้อนว่า กลุ่ม Gen Z ที่มีประสบการณ์การเดินทางท่องเที่ยวเชิงเกษตรที่แตกต่างกันมีความต้องการเกี่ยวกับสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรแตกต่างกัน ทั้งในด้านแพลตฟอร์ม รูปแบบสื่อ เนื้อหาสื่อ และรูปแบบสื่อ จึงอาจสันนิษฐานได้ว่า ประสบการณ์การเดินทางท่องเที่ยวเชิงเกษตร เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดพฤติกรรมการบริโภคสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของ Gen Z สอดคล้องกับแนวคิด Field of Experience ของ Schramm (1973) ที่ระบุว่าประสบการณ์ของผู้รับสารมีผลต่อการตีความและการเลือกข่าวสาร โดยผู้รับสารที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับสิ่งต่าง ๆ แตกต่างกันจะแสวงหาข่าวสารที่แตกต่างกัน ผลการศึกษานี้ยังสอดคล้องกับงานของ Popsa (2024) ที่ชี้ว่า Gen Z ให้คุณค่ากับประสบการณ์ที่เชื่อมโยงกับวัฒนธรรมและความเป็นตัวตน ดังนั้น การออกแบบสื่อออนไลน์เพื่อการท่องเที่ยวเชิงเกษตรควรคำนึงถึงประสบการณ์เดิมของผู้รับสาร โดยเน้นสร้างสรรค์เนื้อหาที่ตอบสนองทั้งผู้ที่ที่มีประสบการณ์ เช่น ข้อมูลเจาะลึกและกิจกรรมที่หลากหลาย และผู้ที่ยังไม่มี

ประสบการณ์ เช่น ข้อมูลนำทางหรือคำแนะนำเบื้องต้น เพื่อให้การสื่อสารครอบคลุมและตรงกับความต้องการของทุกกลุ่มย่อยใน Gen Z

Table 5 Comparison of Online Media Needs Regarding Agritourism Among Gen Z, Classified by Agritourism travel experience

(n=381)

Item	Mean Experienced (n = 151)	Mean Without experience (n = 230)	t-value	P-Value
Platform				
YouTube	2.92	2.83	2.097	0.000***
Google Map	2.07	2.25	2.595	0.000***
Official Government Website	1.81	1.61	3.660	0.000***
Media Format				
Live streaming	2.31	2.16	2.776	0.000***
Podcast/Audio	2.27	2.12	2.869	0.000***
Media content related to agritourism				
Accommodation information	2.73	2.51	4.018	0.000***
Presentation Style				
Focus on Entertainment	2.98	2.95	1.403	0.000***
To Inspire	2.98	2.95	1.976	0.005**
AI and VR/AR	2.45	2.22	4.454	0.000***

** = significant at the .01 level and *** = significant at the .001 level

สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทั่วไป พฤติกรรมการรับสื่อ และความต้องการด้านแพลตฟอร์ม รูปแบบ และเนื้อหาของสื่อออนไลน์เกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตรในกลุ่ม Gen Z พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างของความต้องการตามเพศ อายุ รายได้ และประสบการณ์การเดินทาง โดยเก็บข้อมูลจากนักศึกษา Gen Z มหาวิทยาลัยขอนแก่น จำนวน 381 คน

ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี และอาศัยอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แม้กว่าร้อยละ 76 จะเคยเห็นสื่อออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตร แต่กลับมีเพียงร้อยละ 40 ที่เคยเดินทางจริง สะท้อนให้เห็นถึงช่องว่างระหว่างการรับรู้ผ่านสื่อออนไลน์กับการตัดสินใจท่องเที่ยวจริง ซึ่งถือเป็นโอกาสสำคัญในการพัฒนาเนื้อหาสื่อให้สามารถเชื่อมโยงผู้ชมกับแหล่งท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในภาพรวม กลุ่ม Gen Z มีความต้องการรับข้อมูลผ่านแพลตฟอร์มยอดนิยม ได้แก่ Facebook, Instagram, YouTube และ TikTok โดยให้ความสำคัญกับเนื้อหาประเภทวิดีโอสั้น อินโฟกราฟิก และบทความประกอบภาพถ่าย ที่สามารถให้ข้อมูลได้ภายในเวลาอันสั้น เนื้อหาที่ต้องการมากที่สุด ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว ร้านอาหารท้องถิ่น สินค้าชุมชน และสิทธิพิเศษต่าง ๆ โดยเน้นการนำเสนอในรูปแบบที่สร้างแรงบันดาลใจและมุ่งเน้นความบันเทิง ด้วยเหตุนี้ การออกแบบสื่อออนไลน์สำหรับกลุ่ม Gen Z จึงควรผสมผสานความรวดเร็วในการรับข้อมูล เช่น คลิปสั้นแนะนำแหล่งท่องเที่ยว ผสมผสานความบันเทิงและแรงบันดาลใจ ความเกี่ยวข้องกับผู้ใช้สาร และความน่าเชื่อถือของเนื้อหาเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความคาดหวังของผู้ใช้ได้อย่างเต็มที่

ผลการเปรียบเทียบชี้ให้เห็นว่าความต้องการรับสื่อของกลุ่ม Gen Z แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามเพศ อายุ รายได้ และประสบการณ์การเดินทาง เพศหญิงให้ความสำคัญกับภาพถ่ายและวิดีโอที่ถ่ายทอดบรรยากาศสวยงาม ขณะที่เพศชายมักให้ความสำคัญกับเนื้อหาวิวหรือแชร์ประสบการณ์ กลุ่มอายุต่ำกว่า 20 ปีนิยมแพลตฟอร์มและรูปแบบสื่อที่กระชับ เช่น Threads และอินโฟกราฟิก กลุ่มรายได้ต่ำมีแนวโน้มใช้ LINE และสื่อเสียงหรือไลฟ์สด ขณะที่กลุ่มรายได้สูงนิยมแพลตฟอร์มที่มี

ภาพเคลื่อนไหว และกลุ่มที่มีประสบการณ์ท่องเที่ยวมาก่อนต้องการเนื้อหาเชิงลึก พร้อมเทคโนโลยี AI และ VR/AR ทั้งนี้ ความแตกต่างดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงปัจจัยทางประชากรศาสตร์และประสบการณ์ที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการเปิดรับสื่ออย่างชัดเจน โดยแต่ละกลุ่มไม่เพียงเลือกใช้แพลตฟอร์มที่ถนัด แต่ยังมีความคิดเห็นต่อรูปแบบและเนื้อหาที่ตอบโจทย์ความสนใจและไลฟ์สไตล์เฉพาะตัว ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่ผู้ผลิตสื่อควรคำนึงถึงในการออกแบบกลยุทธ์การสื่อสาร

ข้อค้นพบเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบสื่อออนไลน์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแนะนำให้ผู้ผลิตสื่อและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องวางแผนการสื่อสารตามลักษณะของกลุ่มเป้าหมายย่อย โดยพิจารณาปัจจัยด้านเพศ อายุ รายได้ และประสบการณ์การเดินทาง รวมทั้งควรจัดทำสื่อในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อรองรับความต้องการที่แตกต่างกัน การออกแบบเนื้อหาให้สอดคล้องกับความสนใจของกลุ่มเป้าหมายจะช่วยเพิ่มโอกาสในการเข้าถึง ดึงดูดความสนใจ และกระตุ้นให้เกิดพฤติกรรมการมีส่วนร่วม เช่น การค้นหาข้อมูล การแชร์เนื้อหา หรือการตัดสินใจเดินทางจริง ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงเกษตรอย่างยั่งยืน และเกิดประโยชน์ต่อเศรษฐกิจชุมชนในระยะยาว

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในด้านขอบเขตการศึกษา โดยมุ่งเน้นการสำรวจความต้องการสื่อออนไลน์ในเชิงพรรณนา มิได้วัดความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างการเปิดรับสื่อกับการตัดสินใจเดินทางท่องเที่ยวเชิงเกษตร ผลการวิจัยจึงสะท้อนเฉพาะแนวโน้มความต้องการแพลตฟอร์ม รูปแบบ และเนื้อหาที่กลุ่ม Gen Z ให้ความสำคัญ และอาจไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างพฤติกรรมการเปิดรับสื่อกับการตัดสินใจท่องเที่ยวได้โดยสมบูรณ์ อีกทั้งกลุ่มตัวอย่างจำกัดเฉพาะนักศึกษาในกลุ่ม Gen Z ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ทำให้ผลการวิจัยอาจไม่สามารถสะท้อนความคิดเห็นของนักศึกษา Gen Z ในภาพรวมของประเทศ สำหรับการวิจัยในอนาคต ควรขยายการศึกษาไปยังกลุ่ม Gen Z ที่อยู่นอกเหนือจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น และอาจขยายไปสู่กลุ่มอื่น ๆ เช่น Gen X, Y และ Alpha เพื่อเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของ Gen Z รวมทั้งควรใช้วิธีการเชิงคุณภาพ เช่น การสัมภาษณ์เชิงลึก เพื่อทำความเข้าใจแรงจูงใจและประสบการณ์ของนักท่องเที่ยวได้อย่างรอบด้าน นอกจากนี้ ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการเปิดรับสื่อออนไลน์กับการตัดสินใจเดินทางท่องเที่ยวเชิงเกษตรอย่างเป็นระบบ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความแม่นยำและคุณค่าเชิงปฏิบัติในการออกแบบกลยุทธ์การสื่อสารให้สอดคล้องกับพฤติกรรมและการตัดสินใจของกลุ่มเป้าหมายได้อย่างแท้จริง

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (Idea) ปัญหาการวิจัย กรอบการวิจัย ชื่อเรื่อง วัตถุประสงค์ การมีส่วนร่วมในการออกแบบ ระเบียบวิธีวิจัย กำหนดประชากร กลุ่มตัวอย่าง สร้างแบบสอบถาม ทดสอบเครื่องมือ วิธีการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล แปรผลข้อมูล การวิพากษ์วิจารณ์ผลการศึกษา สรุปผลการศึกษา และการเขียนเรียบเรียงต้นฉบับบทความ: รัชนิกร หัตถ์รัชชัย และศศิพิมพ์ พุ่มพิมล. เก็บรวบรวมข้อมูล: รัชนิกร หัตถ์รัชชัย.

เอกสารอ้างอิง

- Blumler, J. G., & Katz, E. (1974). *The Uses of Mass Communications: Current Perspectives on Gratifications Research*. Sage Publications.
- Booking.com. (2019). *Research Shows that Gen Z Can't Wait to Explore the World, with a List of Must-Visit Destinations and Travel Plans Already in Place*. Retrieved from: <https://news.booking.com/th-th/gen-z-travelers-cant-wait-to-experience-the-world/>.
- Chaimoolwong, S., Fongmul, S., Rungkawat, N., & Sakkatat, P. (2019). Factors affecting Thai tourists' motivations and behaviors of the agrotourism: Case study of Mae Jam Village, Mueang Pan District, Lampang Province. *Journal of Agricultural Research and Extension*, 37(3), 71-78. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/article/view/248419>. (in Thai).
- Chenchitsin, N., & Euaiarusphan, A. (2023). Perspectives of a future approach to agrotourism in Thailand. *Suratthani Rajabhat Journal*, 10(1), 1-20. <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/srj/article/view/257070>. (in Thai).
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques*. John Wiley & Sons. (in Thai).
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Sage Publications.
- De Jong, A. (2024). *Understanding Gen Z Travel Needs and Demands*. Retrieved from: <https://goodtourismstitute.com/library/gen-z-travel/>.

- Department of Agricultural Extension. (2025). **The Department of Agricultural Extension Promotes Sustainable Agritourism Management and Enhances Staff Capacity as Mentors**. Retrieved from: <https://www.doae.go.th/กรมส่งเสริมการเกษตร/ด้น-4/>. (in Thai).
- Dewi, N. I. K., Gede, I. G. K., Kencanawati, A. A. A. M., & Mataram, I. G. A. B. (2021). Social media usage by Generation Z in pre-trip planning. In **Proceedings of the International Conference on Applied Science and Technology on Social Science**, pp. 190-195. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210424.036>.
- Dipendra, K. C., Pramod, K. C., Rado, I., & Vichit-Vadakan, N. (2025). Digital inequality and learning outcomes: Evidence from Thailand. **Education and Information Technologies**, 30(2), 1-26. <http://doi.org/10.1007/s10639-025-13570-0>.
- Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. **Annual Review of Psychology**, 53(1), 109-132. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135153>.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). **How to Design and Evaluate Research in Education**. McGraw-Hill.
- Johnston, I. (2023). **How is Gen Z Reshaping Hospitality and Travel?** Retrieved from: <https://www.forbes.com/councils/forbesagencycouncil/2023/11/30/how-is-gen-z-reshaping-hospitality-and-travel/>.
- Junpensuk, P. (2017). Information demand, media exposure and perception of thai cultural information among chinese tourists. **Nakhon Lampang Buddhist College's Journal**, 6(1), 9. <https://so04.tci-thaijo.org/index.php/NBJ/article/view/253052>. (in Thai).
- Katz, E., Blumler, J. G., & Gurevitch, M. (1973). Uses and gratifications research. **Public Opinion Quarterly**, 37(4), 509-523. <https://doi.org/10.1086/268109>
- Klapper, J. T. 1960). **The Effects of Mass Communication**. Free Press of Glencoe.
- Livingstone, S., Nandi, A., Banaji, S., & Stoilova, M. (2017). **Young adolescents and Digital Media: Uses, Risks and Opportunities in Low-and Middle-Income Countries: A Rapid Evidence Review**. Retrieved from: <https://eprints.lse.ac.uk/83753/>.
- Mayer, R. E. (2009). **Multimedia Learning**. 2nd Ed. Cambridge University Press.
- Microsoft. (2015). **Attention Spans: Consumer Insights Microsoft Canada**. Retrieved from: <https://sherpapg.com/wp-content/uploads/2017/12/MAS.pdf>.
- Mitchell, A., & Shearer, E. (2020). **News Use Across Social Media Platforms in 2020**. Retrieved from: <https://www.pewresearch.org/journalism/2021/01/12/news-use-across-social-media-platforms-in-2020/>.
- Meyers-Levy, J., & Loken, B. (2015). Revisiting gender differences: What we know and what lies ahead. **Journal of Consumer Psychology**, 25(1), 129-149. <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2014.06.003>.
- Mokanan, S., & Sabaijai, P. E. (2023). Perception of UHT ready-to-drink coconut water in bangkok via online media. **King Mongkut's Agricultural Journal**, 41(3), 196-204. <https://doi.org/10.55003/kmaj.2023.12.28.002>. (in Thai).
- Norris, P. (2001). **Digital Divide? Civic Engagement, Information Poverty and the Internet Worldwide**. Cambridge University Press. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139164887>.
- Nuchanong, S., & Jones, P. (2020). Elderly people's use of social media for travel purposes. **Business Administration and Management Journal**, 12(1), 75-91. <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/bahcuojs/article/view/227828>. (in Thai).
- Pariser, E. (2011). **Filter Bubble**. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/Filter_bubble?utm_.
- Petty, R. E., & Cacioppo, J. T. (1986). **Communication and Persuasion: Central and Peripheral Routes to Attitude Change**. Springer.
- Paker, K., & Igielnik, R. (2019). **On the Cusp of Adulthood and Facing an Uncertain Future: What We Know About Gen Z So Far**. Retrieved from: <https://www.pewresearch.org/social-trends/2020/05/14/on-the-cusp-of-adulthood-and-facing-an-uncertain-future-what-we-know-about-gen-z-so-far/>.
- Pitisan, P. (2018). **A New Concept of Agritourism in the Coro Field Style**. Retrieved from: <https://www.bangkokbiznews.com/blogs/columnist/120891>. (in Thai).
- Pongwatcharanon, K., & Sridee, S. (2025). Agricultural tourism communication to attract Gen-Z tourists: Strategies for success in the digital age. **Interdisciplinary Journal of Education and Social Development**, 1(3), 42-54. <https://so14.tci-thaijo.org/index.php/Interdisciplinary/article/view/1407/1021>. (in Thai).
- Popsa, R. E. (2024). Exploring the Generation Z travel trends and behavior. **Studies in Business and Economics**, 19(1), 189-199. <https://doi.org/10.2478/sbe-2024-0010>.
- Rogers, E. M. (2003). **Diffusion of Innovations** 5th Ed. The Free Press.
- Sampattawanich, P., Choompolsathien, A., & Worakullattanee, K. (2022). Information seeking and uses and gratification on social media of gen Z. **Journal of Journalism**, 15(3), 185-222. <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/jcmag/article/view/258753>. (in Thai).
- Satawethin, P. (2003). **Principles of Communication Arts**. Rung Rueang San Kan Phim. (in Thai).
- Schramm, W. (1973). **Channel and Audience: Handbook of Communication**. Chicago Ran McNally College.
- Sidoti, O., Park, E., Faverio, M., Atske, S., & Radde, K. (2025). **Teens and Social Media Fact Sheet**. Retrieved from: <https://www.pewresearch.org/internet/fact-sheet/teens-and-internet-device-access-fact-sheet/>.

- Srisurat, B. (2002). **Basic Research**. 5th Ed. Suwiriyasarn. (in Thai).
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. **Cognitive Science**, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4.
- Technavio. (2025). **Agritourism Market Market Analysis, Size, and Forecast 2025–2029**. Retrieved from: https://newsroom.technavio.org/agritourismmarket?utm_.
- Tourism Authority of Thailand Academy. (2023). **What’s Z View: Exploring Gen Z’s Travel Behavior as the Future “Main Consumers” of the World**. Retrieved from: <https://share.google/3CrzWzbxLU7MKY2Nv> (in Thai).
- Strauss, W., & Howe, N. (1991). **Generations: The History of America’s Future, 1584 to 2069**. William Morrow & Company.
- Van Dijk, J. (2005). **The Deepening Divide: Inequality In the Information Society**. Sage Publications.
- Wongwicht, N., Nadee, M., Panthog, K., Thawiphrom, R., Sungsunchai, C., Khumtong, P., Ngammoh, N., Boonraum, K., & Kiatprasert, P. (2022). Marketing strategies affecting decisions to choose ecotourism destinations of generation Z tourists in Thailand. **Academic Journal of Management Technology**, 4(1), 29-40. <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/jomt/article/view/265154>. (in Thai).
- Yodkaew, S., & Sabaijai, P. E. (2025). Online marketing communications influences decision making on farm stay agritourism of tourists living in Bangkok. **King Mongkut’s Agricultural Journal**, 43(2), 296-304. <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.05.28.017>. (in Thai).

การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เป่าจากพื้นที่สวนเกษตรไผ่ อำเภอลอง จังหวัดแพร่

Development of Bamboo Leaf Pulp Paper from *Dendrocalamus copelandii* Leaves from Bamboo Agroforestry Plots in Long District, Phrae Province

ธิตี วานิชดิlokรัตน์^{1*}, สรिता แสงเขียว¹, ณัฏฐ์ณฤทัย บุญญรัตน์¹, ณัฐนนท์ จันทร์สงแสง¹,
นิรชา วังคีรี¹ และจิราภา วานิชดิlokรัตน์²

Thiti Wanishdilokratn^{1*}, Sarita Saengkhaio¹, Natnaruehai Boonyarat¹, Nattanon Jansongsang¹,
Niracha Wangkeeree¹ and Jirapa Wanishdilokratn²

Received date: 3 ก.ย. 68 Revised date: 3 ต.ค. 68 Accepted date: 7 ต.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.269025>

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เป่า (*Dendrocalamus copelandii*) ที่ได้จากพื้นที่สวนเกษตรไผ่ อำเภอลอง จังหวัดแพร่ โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของกระดาษเยื่อใบไผ่ที่ผลิตจากใบไผ่เป่าอ่อนและใบไผ่เป่าแก่ การทดสอบประกอบด้วย ค่าความชื้น ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การพองตัวตามความหนา ค่าแรงดึง และค่าแรงฉีก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กระดาษเยื่อใบไผ่ที่ผลิตจากใบไผ่เป่าแก่มีคุณสมบัติดีกว่ากระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เป่าอ่อน โดยมีค่าความชื้นเฉลี่ย $7.59 \pm 3.98\%$ ความหนาแน่นเฉลี่ย 277.85 ± 14.95 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำเฉลี่ย $349.29 \pm 13.87\%$ การพองตัวตามความหนาเฉลี่ย $96.23 \pm 5.43\%$ ค่าแรงดึงเฉลี่ย 6.26 ± 2.92 เมกะพาสคาล และค่าแรงฉีกเฉลี่ย 6.99 ± 1.35 มิลลินิวตัน จากผลดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ใบไผ่เป่าแก่มีศักยภาพในการนำมาใช้ผลิตกระดาษเยื่อใบไผ่ที่มีคุณภาพสูงกว่า ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาอาจนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เป่าตลอดจนต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าการพองตัวตามความหนา ค่าความหนาแน่น ค่าแรงดึง ค่าแรงฉีก

Abstract

This study investigated the development of Bamboo leaf pulp paper from *Dendrocalamus copelandii* leaves collected from bamboo agroforestry plots in Long District, Phrae Province, Thailand. The research focused on comparing the physical and mechanical properties of Bamboo leaf pulp paper produced from young and mature bamboo leaves. The tested properties included moisture content, density, water absorption, thickness swelling, tensile strength, and tearing strength. The results revealed that Bamboo leaf pulp paper derived from mature bamboo leaves exhibited superior properties compared to that from young leaves. Specifically, the paper from mature leaves showed an average moisture content of $7.59 \pm 3.98\%$, density of 277.85 ± 14.95 kg/m³, water absorption of $349.29 \pm 13.87\%$, thickness swelling of $96.23 \pm 5.43\%$, tensile strength of 6.26 ± 2.92 MPa, and tearing strength of 6.99 ± 1.35 mN. These findings highlight the potential of mature *D. giganteus* leaves as a promising raw material for high-quality Bamboo leaf pulp paper production, providing a foundation for product development and further commercial applications.

Keywords: water absorption, thickness swelling, density, tensile strength, tearing strength

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมป่าไม้ โครงการจัดตั้งวิทยาลัยการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

² สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 13 (แพร่) กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จังหวัดแพร่ 54000

¹ Department of Forest Industry Technology, Establishment Project of the College of Forestry, Maejo University Phrae Campus, Phrae province, 54140

² Protected Area Regional Office 13 Phrae, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Phrae province, 54000

* Corresponding author: email: thiti_jk@hotmail.com

คำนำ

ปริมาณการใช้กระดาษในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสะท้อนถึงการพัฒนาทางเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีที่ทำให้ความต้องการใช้กระดาษและบรรจุภัณฑ์กระดาษเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Sakthirasunthon, 2020) โดยในปี 2567 ที่ผ่านมามีประเทศไทยได้มีการนำเข้าเยื่อไม้กว่า 690 ล้านกิโลกรัม (Royal Forest Department, 2025) อย่างไรก็ตาม การผลิตเยื่อกระดาษในประเทศยังคงมีปริมาณจำกัดและส่วนใหญ่ผลิตขึ้นเพื่อการบริโภคภายในประเทศ ไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดภายในและการทดแทนการนำเข้า (Chen, 2020; Khantayanuwong, 2003; Tangjitjaroenkit and Padungthon, 2020) เยื่อกระดาษโดยทั่วไปผลิตจากไม้ซึ่งแม้จะเป็นทรัพยากรที่สามารถปลูกทดแทนได้ แต่ไม้บางชนิดเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตช้า ต้องใช้เวลานานกว่าจะสามารถเก็บเกี่ยวเพื่อแปรรูปเป็นเยื่อกระดาษได้ จึงก่อให้เกิดปัญหาการพึ่งพาวัตถุดิบที่มีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนในระยะยาว และกระทบต่อความยั่งยืนของอุตสาหกรรม (Chen et al., 2012) ดังนั้น การแสวงหาวัตถุดิบทางเลือกที่สามารถทดแทนไม้และมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการผลิตเยื่อกระดาษจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ใบไม้ ชานอ้อย ฟางข้าว ใบสับปะรด เป็นต้น (Andrade and Colodette, 2014; Chaudhary et al. 2024; Rattanawongkun et al., 2020) ที่สามารถนำมาใช้ผลิตเยื่อกระดาษเพื่อลดการพึ่งพาไม้โดยตรง และยังช่วยลดปัญหาการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งในภาคเกษตรกรรมอีกด้วย

พื้นที่อำเภอลอง จังหวัดแพร่ เป็นแหล่งเพาะปลูกไม้ที่สำคัญแห่งหนึ่งของภาคเหนือ โดยเฉพาะไม้เป่าะ (*Dendrocalamus copelandii*) ซึ่งได้รับความนิยมปลูกอย่างแพร่หลายทั้งในเชิงเศรษฐกิจและการใช้ประโยชน์ในครัวเรือน (Wanishdilokratn and Wanishdilokratn, 2024) การปลูกไม้ในพื้นที่ดังกล่าวทำให้เกิดใบไม้ร่วงหล่นเป็นจำนวนมากตลอดทั้งปี หากไม่ได้รับการจัดการที่เหมาะสม ใบไม้ร่วงเหล่านี้อาจกลายเป็นปัญหาล้างแฉะล้น เช่น การทับถมของเศษซากพืชที่หนาแน่นไปจนขัดขวางการงอกของหน่อไม้ การสะสมความชื้นซึ่งเอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราและโรคพืช การแย่งชิงธาตุอาหารระหว่างจุลินทรีย์กับพืชในช่วงการย่อยสลาย (Chaiyasart et al., 2018; Chakhatrakan and Promwee, 2010; Rodyoo and Chinawong, 2015) การเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า ตลอดจนการเป็นแหล่งสะสมของแมลงและสัตว์รบกวน (Wudthisawas and Kongsila, 2021; Tripathy et al., 2020; Zhao et al., 2024) ปัญหาดังกล่าวไม่เพียงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขอนามัยของชุมชน แต่ยังสะท้อนถึงการสูญเสียโอกาสในการใช้ประโยชน์จากวัสดุใบไม้เป่าะอีกด้วย โดยการผลิตกระดาษเยื่อใบไม้เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติ กระดาษที่ผลิตจากเส้นใยพืชควรมีคุณสมบัติเด่นด้านความเหนียว ความทนทาน และลวดลายที่เป็นธรรมชาติ เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในงานหัตถกรรม ศิลปะ และพิธีกรรมต่าง ๆ (Kongtud et al., 2016) อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้ใบไม้ โดยเฉพาะการเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างใบอ่อนและใบแก่ในการผลิตกระดาษเยื่อใบไม้ยังมียังจำกัด การเปรียบเทียบดังกล่าวมีความสำคัญ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างเส้นใยของใบอ่อนและใบแก่อาจแตกต่างกัน เช่น เซลลูโลส ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เป็นต้น ส่งผลต่อคุณภาพและคุณสมบัติของกระดาษเยื่อใบไม้ที่ได้ (Vangsirigul et al., 2017) การวิจัยในประเด็นนี้จึงถือเป็นก้าวสำคัญที่จะช่วยระบุแหล่งวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์

เพื่อตอบโจทย์ทั้งด้านการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการสร้างวัตถุดิบทางเลือกในการผลิตเยื่อกระดาษ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาศักยภาพของใบไม้เป่าะในฐานะวัตถุดิบหลักสำหรับผลิตกระดาษเยื่อใบไม้ โดยอาศัยกระบวนการผลิตเยื่อทางเคมีซึ่งเป็นกระบวนการมาตรฐานที่สามารถควบคุมคุณภาพของเยื่อได้อย่างสม่ำเสมอ การวิจัยได้ออกแบบการทดสอบเพื่อประเมินคุณสมบัติทั้งทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความชื้น ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และการพองตัว ตลอดจนคุณสมบัติทางกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดึงและแรงฉีก โดยมีการเปรียบเทียบคุณสมบัติของกระดาษเยื่อใบไม้ที่ผลิตจากใบไม้เป่าะอ่อนและใบไม้เป่าะแก่ ผลการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบดังกล่าวจะช่วยระบุชนิดใบไม้ที่มีความเหมาะสมที่สุดในการผลิตกระดาษเยื่อใบไม้ ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษเยื่อใบไม้ให้มีคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค และสามารถต่อยอดไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ได้อย่างยั่งยืน อีกทั้งยังมีส่วนช่วยลดปริมาณขยะอินทรีย์ในท้องถิ่นและสนับสนุนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการศึกษา

การเก็บตัวอย่างใบไผ่

ลงพื้นที่สำรวจสวนเกษตรไผ่ในเขตอำเภอลอง จังหวัดแพร่ ดังแสดงใน Figure 1 เพื่อใช้เป็นแหล่งเก็บรวบรวมวัตถุดิบในการศึกษา โดยเลือกสวนเกษตรที่มีการปลูกไผ่เป่า (*Dendrocalamus copelandii*) ในลักษณะเป็นกอ (Figure 2) จากนั้นได้ทำการเก็บตัวอย่างใบไผ่ทั้งใบอ่อนและใบแก่ ที่มีลักษณะสมบูรณ์ โดยคัดเลือกเฉพาะใบที่มีขนาดเต็มใบ มีความสม่ำเสมอ ไม่ฉีกขาดหรือมีร่องรอยความเสียหาย เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีคุณภาพ เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในกระบวนการศึกษา

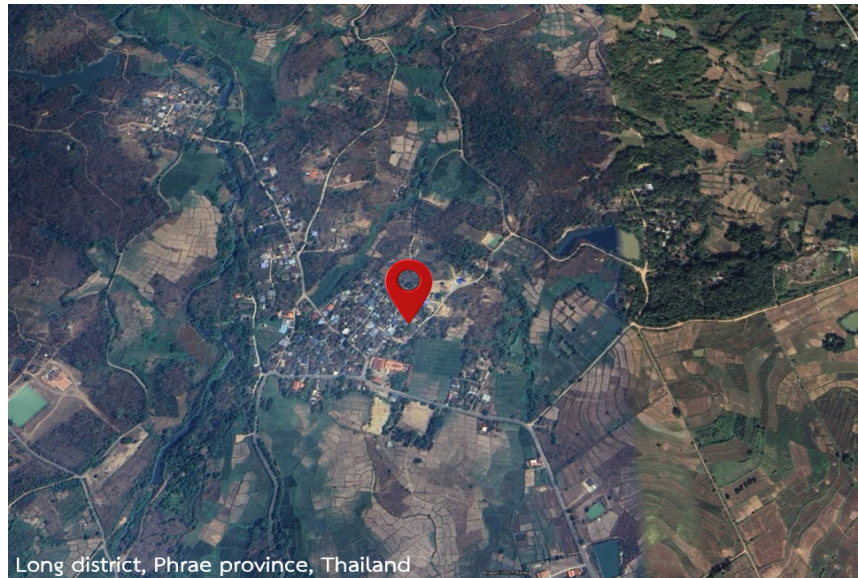


Figure 1 Location of bamboo agroforestry plots in Long District, Phrae Province



Figure 2 *Dendrocalamus copelandii* in bamboo agroforestry plots

การเตรียมตัวอย่าง

นำใบไผ่เป่าที่เก็บได้ของใบอ่อนและใบแก่ มาทำการ ผึ่งแดดให้แห้ง เพื่อกำจัดความชื้นส่วนเกิน จากนั้นแยกใบไผ่แต่ละประเภทมาทำการปรับสภาวะด้วยด่างโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เส้นใยอ่อนตัวสำหรับการผลิตเยื่อ หลังจากนั้นนำใบไผ่มาต้มโดยใช้อัตราส่วนน้ำร้อยละ 70 และใบไผ่ร้อยละ 30 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำใบไผ่ที่ผ่านการต้มมาทำการปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น เพื่อให้เส้นใยกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยเยื่อที่ได้จากการปั่นนำมาทำการขึ้นรูปในแม่พิมพ์ขนาด 300x300x1 มิลลิเมตร โดยเกลี่ยเยื่อใบไผ่ที่

ได้ให้สมำเสมอทั้งแผ่นแล้วอัดตัวเป็นแผ่นให้แน่น เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้นนำแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปแล้ว ผึ่งปรับสภาวะให้แห้ง ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงดัง Figure 3



Figure 3 Bamboo leaf pulp paper products from *Dendrocalamus copelandii* leaves; A. Young bamboo leaves and B. Mature bamboo leaves

การทดสอบคุณสมบัติ

นำกระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เป่าในแต่ละสภาวะมาทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 412 (2013), TAPPI T 494 (2021) และ TAPPI T 494 (2006) ซึ่งประกอบด้วยค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความชื้น ค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าการพองตัวตามความหนา ค่าแรงดึง และค่าแรงฉีก จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

- การทดสอบหาค่าความชื้น (Moisture content) และค่าความหนาแน่น (Density) สามารถทำได้โดยตัดตัวอย่างขึ้นทดสอบจากกระดาษเยื่อใบไผ่ขนาด 50x50x1 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักเพื่อเป็นน้ำหนักของขึ้นทดสอบก่อนอบ จากนั้นวัดขนาดความกว้าง ความหนา และความยาวของขึ้นทดสอบ ต่อมาอบขึ้นทดสอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักของขึ้นทดสอบคงที่ หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนัก เพื่อเป็นน้ำหนักของขึ้นทดสอบหลังอบ และวัดขนาดความกว้าง ความหนา และความยาวของขึ้นทดสอบหลังอบ สำหรับหาปริมาตรของขึ้นตัวอย่าง การหาค่าปริมาณความชื้น แสดงดังสมการที่ (1)

$$Mc = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

Mc คือ ค่าความชื้น (ร้อยละ)

M_1 คือ น้ำหนักของขึ้นทดสอบก่อนอบ (กรัม)

M_2 คือ น้ำหนักของขึ้นทดสอบหลังอบ (กรัม)

การหาค่าความหนาแน่น แสดงดังสมการที่ (2)

$$D = \frac{M}{V} \times 10^6 \quad (2)$$

เมื่อ

D คือ ค่าความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

M คือ น้ำหนักของขึ้นทดสอบ (กรัม)

V คือ ปริมาตรของขึ้นทดสอบ (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

- การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption) และการพองตัวตามความหนา (Thickness swelling) สามารถทำได้โดยตัดตัวอย่างขึ้นทดสอบจากกระดาษเยื่อใบไผ่ขนาด 50x50x1 มิลลิเมตร ต่อมาชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักขึ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ และวัดความหนาขึ้นทดสอบเป็นความหนาขึ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ แล้วแช่ขึ้นทดสอบในน้ำสะอาด เป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นนำขึ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักขึ้นทดสอบหลังแช่น้ำ และวัดความหนาหลังทดสอบเป็นความหนาขึ้นทดสอบหลังแช่น้ำ การหาค่าการดูดซึมน้ำ แสดงดังสมการที่ (3)

$$W_a = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ

W_a คือ ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)W₁ คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (กรัม)W₂ คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (กรัม)

การหาค่าการพองตัวตามความหนา แสดงดังสมการที่ (4)

$$T_s = \frac{(T_2 - T_1)}{T_1} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ

T_s คือ ค่าการพองตัวตามความหนา (ร้อยละ)T₁ คือ ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)T₂ คือ ความหนาหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

- การทดสอบค่าแรงดึง (Tensile strength) สามารถทำได้โดยตัดตัวอย่างชิ้นทดสอบจากกระดาศเยื่อใบไผ่ขนาด 15x180x1 มิลลิเมตร จากนั้นนำเข้าเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine) โดยใช้อุปกรณ์สำหรับทดสอบแรงดึง เพื่อทำการดึงในอัตราส่วนที่สม่ำเสมอ จากนั้นนำค่าแรงดึงที่ทดสอบได้มาคำนวณ แสดงดังสมการที่ (5)

$$T_n = \frac{F}{(W \times L)} \quad (5)$$

เมื่อ

T_n คือ ค่าแรงดึง (เมกะพาสคาล)

F คือ แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)

W คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

L คือ ความยาวของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

- การทดสอบค่าแรงฉีก (Tearing strength) สามารถทำได้โดยตัดตัวอย่างชิ้นทดสอบจากกระดาศเยื่อใบไผ่ขนาด 63x76x1 มิลลิเมตร จากนั้นทำการบากบริเวณขอบของกระดาศเล็กน้อยเพื่อกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นการฉีกขาด แล้วหนีบปลายกระดาศทั้งสองด้านด้วยคลิป หนึ่งด้านยึดไว้กับที่คงที่ อีกด้านเชื่อมต่อกับเครื่องวัดแรงสปริง (Spring Balance) จากนั้นออกแรงดึงอย่างต่อเนื่องจนกระดาศเกิดการฉีกขาด พร้อมทั้งบันทึกค่ากำลังสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องวัดแรงสปริงเพื่อนำมาคำนวณแรงฉีก แสดงดังสมการที่ (6)

$$T_r = \frac{C}{N} \quad (6)$$

เมื่อ

T_r คือ ค่าแรงฉีก (มิลลินิวตัน)

C คือ แรงฉีกสูงสุด (มิลลินิวตัน)

N คือ จำนวนชิ้นตัวอย่างในการทดสอบ

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลค่าความชื้น ค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าการพองตัวตามความหนา ค่าแรงดึง และค่าแรงฉีก มาวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยค่าสถิติ t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ค่าความชื้นและค่าความหนาแน่น

ค่าความชื้นของกระดาศเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เปียะแกมีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 7.59±3.98 มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับใบไผ่เปียะอ่อนที่มีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 8.44±3.55 ส่วนค่าความหนาแน่นของกระดาศเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เปียะแกมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 277.85±14.95 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับใบไผ่เปียะอ่อนที่มีค่าเฉลี่ย 268.95±16.62 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร แสดงดัง Table 1 โดยค่าความชื้นของกระดาศเยื่อใบไผ่มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Sungkaew et al. (2016) ที่ได้ทำการพัฒนาการผลิตกระดาศและผลิตภัณฑ์กระดาศจากไส้กรอ่วมกับการใช้สีย้อมธรรมชาติ พบว่า มีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 7.36 ซึ่งการควบคุมปริมาณความชื้นของกระดาศเยื่อใบไผ่เป็นสิ่งสำคัญที่จะส่งผลต่อความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วย (Taikhao, 2013) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Tohluebaji et al. (2022) ที่ได้ทำการศึกษาความหนาแน่นของการผลิตกระดาศจากเศษกระจุตผสมกระดาศเหลือทิ้งจาก

สำนักงานเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชน พบว่า มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 283.15 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ที่มีความแตกต่างกันจะส่งผลต่อความหนาแน่นของกระดาษ (Asta et al., 2024) ทำให้กระดาษมีคุณสมบัติเชิงกลที่ต่างกัน (Park et al., 2020)

Table 1 Moisture content and density of Bamboo leaf pulp paper products from *Dendrocalamus copelandii* Leaves

Bamboo leaf	Moisture content (%)	Density (kg/m ³)
Young	8.44±3.55	268.95±16.62
Mature	7.59±3.98	277.85±14.95
Average	8.02±3.77	273.40±15.79
p-value	0.78	0.80

Statistically significant difference at $p < 0.05$

ค่าการดูดซึมน้ำและค่าการพองตัวตามความหนา

ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เปื้อนแถมมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 349.29±13.87 โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับใบไผ่เปื้อนอ่อนที่มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยร้อยละ 356.26±22.66 เช่นเดียวกันกับค่าการพองตัวตามความหนาของกระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เปื้อนแถมมีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยร้อยละ 96.23±5.43 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับใบไผ่เปื้อนอ่อนที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 102.22±3.17 แสดงดัง Table 2 โดยค่าการดูดซึมน้ำมีค่าใกล้เคียงกับ Maneewan and Yimchang (2007) ที่ได้ทำการศึกษาแผ่นเซลล์กระดาษเยื่อใบไผ่สำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหยพบว่า มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 220-390 เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Maneewan (2007) ที่ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษเยื่อใบไผ่สำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหย พบว่า กระดาษสาจากบ้านนาเหลียง อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน บ้านสะเนียน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน และบ้านแยง อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 325.00-450.00 ส่วนค่าการพองตัวตามความหนามีความคล้ายคลึงกับ Tohluebaji et al. (2022) จากการทดลองการผลิตกระดาษจากเศษกระดาษพบว่า มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยร้อยละ 98.55 โดยกระดาษเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำได้สูง ซึ่งส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพเมื่อสัมผัสกับความชื้น จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการซึมผ่านของน้ำของกระดาษ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดค่าการดูดซึมน้ำและอัตราการพองตัวตามความหนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (Khongtong and Patjun, 2013) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุหรือวัตถุดิบที่จะนำมาทำกระดาษ และสารต่าง ๆ ที่จะนำมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วย (Podkumnerd et al., 2019)

Table 2 Water absorption and thickness swelling of Bamboo leaf pulp paper Products from *Dendrocalamus copelandii* Leaves

Bamboo leaf	Water absorption (%)	Thickness swelling (%)
Young	356.26±22.66	102.22±3.17
Mature	349.29±13.87	96.23±5.43
Average	352.78±18.26	99.27±4.30
p-value	0.26	0.26

Statistically significant difference at $p < 0.05$

ค่าแรงดึงและค่าแรงฉีก

ค่าแรงดึงของกระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เปื้อนแถมมีค่าเฉลี่ย 6.07±2.83 เมกะพาสกาล มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับใบไผ่เปื้อนอ่อนที่มีค่าแรงดึงเฉลี่ย 6.26±2.92 เมกะพาสกาล เช่นเดียวกันกับค่าแรงฉีกของกระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เปื้อนแถมมีค่าแรงฉีกเฉลี่ย 6.99±1.35 มิลลินิวตัน ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับใบไผ่เปื้อนอ่อนที่มีค่าเฉลี่ย 6.26±2.60 มิลลินิวตัน แสดงดัง Table 3 ซึ่งค่าแรงดึงมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Tongsaewang and Suwannawatanamatee (2022) ที่ได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษจากเยื่อกล้วยด้วยคาร์บอกซิเมทิล

เซลลูโลส พบว่า มีค่าแรงดึงเฉลี่ย 8.00 เมกะพาสคาล อีกทั้งคล้ายคลึงกับค่าแรงฉีกของ Eamchuen et al. (2020) ที่ได้ทำการทดสอบสมบัติของเยื่อและกระดาษกราฟจากไม้เลื้อยและไม้ซางนวลเพื่อการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟในประเทศไทย พบว่า กระดาษจากไม้เลื้อยมีค่าแรงฉีกอยู่ในช่วง 6.70-16.60 มิลลินิวตัน โดยปริมาณเซลลูโลสที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อการยึดเกาะของเส้นใย (Pacaphol et al., 2023) ในค่าแรงดึงและค่าแรงฉีก ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดความสามารถในการต้านทานแรงทางกลของกระดาษ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหรือ วัสดุตั้งต้นในการผลิต (Li et al., 2021; Yamauchi and Tanaka, 2002) ซึ่งใบไม้เป็นวัตถุดิบทางเลือกจากธรรมชาติที่มีศักยภาพสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งเส้นใยสำหรับผลิตเยื่อกระดาษ (Gruyal and Ulbeda, 2024)

Table 3 Tensile strength and tearing strength of Bamboo leaf pulp paper products from *Dendrocalamus copelandii* Leaves

Bamboo leaf	Tensile strength (Mpa)	Tearing strength (mN)
Young	6.07±2.83	6.26±2.60
Mature	6.26±2.92	6.99±1.35
Average	6.17±2.86	6.63±1.97
p-value	0.95	0.21

Statistically significant difference at $p < 0.05$

สรุปผลการศึกษา

กระดาษเยื่อใบไม้ที่ผลิตจากใบไม้เป่าแฉกมีสมบัติทางกายภาพและเชิงกลที่ดีกว่ากระดาษเยื่อใบไม้ที่ผลิตจากใบไม้เป่าอ่อน โดยกระดาษเยื่อใบไม้ที่ผลิตจากใบไม้เป่าแฉกมีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 7.59±3.98 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 277.85±14.95 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยร้อยละ 349.29±13.87 ค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยร้อยละ 96.23±5.43 ค่าแรงดึงเฉลี่ย 6.07±2.83 เมกะพาสคาล และค่าแรงฉีกเฉลี่ย 6.99±1.35 มิลลินิวตัน แสดงให้เห็นว่าใบไม้เป่าแฉกสามารถใช้เป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตกระดาษเยื่อใบไม้ เนื่องจากให้ค่าคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่าใบไม้เป่าอ่อน

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณนายเทียน กันทะล้น ผู้ใหญ่บ้านปง หมู่ที่ 3 อำเภอคลอง จังหวัดแพร่ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูล รวมถึงวัตถุดิบต่าง ๆ ในการวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งขอขอบคุณมหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ที่ได้อนุเคราะห์อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองงานวิจัยชิ้นนี้เสร็จสมบูรณ์

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และสมมุติฐาน: ธิติ วานิชดิตรัตน์ การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: ธิติ วานิชดิตรัตน์, ณัฐนนท์ จันทร์ส่งแสง และนริชา วังศิริ การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: สรिता แสงเขียว และณัฐธัญญ์ บุญญศรี การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: จิราภา วานิชดิตรัตน์ การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ธิติ วานิชดิตรัตน์ และสรिता แสงเขียว การให้การสนับสนุน specimens: จิราภา วานิชดิตรัตน์.

เอกสารอ้างอิง

- Andrade, M. F., & Colodette, J. L. (2014). Dissolving pulp production from sugar cane bagasse. *Industrial Crops and Products*, 52(1), 58-64.
- Asta, N., Kaplan, M., Kulachenko, A., Östlund, S., & Wågberg, L. (2024). Influence of density and chemical additives on paper mechanical properties. *Cellulose*, 31(1), 5809–5822.
- Chaiyasart, P., Poolsiri, R., & Haruthaithanasan, M. (2018). Litter decomposition of various bamboo plantations at Royal Agricultural Station Angkhang, Chiang Mai province. *Thai Journal of Forestry*, 37(2), 48-54. (in Thai).
- Chakhatrakan, S., & Promwee, A. (2010). Efficacy of *Trichoderma* spp. isolated from bamboo leaves for controlling damping-off disease of chinese kale caused by *Pythium aphanidermatum*. *Thai Journal of Science and Technology*, 18(1), 1-13. (in Thai).
- Chaudhary, U., Malik, S., Rana, V., & Joshi, G. (2024). Bamboo in the pulp, paper and allied industries. *Advances in Bamboo Science*, 7(1), 100069.
- Chen, G. (2020). An investigation of paper mill sustainable development in Thailand-a case study of Double A Public Company Limited. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 576(1), 012031.
- Chen, Q., Ni, Y., & He, Z. (2012). Substitution of high-yield-pulp for hardwood bleached kraft pulp in paper production and its effect on alkenyl succinic anhydride sizing. *BioResources*, 7(2), 1462-1473.
- Eamchuen, W., Pisuttipiched, S., & Puangsin, B. (2020). Properties of pulp derived from Liang and White Bamboo used in the kraft papermaking industry in Thailand. *Thai Journal of Forestry*, 39(2), 176-184. (in Thai).
- Gruyal, G. A., & Ulbeda, L. O. (2024). Development of bamboo leaf fiber. *Science International-Lahore*, 34(4), 193-195.
- Khantayanuwong, S. (2003). Determination of the effect of recycling treatment on pulp fiber properties by principal component analysis. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 37(2), 219-223.
- Khongtong, S., & Patjun, O. (2013). Developing of water resistance paper by the addition of natural rubber. *Srinakharinwirot Science Journal*, 29(2), 263-273. (in Thai).
- Kongtud, W., Witayakarn, S., & Tantatherdtam, R. (2016). Water resistance improvement of Saa paper by glucomannan. In *The 54th Kasetsart University Annual Conference*, pp. 741-748. Kasetsart University. (in Thai).
- Li, A., Shi, Y., Zhang, J., & Zhang, J. (2021). Comparative analysis of the physical and mechanical properties of kraft paper and watercolor paper. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 23(1), 45.
- Maneewan, S., (2007). Investigation of physical properties of mulberry paper for evaporative cooling system. *Naresuan University Journal*, 15(2), 63-72. (in Thai).
- Maneewan, S., & Yimchang, C. (2007). The study of celpad from mulberry paper for evaporative cooling. *KMUTT Research & Development Journal*, 30(3), 523-536. (in Thai).
- Pacaphol, K., Seraypheap, K., & Aht-Ong, D. (2023). Extraction and silylation of cellulose nanofibers from agricultural bamboo leaf waste for hydrophobic coating on paper. *Journal of Natural Fibers*, 20(1), 2178581.
- Park, N. Y., Ko, Y. C., Melani, L., & Kim, H. J. (2020). Mechanical properties of low-density paper. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 35(1), 61–700.
- Podkumnerd, N., Wunsri, S., & Rattanankit, T. (2019). Product development process of Nipa paper from Nipa palm (*Nypa fruticans* Wurmb.) waste materials for sustainability of palian river basin community. *Journal of Community Development and Life Quality*, 7(3), 271-282. (in Thai).
- Rattanawongkun, P., Kunfong, N., Klayya, S., Chotimarnon, T., Duangphet, S., Tawichai, N., Intatha, U., Soykeabkaew, N. (2020). Comparison of molded pulps from rice straw, pineapple leaf and banana stem pulps. *ScienceAsia*, 46(Suppl.1), 79-84.
- Rodyoo, J., & Chinawong, S. (2015). Isolation and selection of indigenous cellulolytic microorganisms for production of palm oil empty fruit bunches compost. *Thaksin University Journal*, 18(3), 40-48. (in Thai).
- Royal Forest Department. (2025). *Forestry Statistics Data 2024*. Information and Communication Technology Center. (in Thai).
- Sakthirasunthon, A. (2020). The study of properties of palm fiber substitute mixed with waste paper to develop cut-notch press pads for garment. *Journal of Industrial Education*, 14(2), 121-133. (in Thai).
- Sungkaew, W., Yuvanatemiya, V., & Lommetta, K. (2016). Development of paper production and paper products from pith of sedge (*Cyperus colymbosus* Rottb) with natural dyes. *Rajabhat Rambhai Barni Research Journal*, 10(4), 5-13. (in Thai).
- Taikhao, A. (2013). Analysis of the economics of mulberry paper solar dryers. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 7(1), 59-64.
- Tangjitjaroenkit, S., & Padunghon, S. (2020). Color removal of pulp and paper mill industry by a hybrid coagulation and adsorption process. *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, 20(3), 65-73. (in Thai).
- TAPPI. (2006). *Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus)* (T 494 om-06). TAPPI Press.
- TAPPI. (2013). *T 412 om-12: Moisture in Pulp, Paper and Paperboard (Test Method)*. TAPPI Press.

- TAPPI. (2021). **T 494 om-21: Tensile Breaking Properties of Paper and Paperboard (Using Constant Rate of Elongation Apparatus) (Test Method)**. TAPPI Press.
- Tohliebaji, N., Sayoh, I., & Lateh, N. (2022). The production of paper from Krajoed waste mixed with waste paper from the office for community product development. **Pridiyathorn Science Journal**, 1(2), 1-12. (in Thai).
- Tongsawang, A., & Suwannawatanamatee, K. (2022). The improvement of paper properties from banana pulp with carboxymethyl cellulose. **Journal of Applied Research on Science and Technology**, 21(1), 11-21. (in Thai).
- Tripathy, M. K., Kar, M. R., & Pradhan, B. K. (2020). Control of bamboo borer *Dinoderis minutes* Fab infesting Sal, *Shorea robusta* in Odisha, India. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, 8(4), 588-592.
- Vangsirigul, P., Leahpana, N., Sohko, S., Samanman, S., & Wattanayon, R. (2017). Pretreatment of office paper and newspaper by chemical and physicochemical method. **Princess of Naradhiwas University Journal**, 9(2), 113-121.
- Wanishdilokratn, T., & Wanishdilokratn, J. (2024). Physical and mechanical properties of *Dendrocalamus giganteus* from difference zones in Long district, Phrae province, Thailand. **Journal of Bamboo and Rattan**, 23(2), 29-36.
- Wudthisawas, P., & Kongsila, T. (2021). The bamboo management guidelines of Ban Phatub community dwelling surrounding Tham Phatub National Park, Muang District, Nan Province. **Rajabhat Rambhai Barni Research Journal**, 15(3), 46-51. (in Thai).
- Yamauchi, T., & Tanaka, A. (2002). Tearing test for paper using a tensile tester. **Journal of Wood Science**, 48(1), 532-535.
- Zhao, Z., Yang, L., & Chen, X. (2024). Current and future potential distribution of two bamboo pests in China: *Anaka burmensis* and *Cicadella viridis* (Hemiptera, Cicadellidae). **Zookeys**, 1203(1), 197-210.

ทัศนคติ ความคุ้มค่า และข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับการประยุกต์ใช้โดรนเพื่อการเกษตรในประเทศไทย

Attitudes, Cost-Effectiveness, and Policy Recommendations for Agricultural Drone Adoption in Thailand

มนตรี ธนะสิงห์^{1*}, เสวตภรณ์ ตั้งวันเจริญ² และธณอมพรรณ ทริวนิชชากร¹
Montri Thanasing^{1*}, Sawettaporn Tangwancharoen² and Thanomphan Triwanitchakorn¹

Received date: 8 ส.ค. 68 Revised date: 6 ต.ค. 68 Accepted date: 17 ต.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.268715>

บทคัดย่อ

อากาศยานไร้คนขับ (UAV) หรือโดรน ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการยกระดับเกษตรกรรมไทย โดยเฉพาะในยุคที่ภาคการเกษตรต้องเผชิญกับปัญหาขาดแคลนแรงงาน ต้นทุนสูง และความเสี่ยงจากสารเคมี บทความวิชาการนี้มุ่งศึกษาทัศนคติของเกษตรกรไทยที่มีต่อการใช้โดรนเพื่อการเกษตร รวมถึงการประเมินความคุ้มค่า และข้อเสนอแนะเชิงนโยบายเพื่อสนับสนุนการนำเทคโนโลยีดังกล่าวไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน โดยรวบรวมผลงานวิจัยเกี่ยวกับทัศนคติการยอมรับของเกษตรกรในประเทศไทยและผลจากการใช้เทคโนโลยีโดรนเพื่อการเกษตรที่เผยแพร่ในฐานข้อมูลงานวิจัย ผลจากการศึกษาเชิงสำรวจที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าเกษตรกรมีทัศนคติเชิงบวกต่อการใช้โดรนโดยมีการยอมรับระดับสูงในทัศนคติต่อการรับรู้ประโยชน์และรับรู้ความง่ายต่อการใช้เทคโนโลยี อย่างไรก็ตาม ยังพบข้อกังวลด้านต้นทุนการลงทุน ความซับซ้อนในการใช้งาน และข้อจำกัดด้านกฎหมาย การวิเคราะห์ความคุ้มค่าชี้ว่าเจ้าของโดรนที่ใช้เพื่อการผลิตและรับจ้างสามารถได้รับผลตอบแทนที่คุ้มค่าเนื่องจากเป็นเกษตรกรรายย่อยที่มีการรวมกลุ่มกันภายใต้โครงการแปลงใหญ่ บทความเสนอแนะทางนโยบายในการสนับสนุนทั้งด้านการเงิน การอบรม การเข้าถึงเทคโนโลยี และการปรับปรุงกฎหมาย เพื่อส่งเสริมการขยายตัวของเกษตรกรรมแม่นยำในประเทศไทย

คำสำคัญ: โดรนเพื่อการเกษตร นวัตกรรมเกษตร ทัศนคติ ความคุ้มค่า ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

Abstract

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), or drones, have emerged as a key innovation in enhancing Thai agriculture amid challenges such as labor shortages, rising production costs, and health risks from agrochemical exposure. This review explores Thai farmers' attitudes toward agricultural drones, assesses their cost-effectiveness, and proposes policy recommendations to facilitate efficient and sustainable adoption by compiling research results on farmers' acceptance attitudes and the outcomes of using drone technology for agriculture, which have been published in research databases. Results from previous survey studies have shown that farmers have positive attitudes towards drone use, with high levels of acceptance in attitudes towards perceived usefulness and perceived ease of use of technology. However, concerns remain regarding high initial investment, operational complexity, and regulatory constraints. Cost-benefit analyses indicate that owning drones, especially when used for both personal and commercial purposes, can yield significant economic returns as they are smallholder farmers grouped together under a large-scale project. This article concludes with policy recommendations addressing financial support, farmer training, legal reform, and technology access to promote the broader adoption of precision agriculture in Thailand.

Keywords: agricultural drone, agricultural innovation, attitudes, cost-effectiveness, policy recommendations

¹ สาขาเกษตรศาสตร์การพัฒนากุณิภาค คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34000

² สาขาวิชาสังคมศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34000

¹ Program in Regional Development, Faculty of Humanity and Social Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani 34000

² Social Studies Program, Faculty of Education, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani 34000

* Corresponding author: montrithanasing@gmail.com

คำนำ

เกษตรกรรมเป็นแหล่งผลิตอาหารหลักของโลกและเป็นเสาหลักทางเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยมีพื้นที่เพาะปลูกมากถึง 147.7 ล้านไร่ (Office of Agricultural Economics, 2023) อย่างไรก็ตาม การเกษตรแบบดั้งเดิมซึ่งพึ่งพาแรงงานจำนวนมากใช้เวลานาน และต้องสัมผัสสารเคมีอันตรายโดยตรง กำลังเผชิญข้อจำกัดที่สำคัญ ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างประชากรในภาคเกษตรที่มีแนวโน้มเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ การขาดแคลนแรงงานในวัยทำงาน ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น ตลอดจนผลกระทบทางสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อตอบสนองต่อปัญหาดังกล่าว เทคโนโลยีสมัยใหม่จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการยกระดับการทำเกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) หรือ "โดรน" ซึ่งเป็นนวัตกรรมที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดข้อจำกัดของการเกษตรแบบดั้งเดิม ด้วยศักยภาพในการทำงานเชิงพื้นที่อย่างแม่นยำ โดรนสามารถนำมาใช้ในงานเกษตรกรรมหลายด้าน ได้แก่ การหว่านเมล็ด ฝ่นปุ๋ย ฝ่นสารเคมี การติดตามการเจริญเติบโตของพืช การประเมินสุขภาพของพืชผล และการวิเคราะห์สภาพพื้นที่เพาะปลูก (Sampaothong and Punyawattoe, 2024) การใช้โดรนสามารถช่วยลดเวลาและการใช้จำนวนแรงงานน้อยลงได้อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังสามารถประมวลผลข้อมูลด้วยกล้องและเซนเซอร์ ทำให้สามารถตรวจสอบจุดที่มีปัญหา เช่น จุดขาดน้ำ การระบาดของศัตรูพืช หรือความเสื่อมโทรมของดินได้อย่างแม่นยำ (Phrommas and Chaiwong, 2021) ส่งผลให้เกิดแนวทางใหม่ของ “เกษตรแม่นยำสูง (Precision agriculture)” ซึ่งมุ่งเน้นการเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุน และสนับสนุนการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน นอกจากนี้ นวัตกรรมโดรนยังมีบทบาทที่กว้างขวางในภาคส่วนอื่น ๆ ของสังคม ทั้งด้านพาณิชย์ อุตสาหกรรม และความมั่นคง โดยส่งผลทั้งในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และนโยบายระดับประเทศ ตัวอย่างเช่น การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมศัตรูพืชด้วยวิธีการสมัยใหม่ และการลดความเสียหายจากศัตรูพืชได้อย่างรวดเร็ว (Punyawattoe et al., 2019) โดรนจึงกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในกระบวนการผลิตทางการเกษตรยุคใหม่

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเกี่ยวกับทัศนคติและความคุ้มค่าของการใช้โดรนทางการเกษตรในประเทศไทยยังมีจำนวนจำกัด และยังไม่ครอบคลุมการปลูกพืชหลากหลายประเภท ทำให้ยังไม่สามารถประเมินผลตอบแทนที่แท้จริงได้อย่างชัดเจน บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับทัศนคติที่เป็นผลพวงที่เกิดขึ้นมาจากการได้รับรู้ข้อมูลมาก่อนของเกษตรกรและผู้เกี่ยวข้องต่อการใช้โดรนทางการเกษตร ประเมินความคุ้มค่าในการใช้งานจริง และรวบรวมข้อเสนอเชิงนโยบายจากงานวิจัย โดยรวบรวมผลการศึกษาที่เผยแพร่ในฐานข้อมูลวารสารไทย (Thai Citation Index, TCI) และ Scopus รายงานการวิจัยและวิทยานิพนธ์ เกี่ยวกับทัศนคติการยอมรับและผลการใช้เทคโนโลยีโดรนเพื่อการเกษตร รวมถึงความคิดเห็นจากเกษตรกรที่มีส่วนร่วมในงานวิจัยสรุปใน Table 1 และ Table 2 ที่เป็นข้อมูลหลักในบทความนี้ เพื่อส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวอย่างกว้างขวาง มีประสิทธิภาพ และปลอดภัยในบริบทของประเทศไทย บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอข้อมูลการยอมรับในนวัตกรรมโดรนเกษตร การตัดสินใจใช้ ข้อกังวลของเกษตรกร รวมถึงความคุ้มค่าจากการใช้งานนวัตกรรม เป็นแนวทางการพัฒนาปรับปรุงนวัตกรรมของทั้งภาครัฐกิจ และนักวิจัยพัฒนาเพื่อลดข้อกังวลของเกษตรกร รวมถึงการกำหนดนโยบายและงบประมาณสนับสนุนเกษตรกรจากหน่วยงานรัฐ

ทัศนคติการยอมรับเทคโนโลยีต่อการใช้โดรนเพื่อการเกษตร

การยอมรับเทคโนโลยีการใช้โดรนเพื่อการเกษตรเป็นกระบวนการรับรู้เทคโนโลยีโดยผ่านการสื่อสารถึงประโยชน์ที่จะได้รับ (Perceived Usefulness) ว่าโดรนเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยประหยัดเวลา แรงงาน เลี่ยงการสัมผัสสารเคมี และรับรู้ความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use) คือเป็นเทคโนโลยีที่ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ในขณะที่ทัศนคติการยอมรับในเทคโนโลยีคือระดับความรู้สึก ความคิดเห็นที่ผ่านกระบวนการรับรู้และประเมินเทคโนโลยีนั้น นำไปสู่การตั้งใจใช้และตัดสินใจใช้หรือไม่ใช้เทคโนโลยี (Thila and Oottamakorn, 2024) การศึกษาส่วนใหญ่ได้ดัดแปลงจากแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM) ของ Davis (1989) จากผลการศึกษาทัศนคติการยอมรับโดรนในการเกษตรชี้ให้เห็นทัศนคติในเชิงบวกในกลุ่มเกษตรกรเกี่ยวกับความปลอดภัยและประโยชน์ของโดรนทางการเกษตรดังแสดงใน Table 1 การศึกษาเชิงสำรวจที่ผ่านมา เกษตรกรให้คะแนนระดับสูงในการรับรู้ประโยชน์ และความง่ายในการใช้เทคโนโลยี ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีและข้อกังวลที่ทำให้เกษตรกรไทยยังไม่มั่นใจในการนำมาใช้ เกษตรกรมีความคิดเห็นตรงกันว่าเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการเกษตร มีความปลอดภัย สามารถป้องกันอันตรายจากการสัมผัสสารเคมีโดยตรงและมองเห็นประโยชน์ที่เกิดจากการเพิ่มประสิทธิภาพงานเกษตรกรรม (Assavakul et al., 2022; Thila and Oottamakorn, 2024; Wajasuwan and Wongsansukcharoen, 2022; Soyvana et al., 2022) ในขณะที่ ยังมีทัศนคติไม่ตรงกันในกลุ่มตัวอย่างว่าการใช้โดรนเป็นเรื่องง่าย สามารถใช้งานและดูแลได้ง่าย และการตัดสินใจซื้อเพื่อนำมาใช้งาน ทั้งนี้ กลุ่มที่มีทัศนคติว่าการใช้โดรนเป็นเรื่องซับซ้อนเป็นกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยตามรายงานของ Charoenwikkai and Polnok (2023) และ Wongwai (2025) จึงจะเห็นได้ว่า การรับรู้ขึ้นอยู่กับภาระปลูกพืชของเกษตรกรในแต่ละคน ความเหมาะสมของการใช้โดรนในแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้ การอบรมหรือให้

ความรู้เป็นการสร้างการรับรู้ความง่ายในการใช้โดรน ส่งผลเชิงบวกต่อการรับรู้ประโยชน์และมีผลต่อทัศนคติต่อการใช้งาน และทัศนคติต่อการใช้งานมีอิทธิพลเชิงบวกต่อการตัดสินใจใช้งานจริง (Wajasuwan and Wongsansukcharoen, 2022; Thila and Oottamakorn, 2024) ยังพบว่าการได้ทดลองใช้มีอิทธิพลทางสังคมต่อทัศนคติ โดยมีปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อความต้องการใช้โดรนมากที่สุดได้แก่ ราคา เงื่อนไขที่อำนวยความสะดวก กฎหมายและความรู้ในการใช้โดรน (Thila and Oottamakorn, 2024)

ทัศนคติและการยอมรับในเทคโนโลยีโดรนดัง Table 1 สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อการวางแผนการตลาดของตัวแทนจำหน่ายโดรนในการเข้าถึงเกษตรกรและปรับแนวทางให้ได้รับการยอมรับจากกลุ่มเกษตรกร บ่งชี้ว่าการส่งเสริมให้ใช้โดรนในการเกษตรสามารถทำได้ในเกษตรกรทุกกลุ่มที่มีความพร้อมและเหมาะสม แต่ในขณะเดียวกัน ควรคำนึงถึงการศึกษาของเกษตรกร ซึ่งส่วนใหญ่ต่ำกว่าระดับปริญญาตรีทำให้อาจเป็นอุปสรรคในการเข้าใจคู่มือการใช้และเทคนิคที่ซับซ้อนของการควบคุมและดูแลรักษาโดรน (Assavakul et al., 2022; Suvittawat, 2024)

ความคุ้มค่าของโดรนในการเกษตร

จากหลายการศึกษาในเกษตรกรหลายพื้นที่ ข้อมูลการใช้โดรนและความคุ้มค่า (Table 2) พบว่า เกษตรกรที่เป็นเจ้าของโดรนจะได้รับความคุ้มค่าจากการใช้งานในเงื่อนไขที่เจ้าของใช้งานเองและรับจ้างบินควบคู่กันไป (Piyamada and Saraithong, 2023) โดยรายละเอียดในการศึกษานี้ ความคุ้มค่าที่เจ้าของโดรนได้ผลประโยชน์ 1.76 เท่าของต้นทุนนั้น ศึกษาที่บนาข้าวพื้นที่ 40 ไร่ อัตราดอกเบี้ยธนาคารร้อยละ 5.88 มีตัวแทนจำหน่ายให้คำแนะนำ พร้อมทั้งคำนวณความผันแปรของต้นทุนและผลประโยชน์อย่างใกล้ชิด ปัจจัยเหล่านี้จึงควรถูกนำมาพิจารณาในการตัดสินใจ อย่างไรก็ตาม ความคุ้มค่าของเกษตรกรแต่ละรายต้องประเมินตามบริบท อาทิ พื้นที่เพาะปลูก ชนิดพืชที่ปลูกและลักษณะการใช้งานโดรน นอกจากนี้ การเป็นเจ้าของที่นาแปลงใหญ่หรือการรวมเป็นกลุ่มเกษตรกรก็จะได้รับความคุ้มค่าจากการเป็นเจ้าของโดรน (Suvittawat, 2024; Thongpan and Intarat, 2025) ในกลุ่มเกษตรกรผู้ว่าจ้างหรือเช่าโดรนมาใช้ในกิจกรรมการเกษตรให้ความเห็นว่าได้รับความคุ้มค่าจากการจ้างเนื่องจากประหยัดเวลา ค่าใช้จ่ายและสะดวกสบาย (Leelawanich, 2022; Thongpan and Intarat, 2025) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับค่าบริการและลักษณะกิจกรรมการเกษตรของแต่ละพื้นที่โดยค่าเช่าที่รับได้อยู่ในช่วง 80-100 บาท/ไร่หรือ 800-4500 บาท/ครั้ง (Leelawanich, 2022; Suvittawat, 2024) เหตุผลหลักที่ใช้โดรนคือทดแทนแรงงาน ลดค่าแรง เพื่อความสะดวกและลดการสัมผัสสารเคมีอันตราย (Thongpan and Intarat, 2025; Suvittawat, 2024)

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตจากการใช้โดรนช่วยให้เพิ่มผลผลิตนั้น พบความแตกต่างจากการศึกษาของ Piyamada and Saraithong (2023) เท่านั้น ได้แสดงผลเปรียบเทียบรายได้จากการขายข้าวเมื่อใช้โดรนพ่นสารเคมีอยู่ที่ 229,200 บาท ซึ่งสูงกว่ารายได้จากการขายข้าวเมื่อใช้แรงงานคนที่ได้ 191,000 บาท (Piyamada and Saraithong, 2023) อีกทางหนึ่ง ประสิทธิภาพที่เพิ่มจากการลดต้นทุนนั้นมีรายงานมากกว่า โดยลดค่าแรง ลดเวลาการทำงานและลดการใช้น้ำผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (Leelawanich, 2022; Piyamada and Saraithong, 2023; Punyawattoe et al., 2019; Thongpan and Intarat, 2025; Koondae et al., 2022) ทั้งนี้ ไม่รวมการลดค่าใช้จ่ายแฝงทางสุขภาพจากการปนเปื้อนสารเคมีอันตรายที่ยังไม่มีการศึกษาซึ่งเป็นเรื่องที่ยากในการเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงทางด้านสุขภาพของเกษตรกรที่ต้องใช้เวลานาน และมีปัจจัยแทรกหลายปัจจัย ดังนั้น การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตรทั้งการเพิ่มรายได้หรือเพิ่มผลผลิตและการลดต้นทุนการผลิตนั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมอย่างกว้างขวาง

ดังจะเห็นได้ว่าการศึกษาความคุ้มค่าของการใช้งานโดรนที่ใช้ในงานเกษตรมีการใช้ในกลุ่มผู้ปลูกข้าวและอ้อยเท่านั้น ในขณะที่พืชเศรษฐกิจของไทยยังมีพืชชนิดอื่นที่ปลูกเป็นพื้นที่กว้างทั้งพืชไร่ อาทิ ข้าวโพด มันสำปะหลัง ถั่วเหลือง พืชผัก พืชสวน และไม้ยืนต้น อาทิ ไม้ผลและยางพาราที่ต้องพบอุปสรรคสำคัญคือไม้สูงเป็นสิ่งที่กีดขวาง นอกจากนี้ ยังสามารถใช้โดรนช่วยสร้างแบบจำลองเพื่อคำนวณดัชนีพืชพันธุ์และวัดความสูงของพืชเพื่อประเมินการเจริญเติบโต อารักขาพืชจากโรคและแมลง และพยากรณ์ผลผลิตได้แม่นยำไม่แตกต่างจากการเดินวัดในแปลงปลูก (Loungmoon and Onpraphai, 2021; Sampaothong and Punyawattoe, 2024) ดังนั้น จะพบว่าโดรนสามารถใช้ในกิจกรรมการเพาะปลูกที่หลากหลายและประยุกต์ได้กับพืชหลายชนิด การประเมินความคุ้มค่าหรือความคุ้มค่าของการใช้โดรนในกิจกรรมดังกล่าวจึงควรมีการศึกษามากขึ้น เพื่อให้เกิดการพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้โดรนในการเกษตร (Thongpan and Intarat, 2025)

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

การต่อยอดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและได้รับผลตอบแทนในการใช้โดรน ในปัจจุบัน มีนโยบายส่งเสริมและสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐรวมถึงสถาบันการเงิน จากข้อมูลข้างต้น ปัจจัยด้านราคาเป็นอิทธิพลภายนอกที่สำคัญในการตัดสินใจเนื่องจากการใช้โดรนทำให้ต้นทุนการผลิตที่เป็นต้นทุนคงที่เพิ่มขึ้นมากกว่าสองแสนบาทในกรณีโดรนพ่นสารเคมีขนาด 10 - 17 ลิตร (Piyamada and Saraithong, 2023) เกษตรกรจึงควรได้เข้าถึงการสนับสนุนทางการเงิน เช่น เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำหรือเงินอุดหนุนสำหรับการลงทุนเริ่มต้น ยิ่งไปกว่านี้ การขยายพื้นที่ส่งเสริมและสนับสนุนเกษตรกรให้จัดตั้งกลุ่มเกษตรกรขนาดใหญ่ (แปลงใหญ่) เพื่อให้การใช้โดรนมีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากขึ้น (Assavakul et al., 2022; Piyamada and Saraithong, 2023) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาถึงพื้นที่เพาะปลูกขนาดเล็กที่มีอยู่อย่างแพร่หลายจึงช่วยในเรื่องการใช้ทรัพยากรร่วมกัน เช่น เครื่องจักร และการเจรจาต่อรองร่วมกันเพื่อความได้เปรียบด้านปัจจัยการผลิต อีกหน้าที่หนึ่ง โดรนยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในภาพรวม ตัวอย่างเช่น การใช้โดรนเพื่อสำรวจพื้นที่ ถ่ายภาพ ตรวจสอบพื้นที่เพื่อการวางแผนจัดการที่ดินและทรัพยากรที่เหมาะสมซึ่งเกษตรกรและชุมชนควรได้มีส่วนร่วมกับผู้เชี่ยวชาญและหน่วยงานที่ดูแล (Phrommas and Chaivong, 2021) ทำแผนที่และการสำรวจทางอากาศ เพื่อช่วยชุมชนในการจัดการการใช้ที่ดิน การวางแผนระบบชลประทาน และการติดตามการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ เช่น การขาดแคลนน้ำ ความเสื่อมโทรมของดิน และการบุกรุกพื้นที่ป่าช่วยจัดการวางแผนในระดับชุมชนหรือภูมิภาคได้ นอกจากนี้ โดรนยังถูกติดตั้งซอฟต์แวร์สำหรับตรวจสอบ อารักขาพืชโดยการตรวจจับภาวะโรคพืช สามารถป้องกันการระบาดในวงกว้างช่วยลดความเสียหายจากโรค (Sampaonthong and Punyawattoe, 2024) สุดท้าย การส่งเสริมการทำเกษตรกรรมด้วยการเพิ่มความเข้าใจและการยอมรับของเกษตรกรเกี่ยวกับเทคโนโลยีใหม่ๆ โดยบูรณาการเทคโนโลยีโดรนเข้ากับกลยุทธ์การพัฒนาการเกษตรระดับชาติ เช่น โครงการ “เกษตรกรอัจฉริยะ” และประเทศไทย 4.0 ซึ่งหน่วยงานภาครัฐได้ส่งเสริมอย่างจริงจังมาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว รวมถึงการนำเสนอเทคโนโลยีอื่นที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มเกษตรกรที่ไม่จำเป็นต้องใช้โดรนให้ได้รับการส่งเสริมเกษตรกรรมที่หลากหลาย (เช่น การทำเกษตรผสมผสาน) และการเพิ่มมูลค่าผลผลิต เพื่อลดการพึ่งพาพืชผลชนิดเดียวและความผันผวนของตลาด นอกจากนี้ยังช่วยให้มั่นใจได้ถึงรายได้และความมั่นคงทางอาหารตลอดทั้งปี (Aierken et al., 2024; Nantasarn et al., 2021)

หน่วยงานภาครัฐยังสามารถประสานงานกับภาคเอกชนเพื่อส่งเสริมการฝึกอบรมอย่างต่อเนื่อง ดำเนินการตามโปรแกรมการฝึกอบรมการใช้ การทำกิจกรรมก่อนบิน เทคนิคการผสมและการใช้สารเคมี การปฏิบัติหลังการบิน การดูแลรักษาและการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นอย่างถูกต้องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน (Thongpan and Intarat, 2025) เนื้อหาการฝึกอบรมควรปรับให้เหมาะสมกับความรู้และประสบการณ์ที่มีอยู่ของเกษตรกร โดยเริ่มจากความรู้พื้นฐานของการใช้โดรนไปสู่การปฏิบัติจริง ซึ่งรวมถึงทักษะเชิงปฏิบัติ เช่น การทำแผนที่พื้นที่เพาะปลูก การวางแผนเส้นทางการบิน และการทำความเข้าใจทิศทางลม รวมถึงผลักดันให้ตัวแทนจำหน่ายช่วยลดอุปสรรคด้านภาษาสำหรับโดรนที่ผลิตจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนหรือจากต่างประเทศโดยให้คำแนะนำและซอฟต์แวร์เป็นภาษาไทย นอกจากนี้ ยังควรเพิ่มการเข้าถึงองค์ความรู้และแนวปฏิบัติที่ดีผ่านช่องทางการสื่อสารออนไลน์ต่างๆ เช่น Line, Facebook, YouTube เนื่องจากเกษตรกรจำนวนมากใช้ช่องทางเหล่านี้เพื่อการเรียนรู้อยู่แล้ว และในพื้นที่ที่มีศักยภาพ ควรส่งเสริมการจัดตั้งศูนย์บริการกลางสำหรับการซ่อมแซมโดรน การบำรุงรักษา และการให้คำปรึกษาด้านเทคนิค โดยเฉพาะปัญหาต่างๆ เช่น แบตเตอรี่เสื่อมสภาพหรือการสึกหรอทั่วไปซึ่งเป็นเงื่อนไขข้อหนึ่งของการตัดสินใจซื้อโดรนของเกษตรกร (Assavakul et al., 2022; Thila and Oottamakorn, 2024; Thongpan and Intarat, 2025)

Table 1 Attitudes and acceptance toward agricultural drones: Summary of survey-based studies

Population / Area / N	Acceptance level					Negative attitudes	Reference
	Technology / innovation	Ease of use	Perceived benefits	Intent to use	Others		
Farmers, agricultural entrepreneurs / Central Region / 385	High						(Wajasuwan and Wongsansukchar oen, 2022)
Large-rice field farmers, agricultural entrepreneurs / Mahasarakarm Province / 385	High	High	High	High			(Assavakul et al., 2022)
Large-rice field farmers / Pathum Thani Province / 329	High	High	High		Attitude: High		(Thila and Oottamakorn, 2024)
Sugarcane farmers / Kamphaeng Phet Province / 288				Very low	Reduce working time: Very high	Difficult to use: High	(Charoenwikkai, 2023)
Sugarcane farmers / Udon Thani Province / 344	High		Moderate			Complicated knowledge: Moderate	(Wongwai, 2025)
Rice farmers / Central Region / 200					Safety attitude: High		(Jirathamawatt et al., 2025)
Rice farmers / Chiang Mai Province/ 240	High	Moderate					(Soyyana et al., 2022)

Table 2 Utilization and economic value of agricultural drones: Summary of empirical studies

Method / Population / Area / N	Ownership	Use / month	Value	Challenges / Drawbacks	Reference
Questionnaire / Farmers, agricultural entrepreneurs / Central Region / 385	Renter	5			(Wajasuwan and Wongsansukcharoen, 2022)
Cost-benefit analysis / Rice farmers / Surin Province / 3	owner	-	Benefit/cost ratio = 1.76 Internal rate of return 72.6% Payback period in 1 year, 1.5 month ↓ Production cost ↓ Labor time ↓ Chemical exposure ↑ Total benefit ↑ Net present value	↑ fixed cost	(Piyamada and Saraithong, 2023)
Interview / mega-farm enterprises / Suphan Buri Province / 48	8 owners	-		Problems: Obstructive trees, weather dependence, reliance on suppliers, limited cost-effectiveness	(Thongpan and Intarat, 2025)
	40 renters		↓ Labor cost ↓ Labor time		
Questionnaire / Farmers / Central Region / 100	-	-	Usage factors: Labor cost reduction, convenience, chemical safety, reduced hazard exposure		(Leelawanich, 2022)
Questionnaire / Farmers who use drone / All area of Thailand / 400	-	2	Usage factors: Convenience, reduced labor time, minimized hazardous exposure		(Suvittawat, 2024)
Field studies UAVs' spray vs normal spray application method / Rice field / Suphan Buri and Chainat Provinces / -			↓ Labor time ↔ Disease control efficacy ↔ Spray deposition	↑ Drift deposition on the ground	(Punyawattoe et al, 2019)

Table 2 Utilization and economic value of agricultural drones: Summary of empirical studies (continuous)

Method / Population / Area / N	Ownership	Use / month	Value	Challenges / Drawbacks	Reference
Field studies UAVs' spray vs boom and backpack spray / 25 rai sugarcane field / Khon Kaen Province / -			↓ Labor time vs backpack ↔ sugarcane high No tramping in the field Turning in the head/end field is programmed, no confusion in next working row	Turning in the head/end fields must not have any trees or obstructions.	(Koondee et al, 2022)

- = data not available; ↑ = Increase or improvement; ↓ = Decrease or reduction; ↔ = no significant difference

การปรับปรุงกฎหมายและข้อบังคับให้เอื้อต่อการเข้าถึงของเกษตรกรเป็นอีกงานหนึ่งที่รัฐจะช่วยลดความคลุมเครือทางกฎหมายและข้อจำกัดที่มีอยู่เกี่ยวกับการใช้งานโดรน (เช่น ใบอนุญาตการบิน การประกันภัย เพดานการบิน และขนาดของโดรน) จำเป็นต้องมีการแยกแยะความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างการใช้โดรนในงานประชาสัมพันธ์เชิงท่องเที่ยวเกี่ยวกับโดรนเพื่อการเกษตร เพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินการเชิงพาณิชย์

จากการขาดแคลนข้อมูลการศึกษาเกี่ยวกับทัศนคติและการใช้งานโดรนเพื่องานเกษตร พบว่ามีการศึกษาดังกล่าวทำในพื้นที่ภาคกลางและอีสานเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอาจมีการใช้แพร่หลายเนื่องจากปัจจัยสภาพภูมิศาสตร์ที่เป็นที่ราบแปลงใหญ่ อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ราบภาคเหนือและใต้ก็ยังมีพื้นที่กว้างขวางเหมาะกับการประยุกต์นวัตกรรมโดรนในกิจกรรมการเกษตรได้ เพราะมีความแตกต่าง เช่น พื้นที่เพาะปลูก ค่าจ้างแรงงาน / จำนวนแรงงานในพื้นที่ ต้นทุนการผลิตที่แตกต่างกัน และชนิดพืชเศรษฐกิจที่เกษตรกรเพาะปลูก การวิจัยเพิ่มเติมควรขยายให้ครอบคลุมทุกภูมิภาครวมถึงพืชผลต่างๆ การพัฒนานวัตกรรมโดรนให้เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นที่ที่กว้างขวางรวมถึงเจาะลึกการประยุกต์ใช้มากขึ้น นอกจากนี้ การศึกษาควรเจาะลึกถึงมิติทางสังคม ประเพณีงาน และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการนำโดรนมาใช้และผลกระทบ รวมถึงการใช้งานฟังก์ชันใหม่ในอนาคตที่ยังต้องพัฒนาให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นสำหรับโดรนทางการเกษตร นอกเหนือจากการพ่นยา เช่น การหว่านเมล็ด การตรวจจับศัตรูพืช การตรวจติดตามสุขภาพพืชผล และแม้แต่ระบบเตือนภัยภัยพิบัติ

สรุป

การบูรณาการเทคโนโลยีโดรนเพื่อการเกษตรถือเป็นแนวทางที่มีแนวโน้มดีในการปรับปรุงภาคการเกษตรของไทยให้ทันสมัย จากการศึกษที่ผ่านมา เกษตรกรมีทัศนคติการยอมรับในเชิงบวกต่อโดรน โดยตระหนักถึงประโยชน์ของโดรนในการประหยัดเวลา แรงงาน และต้นทุน ดังจะเห็นได้จากผลตอบแทนทางการเงินที่เป็นบวก อย่างไรก็ตาม เกษตรกรที่เป็นเจ้าของโดรนยังมีจำนวนน้อยใช้งานโดรนเฉพาะในงานพ่นสารเคมีเกษตร และเกษตรกรบางกลุ่มยังมีข้อกังวลเรื่องความคุ้มค่าและความซับซ้อนในการใช้งานทำให้ยังไม่ตัดสินใจลงทุน ดังนั้น การส่งเสริมเกษตรกรให้ได้รับประโยชน์อย่างยั่งยืนจากการใช้งานโดรนต้องอาศัยการสนับสนุนนโยบายที่ครอบคลุม รวมถึงความช่วยเหลือทางการเงินและการอบรมการกำกับดูแลที่ชัดเจน สิ่งสำคัญคือ การศึกษาต่อเนื่องการพัฒนาทักษะ และการส่งเสริมรูปแบบการทำเกษตรแบบร่วมมือกันถือเป็นสิ่งจำเป็นในการเสริมศักยภาพให้เกษตรกรสามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีเชิงนวัตกรรมนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ปรับปรุงคุณภาพชีวิตของเกษตรกร และรับประกันความมั่นคงทางอาหารในระยะยาว

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปแนวคิด: มนตรี ธนะสิงห์. กำหนดแนวคิด ตรวจสอบ แก้ไข: เสวตาภรณ์ ตั้งวันเจริญ, ถนอมพรรณ ตรีวนิชชาภรณ์.

เอกสารอ้างอิง

- Aierken, N., Yang, B., Li, Y., Jiang, P., Pan, G., & Li, S. (2024). A review of unmanned aerial vehicle based remote sensing and machine learning for cotton crop growth monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 227(2), 109601. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109601>.
- Assavakul, S., Savithi, C., & Khantong, S. (2022). Factors influencing the adoption of small unmanned aerial vehicles (drones) in large fields of agriculture case study of large rice fields agriculture in Maha Sarakham province. *The Journal of Development Administration Research*, 12(4), 786–798. (in Thai).
- Charoenwikkai, P., & Polnok, A. (2023). **Factors for Acceptance of Drone Technology for Spraying Herbicides in Sugarcane Fields LanKrabue District Kamphaeng Phet Province**. Master's Thesis. Naresuan University. (in Thai).
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>.
- Jirathamawat, N., Mansanguan, P., Chookiatyot, C., & Charoensook, C. (2025). Attitudes and awareness regarding safety of using unmanned agricultural aircraft. *Administrative Journal for Local Development*, 4(1), 57–70. <https://doi.org/10.14456/ajfld.2025.5>. (in Thai).
- Koondee, P., Saengprachathanarug, K., Wongpichet, S., Wongphati, M., Ungsathittavorn, K., Pilawut, S., Phuphaphud A., Panduangnate, L., & Nodthaisong, C. (2022). A study of working time and obstacles on foliar fertilizer spraying in sugarcane fields using drones, tractors and humans. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 50(4), 1083-1096. (in Thai).
- Leelawanich, K. (2022). **A Business Plan for Agricultural Technology Service Provider in the Central Region**. Master's Thesis. Thammasat University. (in Thai).
- Loungmoon, P., & Onpraphai, T. (2021). Rice yield estimation with vegetation index using multispectral imagery from unmanned aerial vehicle. *Journal of Agricultural*, 37(2), 193–205. (in Thai).
- Nantasarn, M., Sittbisuntikul, K., & Nunthasen, W. (2021). The efficiency measurement of farm productive of young farmers Maha Sarakham Province. *Prawarun Agricultural Journal*, 18(1), 95–103. <https://doi.org/10.14456/paj.2021.12>. (in Thai).
- Phrommas, R., & Chaiwong, C. (2021). Application of unmanned aerial vehicle (UAV) for land use monitoring and mapping in Maechaem district with community participation. *Journal of Communication Arts Review*, 25(2), 110–125. (in Thai).
- Piyamada, V., & Saraithong, W. (2023). Cost and benefit analysis of drone technology for rice farming in Nanongphai Chumphonburi, Surin. *Journal of Social Science Panyapat*, 5(3), 395–408. (in Thai).
- Punyawattoe, P., Sutjaritthammajariyangkun, W., Chaiyasing, N., & Supornsin, S. (2019). The efficacy of the unmanned aerial vehicle (UAV) for controlling rice dirty panicle disease. *Thai Agricultural Research Journal*, 37(1), 27–36. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics. (2023). **Agricultural Statistics of Thailand 2023**. Ministry of Agricultural and Cooperatives. (in Thai).
- Sampaonthong, S., & Punyawattoe, P. (2024). The application of blockchain technology with unmanned aerial vehicles (UAVs) for plant protection in Thailand. *Journal of Arts Management*, 8(2), 459–478. (in Thai).
- Soyyana, A., Chaovanapoonphol, Y., & Saeliw K. (2022) Farmer's adoption of drone technology for spraying chemicals in Sankamphaeng district, Chiang Mai province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 50(Suppl. 1), 385-391. (in Thai).
- Suvittawat, A. (2024). Investigating farmers' perceptions of drone technology in Thailand: exploring expectations, product quality, perceived value, and adoption in agriculture. *Agriculture*, 14(12), 2183.
- Thila, S., & Oottamakorn, C. (2024). Factors influencing the adoption of drones for rice farming among large-scale rice farmers, Phatum Thani. *Journal of Social Innovation and Mass Communication Technology*, 7(2), 40–53. <https://doi.org/10.14456/jsmt.2024.13>. (in Thai).
- Thongpan, S., & Intarat, K. (2025). Lessons learned of using drone for agriculture: A case study of mega farm enterprises in Suphan Buri Province. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 43(3), 373– 83. <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.16.006>. (in Thai).
- Wajasuwan, T., & Wongsansukcharoen, J. (2022). Acceptance of technology and innovation affecting the intention of using drone for agriculture in the agricultural industry. *Panyapiwat Journal*, 14(1), 143–157. (in Thai).
- Wongwai, K. (2025). Approval for spraying herbicides on sugarcane fields by unmanned aerial vehicles (drones) in Kumphawapi district, Udon Thani province. *Prawarun Agricultural Journal*, 22(1), 1–10. <https://doi.org/10.14456/paj.2025.1>. (in Thai).

ความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนและปริมาณไมโครซิสตินในแหล่งน้ำบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง : การประเมินความเป็นพิษในช่วงฤดูร้อน

Biodiversity of Plankton and Microcystin Concentrations in Water Sources at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang: A Summer Season Toxicity Assessment

อรัทัย เพ็งโตวงศ์^{1*} และสุนีรัตน์ เรืองสมบุญ¹Oratai Pengtowong^{1*} and Suneerat Ruangsomboon¹

Received date: 25 ก.ค. 68 Revised date: 25 ก.ย. 68 Accepted date: 22 ต.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.268433>

บทคัดย่อ

การศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนและปริมาณพิษไมโครซิสตินในแหล่งน้ำบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังช่วงฤดูร้อน เพื่อประเมินความหลากหลายและผลกระทบที่อาจมีต่อผู้สัมผัสหรือใช้น้ำ เก็บตัวอย่าง 10 สถานี เดือนละ 1 ครั้ง พบแพลงก์ตอนพืช 3 ดิวิชัน 6 คลาส 64 สกุล 92 สปีชีส์ ดิวิชัน Chlorophyta มีความหลากหลายมากที่สุด (31 สกุล 74 สปีชีส์) คลาส Cyanophyceae มีปริมาณมากที่สุด ($0.14-374.78 \times 10^4$ units/L) สกุลที่มีปริมาณมากที่สุดคือ *Chroococcus* (372.58×10^4 units/L) ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์พบ 3 ไฟลัม 22 สกุล 11 สปีชีส์ ไฟลัม Protozoa มีความหลากหลายของชนิด (12 สกุล) และมีปริมาณมากที่สุด ($3,714.53$ units/L) สกุลที่มีปริมาณมากที่สุดคือ *Diffugia* ($1,750.11$ units/L) การศึกษานี้พบแพลงก์ตอนที่สร้างสารพิษได้ 6 สกุล คือ *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Lyngbya*, *Pseudanabaena*, *Anabaena* และ *Anabaenopsis* โดยมีปริมาณรวมทุกสกุลอยู่ในช่วง $0-7.61 \times 10^4$ unit/L แต่ตรวจไม่พบสารพิษไมโครซิสตินในทุกแหล่งน้ำที่ศึกษา แสดงว่าปริมาณแพลงก์ตอนที่สร้างพิษยังไม่มากพอที่จะสร้างและปล่อยพิษสะสมในน้ำ ส่วนค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ ความสม่ำเสมอ และความมากมายชนิดพบอยู่ในช่วง 0.17-1.78, 0.046-0.508 และ 2.11-4.66 ตามลำดับ แสดงว่าแหล่งน้ำมีความหลากหลายทางชีวภาพต่ำถึงต่ำมาก ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำกับแพลงก์ตอนพบว่าปริมาณแพลงก์ตอนในคลาส Cyanophyceae มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเค็มและค่าการนำไฟฟ้า คลาส Euglenophyceae, Chrysophyceae และ Dinophyceae มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มแสง กลุ่มโปรโตซัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับของแข็งที่ละลายในน้ำ

คำสำคัญ: แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ ไมโครซิสติน ดัชนีความหลากหลาย สหสัมพันธ์

Abstract

This study investigated the diversity of plankton and the presence of microcystin toxins in water sources around King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) during the summer season, aiming to assess biodiversity and potential risks to water users. Samples were collected monthly from 10 stations. A total of 92 species of phytoplankton, belonging to 64 genera, 6 classes, and 3 divisions, were identified. The division *Chlorophyta* exhibited the highest species diversity (31 genera, 74 species), while the class Cyanophyceae showed the highest abundance ($0.14-374.78 \times 10^4$ units/L), with *Chroococcus* spp. being the most dominant genus (372.58×10^4 units/L). Zooplankton comprised 22 genera and 11 species from 3 phyla, with Protozoa showing both the highest diversity (12 genera) and abundance ($3,714.53$ units/L), and *Diffugia* being the most abundant genus ($1,750.11$ units/L). Six genera of potentially toxin-producing cyanobacteria were detected: *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Lyngbya*, *Pseudanabaena*, *Anabaena*, and *Anabaenopsis*, with a combined abundance ranging from $0-7.61 \times 10^4$ units/L. However, microcystin toxins were not detected in any water samples, suggesting that toxic plankton levels were insufficient to produce or accumulate detectable toxins. Biodiversity indices, including the Shannon-Wiener index (0.17–1.78), evenness (0.046–0.508), and species richness (2.11–4.66), indicated low to very low biodiversity in the studied waters. Positive correlations were observed between Cyanophyceae abundance and both salinity and conductivity,

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹ Department of Animal Production Technology and Fisheries, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

Corresponding author: 64604033@kmitl.ac.th

while Euglenophyceae, Chrysophyceae, and Dinophyceae correlated positively with light intensity. Protozoa abundance was positively associated with total dissolved solids.

Keyword: phytoplankton, zooplankton, microcystin, diversity index, correlation

คำนำ

แพลงก์ตอนมีบทบาทสำคัญเป็นผู้ผลิตเบื้องต้น ทำให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ หากมีการเพิ่มปริมาณมากเกินไปของแพลงก์ตอนอาจก่อให้เกิดปัญหาขาดออกซิเจนซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต (Waiyaka and Buddee, 2022) ทำให้ความสมดุลของห่วงโซ่อาหารเปลี่ยนแปลง (Carmichael, 2001) หรือมีพิษสะสมในแหล่งน้ำซึ่งมาจากแพลงก์ตอนพืชกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือไซยาโนแบคทีเรีย เช่น *Anabaena circinalis* ที่สามารถสร้างสารพิษที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท *Microcystis aeruginosa* สร้างสารพิษที่ออกฤทธิ์ต่อตับและอวัยวะอื่นๆ ตัวอย่างสารพิษได้แก่ microcystin, anatoxin-a และ homoanatoxin-a (Codd, 2000) ซึ่งพิษเหล่านี้สามารถสะสมในน้ำ สัตว์น้ำ และถ่ายทอดสู่มนุษย์ผู้บริโภค ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็ง หรือหากพิษค่อนข้างสูงจะเกิดการแพ้ เช่น คัน ชา อาเจียน อัมพาต ทันทันหลังบริโภคสัตว์น้ำที่มีพิษปนเปื้อน (Yu, 1995) และพิษบางชนิดจะก่อให้เกิดการระคายเคืองที่ผิวหนังหากสัมผัสกับละอองน้ำจากแหล่งน้ำที่มีพิษปนเปื้อน (Bláha et al., 2009) โดยแพลงก์ตอนในกลุ่มไซยาโนแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในช่วงฤดูร้อน (Falconer and Humpage, 2005) คือช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งมีรายงานว่าพบสูงสุดในเดือนพฤษภาคม (Pongswat and Suphan, 2015) สำหรับบทบาทของแพลงก์ตอนสัตว์คือเป็นอาหารของสัตว์น้ำขนาดเล็ก (Wetzel, 2001) และช่วยควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ (Sommer et al., 2012) แต่แพลงก์ตอนสัตว์บางชนิด เช่น *Cyclops* และ *Diaptomus* อาจเป็นพาหะนำพยาธิหรือปรสิตไปสู่ปลาน้ำจืดและสัตว์น้ำอื่น ๆ โดยจะแพร่เข้าสู่ร่างกายมนุษย์หากดื่มน้ำที่มีแพลงก์ตอนสัตว์เหล่านี้ปนเปื้อน และอาจส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำและสุขภาพของผู้บริโภคสัตว์น้ำ (Santhosh and Singh, 2007) ในด้านประโยชน์ของแพลงก์ตอนพบว่าแพลงก์ตอนหลายชนิดมีความสำคัญทางเศรษฐกิจทั้งด้านอาหารมนุษย์ อาหารสัตว์น้ำ เครื่องสำอาง ยารักษาโรค และยังมีการนำมาใช้ในด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (Ruangsomboon, 2020) นอกจากนี้ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนยังใช้เป็นดัชนีตรวจสอบมลภาวะของแหล่งน้ำได้ (Yossan and Moonsin, 2015)

บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมีแหล่งน้ำหลายประเภททั้งแหล่งน้ำนิ่ง น้ำไหล มีแหล่งรับน้ำทั้งจากอาคารสำนักงานและอาคารเรียน และเชื่อมต่อกับคลองประเวศบุรีรมย์ซึ่งเป็นแหล่งน้ำสาธารณะ ซึ่งหากน้ำในสถาบันฯ มีแพลงก์ตอนชนิดที่สร้างพิษปนเปื้อนเป็นจำนวนมากอาจปล่อยสารพิษจากเซลล์แพลงก์ตอนลงสะสมในแหล่งน้ำ และจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพนักศึกษาและบุคลากรที่สัมผัสกับน้ำนั้น และหากมีการระบายน้ำที่มีพิษไมโครซิสตินสะสมอยู่ลงคลอง ก็จะกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในนั้น นอกจากนี้จากคลองประเวศฯ ยังถูกนำไปใช้สำหรับเพาะปลูกพืชหลากหลายชนิด เช่น ผักกระเฉด กัลยัม มะม่วง และมะพร้าว เป็นต้น หากเกษตรกรนำน้ำที่มีพิษสะสมไปใช้ในการเพาะปลูกพืช ผัก เหล่านั้น พืชอาจเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อพืช และกระทบกับผู้บริโภคได้ (McElhiney et al., 2001) ดังนั้นจึงควรมีการประเมินปริมาณพิษไมโครซิสตินในแหล่งน้ำเพื่อวางแผนป้องกันอันตรายโดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนซึ่งเป็นฤดูกาลที่มีอุณหภูมิเหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชเหล่านี้ ซึ่งการศึกษาค้นคว้าหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนและปริมาณพิษไมโครซิสตินในแหล่งน้ำบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แหล่งน้ำที่ทำการศึกษาค้นคว้าเป็นแหล่งน้ำที่มีลักษณะแตกต่างกันหลายประเภท เป็นข้อมูลใหม่ที่ยังไม่มีการศึกษามาก่อนในบริเวณนี้ข้อมูลที่สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับต่อยอดไปในอนาคตได้

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค้นคว้าทางชีวภาพของแพลงก์ตอนและปริมาณพิษไมโครซิสตินในแหล่งน้ำ ในช่วงฤดูร้อน บริเวณแหล่งน้ำสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รวมถึงศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ของแพลงก์ตอนต่อคุณภาพน้ำบางประการ เพื่อสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนในเบื้องต้นได้ เพื่อหาแนวทางในการวางแผนป้องกันผลกระทบต่อผู้อยู่ใกล้แหล่งน้ำ ผู้ที่จะนำน้ำไปใช้ประโยชน์ หรือต่อผู้ที่นำสัตว์น้ำจากแหล่งน้ำเหล่านั้นไปบริโภค

วิธีการศึกษา

การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอน

เก็บน้ำจากแหล่งน้ำบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล., KMITL) 10 สถานี ได้แก่ ลานเชียร์คณะเทคโนโลยีการเกษตร (St.1) คลองประเวศบุรีรมย์ (St.2) สถานีตักน้ำบริเวณเรือนไทย (St.3) สระน้ำโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (St.4) สระน้ำข้างหอประชุมใหญ่คณะวิศวกรรมศาสตร์ (St.5) บ่อปลาศูนย์เรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ (St. 6) บ่อ

บัวศูนย์เรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ (St.7) ทางออกน้ำถนนเลียบบมอเตอร์เวย์ (คลองลำแขก) (St.8) หอพระราชประวัติ ร. 4 (St.9) และ อาคารบุณนา (ตึก L) (St.10) ตำแหน่งละติจูด 13.84366667° N, ลองจิจูด 100.50775° E โดยเก็บตัวอย่างน้ำทุกเดือน เดือนละ 1 ครั้ง ในช่วงฤดูร้อนคือเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม 2565 โดยเก็บน้ำ 30 L ที่ระดับความลึกประมาณ 30 cm. กรองผ่านถุงกรองแอลกอฮอล์ขนาดช่องตา 20 μm ใส่ในขวดเก็บตัวอย่างและเก็บรักษาสภาพด้วย formalin 4 % วัดคุณภาพน้ำ บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ ออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเข้มแสง ค่าความนำไฟฟ้า ของแข็งที่ละลายในน้ำ และค่าความเค็ม นำแพลงก์ตอนมาวิเคราะห์ชนิดและนับปริมาณภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงด้วยสไลด์นับแพลงก์ตอน (Nanoslide) ขนาด 0.1 ml จำแนกชนิดตามหนังสือคู่มือ (John et al., 1997; Philipose, 1967; Wongrat, 1996) รายงานผลเป็นหน่วยต่อลิตร และคำนวณค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของ Shannon-wiener (H') ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ (Evenness Index; J') ดัชนีความมากมาย (Species richness; S') (Wongrat and Boonyapiwat, 2003) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำโดยเน้นปัจจัยทางกายภาพกับปริมาณแพลงก์ตอนด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

การสกัดไมโครซิสตินจากตัวอย่างน้ำ

กรองตัวอย่างน้ำ 1 L ผ่านกระดาษกรอง Whatman™ GF/C (ขนาดรูพรุน 0.22 มม.; Millipore) จากนั้นนำไปผ่านคอลัมน์ C18 (Waters Sep-Pak Millipore) (โดยก่อนการใช้งานต้องล้าง C18 ด้วยเมทานอล 100% 3 ml และน้ำกลั่น 3 ml) เมื่อใส่น้ำตัวอย่างผ่านคอลัมน์จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 1 ml และเมทานอล 20% 1 ml ในขั้นตอนสุดท้ายล้างด้วยเมทานอล 80% ปริมาตร 0.4 ml และน้ำกลั่น 0.6 ml นำสารละลายที่ได้ไปตรวจหาและจำแนกไมโครซิสติน RR, LR และ YR ด้วยเทคนิคลิควิดโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมทรี (LC-MS) ขั้นตอนการใช้เครื่อง LC-MS ตามรายละเอียดที่มีรายงานไว้ใน Ruangsomboon et al. (2014)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

องค์ประกอบชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืช

ผลการศึกษา 10 สถานี ตลอดช่วงฤดูร้อนพบแพลงก์ตอนพืชรวม 3 ดิวิชัน 6 คลาส 64 สกุล 92 สปีชีส์ ได้แก่ ดิวิชัน Cyanophyta ประกอบด้วย *Gloeocapsa pleurocapsoides*, *Merismopedia punctata*, *M. tenuissima*, *Microcystis aeruginosa*, *Chroococcus* spp., *Cyanosarcina* sp., *Chroococcidiopsis* sp., *Oscillatoria* spp., *Spirulina platensis*, *Lyngbya* spp., *Anabaena limnetica*, *Anabaenopsis raciborski*, *Pseudanabaena* ssp. และ *Raphidiopsis* sp. ดิวิชัน Chlorophyta ประกอบด้วย *Chlamydomonas angulosa*, *Volvox tertius*, *Pandorina morum*, *Eudorina elegans*, *Golenkinia radiata*, *Pediastrum duplex*, *P. simplex*, *P. boryanum*, *P. tetras*, *Coelastrum microporum*, *C. cambricum*, *Botryococcus* sp., *Chlorella ellipsoidea*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Planktosphaeria* sp., *Oocystis parva*, *O. elliptica*, *O. lacustris*, *Treubaria setigerum*, *Ankistrodesmus falcatus*, *A. braunii*, *Schroderia setigera*, *Selenastrum westii*, *Tetraedron gracile*, *T. pusillum*, *T. trigonum*, *T. minimum*, *T. regulare*, *Scenedesmus armatus*, *S. bicaudatus*, *S. aculeolatus*, *S. intermedius*, *S. circumfusus*, *S. protuberans*, *Actinastrum gracillimum*, *A. hantzschii*, *Crucigenia apiculate*, *C. tetrapedia*, *C. rectangularis*, *C. fenestrata*, *C. quadrata*, *C. irregularis*, *Tetrastrum heteracanthum*, *T. staurogeniaeforme*, *Micractinium pusillum*, *Closterium ehrenbergii*, *C. calosporum*, *C. obsoletum*, *Monoraphidium contortum*, *M. arcuatum*, *M. circinale*, *Kirchneriella lunaris*, *K. contorta*, *K. obesa*, *K. irregularis*, *Euglena acus*, *E. oxyuris*, *E. mainxi*, *E. viridis*, *E. caudata*, *E. limnophila*, *E. proxima*, *Phacus triqueter*, *P. longicauda*, *P. angulatus*, *P. tortus*, *P. onyx*, *P. ranula*, *P. horridus*, *P. caudatus*, *Lepocinclis ovum*, *L. salina*, *L. cylindrica*, *Trachelomonas hispida*, *T. crebea*, *T. oblonga*, *T. lacustris*, *T. superba*, *T. gibberosa*, *Strombomonas schauinslandii*, *S. fluvialis*, *S. gibberosa* และ *S. dangeardiana* ดิวิชัน Chromophyta ประกอบด้วย *Melosira varians*, *Aulacoseira* sp., *Cyclotella meneghiniana*, *Coscinodiscus* sp., *Tabellaria* sp., *Grammatophora* sp., *Fragilaria* sp., *Synedra ulna*, *Diploneis* sp., *Gyrosigma* sp., *Neidium* sp., *Navicula* spp, *Pinnularia gibba*, *Amphora* sp., *Cymbella* spp., *Gomphonema* spp., *Cylindrotheca* spp., *Bacillaria* sp., *Nitzschia* spp, *Centritractus* sp. และ *Gymnodinium* sp.

แพลงก์ตอนพืชคลาส Cyanophyceae ที่พบทุกสถานีที่ศึกษา ได้แก่ *Chroococcus* spp., *Oscillatoria* spp. และ *Lyngbya* spp. คลาส Chlorophyceae ที่พบทุกสถานีที่ศึกษา ได้แก่ *Chlorella ellipsoidea*, *Dictyosphaerium pulchellum*,

Planktosphaeria sp., *Ankistrodesmus falcatus*, *Monoraphidium contortum* และ *M. arcuatum* คลาส Bacillariophyceae ที่พบทุกสถานที่ศึกษา ได้แก่ *Cyclotella meneghiniana* และ คลาส Dinophyceae ที่พบทุกสถานที่ศึกษา ได้แก่ *Gymnodinium* sp. ส่วนแพลงก์ตอนที่พบปริมาณมากที่สุด คือ *Chroococcus* spp., *Spirulina platensis* และ *Lyngbya* spp. พบมีค่า เท่ากับ 372.58×10^4 , 24.91×10^4 และ 7.33×10^4 unit/L ตามลำดับ

โดยพบแพลงก์ตอนซึ่งมีรายงานว่าเป็นจลินส์ที่สามารถสร้างสารพิษไมโครซิสติน (Sivonen, 1999) 6 สกุล ได้แก่ *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Lyngbya*, *Pseudanabaena*, *Anabaena* และ *Anabaenopsis* แต่ละจลินส์มีปริมาณในฤดูร้อนในแต่ละสถานีย่อยในช่วง $0-4.88 \times 10^4$, $0-0.33 \times 10^4$, $0-7.33 \times 10^4$, $0-5.28 \times 10^4$, $0-0.03 \times 10^4$ และ $0-0.05 \times 10^4$ unit/L ตามลำดับ (Table 1) โดยผลรวมแพลงก์ตอนที่สามารถสร้างสารพิษได้แต่ละสถานีย่อยในเดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน และ พฤษภาคม มีค่าอยู่ในช่วง $0.01-7.61 \times 10^4$, $0.01-2.43 \times 10^4$, $0.004-5.45 \times 10^4$ และ $0-0.37 \times 10^4$ unit/L ของปริมาณน้ำที่ทำการเก็บตัวอย่าง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากปริมาณแพลงก์ตอนที่พบแสดงให้เห็นว่าจากการศึกษาครั้งนี้แหล่งน้ำใน สจล. ช่วงฤดูร้อน ไม่อยู่ในเกณฑ์การเพิ่มปริมาณมาก (bloom) คือมากกว่า 10^6 unit/L ของแพลงก์ตอนที่อาจสร้างพิษเหล่านี้ ซึ่งการศึกษานี้ตรวจไม่พบสารพิษไมโครซิสตินซึ่งแสดงว่าปริมาณแพลงก์ตอนไม่อยู่ในเกณฑ์ที่สร้างพิษได้ ซึ่งหากพบปริมาณสกุลที่สามารถสร้างสารพิษได้มากกว่า $85 \times 10^4 \pm 19 \times 10^4$ unit/L (Prommana et al., 2006) ขึ้นไปควรจะต้องระวังการสร้างสารพิษไมโครซิสตินในแหล่งน้ำ ดังนั้นในอนาคตยังคงต้องเฝ้าระวังต่อไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งมีปริมาณรวมของแพลงก์ตอนที่สร้างสารพิษได้สูงที่สุด และเดือนเมษายนซึ่งเป็นเดือนที่กลุ่ม Cyanophyceae มีปริมาณสูงสุด ($0.14-374.78 \times 10^4$ unit/L)

จากการตรวจเอกสารพบข้อมูลคือ Sengpracha et al. (2006) รายงานว่าแพลงก์ตอนพืชชนิด *Microcystis* spp., *Anabaena* spp., *Nostoc* spp. เป็นชนิดที่ผลิตพิษไมโครซิสตินที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและมนุษย์ และจากรายงานของ Pongswat and Sutthawan (2015) รายงานว่าพบ *M. aeruginosa* มีปริมาณสูงถึง 4.86×10^6 unit/L ในคลองรังสิต จังหวัดปทุมธานี และ Prommana et al. (2006) รายงานว่าพบ *M. aeruginosa* มีปริมาณ $85 \times 10^4 \pm 19 \times 10^4$ unit/L ในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ทางภาคเหนือของไทย โดยมีปริมาณไมโครซิสตินสะสมในเซลล์เท่ากับ 0.44 ± 0.02 g/kg/dry weight แต่ในการศึกษาครั้งนี้พบ *M. aeruginosa* เพียง 0.33×10^4 unit/L โดยพบมากที่สุดในสถานีสระน้ำโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (St.4) ในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งยังคงถือว่าเป็นปริมาณที่ต่ำ จึงยังไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับสัตว์น้ำและมนุษย์

ปริมาณรวมของแพลงก์ตอนพืชในแต่ละสถานีย่อยในช่วงฤดูร้อนพบว่ามีความอยู่ในช่วง $0.19-377.72 \times 10^4$ unit/L โดยมีปริมาณต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์และมีปริมาณสูงสุดในเดือนมีนาคม เมื่อพิจารณาสัดส่วนของแพลงก์ตอนแต่ละคลาสในแต่ละเดือน (Figure 1) พบว่า คลาส Cyanophyceae มีสัดส่วนปริมาณต่ำสุดในเดือนมีนาคมคิดเป็นร้อยละ 11.02 (0.14×10^4 unit/L, st. 4) และสูงสุดในเดือนพฤษภาคมคิดเป็นร้อยละ 99.93 (108.08×10^4 unit/L, st. 5) คลาส Chlorophyceae มีสัดส่วนต่ำสุดในเดือนพฤษภาคมคิดเป็นร้อยละ 0 (0 unit/L, st. 5) และสูงสุดในเดือนมีนาคมคิดเป็นร้อยละ 70.62 (6.11×10^4 unit/L, st. 4) คลาส Euglenophyceae มีสัดส่วนต่ำสุดในเดือนพฤษภาคมคิดเป็นร้อยละ 0 (0 unit/L, st. 6) และสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์คิดเป็นร้อยละ 14.36 (0.29×10^4 unit/L, st. 9) และคลาส Bacillariophyceae มีสัดส่วนต่ำสุดในเดือนมีนาคม (st. 3, 9) และพฤษภาคม (st. 3) คิดเป็นร้อยละ 0 และสูงสุดในเดือนพฤษภาคมคิดเป็นร้อยละ 13.05 (10.79×10^4 unit/L, st. 9) โดยในแต่ละเดือนพบว่าตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษามีสัดส่วนปริมาณแพลงก์ตอนในคลาส Cyanophyceae หรือกลุ่มไซยาโนแบคทีเรียมากที่สุดโดยมีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 11.02-99.93 ซึ่ง Prommana et al. (2006) รายงานว่าในรอบปีจะพบไซยาโนแบคทีเรียปริมาณมากที่สุดที่สูงสุดในฤดูร้อน โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มปริมาณของไซยาโนแบคทีเรียในแหล่งน้ำ อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 25°C ขึ้นไป จากการศึกษานี้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง $25.4-31.7^\circ\text{C}$ ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรีย

เมื่อพิจารณาผลรวมแพลงก์ตอนทุกสถานีย่อยแต่ละคลาสแยกเป็นรายเดือน จะพบว่าคลาส Cyanophyceae และ Euglenophyceae มีปริมาณรวมทุกสถานีย่อยที่สูงที่สุดในเดือนเมษายน คลาส Chlorophyceae และคลาส Dinophyceae มีปริมาณรวมทุกสถานีย่อยที่สูงที่สุดในเดือนมีนาคม คลาส Bacillariophyceae มีปริมาณรวมทุกสถานีย่อยที่สูงที่สุดในเดือนพฤษภาคม และเดือนที่มีปริมาณรวมแพลงก์ตอนพืชทุกกลุ่มสูงที่สุดคือเดือนเมษายน

Table 1 Density of potentially toxic cyanobacteria ($\times 10^4$ unit/L) in the water source at KMITL from February to May

Cyanobacteria	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10
February										
<i>Oscillatoria</i> spp.	0.003	0.325	0.051	0	0.007	0	0.019	4.875	0.054	0.013
<i>Microcystis</i> sp.	0.007	0	0	0.326	0.071	0	0	0	0	0.007
<i>Lyngbya</i> spp.	0.021	0.340	7.333	0.062	0.078	0.008	0.744	0.026	0.418	0.007
<i>Pseudanabaena</i> spp.	0.003	0.951	0.011	0	0	0	0.050	2.708	0.061	0.013
Total	0.034	1.616	7.396	0.397	0.155	0.008	0.808	7.609	0.532	0.040
March										
<i>Oscillatoria</i> spp.	1.185	0.298	0.011	0.007	0.003	0.007	0.168	0.237	0.046	0
<i>Lyngbya</i> spp.	0.875	0.094	0.141	0.021	0.026	0	1.320	0.463	0.023	0.011
<i>Pseudanabaena</i> spp.	0.034	1.203	0.011	0	0	0.007	0.945	0.269	0.060	0
Total	2.094	1.595	0.163	0.028	0.030	0.015	2.432	0.969	0.129	0.011
April										
<i>Oscillatoria</i> spp.	0.130	0.077	0.014	0.212	0.006	0.004	0.016	0.110	0	0.003
<i>Microcystis</i> sp.	0	0	0	0	0.030	0	0	0	0	0.003
<i>Lyngbya</i> spp.	0.130	0.077	0.032	0.054	0.017	0	0.242	0.124	0.058	0
<i>Pseudanabaena</i> spp.	0.043	5.275	0	0	0	0	0.179	0.221	0	0.013
<i>Anabaena</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0.028	0	0	0
<i>Anabaenopsis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.052
Total	0.302	5.447	0.046	0.266	0.052	0.004	0.465	0.452	0.058	0.072
May										
<i>Oscillatoria</i> spp.	0.042	0.043	0.003	0	0.007	0	0	0.078	0.198	0
<i>Microcystis</i> sp.	0	0	0	0.053	0.015	0	0	0	0	0
<i>Lyngbya</i> spp.	0.118	0.079	0.061	0.007	0.023	0	0.020	0.023	0.153	0.008
<i>Pseudanabaena</i> spp.	0.073	0.043	0	0	0	0	0	0.094	0.020	0
<i>Anabaenopsis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0.010	0	0
Total	0.233	0.165	0.064	0.060	0.040	0	0.023	0.207	0.371	0.008

องค์ประกอบชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์

พบแพลงก์ตอนสัตว์ 3 ไฟลัม 22 สกุล 11 สปีชีส์ โดยไฟลัม Protozoa ประกอบด้วย *Paramecium* sp., *Diffugia* sp., *Coleps* sp., *Tintinnidium* sp., *Tintinnopsis* sp., *Vorticella* sp., *Codonella* sp., *Euglypha* sp., *Holophrya* sp., *Halteria* sp., *Centropyxis* sp. และ unidentified ciliated protozoa ไฟลัม Rotifera ประกอบด้วย *Asplanchna* sp., *Brachionus angularis*, *B. calyciflorus*, *B. diversicornis*, *Platyias quadricornis*, *Keratella cochlearis*, *Filinia longiseta*, *Hexarthra* sp., *Trichocerca pusilla*, *Anuraeopsis* sp., *Polyarthra dolichoptera*, *Lecane papuana*, และ *L. closterocerca* ไฟลัม Arthropoda คลาส Crustacean ประกอบด้วย *Moina macrocopa*, Copepod nauplius และ Calanoid copepod โดย แพลงก์ตอนสัตว์ไฟลัม Protozoa ที่พบทุกสถานที่ศึกษา ได้แก่ unidentified ciliated protozoa

ปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์แต่ละสถานีมีปริมาณในฤดูร้อนอยู่ในช่วง 0-3785.97 unit/L เมื่อพิจารณาสัดส่วนปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ในช่วงฤดูร้อน (Figure 1) พบว่า ไฟลัม Protozoa, Rotifera และ Arthropoda มีปริมาณสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ คิดเป็นร้อยละ 28.72 (3714.53 unit/L), 2.13 (302 unit/L) และ 10.64 (343.33 unit/L) ซึ่งทั้งหมดพบใน สถานีที่ 1 เมื่อพิจารณาตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษพบว่า มีสัดส่วนปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ในไฟลัม Protozoa มากที่สุดในทุกเดือน เมื่อพิจารณาผลรวมแพลงก์ตอนสัตว์ทุกสถานีแยกเป็นรายเดือน จะพบว่ากลุ่ม Protozoa และ Arthropoda มีปริมาณรวมทุกสถานีสูงที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ กลุ่ม Rotifera มีปริมาณรวมทุกสถานีสูงที่สุดในเดือนเมษายน

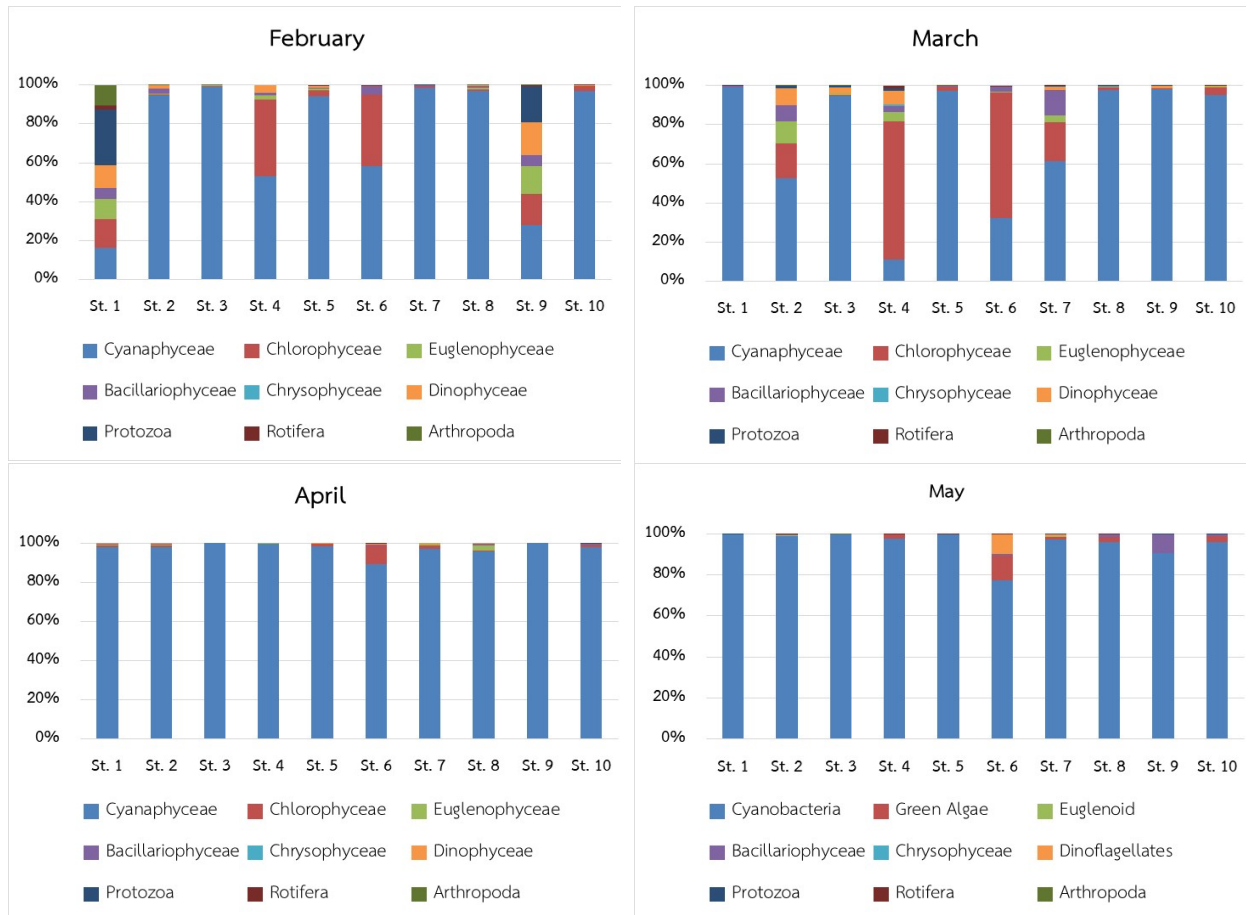


Figure 1 Proportional composition of plankton groups in water source at KMITL from February to May

เมื่อพิจารณาตลอดช่วงฤดูร้อนพบว่าแพลงก์ตอนพืชในสถานีที่ 1 มีปริมาณรวมมากที่สุด รองลงมาคือสถานีที่ 3 และ สถานีที่ 9 ส่วนสถานีที่มีปริมาณรวมแพลงก์ตอนพืชต่ำที่สุดคือสถานีที่ 6 ในส่วนของแพลงก์ตอนสัตว์พบว่าสถานีที่ 9 พบปริมาณรวมแพลงก์ตอนสัตว์มากที่สุด รองลงมาคือสถานีที่ 3, สถานีที่ 1 และ สถานีที่ 2 ส่วนสถานีที่ 5 มีปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์น้อยที่สุด ซึ่งพบว่าในสถานีที่มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชมากที่สุด ไม่ใช่สถานีที่มีปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์มากที่สุด ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าชนิดแพลงก์ตอนพืชในสถานีที่ 1 นั้นอาจมีบางส่วนที่ไม่ใช่ชนิดที่เหมาะสมต่อการเป็นอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์ ดังนั้นการจะคาดการณ์ว่า หากมีแพลงก์ตอนพืชซึ่งเป็นผู้ผลิตขั้นต้นมาก ควรจะมีปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ซึ่งเป็นผู้บริโภคขั้นต้นมากนั้น อาจไม่ถูกต้องทั้งหมด เพราะจำเป็นต้องพิจารณาชนิดของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำนั้นๆ ด้วยเช่นกัน

ส่วนแพลงก์ตอนพืชที่พบมากที่สุดที่สถานีที่ 1 (ลานซีรค์คณะเทคโนโลยีการเกษตร), สถานีที่ 3 (สถาปัตยกรรมเรือนไทย) และ สถานีที่ 9 (หอพระราชประวัติ ร. 4) เมื่อพิจารณาพบว่าในสถานีเหล่านี้มีสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง โดยมาจากทั้งเศษใบไม้ที่สะสมอยู่ก้นบ่อ และมาจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำ ซึ่งเป็นปุ๋ยให้กับแพลงก์ตอนพืชได้ดี จึงทำให้มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชมาก ในส่วนสถานีที่ 6 (บ่อปลาศูนย์เรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ) ซึ่งพบปริมาณแพลงก์ตอนพืชต่ำที่สุด สาเหตุน่าจะเป็นเพราะในบ่อมีการเลี้ยง

ปลาการ์ฟและปลานิล ซึ่งเป็นปลาที่กินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารอยู่แล้ว ดังนั้นแม้จะมีสิ่งขับถ่ายจากปลาเป็นปุ๋ยให้กับแพลงก์ตอนพืช แต่แพลงก์ตอนพืชที่เกิดขึ้น ก็ถูกปลาเหล่านั้นกินเป็นอาหาร จึงพบแพลงก์ตอนพืชในปริมาณที่ต่ำ

การวิเคราะห์ความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอน

ค่าความหลากหลายทางชีวภาพ (H') ใช้อธิบายความหลากหลายของแพลงก์ตอนในสถานีนี้นั้น ๆ โดยดัชนีความหลากหลายจากทุกสถานีเฉลี่ยตลอดช่วงฤดูร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 0.17-1.78 ซึ่งพบในสถานีที่ 3 และ สถานีที่ 6 (Table 2) โดยค่าดัชนีความหลากหลายของแพลงก์ตอนหากค่าต่ำกว่า 1 แสดงถึงแหล่งน้ำนั้นมีความหลากหลายทางชีวภาพต่ำมากและมีมลภาวะสูงมาก (bad status) ช่วง 1-2 แสดงถึงแหล่งน้ำมีความหลากหลายทางชีวภาพต่ำ มีมลภาวะสูง (poor status) ช่วง 2-3 หมายถึงมีความหลากหลายทางชีวภาพปานกลาง มีมลภาวะปานกลาง (moderate status) (Ge et al., 2022) เมื่อพิจารณาในภาพรวมพบว่าเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคมมีความหลากหลายทางชีวภาพที่สูงกว่าเดือนเมษายนและพฤษภาคม แสดงว่าปริมาณมลภาวะในช่วงปลายของฤดูร้อนมีมากกว่าในช่วงต้นฤดู การศึกษาครั้งนี้พบตัวอย่างของการแทนที่ของแพลงก์ตอนที่เด่นชัดในสถานีที่ 1 เดือนกุมภาพันธ์ซึ่งพบความหลากหลายทางชีวภาพสูงสุด แต่เดือนมีนาคมในสถานีนี้นักกลับมีความหลากหลายทางชีวภาพต่ำที่สุดซึ่งแสดงถึงเกิดการแทนที่ของกลุ่มแพลงก์ตอนที่เด่นชัดขึ้น จากการศึกษาพบว่าคือกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย (Figure 1) โดยสาเหตุที่เดือนเมษายนถึงพฤษภาคม มีความหลากหลายทางชีวภาพต่ำกว่นั้น มีสาเหตุมาจากปริมาณของกลุ่มไซยาโนแบคทีเรียที่เพิ่มปริมาณมากขึ้นในแหล่งน้ำ ทำให้แพลงก์ตongกลุ่มอื่นไม่สามารถแข่งขันในการเจริญเติบโตได้ จึงพบชนิดแพลงก์ตongกลุ่มอื่นได้น้อย ความหลากหลายทางชีวภาพจึงต่ำลง โดย Plaas and Paerl (2021) รายงานว่าอุณหภูมิทำให้การเจริญเติบโตของแพลงก์ตongบางชนิดเพิ่มขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งทำให้เกิดการแทนที่ของกลุ่มแพลงก์ตongที่เด่น เช่น การเจริญเติบโตของกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย แพลงก์ตongกลุ่มนี้จะเจริญเติบโตและแพร่กระจายได้ดีในอุณหภูมิที่น้ำที่สูง ซึ่งสามารถลดความหลากหลายทางชีวภาพลงได้

Table 2 Biodiversity analysis (biodiversity, evenness and species richness index) of Plankton found in the water reservoir around KMITL from February to May

Shannon-wiener (H')										
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10
February	2.93	0.48	0.29	1.87	0.59	2.35	0.16	1.00	2.72	0.24
March	0.11	2.84	0.35	2.52	0.19	2.05	2.48	0.29	0.13	0.49
April	0.20	0.53	0.02	0.04	0.13	0.77	0.36	0.36	0.01	0.19
May	0.05	0.12	0.02	0.17	0.01	1.95	0.22	0.36	0.35	0.25
average	0.82	0.86	0.17	1.15	0.23	1.78	0.80	0.49	0.80	0.29
Evenness index (J')										
February	0.88	0.12	0.08	0.66	0.17	0.64	0.05	0.24	0.73	0.07
March	0.03	0.68	0.09	0.68	0.05	0.58	0.63	0.08	0.04	0.14
April	0.05	0.13	0.01	0.01	0.04	0.22	0.10	0.10	0.01	0.05
May	0.01	0.03	0.01	0.06	0	0.6	0.07	0.09	0.11	0.07
average	0.24	0.24	0.05	0.35	0.07	0.51	0.21	0.12	0.22	0.09
Species richness (S')										
February	3.34	4.86	3.01	1.74	2.90	3.80	2.47	4.60	4.04	2.38
March	2.31	6.31	3.38	4.25	2.99	2.97	4.41	3.63	1.89	2.53
April	4.28	4.12	1.58	2.12	1.83	2.93	3.19	3.76	1.07	3.05
May	2.30	3.33	1.21	1.51	0.94	2.45	1.68	3.62	1.43	2.31
average	3.06	4.66	2.29	2.41	2.16	3.03	2.94	3.90	2.11	2.57

ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ (J') หรือความเท่าเทียมของแพลงก์ตongจากทุกสถานีเฉลี่ยตลอดช่วงฤดูร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 0.046 – 0.508 ซึ่งพบในสถานีที่ 3 และ สถานีที่ 6 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแยกรายเดือนสถานีที่ 1 ในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าดัชนีความ

สม่ำเสมอมากที่สุด (0.878) และต่ำสุดในสถานีที่ 5 ในเดือนพฤษภาคม (0.004) ค่าดัชนีความสม่ำเสมอสามารถอธิบายภาพรวมความหลากหลายของแพลงก์ตอนโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0-1 หากค่าใกล้เคียง 1 หมายถึงการมีความสม่ำเสมอของการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนแต่ละชนิดในแหล่งน้ำสูงมาก ซึ่งตลอดช่วงฤดูร้อนสถานีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอสูงที่สุด หมายถึงมีปริมาณหรือการกระจายตัวที่เท่ากันของแพลงก์ตอนมากกว่าสถานีอื่น ๆ (Wang et al., 2021)

ดัชนีความมากชนิด (S) จากทุกสถานีเฉลี่ยตลอดช่วงฤดูร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 2.11-4.66 ซึ่งพบในสถานีที่ 9 และ สถานีที่ 2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแยกรายเดือนสถานีที่ 2 ในเดือนมีนาคม มีค่ามากที่สุด (6.31) และต่ำสุดในสถานีที่ 5 ในเดือนพฤษภาคม (0.94) ดัชนีความมากชนิดใช้ในการอธิบายจำนวนชนิดแพลงก์ตอนที่แตกต่างกันของแต่ละสถานีที่ศึกษา ซึ่งดัชนีความมากชนิดถ้ามีค่ามากจะแสดงถึงความมากของชนิดสูงโดยจะไม่เกี่ยวข้องกับจำนวนแต่ละชนิด

ในภาพรวมค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพจะขึ้นอยู่กับค่าดัชนีความสม่ำเสมอและค่าดัชนีความมากชนิด ซึ่งหากมีจำนวนชนิดและการกระจายตัวของแพลงก์ตอนมาก ก็จะทำให้ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพสูง (Magurran, 2004)

ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำกับแพลงก์ตอน

คุณภาพน้ำจากทุกสถานีที่ทำการเก็บตัวอย่างพบค่าอยู่ในช่วงดังนี้ อุณหภูมิ น้ำ 25.4-31.7 °C ออกซิเจนละลายน้ำ 0.4-9.2 mg/L ซึ่งค่าที่วัดได้บางส่วนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่แนะนำว่าไม่ควรต่ำกว่า 5.7 mg/L (Yoshikawa et al., 2007) หากค่า DO ต่ำกว่าเกณฑ์ดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของสัตว์น้ำ ค่า pH 6.95-7.89 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของแหล่งน้ำที่กำหนดว่าควรมีค่าอยู่ในช่วง 5-9 (Pollution Control Department, 2014) ปริมาณแสง 9-874 Lux ความขุ่น 1.14-89 NTU ความเค็ม 177-706 ppm ค่าการนำไฟฟ้า 185-683 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และการศึกษาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำกับปริมาณแพลงก์ตอนพืชพบว่าแพลงก์ตอนพืชในคลาส Cyanophyceae มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเค็มและค่าการนำไฟฟ้า (0.41, 0.49) คลาส Chlorophyceae มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับพีเอช (0.11) ส่วนคลาส Euglenophyceae, Chrysophyceae และ Dinophyceae มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มแสง (0.16, 0.11, 0.22) ส่วนความสัมพันธ์ของแพลงก์ตอนชนิดที่อาจสร้างสารพิษกับค่าคุณภาพน้ำพบว่า *Oscillatoria* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มแสง (0.18), *Lyngbya* ความสัมพันธ์เชิงบวกของแข็งที่ละลายในน้ำ (0.12), *Pseudanabaena* ความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเค็มและค่าการนำไฟฟ้า (0.18 และ 0.16), *Anabaena* และ *Anabaenopsis* ความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิ (0.02 และ 0.25) ในส่วนของแพลงก์ตอนสัตว์พบว่ามีกลุ่ม Protozoa มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิ (-0.45) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกของแข็งที่ละลายในน้ำ (0.51) และกลุ่ม Arthropoda (0.39) เมื่อพิจารณาจากข้อมูลความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำจะพบว่าแพลงก์ตอนชนิดที่สร้างพิษโดยรวมจะสัมพันธ์ทางบวกกับ แสง อุณหภูมิ และปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะสูงในช่วงฤดูร้อน จึงเป็นฤดูกาลที่ควรเฝ้าระวังการเพิ่มปริมาณมากของแพลงก์ตอนที่สามารถสร้างสารพิษ

ผลการตรวจวิเคราะห์ไมโครซิสติน

ในการศึกษาครั้งนี้ตรวจไม่พบไมโครซิสตินทุกชนิด (RR, LR และ YR) ในน้ำจากทุกสถานีที่ศึกษาตลอดช่วงฤดูร้อน ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Ruangsomboon et al. (2014) ซึ่งศึกษาปริมาณไมโครซิสตินในบ่อเลี้ยงปลาและบ่อปลูกผักกระเฉดในเขตลาดกระบังและไม่พบไมโครซิสตินในน้ำของแหล่งน้ำดังกล่าวเช่นกัน โดยจากรายงานนั้นพบว่าไมไซยาโนแบคทีเรียที่สร้างพิษในบ่อปลาสูงถึง 843,964-11,241,788 unit/L และพบพิษไมโครซิสติน RR ในไมไซยาโนแบคทีเรียที่สร้างพิษในบ่อปลาสูงถึง 0.014-0.202 mg/g dw แต่ไม่พบในน้ำ ส่วนการศึกษาครั้งนี้พบปริมาณไมไซยาโนแบคทีเรียที่สร้างพิษต่ำกว่า (11,600-185,800 unit/L) ซึ่งไม่พบไมโครซิสตินในแหล่งน้ำเช่นกัน จากการตรวจเอกสารบรรยายงานของ Zimba and Grimm (2003) ซึ่งรายงานว่ามีประมาณ 50% ของบ่อปลาทางตะวันออกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกาที่พบการบลูมของไมไซยาโนแบคทีเรียที่เป็นพิษ มีระดับไมโครซิสตินในน้ำที่สูงเกินกว่า 1 ng/ml ซึ่งเป็นของมนุษย์ การปริมาณที่องค์การอนามัยโลก Li et al. (2017) แนะนำว่าปลอดภัยสำหรับการบริโภคไม่พบไมโครซิสตินจากการศึกษานี้อาจเป็นผลมาจากในแหล่งน้ำที่ศึกษามีปริมาณไมไซยาโนแบคทีเรียที่เป็นพิษน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับในบ่อปลาจากเมืองซาเรีย ประเทศไนจีเรีย ซึ่งตรวจพบไมโครซิสตินในน้ำสูงถึง 0.6-5.89 mg/L (Chia et al., 2009) พบว่ามีปริมาณไมไซยาโนแบคทีเรียที่เป็นพิษมากกว่าบ่อที่ศึกษาครั้งนี้ 900-1,500 เท่า ซึ่งแสดงว่าปริมาณของไมไซยาโนแบคทีเรียมีบทบาทสำคัญต่อการผลิตสารพิษดังกล่าวสูงแหล่งน้ำ

จากการศึกษาครั้งนี้เมื่อพิจารณาจากปริมาณแพลงก์ตอนรวม แพลงก์ตอนที่สร้างพิษ ความสัมพันธ์ของปริมาณแพลงก์ตอนพืชกับคุณภาพน้ำ และปริมาณไมโครซิสตินในน้ำ แสดงให้เห็นว่าในช่วงฤดูร้อนแหล่งน้ำในบริเวณ สจล. ยังคงมีความปลอดภัยไม่ได้รับพิษจากแพลงก์ตอนที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและมนุษย์ บุคลากรและนักศึกษาสามารถใช้พื้นที่พักผ่อนที่จัดไว้ใกล้แหล่งน้ำทุกแห่งได้ ไม่ต้องกังวลการระคายเคืองที่มาจากสัมผัสของน้ำที่อาจมีพิษสะสม และสถาบันฯ สามารถเปลี่ยนถ่ายน้ำจากภายในสถาบันฯ ลงสู่คลองภายนอกได้ โดยจะไม่ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้ใช้น้ำจากคลองไปใช้ประโยชน์

สรุปผลการศึกษา

แหล่งน้ำบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังช่วงฤดูร้อน พบความหลากหลายของแพลงก์ตอนมากที่สุดที่บ่อปลาศูนย์เรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ พบปริมาณแพลงก์ตอนมากที่สุดที่ลานเชียร์คณะเทคโนโลยีการเกษตร แพลงก์ตอนพืชกลุ่มที่มีปริมาณมากที่สุดคือกลุ่มไซยาโนแบคทีเรียโดยชนิดที่มีปริมาณมากที่สุดคือ *Chroococcus* spp. พบ 372.58×10^4 unit/L ซึ่งเป็นชนิดที่ไม่สร้างสารพิษ โดยพบแพลงก์ตอนที่มีรายงานว่าสร้างสารพิษในกลุ่มไซยาโนแบคทีเรียในปริมาณไม่สูงและไม่พบการสะสมพิษไมโครซิสตินในน้ำจึงไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำ หรือต่อผู้ที่นำสัตว์น้ำจากแหล่งน้ำเหล่านั้นไปบริโภค แต่อย่างไรก็ตามพบว่าแพลงก์ตอนเหล่านี้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิและความเข้มแสงซึ่งมีโอกาที่จะทำให้พบปริมาณเพิ่มสูงขึ้นได้ในอนาคต ดังนั้นควรหาแนวทางในการวางแผนป้องกันผลกระทบเหล่านี้ต่อไป

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม การตั้งสมมุติฐานการมีส่วนร่วมในการออกแบบการทดสอบเครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูลการจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลการแปลผลการวิจัยทางวิชาการและการมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: อรทัย เพ็งโตวงศ์, สุนิรัตน์ เรืองสมบูรณ์.

เอกสารอ้างอิง

- Bláha, L., Babica, P., & Maršálek, B. (2009). Toxins produced in cyanobacterial water blooms – toxicity and risks. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(2), 36–41.
- Carmichael, W. W. (2001). Health effects of toxin-producing cyanobacteria: “The CyanoHABs”. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 7(5), 1393–1407.
- Chia, A. M., Oniye, S. J., Ladan, Z., Lado, Z., Pila, A. E., Inekwe, V. U., & Mmerole, J. U. (2009). A survey for the presence of microcystins in aquaculture ponds in Zaria, Northern-Nigeria: Possible public health implication. *African Journal of Biotechnology*, 8(22), 6282–6289.
- Codd, G. A. (2000). Cyanobacterial toxins, the perception of water quality, and the prioritisation of eutrophication control. *Ecological Engineering*, 98(2), 50–60.
- Falconer, L. R., & Humpage, A. R. (2005). Health risk assessment of cyanobacterial (blue-green algal) toxins in drinking water. *Environmental Research and Public Health*, 2(1), 43–50.
- Ge, F., Ma, M., Chen, B., Wang, Y., Lu, X., An, S., Zhang, D., Zhang, W., Yu, W., Han, W., Yu, X., Liu, Z., & Kuang, F. (2022). Phytoplankton species diversity patterns and associated driving factors in China's Jiulong river estuary: Roles that nutrients and nutrient ratios play. *Frontiers in Marine Science*, 9(1), 829285.
- John, M., Whitton, A., & Brook, J. (1997). *The Freshwater Algal Flora of the British Isles*. Cambridge University.
- Li, J., Song, Y., Wan, H., & Zhu, H. (2017). Dynamical analysis of a toxin-producing phytoplankton-zooplankton model with refuge. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 14(1), 237–257.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing.
- McElhiney, J., Lawton, L. A., & Leifert, C. (2001). Investigations into the inhibitory effects of microcystins on plant growth, and the toxicity of plant tissues following exposure. *Toxicon*, 39(9), 1411–1420.
- Philipose, M. T. (1967). *Chlorococcales*. Indian Council of Agricultural Research.
- Plaas, H. E., & Paerl, H. W. (2021). Toxic cyanobacteria: A growing threat to water and air quality. *Environmental Science & Technology*, 55(1), 44–64.
- Pollution Control Department. (2014). *Surface Water Quality Standard*. Retrieved from: <https://www.pcd.go.th/laws/4168/> (in Thai).
- Pongswat, S., & Sutthawan, S. (2015). Toxic Algae as a Component of Phytoplankton in Irrigation Canals (Thailand). *Chiang Mai Journal of Science*, 42(3), 560–577.
- Prommana, R., Peerapornpisal, Y., Whangchai, N., Morrison, L. F., Metcalf, J. S., Ruangyuttikarn, W., Towprom, A., & Codd, G. A. (2006). Microcystins in cyanobacterial blooms from two freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) ponds in northern Thailand. *ScienceAsia*, 32(3), 307–312.
- Ruangsomboon, S., Yongmanitchai, W., Taveekijakarn, P., & Ganmanee, M. (2014). Cyanobacterial composition and microcystin accumulation in catfish pond. *Chiang Mai Journal of Science*, 41(1), 27–38.

- Ruangsomboon, S. (2020). **Microalgae Cultivation and Utilization**. Bangkok Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).
- Santhosh, B., & Singh, N. P. (2007). **Guidelines for Water Quality Management for Fish Culture in Tripura**. ICAR Research Complex for NEH Region, Tripura Center.
- Sengpracha, W., Suvannachai, N., & Phutdhawong, W. (2006). Microcystin LR content in *Microcystis aeruginosa* Kütz collected from Sri Sakhet, Thailand. **Chiang Mai Journal of Science**, 33(2), 231-236.
- Sivonen, K. (1999). Cyanobacterial toxins. **Encyclopedia of Microbiology**, 39(1), 290-307.
- Sommer, U., Adrian, R., De Senerpont Domis, L., Elser, J. J., Gaedke, U., Ibelings, B., Jeppesen, E., Lüring, M., Molinero, J. C., Mooij, W. M., Van Donk, E., & Winder, M. (2012). Beyond the plankton ecology group (PEG) model: Mechanisms driving plankton succession. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, 43(1), 429-448.
- Waiyaka, P., & Buddee, R. (2022). Study on phytoplankton diversity for using as indicator of water quality in water reservoir at Chiang Rai Rajabhat University. **Journal of Science and Technology Phetchabun Rajabhat University**, 2(1), 16- 23. (in Thai).
- Wang, H., Fu, H., Wen, Z., Yuan, C., Zhang, X., Ni, L., & Cao, T. (2021). Seasonal patterns of taxonomic and functional beta diversity in submerged macrophytes at a fine scale. **Ecology and Evolution**, 11(14), 9827-9836.
- Wetzel, R. G. (2001). **Limnology: Lake and River Ecosystems**. 3rd Ed. Academic Press.
- Wongrat, L. (1996). **Phytoplankton**. Kasetsart University. (in Thai).
- Wongrat, L., & Boonyapiwat, S. (2003). **Manual of Sampling and Analytical Methods of Plankton**. Kasetsart University. (in Thai).
- Yoshikawa, T., Murata, O., Furuya, K., & Eguchi, M. (2007). Short-term covariation of dissolved oxygen and phytoplankton photosynthesis in a coastal fish aquaculture site. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 74(3), 515-527.
- Yossan, S., & Moonsin, P. (2015). Using dominant phytoplankton as a bioindicator of water quality in Huay Samran, Sisaket Province. **Science and Engineering Connect**, 38(3), 295-309. (in Thai).
- Yu, S. Z. (1995). Primary prevention of hepatocellular carcinoma. **Journal of Gastroenterol and Hepatol**, 10(6), 674-682.
- Zimba, P. V., & Grimm, C. C. (2003). A synoptic survey of musty/muddy odor metabolites and microcystin toxin occurrence and concentration in southeastern USA channel catfish (*Ictalurus punctatus* Rafinesque) production ponds. **Aquaculture**, 218(1-4), 81-87.

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วง

The Development of Packaging and Labeling Design for Marketing Promotion of Mango Wine Products

อัญชลี ประยงค์แย้ม¹ และอภิวัฒน์ มีอุปการ^{1*}Anchalee Prayongyam¹ and Apiwat Meoupphakarn^{1*}

Received date: 7 ส.ค. 68 Revised date: 30 ก.ย. 68 Accepted date: 22 ต.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.268444>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาแนวทางในการออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วง 2) พัฒนาบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วง และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วง โดยทำการศึกษากับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อกำหนดแนวทางในการพัฒนา และศึกษาความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ผลการศึกษพบว่า แนวทางในการออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วงจะต้องมีองค์ประกอบหลัก 3 ด้าน ได้แก่ ข้อมูลเนื้อหาผลิตภัณฑ์ รูปแบบบรรจุภัณฑ์ และการออกแบบภาพและลวดลายบนบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า ในด้านข้อมูลเนื้อหาผลิตภัณฑ์ต้องคำนึงถึงหลักเกณฑ์ ข้อบังคับ ที่ถูกต้องตามข้อกำหนด ด้านรูปแบบบรรจุภัณฑ์จะต้องคำนึงถึงขนาด ปริมาณของผลิตภัณฑ์ รูปแบบ และวัสดุที่เหมาะสม ด้านการออกแบบภาพและลวดลายบนบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าจะเน้นการออกแบบให้สวยงาม น่าสนใจ สีสันสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ โดยมุ่งเน้นการใช้รูปแบบบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงข้อมูลและเพื่อเชื่อมโยงไปสู่ผู้ประกอบการได้ ผลการประเมินคุณภาพบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าในด้านเนื้อหาพบว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.93$, S.D. = 0.15) ในด้านการออกแบบพบว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.33$, S.D. = 0.47) และในด้านส่งเสริมการขายมีคุณภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.44$, S.D. = 0.54) ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจรวมในด้านการออกแบบ ($\bar{x} = 4.61$, S.D. = 0.17) และด้านส่งเสริมการขาย ($\bar{x} = 4.61$, S.D. = 0.13) อยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ ฉลากสินค้า ไวน์มะม่วง การส่งเสริมการขาย

Abstract

This research aimed to: 1) explore design guidelines for packaging and labeling to promote marketing of mango wine products; 2) develop packaging and labeling to enhance sales of mango wine; and 3) study the satisfaction of target consumers toward the developed packaging and labeling. The study engaged stakeholders involved in packaging and labeling to establish suitable development directions and assessed consumer satisfaction with researcher-designed prototypes. The findings revealed that effective packaging and labeling designs for mango wine promotion should consist of three essential components: product information content, packaging form, and graphic design elements. In terms of product content, legal regulations and standards specific to alcoholic products must be strictly adhered to. The packaging form should take into account appropriate size, quantity, structural design, and materials. The graphic and visual design should focus on aesthetic appeal, attractiveness, and color schemes aligned with the product identity. Smart packaging is also emphasized, allowing consumers to have quick access to product information and facilitating connectivity with producers. Quality assessment of the developed packaging and labeling indicated very high quality of content ($\bar{x} = 4.93$, S.D. = 0.15), high quality of design ($\bar{x} = 4.33$, S.D. = 0.47), and strong performance in promotional effectiveness ($\bar{x} = 4.44$, S.D. = 0.54). Furthermore, satisfaction assessment among sample participants showed

¹ นวัตกรรมสื่อสารและพัฒนากิจการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

¹ Department of Innovative Communication and Agricultural Development, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

* Corresponding author: apiwat.me@kmitl.ac.th

the highest level of satisfaction in terms of design ($\bar{x}$ = 4.61, S.D. = 0.17) and promotional support ($\bar{x}$ = 4.61, S.D. = 0.13).

Keywords: smart packaging, labeling, mango wine, sales promotion

คำนำ

ประเทศไทยถูกขนานนามว่าเป็นประเทศแห่งเกษตรกรรม นั้นเพราะว่าการเกษตรเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการดำเนินชีวิตประจำวันของคนไทยมาอย่างยาวนาน เหตุผลหนึ่งเพราะว่าประเทศไทยตั้งอยู่บนพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์ และเอื้ออำนวยต่อการทำการเกษตร การเกษตรของประเทศไทยได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องส่งผลให้มีความเจริญก้าวหน้าของคุณภาพชีวิตของประชากรภายในประเทศ นอกจากนี้ประเทศไทยยังได้รับฉายาว่าเป็นครัวของโลก เกษตรกรไทยได้ผลิตสินค้าทางเกษตรโดยทั้งจำหน่ายทั้งภายในประเทศ และส่งออกจำหน่ายนอกประเทศ ซึ่งสินค้าทางการเกษตรนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทย (Thongmeethip, 2021) ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลากหลายชนิดเป็นสินค้าที่ช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทยในปัจจุบัน โดยเฉพาะกลุ่มผลไม้ของไทยซึ่งได้รับความนิยมอย่างสูง และมีความต้องการในประเทศและต่างประเทศที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง มะม่วงก็จัดเป็นอีกหนึ่งผลไม้ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศมีการปลูกอย่างแพร่หลายในประเทศไทย

สายพันธุ์มะม่วงที่ได้รับความนิยมจากกลุ่มผู้บริโภคทั้งตลาดภายในประเทศ และตลาดต่างประเทศคือ สายพันธุ์มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองซึ่งเป็นมะม่วงที่ผลสุกมีผิวสวยงาม ผลมีขนาดใหญ่ เนื้อมากเนื้อผลละเอียดมีสีเหลืองอมส้ม มีกลิ่นและรสชาติที่หอมหวาน โดยมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองนิยมเพาะปลูกกันหลายพื้นที่โดยเฉพาะในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ

สวนมะม่วงธัญลักษณ์ เป็นสวนมะม่วงน้ำดอกไม้ ที่ตั้งอยู่ตำบลบางโฉลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ Buttasol (2023) เจ้าของสวนมะม่วงธัญลักษณ์ได้เล่าถึงพื้นที่ปลูกมะม่วงนี้ว่ามีการก่อตั้งมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 จนถึงปัจจุบัน มีพื้นที่ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นจำนวนมากและได้เห็นความสำคัญของมะม่วงน้ำดอกไม้ จึงได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการให้ทรัพยากรในสวนมะม่วงธัญลักษณ์ให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์มากที่สุด ผลิตภัณฑ์ของสวนมะม่วงธัญลักษณ์มีความหลากหลาย ตั้งแต่เมล็ดพันธุ์มะม่วง ผลมะม่วงดิบและผลสุก จนไปถึงผลิตภัณฑ์แปรรูป ผลิตภัณฑ์ไวน์นับเป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์แปรรูปลักษณะเครื่องดื่มจากมะม่วงซึ่งยังไม่เป็นที่รู้จักมากนัก นับเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เกิดขึ้นภายในสวนมะม่วงธัญลักษณ์ โดยเกิดจากการนำผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่สุกจนเกินมาตรฐานการขายไปแปรรูปเพื่อถนอมอาหารและเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้า เพื่อการส่งเสริมการขาย และการจัดจำหน่ายสินค้าชนิดใหม่การพัฒนาบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าจะช่วยให้สินค้าเกิดความน่าสนใจจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

ปัจจุบันบรรจุภัณฑ์ไม่ได้ทำหน้าที่พื้นฐานในการเป็นเพียงภาชนะบรรจุเท่านั้น หากแต่กลายมาเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสื่อสารแบรนด์เพื่อสร้างการรับรู้ และการส่งเสริมการขาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผลิตภัณฑ์หรือสินค้าที่ยังไม่เป็นที่รู้จักในตลาด ผู้บริโภคทั่วไปไม่คุ้นเคยกับรสชาติและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่บ่งบอกถึงเรื่องราวของชุมชน มีความทันสมัยทั้งแง่การออกแบบและการใช้งาน และช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้า นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการปฏิบัติตามกฎหมายของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มสุราซึ่งแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ทั่วไป ขณะเดียวกันก็ต้องออกแบบให้สามารถดึงดูดผู้บริโภคอีกด้วย อีกทั้งงานวิจัยด้านบรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่เน้นไปที่อาหาร ขนม หรือผลิตภัณฑ์ชุมชนอื่น ๆ ซึ่งยังไม่มีการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับไวน์มะม่วงโดยตรง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการวิจัยเรื่อง การพัฒนาบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วงเพื่อ 1) ศึกษาแนวทางในการออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วง 2) พัฒนาบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วง 3) ศึกษาความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้มีลักษณะเป็นการวิจัยและพัฒนา (Research & Development) ที่มุ่งพัฒนาบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วง โดยผู้ศึกษาได้ดำเนินการพัฒนา 3 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 :ระยะศึกษาความต้องการ

1. ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี งานวิจัย สำหรับการออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าสำหรับสินค้าประเภทไวน์ และสินค้าที่มีลักษณะใกล้เคียง

2. สร้างเครื่องมือในการทำการศึกษ ได้แก่ 1) แบบสัมภาษณ์ความต้องการของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นลูกค้ามีลักษณะเป็นแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างที่มุ่งสอบถามความต้องการของผู้บริโภคโดยแบ่งเป็นด้านต่างๆ ได้แก่ ด้านรูปแบบของบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า ด้านการออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า ตัวอย่างข้อคำถาม เช่น ท่านคิดว่าบรรจุภัณฑ์ควรมีขนาด

ความจุเท่าไร ท่านคิดว่าสโตร์การออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าควรมีรูปแบบในลักษณะใด เป็นต้น 2) แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา มีลักษณะเป็นแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างที่มุ่งสอบถามข้อมูลพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ และความต้องการจากผู้ประกอบการ ตัวอย่างข้อคำถาม เช่น ข้อมูลพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ (ส่วนประกอบหลัก การจัดทำหน่วย ช่องทางการติดต่อวิธีใช้และการเก็บรักษา และคำเตือน) มีอะไรบ้าง จุดเริ่มต้น/เรื่องราวของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างไร เป็นต้น 3) แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ เป็นเครื่องมือที่มีลักษณะเป็นแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างที่มุ่งสอบถามแนวทางในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า ตัวอย่างข้อคำถาม เช่น ท่านคิดว่ารูปแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าไวน์มะม่วงควรมีรูปแบบและมีลักษณะอย่างไร ท่านคิดว่าองค์ประกอบอะไรที่ช่วยส่งเสริมการขาย และเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าไวน์มะม่วง เป็นต้น

3. นำเครื่องมือที่สร้างขึ้นไปดำเนินการเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างโดยใช้การสัมภาษณ์ในการเก็บข้อมูลผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา (ผู้ประกอบการสวนมะม่วงอัญลักษ์และพนักงาน) จำนวน 3 คน ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ จำนวน 3 คน และลูกค้าผลิตภัณฑ์สวนมะม่วง จำนวน 10 คน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดแนวทางในการออกแบบ โดยกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้เชี่ยวชาญจะใช้การเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) ซึ่งจะต้องเป็นผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ ชำนาญ และมีประสบการณ์ขั้นต่ำ 3 ปี หรือสำเร็จการศึกษาตั้งแต่ระดับปริญญาโทในด้านที่เกี่ยวข้อง ในขณะที่กลุ่มลูกค้าผลิตภัณฑ์สวนมะม่วงจะใช้การเลือกแบบการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) จากลูกค้าผู้ติดตามบนเพจเฟซบุ๊ก (Facebook Page) ของสวนมะม่วงอัญลักษ์

4. นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีและสัมภาษณ์ มาวิเคราะห์ผลและสรุปเพื่อหาแนวทางในการออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อการส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วง

ระยะที่ 2 :ระยะพัฒนาบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า

1. นำข้อมูลแนวทางในระยะที่ 1 มาใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อการส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วงโดยต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลัก 3 ด้าน ได้แก่ ข้อมูลเนื้อหาผลิตภัณฑ์ รูปแบบบรรจุภัณฑ์ และการออกแบบภาพและลวดลายบนบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า

2. การจัดเตรียม สก๊ตและเรียบเรียงข้อมูลเนื้อหาเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ (ที่มา จุดเด่น ประโยชน์ ขนาดปริมาณบรรจุ ข้อควรระวัง) ข้อมูลที่ต้องคำนึงถึงตามข้อกำหนดที่กำหนด

3. ในขั้นตอนการออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าต้องคำนึงถึงองค์ประกอบทางด้านขนาด สัดส่วน ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ ประโยชน์การใช้งาน ตลอดจนความสวยงาม โดยเริ่มต้นจากการทำต้นแบบรูปแบบอย่างง่าย (Low-fidelity prototypes) หลังจากนั้นจึงนำกรอบแนวทางดังกล่าวไปออกแบบต้นแบบเสมือนจริง (High-fidelity prototypes) ผ่านโปรแกรมออกแบบกราฟิก

4. นำเสนอต้นแบบเสมือนจริงกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินคุณภาพ ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาเกี่ยวกับสวนมะม่วงอัญลักษ์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ และผู้เชี่ยวชาญด้านส่งเสริมการขาย จำนวนด้านละ 3 คน รวม 9 คน ประเมินและให้ข้อคิดเห็น โดยใช้แบบประเมินคุณภาพของบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วง เป็นแบบประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) โดยใช้เกณฑ์ 5 ระดับ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ด้านเนื้อหา และด้านส่งเสริมการขายด้านละ 3 ท่าน ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 0.92 ,0.94 และ 0.92 ตามลำดับ

5. ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

ระยะที่ 3 :ระยะสำรวจความพึงพอใจ

1. สร้างเครื่องมือในการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อการส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วง มีลักษณะมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) โดยใช้เกณฑ์ 5 ระดับ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากผู้ทรงคุณวุฒิได้ค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 0.92

2. นำบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมาไปให้กลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นผู้สนใจผลิตภัณฑ์ของสวนมะม่วงอัญลักษ์จำนวน 226 คน ซึ่งได้มาโดยการเทียบตารางขนาดกลุ่มตัวอย่างของเครซีและมอร์แกน และทำการเลือกโดยการสุ่มแบบบังเอิญจากสถิติผู้ติดตามในเดือน มกราคม 2567 ของเพจสวนมะม่วงอัญลักษ์ จำนวน 511 คน (Buttaso, 2023) มาทดลองใช้งาน และทำแบบประเมินผลความพึงพอใจที่มีต่อบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า

3. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมทางสถิติ ได้แก่ ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หลังจากนั้นทำการสรุปผล นำมาเขียนสรุปในรูปแบบของการพรรณนา

ผลการศึกษาและวิจารณ์

วัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อศึกษาแนวทางในการออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วง ใช้การสัมภาษณ์ในการเก็บข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ โดยเก็บข้อมูลผ่านผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในงาน ได้แก่ 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา (ผู้ประกอบการสวนมะม่วงสัญลักษณ์และพนักงาน 2) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ และ 3) ลูกค้าผลิตภัณฑ์สวนมะม่วง ผลจากการศึกษาสามารถอธิบายได้จาก Table 1

วัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วง ซึ่งสามารถสรุปผลการออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วง ดัง Figure 1 โดยผลการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาที่เกี่ยวข้องผลิตภัณฑ์ ด้านบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า ตลอดจนด้านการส่งเสริมการขายถูกนำเสนอผ่าน Table 1-3

Table 1 Synthesized table of interview results on packaging and labeling of mango wine

Informant Group	Key Issues	Details / Requirements
Content Experts (Entrepreneurs of Thanyalux Mango Orchard)	Product Information	Product name: Namdokmai Wine Vibe; produced from Namdokmai Mango No. 4 (Geographical Indication: Samut Prakan); 500 ml; 15% alcohol by volume; price: 50 THB/unit
	Marketing	Desire to distribute as single bottles and in a set of three bottles as souvenir products
	Design Preferences	- Color tones: Natural (green, brown, and yellow) to represent Namdokmai Mango No. 4 - Using a realistic mango illustration - Typeface should convey luxury, cleanliness, refinement, and attractiveness - Interest in Smart Packaging
Packaging Design Experts	Design Orientation	- Should reflect product identity, be vivid, lively, and highlight mango fruit clearly - Graphic elements must be distinctive and eye-catching
	Product Information and Labeling	- Information should be complete, clear, and simple - Must comply with alcohol labeling regulations - Prohibited from claiming medicinal or health benefits of raw materials/herbs
	Sustainability	Emphasis on efficient use of resources and environmental sustainability
	Design Expectations	- Packaging graphics, product name, and images should be clear and appealing - Label should communicate taste attributes (sweet, fragrant, and unique) - Highlight product origin and incorporate a short slogan to enhance storytelling
Consumers (Target Customers)	Demographic Characteristics	Predominantly female, aged 21–30 years, single, holding a bachelor’s degree, and earning over 25,000 THB/month
	Consumption Behavior	Most had never consumed or purchased wine; a small portion purchased only 1–2 bottles per occasion
	Product Requirements	- Preferred volume: 500 ml/bottle- Packaging should protect product quality, be portable, and easy to open/close - Should be available as single bottles or in sets of three bottles
	Design Expectations	- Packaging graphics, product name, and images should be clear and appealing - Label should communicate taste attributes (sweet, fragrant, and unique) - Highlight product origin and incorporate a short slogan to enhance storytelling



Figure 1 Packaging and labeling design for marketing promotion of mango wine products

ด้านข้อมูลเนื้อหาผลิตภัณฑ์ ควรออกแบบโดยคำนึงถึงรายละเอียดต่าง ๆ ที่จะปรากฏบนฉลากสินค้า โดยด้านหน้าจะประกอบไปด้วย 1) ชื่อผลิตภัณฑ์ คือ Namdokmai Wine Vibe น้ำดอกไม้ ไวน์ ไวบ 2) รูปภาพประกอบ 3) Key Message นำเสนอผลิตภัณฑ์และแหล่งผลิต คือ รสชาติหวานละมุน หอมกลิ่นมะม่วงน้ำดอกไม้ และ PRODUCT OF THUNYALUX MANGO ORCHARD 4) ปริมาณตกรั 15 ตกรั 5) วันเดือนปีที่ผลิต และ QR code สำหรับเชื่อมโยงยังสื่อสังคมออนไลน์ของผู้ประกอบการ ฉลากด้านหลัง ประกอบไปด้วย 1) ชื่อผลิตภัณฑ์ 2) ตราสัญลักษณ์ของผู้ประกอบการ 3) ตราสัญลักษณ์ GI 4) คำอธิบายสินค้า 5) ประเภทสินค้า คือ สุราแช่ชนิดสุราไวน์ผลไม้ (ตัวหนังสือสูง 6 มิลลิเมตร) 6) คำเตือน : ห้ามจำหน่ายสุราแก่บุคคลซึ่งมีอายุต่ำกว่า 20 ปีบริบูรณ์ การดื่มสุรา ทำให้ความสามารถในการขับชยานพาหนะลดลง บุคคลซึ่งมีอายุต่ำกว่า 20 ปีบริบูรณ์ ไม่ควรดื่ม 7) ปริมาณ 500 ml. (ตัวหนังสือสูง 6 มิลลิเมตร) 8) เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 15% (ตัวหนังสือสูง 6 มิลลิเมตร) ฉลากด้านขวา ประกอบไปด้วย 1) สัญลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ 2) พื้นที่สำหรับบาร์โค้ด และ 3) ที่อยู่แหล่งผลิต โดยฉลากสินค้าติดตั้งลงบนขวดแก้วสีทึบเพื่อช่วยในการเก็บรักษา และปกปิดสีสันของผลิตภัณฑ์ที่มีสีไม่สวยสดใส

ด้านรูปแบบบรรจุภัณฑ์ ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบสำคัญต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดของผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเหมาะสมโดยมีปริมาณอยู่ที่ 500 มิลลิตร/ขวด มีต้นทุนขวดละ 50 บาท นอกจากนี้ผู้ศึกษาได้ทำการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุขวดสินค้ารูปแบบเซต 3 ขวด รูปแบบกล่องหิ้วเหมาะสำหรับการพกพาไปเป็นของฝาก โดยใช้กระดาษกราฟสีขาว่าที่เหมาะสมสำหรับการพิมพ์ กระดาษมีความแข็งแรงเหมาะสำหรับการทำบรรจุภัณฑ์

ด้านการออกแบบภาพและลวดลายบนบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า ในส่วนของการออกแบบกราฟิก จะเน้นการออกแบบให้มีความสวยงาม น่าสนใจ ใช้โทนสีธรรมชาติ ได้แก่ สีน้ำตาลและสีเหลืองเพื่อสื่อถึงผลิตภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ รูปแบบตัวอักษรเน้นรูปแบบมีเชิงที่มีความทันสมัย และดูหรูหราประณีต โดยเลือกใช้ชื่อผลิตภัณฑ์รูปแบบภาษาอังกฤษ ซึ่งเป็นภาษาสากล ภาพประกอบจะใช้ภาพเหมือนจริงประกอบภายในฉลากสินค้าและบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นการใช้รูปแบบบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ (Smart Packaging) เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็วโดยใช้ QR Code เพื่อเชื่อมโยงไปสู่ผู้ประกอบการด้วย

Table 2 Evaluation results on the quality of product content

Content assessment items	$\bar{x}$	S.D.	Meaning
1. The accuracy of the content	5.00	0.00	highest
2. The appropriateness of language and word choices	5.00	0.00	highest
3. The amount of information was considered	4.67	0.58	highest
4. The sequencing and organization of content achieved	5.00	0.00	highest
5. The illustrations were found to be perfectly aligned with the content	5.00	0.00	highest
Overall quality level	4.93	0.15	highest

จาก Table 2 ผลการประเมินคุณภาพของบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาพบว่ามีความเฉลี่ยเท่ากับ 4.93 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.15 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดปรากฏว่าคุณภาพด้านเนื้อหาของบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

จาก Table 3 ผลการประเมินคุณภาพด้านการออกแบบของบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบพบว่ามีความเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ

เกณฑ์ที่กำหนดปรากฏว่าคุณภาพด้านการออกแบบของบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าอยู่ในระดับมาก ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยในประเด็นความแข็งแรงทนทาน และการใช้งานได้มีการปรับเปลี่ยนวัสดุเป็นกระดาษที่มีความหนามากขึ้น และปรับโครงสร้าง Layout เพื่อเสริมความแข็งแรงและอำนวยความสะดวกในการใช้งานในส่วน of สินค้าแบบชุด

Table 3 Evaluation results on the quality of product packaging and label design

Design assessment items	$\bar{x}$	S.D.	Meaning
1. Strength and durability of the label and packaging	3.67	1.15	high
2. Effectiveness in protecting the product within the package	4.33	1.15	high
3. Ease of use and portability	3.67	0.58	high
4. Aesthetic appeal and attractiveness of the graphic design	5.00	0.00	highest
5. Ability of the design to reflect the product's identity	4.33	0.58	high
6. Appropriateness of typography used in the design	4.33	0.58	high
7. Suitability of layout and composition in the design	4.33	0.58	high
8. Appropriateness of color selection in the design	5.00	0.00	highest
9. Clarity of content and illustrations in conveying information	4.33	1.15	high
Overall quality level	4.33	0.47	high

จาก Table 4 ผลการประเมินคุณภาพด้านส่งเสริมการขายของบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญด้านส่งเสริมการขาย พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.44 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.54 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดปรากฏว่าคุณภาพด้านส่งเสริมการขายอยู่ในระดับมาก ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

Table 4 Evaluation results on the quality of sales promotion evaluation

Sales promotion evaluation items	$\bar{x}$	S.D.	Meaning
1. The label and packaging enhance the product's brand image	4.67	0.58	highest
2. The product effectively attracts customers and encourages purchase decisions	4.00	1.00	high
3. The product is attractive, unique, and easily memorable for consumers	4.33	1.15	high
4. The product presents an environmentally friendly image	3.67	1.15	high
5. The packaging facilitates convenient product display and shelf arrangement	5.00	0.00	highest
6. The packaging and design add perceived value to the product	5.00	0.00	highest
Overall quality level	4.44	0.54	high

วัตถุประสงค์ที่ 3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วงโดยใช้แบบสำรวจความพึงพอใจกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้สนใจผลิตภัณฑ์สวนมะม่วงธัญลักษณ์จำนวน 226 คน โดยข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 116 คน (ร้อยละ 50.7) มีอายุระหว่าง 21-30 ปี จำนวน 166 คน (ร้อยละ 72.5) สถานภาพโสด 200 คน (ร้อยละ 87.3) มีการศึกษาระดับปริญญาตรี 183 คน (ร้อยละ 79.9) และมีรายได้ระหว่าง 15,001-20,000 บาท (ร้อยละ 50.7) ซึ่งมีผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วง ดัง Table 4-5 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จาก Table 5 และ Table 6 ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจรวมในด้านการออกแบบอยู่ในระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.61, S.D. = 0.17) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรายการความถูกต้อง ครบถ้วนของเนื้อหาข้อมูลบนผลิตภัณฑ์ ($\bar{x}$ = 4.72, S.D. = 0.53) ความชัดเจนในการแสดงข้อมูลและรูปภาพ ($\bar{x}$ = 4.72, S.D. = 0.50) และความสวยงามขององค์ประกอบบนบรรจุภัณฑ์ ($\bar{x}$ = 4.72, S.D. = 0.53) ที่มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในระดับสูง โดยผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างในด้านส่งเสริมการขายมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.61, S.D. = 0.13) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรายการรูปแบบที่น่าสนใจ ดึงดูดลูกค้าได้ ($\bar{x}$ = 4.72,

S.D. = 0.51) ฉลากและบรรจุภัณฑ์สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ($\bar{x}$ = 4.72, S.D. = 0.49) และฉลากและบรรจุภัณฑ์สามารถส่งเสริมภาพลักษณ์ที่ดีได้ ($\bar{x}$ = 4.65, S.D. = 0.57) ที่มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในระดับสูง

Table 5 Results of the satisfaction evaluation regarding packaging and label design

Evaluation items	$\bar{x}$	S.D.	Meaning
1. Appropriateness of the Size and Shape of the Packaging	4.62	0.59	highest
2. Convenience of Use, Storage, and Portability	4.57	0.66	highest
3. Strength, Durability, and Product Protection Capability	4.32	0.79	high
4. Accuracy and Completeness of Product Information	4.72	0.53	highest
5. Clarity of Displayed Information and Images	4.72	0.50	highest
6. Aesthetic Appeal of Packaging Elements	4.69	0.53	highest
7. Attractiveness and Appeal of Graphic Design	4.65	0.59	highest
Overall quality level	4.61	0.17	highest

n = 226

Table 6 Results of the satisfaction evaluation regarding sales promotion

Evaluation items	$\bar{x}$	S.D.	Meaning
1. The packaging and labels can enhance the product's positive image	4.65	0.57	highest
2. The packaging and labels have an attractive design that can draw customer attention	4.72	0.51	highest
3. The packaging and labels can add value to the product	4.72	0.49	highest
4. The packaging and labels have a unique identity, making them easily recognizable to consumers	4.52	0.49	highest
5. The packaging and labels present an environmentally friendly image	4.43	0.75	high
Overall quality level	4.61	0.13	highest

n = 226

จากผลการศึกษาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วง สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ประเด็นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า

ผลการศึกษาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วง พบว่าแนวทางการออกแบบจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับองค์ประกอบหลัก 3 ด้าน ได้แก่ ข้อมูลเนื้อหาผลิตภัณฑ์ รูปแบบบรรจุภัณฑ์ และการออกแบบภาพและลวดลายบนบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า โดยผลการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและกลุ่มลูกค้าเป้าหมายยืนยันว่าการออกแบบที่ดีควรตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคทั้งในด้านฟังก์ชันและความสวยงาม ซึ่งสอดคล้องกับ แนวคิดการออกแบบเพื่อผู้ใช้ (User-Centered Design) ที่ให้ความสำคัญต่อความต้องการ และการมีส่วนร่วมของผู้ใช้

ด้านข้อมูลเนื้อหา การออกแบบต้องคำนึงถึงข้อมูลที่สอดคล้องกฎหมายควบคุมสุรา เช่น การระบุชื่อผลิตภัณฑ์ ปริมาณสุทธิ ปริมาณแอลกอฮอล์ วันผลิต และคำเตือน นอกจากนี้ควรออกแบบให้ข้อมูลมีลำดับชั้น (information hierarchy) และมีความชัดเจน (clarity) สอดคล้องกับหลักการของ Gestalt Design Principles ที่เน้นการจัดระเบียบองค์ประกอบเพื่อให้เกิดการรับรู้ที่เป็นเอกภาพและง่ายต่อความเข้าใจของผู้บริโภค (Mehta et al., 2024) การนำเสนอข้อมูลที่แสดงคุณค่า หรือคุณสมบัติพิเศษของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบ Key Message ยังช่วยในการสื่อสารผลิตภัณฑ์ให้สามารถเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายได้ดียิ่งขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schifferstein et al. (2021) ที่กล่าวถึงการรับรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคผ่านประสาทสัมผัสทางการมองเห็น โดยคุณลักษณะเชิงบวกของผลิตภัณฑ์ช่วยกระตุ้นให้เกิดความคิดเชิงบวกต่อคุณลักษณะอื่นๆ ด้วย ฉลากสินค้านำมาเอาเทคโนโลยี QR code เข้ามาใส่เพื่อสร้างประสบการณ์ที่ดีให้กับลูกค้า โดยเชื่อมโยงกับข้อมูลเสริมที่ผู้บริโภคอาจสนใจทั้งเรื่องราวของผลิตภัณฑ์กระบวนการผลิต และข้อมูลผู้ประกอบการ (Saysrikeaw et al., 2022) เพื่อรองรับการเป็นบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ หรือ Smart Packaging

ด้านรูปแบบบรรจุภัณฑ์ การออกแบบต้องคำนึงถึงรูปแบบและขนาดบรรจุภัณฑ์ที่จะต้องได้ปริมาณที่เหมาะสมอันจะส่งผลต่อการใช้งาน (Farrell et al., 2024) โดยเลือกใช้ขวดแก้วขนาด 500 มิลลิลิตรและกล่องบรรจุชุด 3 ชุดที่มีความแข็งแรงทนทาน ตลอดจนการออกแบบที่เอื้อต่อการพกพาและจัดจำหน่าย สอดคล้องกับแนวคิด Functional Design และหลัก Form Follows Function ที่เน้นให้รูปแบบการออกแบบตอบสนองต่อประโยชน์ใช้สอยและการปกป้องผลิตภัณฑ์เป็นสำคัญ การใช้วัสดุที่แข็งแรงและทนทานช่วยเพิ่มมูลค่าของบรรจุภัณฑ์ ทำให้สินค้าดูมีคุณภาพและน่าซื้อมากขึ้น (Singbubpha et al., 2025) นอกจากนี้ยังต้องเหมาะสมสำหรับงานพิมพ์เพื่อผลลัพธ์ที่สวยงามตรงตามที่ต้องการ ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดความน่าสนใจ และช่วยในการส่งเสริมการขายสินค้า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jujia and Roodplang (2023) ที่กล่าวว่าบรรจุภัณฑ์เป็นอีกหนึ่งกลยุทธ์ทางการตลาดที่ช่วยดึงดูดทำให้ผู้บริโภคเกิดความสนใจอยากหยิบสินค้ามาเพื่อพิจารณา

ด้านการออกแบบภาพและลวดลายบนบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า การเลือกใช้โทนสีธรรมชาติ (น้ำตาล-เหลือง) ที่สอดคล้องกับทฤษฎีจิตวิทยาสี (Color Psychology) ช่วยสื่อถึงผลิตภัณฑ์ ตัวอักษรที่มีลักษณะหรูหรา และภาพเสมือนจริงของมะม่วงน้ำดอกไม้ ช่วยถ่ายทอดอัตลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ได้อย่างเด่นชัด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Schifferstein et al. (2021) ที่กล่าวถึงการรับรู้และการตอบสนองของผู้บริโภคว่าภาพที่ปรากฏบนบรรจุภัณฑ์สามารถทำหน้าที่ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคได้ มีความชัดเจนและง่ายในการทำความเข้าใจ อย่างไรก็ตามก็ควรมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่ช่วยส่งเสริมกันเพื่อการนำเสนอ เช่น ฟอนต์ สี ลวดลาย กราฟิก ช่วยกระตุ้นให้เกิดความเชื่อมโยงไปยังตัวสินค้า นอกจากนี้การเลือกใช้ชื่อผลิตภัณฑ์ภาษาอังกฤษยังช่วยสร้างภาพลักษณ์ที่ทันสมัยและขยายการรับรู้สู่ตลาดสากล

ประเด็นความพึงพอใจที่มีต่อบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า ในภาพรวมด้านการออกแบบกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด โดยในอันดับแรก คือ ความถูกต้อง ครบถ้วน ความชัดเจนของข้อมูล และรูปภาพที่แสดง รองลงมาเป็นเรื่องความสวยงามของการจัดองค์ประกอบ ความน่าสนใจและเสน่ห์ของงานออกแบบ โดยอันดับสุดท้ายคือความแข็งแรง ความทนทาน และความสามารถในการปกป้องผลิตภัณฑ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang et al. (2022) พบว่าการออกแบบบรรจุภัณฑ์ตามองค์ประกอบที่ผู้บริโภคชื่นชอบ จะช่วยกระตุ้นความตั้งใจในการซื้อได้ดียิ่งขึ้น

ในด้านส่งเสริมการขายผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในระดับความพึงพอใจมากที่สุด โดยในอันดับแรก คือ การออกแบบที่มีความน่าสนใจ ดึงดูดลูกค้า และช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ รองลงมาเป็นเรื่องการช่วยส่งเสริมสร้างภาพลักษณ์ ความมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว และทำให้ผู้บริโภคสามารถจดจำได้ง่าย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thienwet (2022) ที่ได้กล่าวถึงบรรจุภัณฑ์ว่านอกจากจะทำหน้าที่ในการบรรจุผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภคแล้ว ยังเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rattanapan et al. (2022) ที่กล่าวว่าบรรจุภัณฑ์ช่วยทำหน้าที่ในการสื่อสารการตลาด การให้ข้อมูล การแนะนำสินค้า และช่วยกระตุ้นให้เกิดการตัดสินใจซื้อ การออกแบบบรรจุภัณฑ์จะทำให้เกิดการเปรียบเทียบ และการแข่งขัน ตรึงสินค้าและบรรจุภัณฑ์ที่มีเอกลักษณ์ แสดงถึงตัวตนมีความสำคัญอย่างมากต่อการจัดจำหน่ายสินค้า ในด้านการส่งเสริมภาพลักษณ์ที่ดีให้กับผู้ประกอบการ การพัฒนาบรรจุภัณฑ์จะทำให้ผู้ประกอบการสร้างมูลค่าและเสริมความแข็งแกร่งของแบรนด์สำหรับการแข่งขันในสถานการณ์ต่างๆ ได้ดีขึ้น (Boonthawee and Auyyuenyong, 2024)

สรุปผลการศึกษา

แนวทางการออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วง

ผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วงควรมีปริมาณที่เหมาะสมคือ 500 มิลลิลิตร/ขวด แยกจำหน่ายเป็นขวดเดียว และกล่องบรรจุชุด 3 ชุด บรรจุภัณฑ์ควรมีความสามารถในการปกป้องสินค้าได้ดีโดยจะต้องเลือกใช้งานวัสดุที่แข็งแรงทนทาน บรรจุภัณฑ์และฉลากควรมีการออกแบบองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ ข้อความ ภาพ สี กราฟิกและลวดลาย ที่ช่วยสื่อสารถึงเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ โดยข้อมูลที่จะปรากฏบนผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับความต้องการของผู้ซื้อ ตรงตามข้อกำหนดที่กำหนด

ผลการออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วง

การออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วงจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลัก 3 ด้านได้แก่ ข้อมูลเนื้อหาผลิตภัณฑ์ รูปแบบบรรจุภัณฑ์ และ การออกแบบภาพและลวดลายบนบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้า

ความพึงพอใจที่มีต่อบรรจุภัณฑ์และฉลากสินค้าเพื่อส่งเสริมการขายไวน์มะม่วง

กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดทั้งในด้านการออกแบบ และด้านการส่งเสริมการขายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเด็นความถูกต้อง ครบถ้วน ความชัดเจนของข้อมูลและภาพที่แสดงผล และการเชื่อมโยงข้อมูลภายนอกผ่าน เทคโนโลยี QR code ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคอันเป็นผลมาจากการสำรวจความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อบรรจุภัณฑ์

และฉลากสินค้า นอกจากนี้การออกแบบยังช่วยยกระดับมูลค่าของผลิตภัณฑ์ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความสวยงาม น่าสนใจ ช่วยดึงดูดความสนใจของลูกค้า

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการต่อยอดงานวิจัยโดยการศึกษาข้อมูลจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่มีความครอบคลุมมากขึ้นทั้งกลุ่มประชากรที่เป็นลูกค้าเดิมและกลุ่มเป้าหมายใหม่ๆ ตลอดจนการวิเคราะห์คู่แข่งทั้งทางตรงและทางอ้อมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่รอบด้านมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ควรมีการต่อยอดงานวิจัยในการประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วงของสวนมะม่วงธัญลักษณ์ให้เป็นที่รู้จักมากขึ้น

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ผู้เขียนความคิดริเริ่มงานวิจัย กำหนดวัตถุประสงค์งานวิจัย ออกแบบพัฒนา วิเคราะห์ข้อมูล แปรผล วิพากษ์วิจารณ์ผล : อัญชลี ประยงค์แย้ม, อภิวัฒน์ มีอุปการ.

เอกสารอ้างอิง

- Boonthawee, K., & Auyyuenyong, R. (2024). Brand design and product packaging of dried fish (*C. aesarinesis*) product for community enterprises, Thai river sprat fish producers for sale in Ubon Ratchathani province. **Journal of Agricultural Research and Extension**, 41(2), 219-235. (in Thai).
- Buttas, T. (2023). **Thanyalux Mango Orchard**. Interview, 21 August. (in Thai).
- Farrell, R., Cortese, Y. J., Devine, D. M., Gately, N., Rueda, M., Rodrigues, L., & Pezzoli, R. (2024). The function and properties of common food packaging materials and their suitability for reusable packaging: The transition from a linear to circular economy. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, 9(1), 100429.
- Jujia, S., & Roodplang, P. (2022). Enhancing branding and packaging for value creation in agricultural products: A case study of the Bang Rachan royal initiative education promotion center at Thepsatri Rajabhat university. **Rajabhat Rambhai Barnin Research Journal**, 4(3), 25-37. (in Thai).
- Mehta, A., Serventi, L., Kumar, L., & Torrico, D. D. (2024). Exploring the effects of packaging on consumer experience and purchase behavior: Insights from eye tracking and facial expressions on orange juice. **International Journal of Food Science and Technology**, 59(11), 8445-8460.
- Rattanapan, T., Krainatee, M., & Buakaw, W. (2022). Packaging design for Khanom La to add value for products of Ban Tha Som community enterprise in HuaSai district, Nakhon Si Thammarat province. **Journal for the Humanities and Social Sciences Dhonburi Rajabhat University**, 5(3), 22-36. (in Thai).
- Saysrikeaw, Y., Wannakayont, A., Dumnil, S., & Praisin, A. (2022). Product label design and apply QR code technology (QR code) to communicate and increase value of goods for processed products crispy shredded pork: Case study of producer Mar Tu Kawneaw Samsi. **Journal of MCU Nakhondhat**, 9(11), 101-115. (in Thai).
- Schifferstein, H. N. J., Fenko, A., Desmet, P. M. A., Labbe, D., & Martin, N. (2021). Conveying information through food packaging: A literature review comparing legislation with consumer perception. **Journal of Functional Foods**, 86, 104734.
- Singbubpha, P., Rattanawongsa, R., & Kultawanich, K. (2025). Development of Feng Shui-Based orange packaging. **King Mongkut's Agricultural Journal**, 43 (2), 139-148. (in Thai).
- Thienwet, J. (2022). Brand and packaging design for image and promotion: a case study of Baan Benjarong, Pathum Thani province. **Journal of Architecture, Design and Construction**, 4(3), 177-192. (in Thai).
- Thongmeethip, K. (2021). Agricultural development in Thailand in terms of community development in terms of community development and quality of life and quality of Life. **Journal of Development Studies Thammasat University**, 4(1), 132-162. (in Thai).
- Wang, F., Wang, H., & Cho, J. H. (2022). Consumer preference for yogurt packaging design using conjoint analysis. **Sustainability**, 14(6), 3463.

ความหลากหลายทางสัณฐานและพันธุกรรมของแมงกะพรุนหลากสีชนิด *Catostylus townsendi*
บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดตราด และความเป็นไปได้ของการเกิดชนิดซ่อนเร้น
Morphological and Genetic Variation in the Multi-colored Jellyfish *Catostylus townsendi*
along the Coast of Trat Province Suggests Possible Cryptic Diversity

พรรสิน ปณิธานะรักษ์^{1*} และสุพัตรา ตะเหลบ¹

Thadsin Panithanarak^{1*} and Supattra Taleb¹

Received date: 22 ส.ค. 68 Revised date: 16 ต.ค. 68 Accepted date: 28 ต.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.268822>

บทคัดย่อ

แมงกะพรุนหลากสีที่พบสะพรั่งบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดตราด ถูกจำแนกเป็นชนิด *Catostylus townsendi* จากข้อมูลสัณฐานเพียงอย่างเดียว และในปัจจุบันมีการศึกษาพันธุกรรมของแมงกะพรุนชนิดนี้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการยืนยันชนิดและศึกษาความเชื่อมโยงของพันธุกรรม การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันชนิดและตรวจสอบความเชื่อมโยงของพันธุกรรมในแมงกะพรุนหลากสีที่พบในประเทศไทยกับพื้นที่อื่น โดยการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานร่วมกับข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน *COI* (cytochrome c oxidase subunit I) และตรวจสอบระยะห่างทางพันธุกรรมและความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ การศึกษาลักษณะสัณฐานของแมงกะพรุน 21 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวแทนของแมงกะพรุน 7 กลุ่ม ตามความผันแปรของสีบนลำตัวและหนวด จากบริเวณหาดคลองสน ตำบลแหลมกลัด อำเภอมือ จังหวัดตราด พบแมงกะพรุน 7 กลุ่ม มีลักษณะสัณฐานที่จำเป็นต่อการจำแนกชนิด ได้แก่ ความยาวของหนวดรอบปาก จำนวนและขนาดของริ้วขอบร่ม และรูปร่างของอวัยวะรับความรู้สึกคล้ายกัน จัดเป็นชนิด *C. townsendi* การศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน *COI* ของแมงกะพรุน 18 ตัวอย่าง พบความแตกต่างของลำดับนิวคลีโอไทด์น้อย สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของระยะห่างทางพันธุกรรม (K2P) ($0.19 \pm 0.09\%$) การศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการโดยการสร้างแผนผังความสัมพันธ์ด้วยวิธี maximum likelihood พบแมงกะพรุนหลากสีอยู่ในกลุ่มวิวัฒนาการเดียวกับแมงกะพรุนชนิดเดียวกันจากบริเวณตะวันออกของทะเลจีนใต้ ด้วยค่าความเชื่อมั่น 100 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานร่วมกับข้อมูลทางพันธุกรรมยืนยันการจำแนกชนิดแมงกะพรุนหลากสี และแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการเกิดชนิดซ่อนเร้นในขอบเขตการแพร่กระจายของแมงกะพรุนชนิดนี้ ซึ่งมีความสำคัญต่อการประเมินความหลากหลายและการอนุรักษ์ทรัพยากรทางชีวภาพ

คำสำคัญ: *Catostylus townsendi* ยีน *COI* ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ อนุกรมวิธานโมเลกุล

Abstract

Multi-colored jellyfish that bloomed along the coast of Trat Province were classified as *Catostylus townsendi* based on morphological data alone. Currently, an increasing number of studies on *C. townsendi* genetics have led to the verification of the species and the investigation of its genetic connectivity. Therefore, this study aimed to confirm species identification and investigate genetic connectivity between Thai and other populations of multi-colored jellyfish by morphological character and *COI* (cytochrome c oxidase subunit I) nucleotide sequence analyses. In addition, pairwise genetic distances and phylogenetic analyses were also examined. Morphological evaluation of 21 jellyfish (representing 7 groups defined by color variation on bells and oral arms), collected from Klongson Beach, Laemklud, Muang, Trat Province showed that the 7 morphotypes were morphologically similar with comparable key morphological characters, namely oral arm length, number and size of lappets, and rhopalium shape, and were classified to the species *C. townsendi*. The *COI* sequence variation of 18 jellyfish samples was low consistence with a mean pairwise genetic distance (K2P) ($0.19 \pm 0.09\%$). The maximum likelihood phylogenetic tree revealed that multi-colored jellyfish were in the same clade as *C. townsendi* from the east of The South China Sea, strongly supported by a 100 percent bootstrap value. Morphological and genetic results confirmed the species identification of multi-colored jellyfish and suggested

¹ สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

¹ Institute of Marine Science, Burapha University, Chonburi 20131

* Corresponding author: thadsin@buu.ac.th

the possibility of cryptic species detection within *C. townsendi* distribution. This suggestion is important for biodiversity assessment and conservation.

Keywords: *Catostylus townsendi*, *COI* gene, phylogeny, molecular taxonomy

คำนำ

ปรากฏการณ์การรวมตัวกันของแมงกะพรุนจำนวนมากบริเวณเหนือผิวน้ำ หรือที่เรียกว่า การสะสมของแมงกะพรุน (jellyfish bloom) เป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ การเพิ่มปริมาณสารอาหารลงสู่แหล่งน้ำ การเปลี่ยนแปลงแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยง การทำประมงเกินขนาด การนำเข้า-ส่งออกสัตว์น้ำต่างถิ่น (alien species) และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Richardson et al., 2009; Hashim et al., 2023) ส่วนใหญ่มีผลกระทบต่อ การท่องเที่ยว อุตสาหกรรมโรงไฟฟ้า (ทำให้เกิดการอุดตันในระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้า) และการทำประมงชายฝั่ง (Lynam et al., 2006; Purcell et al., 2007) ในประเทศไทยพบการสะสมของแมงกะพรุนหลากหลายสปีชีส์บริเวณชายฝั่งทะเลของจังหวัดตราด ตั้งแต่หาดราชนาถ อำเภอมะนัง ถึงอ่าวไม้รุต อำเภอลองใหญ่ ระหว่างเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายนของทุกปี โดยมีรายงานการพบตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 จนถึงปัจจุบัน (MGR Online, 2013; Nation Thailand, 2024; TNA, 2024) แต่อย่างไรก็ตาม การสะสมของแมงกะพรุนหลากหลายสปีชีส์บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดตราด ทำให้เกิดการสร้างความเสียหายในชุมชนจากการท่องเที่ยวในเทศกาลชมแมงกะพรุนหลากหลายสปีชีส์ ซึ่งจัดขึ้นเป็นประจำทุกปี (MGR Online, 2013; Nation Thailand, 2024; Pattaya Mail, 2024; TNA, 2024) สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน ได้จำแนกชนิดแมงกะพรุนหลากหลายสปีชีส์ที่พบสะสมบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดตราด ว่าเป็นแมงกะพรุนชนิด *Catostylus townsendi* (Phylum Cnidaria, Class Scyphozoa, Family Catostylidae) จากลักษณะทางสัณฐานวิทยาเพียงอย่างเดียว (Marine and Coastal Resources, and Mangrove Research and Development Institute, 2015) แมงกะพรุนในสกุล *Catostylus* มีรายงานทั่วโลกทั้งหมด 11 ชนิด (*C. cruciatus*, *C. mosaicus*, *C. ornatellus*, *C. ouwensi*, *C. perezi*, *C. purpureus*, *C. tagi*, *C. townsendi*, *C. tripterus*, *C. turgescens* และ *C. viridescens*) (WoRMS Editorial Board, 2025) ในประเทศไทยมีรายงานว่าพบ *C. townsendi* เพียงชนิดเดียว แมงกะพรุนชนิดนี้มีลำตัวนิ่มใสคล้ายร่ม มีสีสันแตกต่างกัน ตั้งแต่ขาว เหลืองนวล น้ำตาล ฟ้ำ ม่วง น้ำเงิน มีหนวดรูปทรงกรวยจำนวน 8 เส้นอยู่ด้านล่างลำตัว บริเวณหนวดมีเข็มพิษ ซึ่งมีความรุนแรงไม่มากนักและไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ (Marine and Coastal Resources, and Mangrove Research and Development Institute, 2015) แมงกะพรุนชนิดนี้พบแพร่กระจายบริเวณคาบสมุทรมลายู และเกาะชวา ประเทศอินโดนีเซีย (Kramp, 1961) ในประเทศไทยพบบริเวณทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต และอ่าวไทยตั้งแต่จังหวัดตราด จันทบุรี ระยอง ชลบุรี เพชรบุรี สมุทรสาคร สมุทรปราการ สมุทรสงคราม ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และสงขลา (Marine and Coastal Resources, and Mangrove Research and Development Institute, 2015)

ในปี พ.ศ. 2560 รายงานการศึกษาสัณฐานวิทยาเบื้องต้นและความผันแปรของลำดับนิวคลีโอไทด์ในแมงกะพรุนหลากหลายสปีชีส์ โดย Panithanarak and Taleb (2017a) พบว่าแมงกะพรุนหลากหลายสปีชีส์ที่พบสะสมในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 บริเวณคลองเขา ลาน หาดราชนาถ อำเภอมะนัง และปากคลองอ่าวไม้รุต อำเภอลองใหญ่ จังหวัดตราด มีลักษณะสัณฐานคล้ายคลึงกัน จัดอยู่ในสกุล *Catostylus* โดยมีลำตัวนิ่มคล้ายร่ม ผิวเรียบ ไม่มีปุ่ม มีสีสันแตกต่างกัน ได้แก่ สีขาวและฟ้า รวมถึงมีเม็ดสปีกระบายอยู่ทั่วไป หนวดเป็นรูปทรงกรวย มีจำนวน 8 เส้นอยู่ด้านล่างลำตัว มีสีสันแตกต่างกัน ตั้งแต่ขาว ม่วง และค่อนข้างดำ พบความผันแปรของลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I (*COI*) น้อย และมีระยะห่างทางพันธุกรรมน้อย (Kimura 2-parameter (K2P) genetic distance 0-0.75%) เทียบเท่ากับระยะห่างทางพันธุกรรมภายในแมงกะพรุนชนิดเดียวกัน (Holst and Laakmann, 2013) แต่ไม่สามารถจำแนกได้ถึงระดับชนิด เนื่องจากขาดข้อมูลของลักษณะสัณฐานที่จำเป็นต่อการจัดจำแนกในระดับชนิด ได้แก่ ความยาวของหนวดรอบปาก (oral arm) จำนวนและขนาดของริ้วขอบร่ม (lappets) และลักษณะรูปร่างของอวัยวะรับสัมผัส (rhopalium) และฐานข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ในระดับสากล (GenBank) ในขณะนั้นไม่มีข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน *COI* ของแมงกะพรุนในสกุล *Catostylus* (ยกเว้นแมงกะพรุนชนิด *C. mosaicus* ซึ่งพบบริเวณชายฝั่งทางตะวันออกของประเทศออสเตรเลีย) ในปัจจุบันมีการศึกษาแมงกะพรุนในสกุล *Catostylus* รวมถึงแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* ในระดับพันธุกรรมเพิ่มมากขึ้น (Abboud et al., 2018; Gómez-Daglio et al., 2022) โดยพบข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน *COI* ของแมงกะพรุนในสกุลนี้ทั้งหมด 3 ชนิด (*C. mosaicus*, *C. tagi* และ *C. townsendi*) จากการสืบค้นฐานข้อมูล GenBank และพบว่าไม่มีข้อมูลไมโทคอนเดรียลจีโนมทั้งหมด (mitochondrial complete genome) ของแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* ที่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมงกะพรุนหลากหลายสปีชีส์ที่พบในประเทศไทย เพื่อการยืนยันการจำแนกชนิดที่ถูกต้องและศึกษาความเชื่อมโยงของพันธุกรรมในประชากรที่พบในประเทศไทยเปรียบเทียบกับในพื้นที่อื่นต่อไป ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมี

วัตถุประสงค์เพื่อยืนยันการระบุชนิดที่ถูกต้องของแมงกะพรุนหลากสี (พบความผันแปรของสีบนลำตัวและหนวด) ซึ่งพบสะพรั่งบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดตราด เป็นประจำทุกปี และตรวจสอบความเชื่อมโยงของพันธุกรรมในประชากรที่พบในประเทศไทยกับในพื้นที่อื่น โดยการวิเคราะห์ทางสัณฐานวิทยาร่วมกับข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน COI และตรวจสอบระยะห่างทางพันธุกรรมและความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ ข้อมูลพื้นฐานจากการศึกษานี้มีความสำคัญต่อการตรวจติดตามความหนาแน่นและการแพร่กระจายของแมงกะพรุน รวมไปถึงการเฝ้าระวังปรากฏการณ์การสะพรั่งของแมงกะพรุน เพื่อการป้องกันและบรรเทาผลกระทบของปรากฏการณ์ต่อการท่องเที่ยวทางทะเล การประมงชายฝั่ง และอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้า นอกจากนี้แล้วยังมีความสำคัญต่อการประเมินความหลากหลายและการอนุรักษ์ทรัพยากรทางชีวภาพของสัตว์ในกลุ่มนี้ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบนิเวศ

วิธีการศึกษา

การเก็บรวบรวมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างแมงกะพรุนโดยใช้สวิงขนาดเล็กตักบนเรือตามวิธีการของ Browne and Kingsford (2005) จากบริเวณหาดคลองสน ตำบลแหลมกลัด อำเภอเมือง จังหวัดตราด (Figure 1) ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่พบการสะพรั่งของแมงกะพรุน จากการเก็บตัวอย่าง 1 สถานี จำนวน 1 ครั้ง พบแมงกะพรุนทั้งหมด 7 กลุ่ม ตามความผันแปรของสีที่พบบนลำตัวและหนวด โดยการใช้การจำแนกความผันแปรของสีตามการศึกษาของ Panithanarak and Taleb (2017b) ได้แก่ กลุ่ม A ลำตัวสีขาว ขอบร่มสีม่วง หนวดสีขาว กลุ่ม B ลำตัวสีขาว ขอบร่มสีม่วง หนวดสีม่วง กลุ่ม C ลำตัวสีฟ้า มีจุดสีฟ้า หนวดสีเข้ม กลุ่ม D ลำตัวสีฟ้า หนวดสีเข้ม กลุ่ม E ลำตัวสีขาว มีจุดสีน้ำเงิน หนวดสีขาว กลุ่ม F ลำตัวสีขาว หนวดสีเข้ม และกลุ่ม G ลำตัวสีขาว หนวดสีขาว (Figure 2) เก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่ม จำนวน 3 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 21 ตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างมาวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง (bell diameter, เซนติเมตร) ซึ่งน้ำหนักเปียก (wet weight, กรัม) และบันทึกลักษณะสัณฐานภายนอก เช่น สีบนลำตัวและหนวด ตัวอย่างที่นำไปศึกษาต่อทางสัณฐานวิทยาใช้ตัวอย่างทั้งตัวที่เก็บรักษาด้วยฟอร์มาลิน 10 เปอร์เซ็นต์ โดยศึกษาลักษณะสัณฐานตามคู่มือจำแนกชนิดแมงกะพรุนในชั้น Scyphozoa โดย Mianzan and Cornelius (1999) ได้แก่ ร่ม (bell/umbrella) ริวขอบร่ม (lappets) หนวด (oral arm) และลักษณะสัณฐานที่จำเป็นต่อการจำแนกในระดับชนิด ได้แก่ ความยาวของหนวดรอบปาก จำนวนและขนาดของริวขอบร่ม และรูปร่างของอวัยวะรับความรู้สึก (rhopalium) (Figure 3) สำหรับตัวอย่างที่นำไปศึกษาทางพันธุกรรมมาจากการตัดเนื้อเยื่อความยาว 0.5-1 เซนติเมตร บริเวณหนวดหรือขอบร่มและเก็บรักษาด้วยเอทิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ (absolute ethanol)

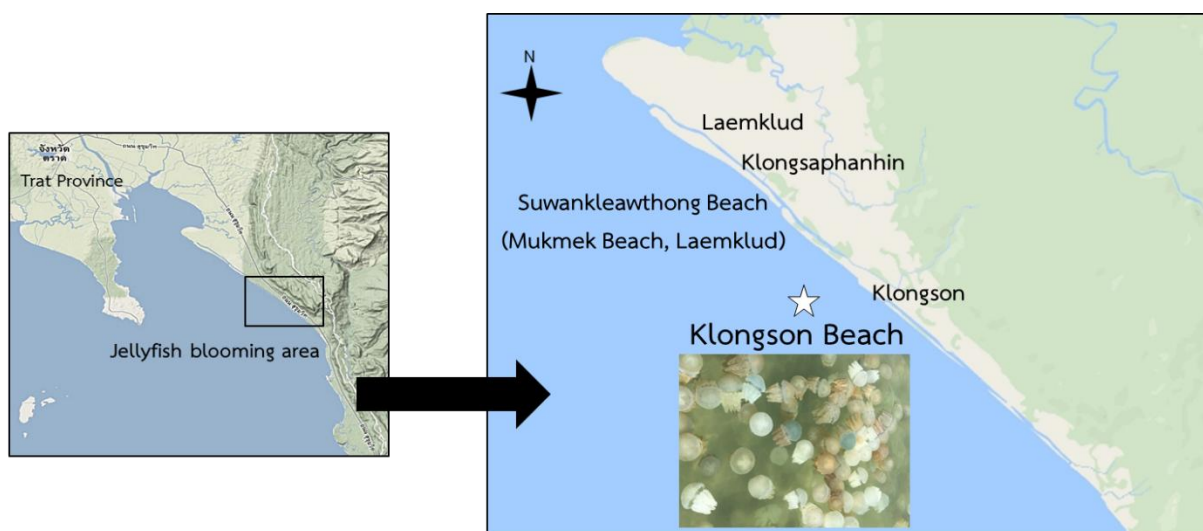


Figure 1 Map of jellyfish blooming area at Klongson Beach, Laemklud, Muang, Trat Province in October 2016 (edited from Panithanarak and Taleb, 2017a). A sampling station is indicated by a white star

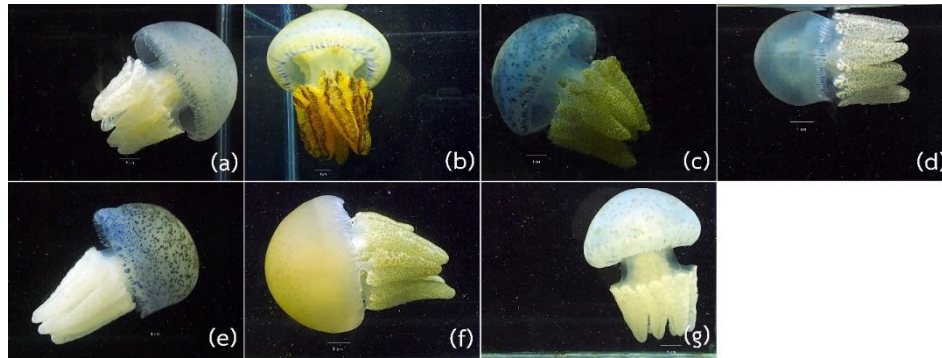


Figure 2 Seven groups of multi-colored jellyfish collected from their blooming area at Trat Province in October 2016: (a) Group A, (b) Group B, (c) Group C, (d) Group D, (e) Group E, (f) Group F, and (g) Group G (edited from Panithanarak and Taleb, 2017a). Classification follows the presence of color variations in jellyfish bodies and tentacles

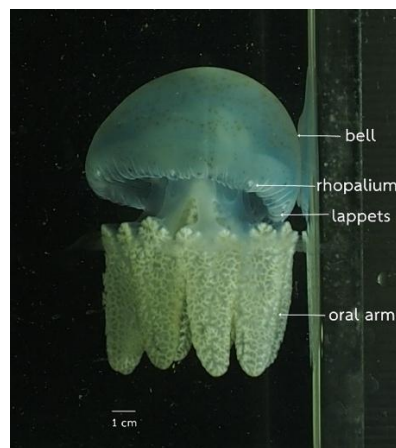


Figure 3 Morphological characteristics of multi-colored jellyfish

การสกัดดีเอ็นเอ การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ และการหาลำดับนิวคลีโอไทด์

สกัดดีเอ็นเอจากเนื้อเยื่อแมงกะพรุนโดยใช้ชุดสกัดดีเอ็นเอจากเนื้อเยื่อสัตว์ DNeasy Blood and Tissue kit (Qiagen, Hilden, Germany) วิธีการสกัดดีเอ็นเอให้ปฏิบัติตามเอกสารในชุดสกัดดีเอ็นเอ จากนั้นนำดีเอ็นเอที่สกัดไปเพิ่มปริมาณบริเวณยีน *COI* ในไมโทคอนเดรียซึ่งมีความเหมาะสมต่อการจำแนกชนิดสัตว์ในกลุ่มแมงกะพรุน (Holst and Laakmann, 2013) โดยใช้ไพรเมอร์ที่สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอบริเวณยีน *COI* ของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด (universal primers) ได้แก่ LCO1490 5'-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3' และ HCO2198 5'-TAACTTCAGGGTGCCAAAAATCA-3' (Folmer et al., 1994) การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอในปฏิกิริยา Polymerase Chain Reaction (PCR) ดัดแปลงจากการศึกษาโดย Holst and Laakmann (2013) ส่วนประกอบในปฏิกิริยา PCR ปริมาตร 25 ไมโครลิตร ได้แก่ 0.2 mM dNTP (Invitrogen, Waltham, Massachusetts, USA), 0.4 μ M primer (Macrogen, Inc., Seoul, South Korea) จำนวน 2 เส้น, 3 mM $MgCl_2$ (Invitrogen), 1xPCR buffer (Invitrogen), 1.25-unit platinum *Taq* DNA polymerase (Invitrogen) และ 1 μ g template DNA กระบวนการในปฏิกิริยา PCR ซึ่งอ้างอิงจากการศึกษาโดย Holst and Laakmann (2013) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การแยกสายดีเอ็นเอในช่วงเริ่มต้น (initial denaturation) ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที จำนวน 1 รอบ (2) ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนย่อย ได้แก่ การแยกสายดีเอ็นเอ (denaturation) ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส เวลา 45 วินาที การจับคู่ระหว่างไพรเมอร์กับดีเอ็นเอสายเดี่ยว (annealing) ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เวลา 45 วินาที และการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ (extension) ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที 20 วินาที จำนวน 38 รอบ และ (3) การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอครั้งสุดท้าย (final extension) ที่ 72 องศาเซลเซียส เวลา 7 นาที จำนวน 1 รอบ จากนั้นตรวจสอบผลผลิตพีซีอาร์ที่ได้จากปฏิกิริยา PCR (PCR product) ด้วยวิธีอิเล็กโตรโฟรีซิสแบบเจลอะกาโรส (agarose gel electrophoresis) ขจัดสิ่งปนเปื้อนในผลผลิตพีซีอาร์โดยใช้ชุดทำผลผลิตพีซีอาร์ให้บริสุทธิ์ QIAquick PCR purification kit (Qiagen) และส่งผลผลิตพีซีอาร์ที่บริสุทธิ์ (purified PCR product) ไปวิเคราะห์หา

ลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยวิธี Sanger method ที่หน่วยบริการวิเคราะห์หาลำดับนิวคลีโอไทด์บริษัท MacroGen Inc. กรุงเทพมหานคร

การวิเคราะห์ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์

ตรวจสอบความถูกต้องของการอ่านลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน COI ด้วยสายตา เปรียบเทียบและรวมผลการอ่านลำดับนิวคลีโอไทด์จากไพรเมอร์ LCO1490 และ HCO2198 ให้เป็นเส้นเดียว (sequence assembly) โดยใช้โปรแกรม CAP3 (Huang and Madan, 1999) เปรียบเทียบและจัดเรียงลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยวิธี MUSCLE ในโปรแกรม MEGA12: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 12 (Kumar et al., 2024) และเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์จากการศึกษานี้กับข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ในฐานข้อมูล GenBank โดยใช้โปรแกรม BLASTN (Altschul et al., 1990) ลำดับนิวคลีโอไทด์จากการศึกษานี้ทั้งหมดเก็บไว้ที่ฐานข้อมูล GenBank (accession numbers PV998005-PV99802) จากนั้นวิเคราะห์ความผันแปรทางพันธุกรรมโดยการจำแนกและเปรียบเทียบรูปแบบของลำดับนิวคลีโอไทด์ (haplotype) โดยใช้โปรแกรม DnaSP (DNA Sequence Polymorphism) v6.12.01 (Rozas et al., 2017)

การวิเคราะห์ระยะห่างทางพันธุกรรมและความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ

คำนวณค่าระยะห่างทางพันธุกรรมระหว่างคู่ของลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมงกะพรุน (pairwise genetic distance, distance measure = Kimura 2-parameter, K2P) โดยใช้โปรแกรม MEGA12 (Kumar et al., 2024) ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ ประกอบด้วย ลำดับนิวคลีโอไทด์จากการศึกษานี้ จำนวน 18 ลำดับ และลำดับนิวคลีโอไทด์จากการอ้างอิง (reference sequence) จำนวน 29 ลำดับ ได้แก่ ลำดับนิวคลีโอไทด์ที่คล้ายกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมงกะพรุนหลากหลายจากการเปรียบเทียบโดยใช้โปรแกรม BLASTN ลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมงกะพรุนในสกุล *Catostylus* และแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* ลำดับนิวคลีโอไทด์สำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ มีลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมงกะพรุนทางชนิด *Acromitus* sp. และ *A. flagellates* (accession numbers JX845351 และ OR230087 ตามลำดับ) เป็น outgroup เนื่องจากอยู่ในวงศ์ Catostylidae และมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับแมงกะพรุนในสกุล *Catostylus*

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการจากข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยวิธี maximum likelihood (Sullivan, 2005) สร้างแผนผังความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ (phylogenetic tree) โดยใช้โมเดล Tamura 3-parameter (T92+I) (Tamura, 1992) ซึ่งเป็นโมเดลการแทนที่ของดีเอ็นเอ (DNA substitution) ที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลมากที่สุด จากการวิเคราะห์ค่า Bayesian Information Criterion (BIC) ด้วยโปรแกรม MEGA12 (Kumar et al., 2024) และยืนยันความสัมพันธ์ในแผนผังความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ ด้วยวิธี bootstrap จำนวน 1,000 ครั้ง

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่อง “การจำแนกชนิดแมงกะพรุนหลากหลายที่พบบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดตราด โดยใช้ข้อมูลทางสัณฐานวิทยาและพันธุกรรม” ซึ่งได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์มหาวิทยาลัยบูรพา (หมายเลขใบรับรองที่ 74 – 78/2559)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ตัวอย่างแมงกะพรุนหลากหลาย จำนวน 21 ตัวอย่าง มีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำตัวยาว 5.5-9.7 เซนติเมตร (ความยาวเฉลี่ย 8.53 ± 0.99 เซนติเมตร) และมีน้ำหนักเปียก 50.82-232.67 กรัม (น้ำหนักเฉลี่ย 174.31 ± 47.56 กรัม) การศึกษาลักษณะสัณฐานเบื้องต้นอ้างอิงจากคู่มือจำแนกชนิดโดย Mianzan and Cornelius (1999) พบว่าแมงกะพรุนที่มีความผันแปรของสีบริเวณลำตัวและหนวดทั้ง 7 กลุ่ม มีลักษณะสัณฐานคล้ายกัน ได้แก่ ลักษณะผิวด้านนอกของร่ม (exumbrella) ริ้วขอบร่ม (lappets) หนวดรอบปาก (oral arm) และระบบท่อที่เชื่อมต่อกันเป็นร่างแห (anastomosing canals) ภายในขอบร่ม จำแนกได้เป็นลำดับ Rhizostomeae ลำดับย่อย Dactylophorae วงศ์ Catostylidae สกุล *Catostylus* โดยมีลักษณะผิวด้านนอกของร่ม (exumbrella) เรียบไม่มีปุ่ม (granular) ร่มมีสีขาวและฟ้า และพบเม็ดสี (pigment) กระจายอยู่ทั่วไป (Figure 4a) ขอบร่มเป็นริ้ว (lappets) มีจำนวนริ้ว 8-12 ริ้ว ในแต่ละส่วน (octant, จากอวัยวะรับรู้ความรู้สึก (rhopalium) หนึ่งไปยังอีกอวัยวะรับรู้ความรู้สึกหนึ่ง) (Figure 4b and c) ไม่มีหนวดที่ขอบร่ม (marginal tentacle) ด้านล่างของร่มมีหนวด (oral arm) ลักษณะเหมือนรยางค์ที่ยื่นออกมาจากตรงกลางของด้านล่างลำตัว (subumbrella) มีทั้งหมด 8 เส้น หนวดไม่มีช่องเปิดให้อาหารเข้า (scapulets) แต่มีช่องเปิดให้น้ำเข้าขนาดเล็ก (mouthlets) เรียงบนหนวด มีสีแตกต่างกัน ได้แก่ สีขาว ม่วง และค่อนข้างดำ มีช่องคล้ายท่อที่ขยายออกมาจากระบบย่อยและดูดซึมอาหารส่วนกลาง (radial canal) 16 ช่อง ออกมาจากท่อวงแหวนบริเวณขอบร่ม (primary ring

canal) และขยายไปถึงขอบของร่ม ระหว่างท่อ (canal) มีระบบท่อที่เชื่อมต่อกันเป็นร่างแห (anastomosing canals) อยู่ภายในขอบร่ม เป็นลักษณะเฉพาะของสกุล *Catostylus* (Mianzan and Cornelius, 1999) (Figure 4d)

การศึกษาลักษณะพื้นฐานที่จำเป็นต่อการจำแนกแมงกะพรุนในระดับชนิด ได้แก่ ความยาวของหนวกรอบปาก จำนวนและขนาดของริ้วขอบร่ม และรูปร่างของอวัยวะรับความรู้สึก (rhopalium) พบว่าแมงกะพรุนหลากสีมีความยาวของหนวกรอบปาก 2 ใน 3 ของเส้นผ่านศูนย์กลางลำตัว ริ้วขอบร่มยาวและมีจำนวนไม่แน่นอน อวัยวะรับความรู้สึก (rhopalium) มีรูปทรงรี ค่อนข้างกลม และพบการเชื่อมต่อของระบบท่อที่เชื่อมต่อกันเป็นร่างแห (anastomosing canals) มีการเชื่อมต่อโดยตรงกับท่อที่เชื่อมต่อกับอวัยวะรับความรู้สึก (rhopalar canal) และท่อวงแหวนบริเวณขอบร่ม (ring canal) ขนาดของช่องที่มีการเชื่อมต่อบริเวณระบบท่อระหว่างวงแหวน (intercircular) มีลักษณะคล้ายร่างแห มีขนาดใหญ่กว่าบริเวณระบบท่อภายนอกวงแหวน (extracircular) ที่มีช่องตาข่ายขนาดเล็กและละเอียด โดยลักษณะการเชื่อมต่อของระบบท่อที่เชื่อมต่อกันเป็นร่างแห (anastomosing canals) ที่พบในแมงกะพรุนหลากสีเป็นลักษณะเฉพาะของแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi*

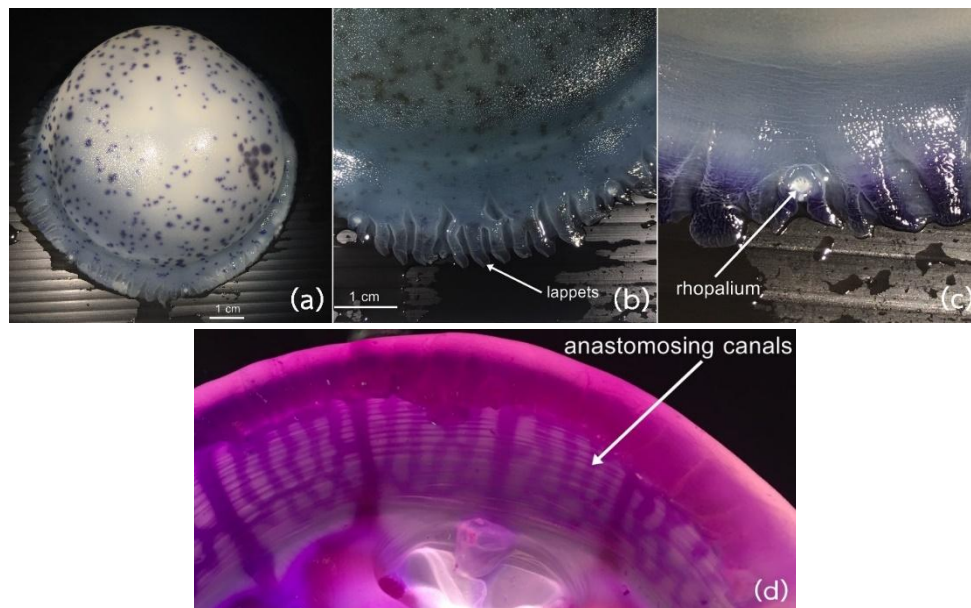


Figure 4 Morphological characteristics of jellyfish in the genus *Catostylus*: (a) umbrella, (b) lappets, (c) rhopalium, and (d) reticulate anastomosing canals (edited from Panithanarak and Taleb, 2017a)

จากการเปรียบเทียบขนาดของแมงกะพรุนหลากสีในการศึกษานี้กับแมงกะพรุนชนิด *C. mosaicus* และ *C. cruciatus* พบว่ามีขนาดเล็กกว่า (*C. mosaicus* และ *C. cruciatus* มีขนาด 25-35 เซนติเมตร และ 12-15 เซนติเมตร ตามลำดับ) (Kramp, 1961) แต่มีขนาดใกล้เคียงกับแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* ที่พบบริเวณทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต และบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทย (ความกว้างของร่ม 10 เซนติเมตร) (Marine and Coastal Resources, and Mangrove Research and Development Institute, 2015) และแมงกะพรุนหลากสีสกุล *Catostylus* ที่พบบริเวณคลองเขลาล้าน หาดราชนารุณย์ อำเภอมือง ไปจนถึงปากคลองอ่าวไม่รู้ต อำเภอกลองใหญ่ จังหวัดตราด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำตัวเฉลี่ย 8.09 ± 0.91 เซนติเมตร) (Panithanarak and Taleb, 2017b) เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลลักษณะพื้นฐาน ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางของลำตัว (bell diameter) ลักษณะผิวด้านนอกของร่ม (exumbrella surface) ริ้วขอบร่ม (lappets) อวัยวะรับความรู้สึก (rhopalium) และหนวกรอบปาก (oral arm) ใน การศึกษานี้กับการศึกษาโดยสถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน (Marine and Coastal Resources, and Mangrove Research and Development Institute, 2015) พบว่ามีความสอดคล้องกัน (Table 1) นอกจากนี้ แมงกะพรุนหลากสีในการศึกษานี้ยังมีลักษณะพื้นฐานที่จำเป็นต่อการจำแนกชนิดคล้ายคลึงกับแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* ที่พบบริเวณตะวันออกของเมือง Surabaya ทะเลชาว ประเทศอินโดนีเซีย (Gómez-Daglio et al., 2022) (Table 1)

ความผันแปรของลักษณะทางพันธุกรรม

การวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน *COI* ของแมงกะพรุนหลากสีจำนวน 18 ตัวอย่าง (ได้แก่ ตัวอย่าง A1-A3, B2-B3, C1-C3, D1-D2, E1-E2, F1-F3 และ G1-G3 สำหรับตัวอย่าง B1, D3 และ E3 ไม่ได้วิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ เนื่องจากไม่สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของทั้งสามตัวอย่างบริเวณยีน *COI* ได้) ซึ่งมีความยาว 688 คู่เบส จำแนกรูปแบบของลำดับนิวคลีโอไทด์ได้

8 รูปแบบ (8 haplotype, Hap1-Hap8) รูปแบบที่พบมากที่สุด (Hap4) สํารวจพบในแมงกะพรุน 8 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่าง B3, C2, D2, F1, F3, G1, G2 และ G3 รองลงมา คือ Hap2 สํารวจพบใน 4 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่าง A2, B2, C3 และ F2 สํารับรูปแบบ Hap1, Hap3 และ Hap5 ถึง Hap8 สํารวจพบในแมงกะพรุน 1 ตัวอย่าง/รูปแบบ (haplotype) เมื่อเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ ทั้ง 8 รูปแบบ (Table 2) พบลำดับนิวคลีโอไทด์มีความแตกต่างกันน้อย โดยมีตำแหน่งของนิวคลีโอไทด์ที่ต่างกัน 8 ตำแหน่ง เช่นเดียวกับความแตกต่างระหว่างคู่ของลำดับนิวคลีโอไทด์ที่มีค่าน้อย พบตำแหน่งของนิวคลีโอไทด์ที่ต่างกัน 1-3 ตำแหน่ง

Table 1 Diagnostic morphological characters of multi-colored jellyfish *Catostylus townsendi* comparing between this and previous studies: Marine and Coastal Resources, and Mangrove Research and Development Institute (2015) and Gómez-Daglio et al. (2022)

Diagnostic Characters	MCRMRI (2015)	Gómez-Daglio et al. (2022)	This study
Bell diameter (cm)	10	-	5.5-9.7
Exumbrella surface	fine granular with white, light yellow, brown, blue, purple and dark blue umbrella	fine granular with yellowish-brownish pigmented flecks	no granular with yellowish-bluish pigmented flecks, white and blue umbrella
Lappets	elongated lappets, uncertain number of lappets, no marginal tentacle	8-12 elongated lappets/octant, some bifurcated, no marginal tentacle	8-12 elongated lappets/octant, uncertain number of lappets, no marginal tentacle
Rhopalium	small and oval shape	small and round shape	small and slightly oval shape
Oral arms	8 oral arms, two-thirds of the bell diameter length, conical shape with a point end	three-winged with no filaments or terminal clubs	8 oral arms, two-thirds of bell diameter length, conical shape with pointed end, no scapulets on oral arms, but small mouthlets presence with white, purple and near-black colors

MCRMRI (2015): Marine and Coastal Resources, and Mangrove Research and Development Institute (2015)

การเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์จากการศึกษานี้กับข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ในฐานข้อมูล GenBank พบว่าแมงกะพรุนหลากสีมีลำดับนิวคลีโอไทด์คล้ายกันกับแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* มากที่สุด (accession number NC_061766) มีค่าความคล้ายคลึงของลำดับนิวคลีโอไทด์ (Percent Identity) 97.64-97.94% การยืนยันการจำแนกชนิดแมงกะพรุนหลากสีโดยใช้ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน *COI* สอดคล้องกับการจำแนกชนิดโดยใช้ลักษณะสัณฐาน นั่นคือ แมงกะพรุนหลากสีทั้งหมดเป็นชนิดเดียวกัน โดยความผันแปรของสีที่พบบนลำตัวและหนวดของแมงกะพรุนทั้ง 7 กลุ่ม ไม่ได้แสดงถึงความแตกต่างระหว่างชนิด แต่แสดงถึงความหลากหลายของลักษณะสัณฐานที่พบในแมงกะพรุนชนิดเดียวกัน ความผันแปรของลำดับนิวคลีโอไทด์มีค่าน้อยและไม่สอดคล้องกับความหลากหลายของสีที่พบบนลำตัวและหนวดของแมงกะพรุน ยังไม่มีรายงานการศึกษาถึงสาเหตุที่พบความผันแปรของสีบริเวณลำตัวและหนวดของแมงกะพรุนหลากสี *C. townsendi* อย่างไรก็ตาม ความหลากหลายของสีในแมงกะพรุนชนิดนี้น่าจะเกิดจากเม็ดสี (pigment) ที่ผลิตจากตัวแมงกะพรุนเอง เช่น แมงกะพรุนชนิด *C. mosaicus* (Richmond, 1997) หรือเกิดจากเม็ดสีของสาหร่ายซูแซนเทลลี (zooxanthellae) ที่อาศัยอยู่ร่วมกับแมงกะพรุนและมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน (symbiosis relationship) เช่น แมงกะพรุนชนิด *Mastigias papua* (Hamaguchi et al., 2021)

Table 2 Polymorphic sites at the *COI* gene comparing among multi-colored jellyfish haplotypes (Hap1 to Hap8). Numbers refer to nucleotide positions (688 bp). Each nucleotide identical to Hap1 is denoted as “.”

Haplotype	Nucleotide Position							
	0	0	0	1	2	2	3	6
	2	9	9	8	4	6	3	6
	4	0	9	6	0	7	0	6
Hap1	C	A	A	C	T	T	T	C
Hap2	T	G	.	.	.	.	.	.
Hap3	.	G	.	.	.	C	.	T
Hap4	.	G	.	.	.	.	.	.
Hap5	T	G	.	.	C	.	.	.
Hap6	.	G	G	.	.	.	.	.
Hap7	.	G	.	T	.	.	C	.
Hap8	.	.	.	T	.	.	.	.

ระยะห่างทางพันธุกรรมและความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ

การวิเคราะห์ระยะห่างทางพันธุกรรมระหว่างคู่ของลำดับนิวคลีโอไทด์ พบระยะห่างทางพันธุกรรม (distance measure: Kimura 2-parameter, K2P) ภายในแมงกะพรุนชนิดเดียวกันมีค่าน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ $0.15 \pm 0.08\%$ ถึง $1.98 \pm 0.40\%$ (แมงกะพรุนหลากสี *C. townsendi* ในการศึกษา: $0.19 \pm 0.09\%$ แมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* (อินโดนีเซีย): $0.32 \pm 0.17\%$ แมงกะพรุนชนิด *C. mosaicus*: $1.98 \pm 0.40\%$ แมงกะพรุนชนิด *Crambionella orsini*: $0.15 \pm 0.08\%$ และแมงกะพรุนชนิด *Crambionella helmbirui*: $0.29 \pm 0.16\%$) (Table 3) ในทางตรงกันข้าม ระยะห่างทางพันธุกรรม (K2P) ระหว่างแมงกะพรุนต่างชนิดมีค่ามาก โดยมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ $14.10 \pm 1.76\%$ ถึง $20.14 \pm 1.96\%$ (Table 3) ยกเว้นระยะห่างทางพันธุกรรมของแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* ที่พบในบริเวณต่างกัน คือ บริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดตราด ประเทศไทย และน่านน้ำอินโดนีเซีย ซึ่งมีค่าสูง ($17.02 \pm 1.87\%$, Table 3) เทียบเท่ากับค่าระยะห่างทางพันธุกรรมระหว่างชนิด

Table 3 Mean genetic distances ($\pm$ SD) within and between jellyfish species (Family Catostylidae, (1) *Catostylus townsendi* (IND) (n = 5), (2) *Catostylus mosaicus* (n = 10), (3) *Crambionella orsini* (n = 7), (4) *Crambionella helmbirui* (n = 5), and (5) *Catostylus townsendi* (THA) (n = 18)). The values were calculated based on a Kimura 2-parameter model and were shown as percentages (%). Intraspecific genetic distances were highlighted in bold. IND and THA refer to Indonesia and Thailand, respectively

	1	2	3	4	5
1. <i>Catostylus townsendi</i> (IND)	0.32 ± 0.17				
2. <i>Catostylus mosaicus</i>	15.59 ± 1.72	1.98 ± 0.40			
3. <i>Crambionella orsini</i>	19.04 ± 2.07	19.22 ± 1.98	0.15 ± 0.08		
4. <i>Crambionella helmbirui</i>	20.04 ± 2.13	20.14 ± 1.96	14.10 ± 1.76	0.29 ± 0.16	
5. <i>Catostylus townsendi</i> (THA)	17.02 ± 1.87	18.51 ± 1.92	17.08 ± 1.87	17.64 ± 1.91	0.19 ± 0.09

ค่าเฉลี่ยของระยะห่างทางพันธุกรรมของแมงกะพรุนหลากสี *C. townsendi* จากการศึกษา (0.19±0.09%, Table 3) มีค่าสอดคล้องกับค่าระยะห่างทางพันธุกรรมของแมงกะพรุนหลากสี *Catostylus* sp. จากการศึกษาเบื้องต้นโดย Panithanarak and Taleb (2017b) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-0.75% และสอดคล้องกับระยะห่างทางพันธุกรรมของแมงกะพรุนในสกุลอื่นที่มีการศึกษามาก่อนหน้านี้ เช่น แมงกะพรุนชนิด *Cyanea lamarckii* และ *Cyanea capillata* ซึ่งมีค่าระยะห่างทางพันธุกรรมระหว่าง 0-0.3% และ 0-1.5% ตามลำดับ (Holst and Laakmann, 2013)

ในทำนองเดียวกัน ค่าเฉลี่ยของระยะห่างทางพันธุกรรมระหว่างแมงกะพรุนต่างชนิดในการศึกษานี้ (ตั้งแต่ $14.10 \pm 1.76\%$ ถึง $20.14 \pm 1.96\%$, Table 3) มีค่าสอดคล้องกับค่าระยะห่างทางพันธุกรรมระหว่างแมงกะพรุนชนิด *Cyanea lamarckii* และ *Cyanea capillata* ซึ่งมีค่าระหว่าง $15.5-17.0\%$ (Holst and Laakmann, 2013) ยีน COI ในไมโทคอนเดรียถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย โดยการเป็น DNA barcode หรือลำดับนิวคลีโอไทด์มาตรฐานที่มีขนาดสั้นสำหรับระบุชนิดของสัตว์หลายกลุ่ม เนื่องจากคุณสมบัติของยีน COI ที่มีความแปรปรวนทางพันธุกรรมสูงระหว่างชนิด (high interspecific variation) ตรงกันข้ามกับความแปรปรวนทางพันธุกรรมต่ำภายในชนิด (low intraspecific variation) ทำให้การระบุชนิดทำได้ชัดเจนและแม่นยำ (Hebert et al., 2003) ซึ่งยืนยันถึงประโยชน์และประสิทธิภาพของยีน COI ในการจัดจำแนกชนิดสัตว์ รวมถึงสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในกลุ่มแมงกะพรุน (Class Scyphozoa) เช่นเดียวกับการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้ (Holland et al., 2004; Dawson, 2005; Bayha and Dawson, 2010; Rizman-Idid et al., 2016)

แมงกะพรุน *C. townsendi* จากการศึกษานี้ น่าจะเป็นคนละชนิดกับแมงกะพรุน *C. townsendi* ที่พบในน่านน้ำของประเทศอินโดนีเซีย เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยของระยะห่างทางพันธุกรรมสูง สอดคล้องกับค่าระยะห่างทางพันธุกรรมระหว่างแมงกะพรุนต่างชนิด ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วแมงกะพรุนต่างชนิดกันจะมีค่าระยะห่างทางพันธุกรรม (K2P) ตั้งแต่ 6% ขึ้นไป (Abboud et al., 2018) แต่จากการศึกษาลักษณะสัณฐานของแมงกะพรุน *C. townsendi* ที่พบบริเวณตะวันออกของเมือง Surabaya ทะเลชาวประเทศอินโดนีเซีย โดย Gómez-Daglio et al. (2022) พบว่ามีลักษณะสัณฐานคล้ายกับแมงกะพรุนหลากหลายชนิด *C. townsendi* ในการศึกษา จึงมีความเป็นไปได้ว่า มีการเกิดชนิดซ่อนเร้น (cryptic species) ซึ่งมีลักษณะสัณฐานไม่ต่างกัน แต่พบความแตกต่างทางพันธุกรรมสูง ภายในขอบเขตการแพร่กระจายของแมงกะพรุนชนิดนี้ โดยพื้นที่ซึ่งมีรายงานว่าพบแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* ได้แก่ กลุ่มของหมู่เกาะบริเวณมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิก ระหว่างเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และออสเตรเลีย มหาสมุทรในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และอินโดนีเซีย (Stiasny, 1921; Ranson, 1949; Rizman-Idid et al., 2016) จากการศึกษาที่ผ่านมาที่มีการค้นพบชนิดซ่อนเร้นในสัตว์กลุ่มแมงกะพรุน จากการศึกษาทางอนุพันธุศาสตร์ เช่น ในแมงกะพรุนสกุล *Aurelia* (Moon Jellyfish, แมงกะพรุนพระจันทร์) พบว่าแมงกะพรุนในกลุ่มนี้มีความหลากหลายของชนิดสูงและมีการแพร่กระจายอย่างจำกัด (Dawson and Jacobs, 2001; Dong et al., 2015; Lawley et al., 2021) แมงกะพรุนในสกุล *Cassiopea* (Upside-Down Jellyfish, แมงกะพรุนกลับหัว) ซึ่งมีการแพร่กระจายไปทั่วโลกและมีชนิดที่จำแนกตามลักษณะสัณฐานไม่กี่ชนิด แต่พบความแตกต่างทางพันธุกรรมสูงภายในแมงกะพรุนชนิด *Cassiopea andromeda* (ระยะห่างทางพันธุกรรม (K2P) 23.4%) (Holland et al., 2004) และแมงกะพรุนในสกุล *Phacellophora* (Fried Egg Jellyfish, แมงกะพรุนไข่ดาว) โดยเฉพาะชนิด *Phacellophora camtschatica* ซึ่งเคยเชื่อว่าเป็นแมงกะพรุนชนิดเดียวที่มีการแพร่กระจายสูงบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกตอนเหนือและมหาสมุทรแอตแลนติก แต่ในปัจจุบันพบหลักฐานการเกิดชนิดซ่อนเร้น และสามารถระบุชนิดได้อย่างน้อยสามชนิด (ระยะห่างทางพันธุกรรม (K2P) 3.4-11.5%) (Moura et al., 2022) ปัจจัยที่ทำให้เกิดชนิดซ่อนเร้น (ลักษณะสัณฐานไม่ต่างกัน แต่มีความแตกต่างทางพันธุกรรมสูง) ในแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* ที่พบบริเวณทะเลจีนใต้และน่านน้ำอินโดนีเซีย อาจเนื่องมาจากการวิวัฒนาการของประชากรที่แยกจากกันมาเป็นระยะเวลานานตั้งแต่การลดระดับน้ำทะเล (120 เมตรจากระดับน้ำทะเลในปัจจุบัน) ในยุคไพลสโตซีน (Pleistocene, 2.4 ล้านปี-10,000 ปี) ทำให้บริเวณตอนใต้ของทะเลจีนใต้ อ่าวไทย และทะเลชวา (Sunda Shelf) ซึ่งเป็นทะเลในเขตนํ้าตื้นชายฝั่งไพลสโตซีน เกิดการแยกตัวของแอ่งมหาสมุทรตลอดภูมิภาคอินโด-มลายู (Voris, 2000) ซึ่งกีดขวางการแลกเปลี่ยนของยีนระหว่างประชากรที่อาศัยบริเวณทะเลจีนใต้กับพื้นที่อื่น ๆ โดยรอบ โดยความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างประชากรที่อาศัยบริเวณทะเลจีนใต้และน่านน้ำอินโดนีเซียมีรายงานในสัตว์ทะเลหลายชนิด เช่น ม้าน้ำดำ *Hippocampus kuda* (Lourie et al., 2005) หอยมุก *Pinctada maxima* (Lind et al., 2012) และปลากระพง *Lutjanus bengalensis* (Rahayu et al., 2024) เป็นต้น

การศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการบริเวณยีน COI ระหว่างแมงกะพรุนหลากหลายชนิด *C. townsendi* จากชายฝั่งทะเลจังหวัดตราด ประเทศไทย (accession numbers PV998005-PV998022) และแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* รวมถึงชนิดอื่นในวงศ์ Catostylidae ที่พบลำดับนิวคลีโอไทด์คล้ายกันกับแมงกะพรุนหลากหลายชนิดโดยการสืบค้นจากฐานข้อมูล GenBank ได้แก่ *C. townsendi* จาก Yangxi Donghai Sea บริเวณตะวันออกของทะเลจีนใต้ ประเทศจีน (accession number NC_061766) *C. townsendi* จากน่านน้ำอินโดนีเซีย (Surabaya, Java Sea, Banda Sea และ Arafura Sea) (accession numbers MF742234-MF742236 และ MN395693-MN395694) *Catostylus* sp. (accession number MZ028020) *C. mosaicus* จากประเทศออสเตรเลียและมหาสมุทรแปซิฟิก (accession numbers AY737185, AY737194, AY737198, AY737210, AY737215, AY737227, AY737238, HF548537-HF548538 และ HF968747) *Crambionella helmbirui* จากเกาะชวาตอนกลาง มหาสมุทรอินเดีย (accession numbers AB820008- AB820012) และ *Crambionella orsini* จากประเทศอิหร่านและอินเดีย (accession

numbers EU363343-EU363344 และ MH571745-MH571749]] โดยการสร้างแผนผังความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการแบบ maximum likelihood และใช้โมเดล Tamura 3-parameter (T92+I) (Tamura, 1992) ซึ่งเป็นโมเดลการแทนที่ของดีเอ็นเอที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลมากที่สุด จากการวิเคราะห์ค่า Bayesian Information Criterion (BIC) ด้วยโปรแกรม MEGA12 โดยมีแมงกะพรุนหางขนชนิด *Acromitus* sp. และ *A. flagellates* (accession numbers JX845351 และ OR230087 ตามลำดับ) เป็น outgroup พบว่า แมงกะพรุนหลากหลาย *C. townsendi* จากชายฝั่งทะเลจังหวัดตราด ประเทศไทย จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* จากบริเวณตะวันออกของทะเลจีนใต้ ประเทศจีน และแมงกะพรุนชนิด *Catostylus* sp. (Figure 5) และแยกจากกลุ่มของแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* จากน่านน้ำอินโดนีเซีย และแมงกะพรุนชนิดอื่นในวงศ์ Catostylidae ด้วยค่าความเชื่อมั่นสูง (bootstrap support 100%, Figure 5) โดยภาพรวม การจัดกลุ่มความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของแมงกะพรุนในแผนผัง สอดคล้องกับชนิดของแมงกะพรุน โดยมีค่าความเชื่อมั่นสูง (bootstrap support 93-100%, Figure 5) ยกเว้นการจัดกลุ่มของแมงกะพรุนหลากหลาย *C. townsendi* จากชายฝั่งทะเลจังหวัดตราด ประเทศไทย และแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* จากน่านน้ำอินโดนีเซีย (bootstrap support 99% และ 100% ตามลำดับ, Figure 5) ผลการศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการสอดคล้องกับการศึกษาระยะห่างทางพันธุกรรม ซึ่งยืนยันการจัดจำแนกชนิดแมงกะพรุนหลากหลายว่าเป็นชนิด *C. townsendi* และน่าจะเป็นคนละชนิด (cryptic species, ชนิดซ่อนเร้น) กับแมงกะพรุน *C. townsendi* ที่พบบริเวณน่านน้ำของประเทศอินโดนีเซีย

การศึกษาวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานที่จำเป็นต่อการจำแนกชนิดแมงกะพรุน และการศึกษาข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *COI* รวมถึงการตรวจสอบระยะห่างทางพันธุกรรมและความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของแมงกะพรุนหลากหลายในการศึกษานี้สามารถยืนยันการระบุชนิดที่ถูกต้องของแมงกะพรุนหลากหลายที่พบสะพรั่งบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดตราด เป็นประจำทุกปี ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาและพันธุกรรมมีความสอดคล้องกัน และชี้ให้เห็นว่าแมงกะพรุนหลากหลายเป็นชนิด *C. townsendi* และจัดอยู่ในกลุ่มวิวัฒนาการเดียวกัน (phylogenetic clade) กับแมงกะพรุนชนิดนี้ที่พบบริเวณตะวันออกของทะเลจีนใต้ นอกจากนี้แล้ว ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานและความแตกต่างทางพันธุกรรมของแมงกะพรุนหลากหลาย *C. townsendi* เปรียบเทียบกับแมงกะพรุนชนิดเดียวกันจากน่านน้ำอินโดนีเซีย ยังแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ของการเกิดความหลากหลายของชนิดซ่อนเร้นในแมงกะพรุนชนิด *C. townsendi* ซึ่งมีรายงานการพบแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างตั้งแต่หมู่เกาะของมหาสมุทรอินเดียและแปซิฟิก ระหว่างภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และออสเตรเลีย มหาสมุทรในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และน่านน้ำอินโดนีเซีย (Stiasny, 1921; Ranson, 1949; Rizman-Idid et al., 2016) ข้อมูลอนุกรมวิธานที่ถูกต้องของแมงกะพรุนหลากหลายจากการศึกษานี้ เป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญต่อการติดตามตรวจสอบความหนาแน่นและการแพร่กระจายของแมงกะพรุน รวมไปถึงการเฝ้าระวังปรากฏการณ์การสะพรั่งของแมงกะพรุน เพื่อการป้องกันและบรรเทาผลกระทบของปรากฏการณ์ต่อการท่องเที่ยวทางทะเล การประมงชายฝั่ง และอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้า นอกจากนี้แล้วการค้นพบชนิดซ่อนเร้นในแมงกะพรุน *C. townsendi* ยังมีความสำคัญต่อการประเมินความหลากหลายทางชีวภาพ การศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการโดยอาศัยข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ชีววิทยาวิวัฒนาการ การศึกษาเชิงนิเวศ การอนุรักษ์ทรัพยากรทางชีวภาพ และการคุกคามทางชีวภาพ (Dawson and Jacobs, 2001; Holland et al., 2004; Dong et al., 2015; Lawley et al., 2021) การบูรณาการวิธีการทางอนุกรมวิธานซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลทางอนุพันธุศาสตร์ พร้อมการทบทวนลักษณะสัณฐาน ข้อมูลทางนิเวศวิทยา และข้อมูลการแพร่กระจายตามสภาพภูมิศาสตร์ มีความจำเป็นต่อการระบุชนิดแมงกะพรุนอย่างถูกต้องและแม่นยำ ทั้งนี้เพื่อการแก้ปัญหาและอุปสรรคจากการจำแนกชนิดแมงกะพรุนโดยวิธีการทางอนุกรมวิธานในปัจจุบัน และความเข้าใจสัตว์ในกลุ่มนี้ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบนิเวศ (Lawley et al., 2021; Moura et al., 2022)

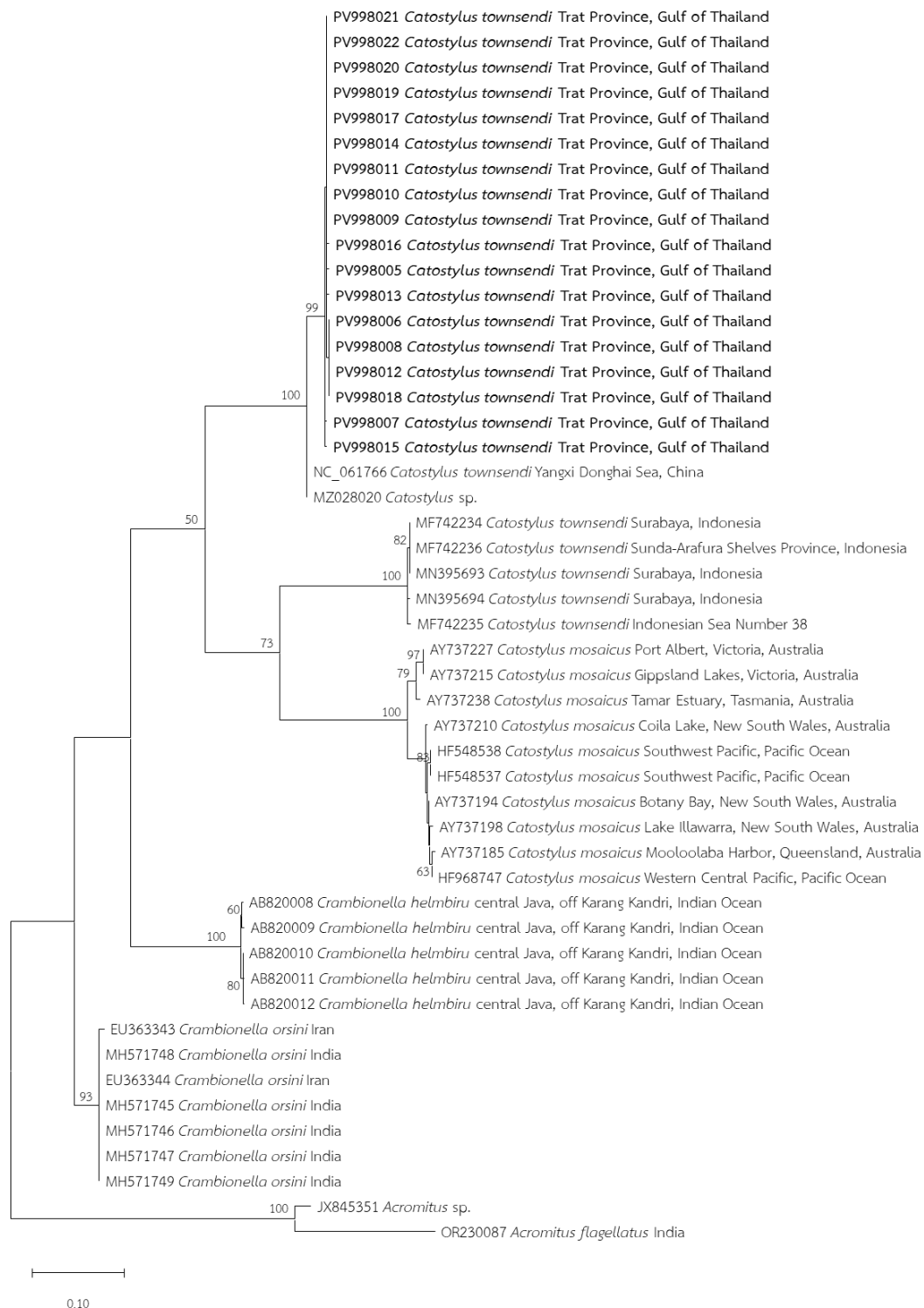


Figure 5 Maximum likelihood phylogenetic tree of multi-colored jellyfish *Catostylus townsendi* in this study (highlighted in bold) and closely related jellyfish reference sequences (annotated with GenBank accession numbers followed by species names and/or collection sites). The phylogenetic tree based on the *COI* gene was constructed using T92+I model and rooted with *Acromitus* sp. and *A. flagellatus*. Bootstrap values greater than 50% were shown. A scale bar indicates evolutionary divergence between taxa

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของแมงกะพรุนหลากหลายที่พบมีการสะพรั่งเป็นประจำทุกปี บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดตราด ร่วมกับการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน *COI* ในไมโทคอนเดรีย ซึ่งให้เห็นว่าแมงกะพรุนที่พบมีความผันแปรของลำดับนิวคลีโอไทด์และขนาดทั้ง 7 กลุ่ม มีลักษณะของสัณฐานคล้ายกัน จัดอยู่ในสกุล *Catostylus* ชนิด *C. townsendi* สอดคล้องกับการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน *COI* ซึ่งพบความแตกต่างของลำดับนิวคลีโอไทด์น้อย เช่นเดียวกับ ผลการวิเคราะห์ระยะห่างทางพันธุกรรมและความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการซึ่งยืนยันว่าแมงกะพรุนหลากหลายที่พบสะพรั่งบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดตราด เป็นชนิด *C. townsendi* การตรวจสอบความเชื่อมโยงของพันธุกรรมของแมงกะพรุนหลากหลายชนิดนี้กับแมงกะพรุนชนิดเดียวกันที่พบในพื้นที่อื่น พบว่าแมงกะพรุนหลากหลายชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการเดียวกันกับแมงกะพรุนชนิดเดียวกันจากบริเวณตะวันออกของทะเลจีนใต้ แต่แยกจากกลุ่มของแมงกะพรุนชนิดเดียวกันที่พบบริเวณน่านน้ำอินโดนีเซีย แม้ว่าจะมีลักษณะสัณฐานไม่ต่างกัน ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการเกิดชนิดซ้อนเร้นภายในขอบเขตการแพร่กระจายของ *C. townsendi* ซึ่งมีความสำคัญต่อการประเมินความหลากหลายทางชีวภาพ ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการโดยอาศัยข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ชีววิทยาวิวัฒนาการ นิเวศวิทยา การอนุรักษ์ทรัพยากรทางชีวภาพ และการคุกคามทางชีวภาพ

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่อง “การจำแนกชนิดแมงกะพรุนหลากหลายที่พบบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดตราดโดยใช้ข้อมูลทางสัณฐานวิทยาและพันธุกรรม” ภายใต้แผนงานวิจัย เรื่อง “ศึกษาการเกิดปรากฏการณ์แมงกะพรุนหลากหลายบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดตราด” ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 9/2559

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่มและสมมุติฐาน การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบการทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูลและ criteria การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการและครุภัณฑ์: ทรรดิน ปณิธานะรักษ์, สุพัตรา ตะเหลบ. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: ทรรดิน ปณิธานะรักษ์.

เอกสารอ้างอิง

- Abboud, S. S., Gómez-Daglio, L., & Dawson, M. N. (2018). A global estimate of genetic and geographic differentiation in macromedusae-implications for identifying the causes of jellyfish blooms. *Marine Ecology Progress Series*, 591(1), 199-216. <https://doi.org/10.3354/meps12521>
- Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., & Lipman, D. J. (1990). Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology*, 215(3), 403-410.
- Bayha, K. M., & Dawson, M. N. (2010). New family of allomorphic jellyfishes, Drymonematidae (Scyphozoa, Discomedusae), emphasizes evolution in the functional morphology and trophic ecology of gelatinous zooplankton. *Biological Bulletin*, 219(1), 249-267.
- Browne, J. G., & Kingsford, M. J. (2005). A commensal relationship between the scyphozoan medusae *Catostylus mosaicus* and the copepod *Paramacrochiron maximum*. *Marine Biology*, 146(6), 1157-1168.
- Dawson, M. N. (2005). *Cyanea capillata* is not a cosmopolitan jellyfish, morphological and molecular evidence for *C. annaskala* and *C. rosea* (Scyphozoa: Semaestomeae: Cyaneidae) in south-eastern Australia. *Invertebrate Systematics*, 19(4), 361-370.
- Dawson, M. N., & Jacobs, D. K. (2001). Molecular evidence for cryptic species of *Aurelia aurita* (Cnidaria, Scyphozoa). *Biological Bulletin*, 200(1), 92-96.
- Dong, Z., Liu, Z., & Liu, D. (2015). Genetic characterization of the scyphozoan jellyfish *Aurelia* spp. in Chinese coastal waters using mitochondrial markers. *Biochemical Systematics and Ecology*, 60(1), 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2015.02.018>.
- Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R., & Vrijenhoek, R. (1994). DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 3(5), 294-299.

- Gómez-Daglio, L., Hayati, R., Coleman, T., Han, Y.-M., Muzaki, F., Aunurohim, de Bellard, M. E., & Saptarini, D. (2022). Species composition of Discomedusae jellyfish (Scyphozoa) in the coastal waters of Eastern Surabaya, East Java. **Marine Biodiversity**, 52(1), 23. <https://doi.org/10.1007/s12526-021-01253-1>.
- Hamaguchi, Y., Iida, A., Nishikawa, J., & Hirose, E. (2021). Umbrella of *Mastigias papua* (Scyphozoa: Rhizostomeae: Mastigiidae): hardness and cytomorphology with remarks on colors. **Plankton and Benthos Research**, 16(3), 221-227. <https://doi.org/10.3800/pbr.16.221>.
- Hashim, A. R., Kamaruddin, S. A., Buyong, F., Nazir, E. N. M., Che Ismail, C.-Z., Tajam, J., Abdullah, A. L., Azis, T. M. F., & Anscelly, A. (2023). Jellyfish blooming: Are we responsible? In **Proceedings of ICAN International Virtual Conference 2022 (IIVC2022)**, pp. 51-60. Universiti Teknologi MARA.
- Hebert, P. D., Cywinska, A., Ball, S. L., & deWaard, J. R. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. In **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, 270(1512), 313–321. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2218>.
- Holst, S., & Laakmann, S. (2013). Morphological and molecular discrimination of two closely related jellyfish species, *Cyanea capillata* and *C. lamarckii* (Cnidaria, Scyphozoa), from the northeast Atlantic. **Journal of Plankton Research**, 36(1), 48-63. <http://doi.org/10.1093/plankt/fbt093>.
- Holland, B. S., Dawson, M. N., Crow, G. L., & Hofmann, D. K. (2004). Global phylogeography of *Cassiopea* (Scyphozoa: Rhizostomeae): molecular evidence for cryptic species and multiple invasions of the Hawaiian Islands. **Marine Biology**, 145(1), 1119–1128. <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1409-4>.
- Huang, X., & Madan, A. (1999). CAP3: A DNA sequence assembly program. **Genome Research**, 9(1), 868-877.
- Kramp, P. L. (1961). Synopsis of the medusae of the world. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, 40(1), 7-382.
- Kumar, S., Stecher, G., Suleski, M., Sanderford, M., Sharma, S., & Tamura, K. (2024). MEGA12: Molecular evolutionary genetic analysis version 12 for adaptive and green computing. **Molecular Biology and Evolution**, 41(12), msae263. <https://doi.org/10.1093/molbev/msae263>.
- Lawley, J. W., Gamero-Mora, E., Maronna, M. M., Chiaverano, L. M., Stampar, S. N., Hopcroft, R. R., Collins, A. G., & Morandini, A. C. (2021). The importance of molecular characters when morphological variability hinders diagnosability: systematics of the moon jellyfish genus *Aurelia* (Cnidaria: Scyphozoa). **PeerJ**, 9(1), e11954. <https://doi.org/10.7717/peerj.11954>.
- Lind, C. E., Evans, B. S., Elphinstone, M. S., Taylor, J. J. U., & Jerry, D. R. (2012). Phylogeography of a pearl oyster (*Pinctada maxima*) across the Indo-Australian Archipelago: evidence of strong regional structure and population expansions but no phylogenetic breaks. **Biological Journal of the Linnean Society**, 107(3), 632–646. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2012.01960.x>.
- Lourie, S. A., Green, D. M., & Vincent, A. C. J. (2005). Dispersal, habitat differences, and comparative phylogeography of Southeast Asian seahorses (Syngnathidae: *Hippocampus*). **Molecular Ecology**, 14(4), 1073-1094.
- Lynam, C. P., Gibbons, J., Axelsen, B. E., Sparks, C. A. J., Coetzee, J., Heywood, B. G., & Brierley, A. S. (2006). Jellyfish overtake fish in a heavily fished ecosystem. **Current Biology**, 16(19), R492-R493.
- Marine and Coastal Resources, and Mangrove Research and Development Institute. (2015). **A Study Guide of Jellyfish Diversity in Thai Waters**. Department of Marine and Coastal Resources. (in Thai).
- MGR Online. (2013). **Thousands of Remarkable Colorful Jellyfish Floating on the Water Surface in Trat Province**. Retrieved from: <https://mgronline.com/travel/detail/9560000134387>. (in Thai).
- Mianzan, H. W., & Cornelius, P. (1999). Cubomedusae and Scyphomedusae. In Boltovskoy, D. (Ed.), **South Atlantic Zooplankton, Volume 1**, pp. 513-559. Backhuys.
- Moura, C. J., Ropa, N., Magalhães, B. I., & Gonçalves, J. M. (2022). Insight into the cryptic diversity and phylogeography of the peculiar fried egg jellyfish *Phacellophora* (Cnidaria, Scyphozoa, Ulmaridae). **PeerJ**, 10(1), e13125. <https://doi.org/10.7717/peerj.13125>.
- Nation Thailand. (2024). **Multi-coloured Jellyfish are the Talk of the Town in Trat Province**. Retrieved from: <https://www.nationthailand.com/blogs/life/travel/40042062/>.
- Panithanarak, T., & Taleb, S. (2017a). **Identification of Colorful Jellyfish in the Coast of Trat Province based on Morphological and Genetic Data**. (BUU Publication No.2562_012). Burapha University. (in Thai).
- Panithanarak, T., & Taleb, S. (2017b). Morphology and genetic variation of colorful jellyfish in the coast of Trat Province. In **Proceedings of the 8th Algae and Plankton National Conference**, pp. 153-163. Burapha University. (in Thai).
- Pattaya Mail. (2024). **Tourists Flock to see Colorful Jellyfish in Ban Khlong Son Beach, Trat Province**. Retrieved from: <https://www.pattayamail.com/latestnews/news/tourists-flock-to-see-colorful-jellyfish-in-ban-khlong-son-beach-trat-boosting-local-incomes-474855>.
- Purcell, J. E., Uye, S.-I., & Lo, W.-T. (2007). Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. **Marine Ecology Progress Series**, 350(1), 153-174.

- Rahayu, S. R., Muchlisin Zainal, A., Fadli, N., Rizal, S., Raza, I., Lazuardi, M. I., Razi, N. M., Handayani, L. S., & Nur Firman, M. (2024). Phylogeography pattern of *Lutjanus bengalensis* (bloch, 1790) in Indonesia waters and South China Sea. **BIO Web of Conferences**, 87(1), 03031. <http://doi.org/10.1051/bioconf/20248703031>.
- Ranson, G. (1949). Resultats Scientifiques des Croisieres du Navire-ecole Belge "Mercator" Meduses. **Mem Mus Royal d'histoire naturelle de Belgique**, 33(2), 121–158.
- Richardson, A. J., Bakun, A., Hays, G. C., & Gibbons, M. J. (2009). The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. **Trends in Ecology and Evolution**, 24(6), 312–322.
- Richmond, M. (1997). **A Guide to the Seashores of Eastern Africa and the Western Indian Ocean Islands**. Sida/Department for Research Cooperation, SAREC.
- Rizman-Idid, M., Farrah-Azwa, A. B., & Chong, V. C. (2016). Preliminary taxonomic survey and molecular documentation of jellyfish species (Cnidaria: Scyphozoa and Cubozoa) in Malaysia. **Zoological Studies**, 55(1), e35. <https://doi.org/10.6620/ZS.2016.55-35>.
- Rozas, J., Ferrer-Mata, A., Sánchez-DelBarrio, J. C., Guirao-Rico, S., Librado, P., Ramos-Onsins, S. E., & Sánchez-Gracia, A. (2017). DnaSP v6: DNA sequence polymorphism analysis of large datasets. **Molecular Biology and Evolution**, 34(12), 3299–3302.
- Stiasny, G. (1921). Mittheilungen uber Scyphomedusen I. **Zoologische mededeelingen**, 6(12), 109–114.
- Sullivan, J. (2005). Maximum-likelihood methods for phylogeny estimation. **Methods in Enzymology**, 395(1), 757–779. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(05\)95039-8](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(05)95039-8).
- Tamura, K. (1992). Estimation of the number of nucleotide substitutions when there are strong transition-transversion and G+C-content biases. **Molecular Biology and Evolution**, 9(4), 678–687. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040752>
- TNA. (2024). **A Million Colorful Jellyfish Draw Tourists to Trat Province**. Retrieved from: <https://today.line.me/th/v3/article/eLg8njg>. (in Thai).
- Voris, H. K. (2000). Maps of Pleistocene sea levels in Southeast Asia: shorelines, river systems and time durations. **Journal of Biogeography**, 27(5), 1153–1167.
- WoRMS Editorial Board. (2025). **WoRMS Taxon Details: *Catostylus Agassiz, 1862***. Retrieved from: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=135254>.