



วารสาร

ISSN 3027-8287 (Online)

เกษตรพระจอมเกล้า

KING MONGKUT'S AGRICULTURAL JOURNAL

ปีที่ 42 ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม - สิงหาคม 2567 VOLUME 42 NUMBER 2 (2024) MAY - AUGUST 2024



Approved by TCI during 2021 - 2024



วารสารเกษตรพระจอมเกล้า

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ความก้าวหน้าของวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร
2. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือและแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดเห็นระหว่างผู้ที่อยู่ในวงการเกษตรหรือสถาบันต่าง ๆ

การส่งเรื่องลงพิมพ์

เรื่องที่ส่ง ได้แก่ บทความวิจัย บทความวิชาการ ที่เกี่ยวข้องกับทางการเกษตรหลักเกณฑ์และการเตรียมต้นฉบับได้รับไปไว้ตอนท้ายของวารสารพระจอมเกล้า

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 : วารสารเกษตร

พระจอมเกล้า กำหนดตีพิมพ์ปีละ 3 ฉบับ

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

ที่ปรึกษา

คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร
รองคณบดี
ผู้ช่วยคณบดี
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
และประมง
หัวหน้าภาควิชาพัฒนาการเกษตรและการจัดการทรัพยากร
รศ. ดร.จรัสญ เล้าสินวัฒนา
(บรรณาธิการ พ.ศ. 2555-2558)
รศ. ดร.คำรณวิทย์ ทิพย์มณี
(บรรณาธิการ พ.ศ. 2558-2561)
ผศ. ดร.สุกัญญา แยมประชา
(บรรณาธิการ พ.ศ. 2561-2564)
รศ. ดร.คำรณวิทย์ ทิพย์มณี
(รักษาการบรรณาธิการ พ.ศ. 2564)
รศ. ดร.ปัญญา หมนักเก็บ
(บรรณาธิการ พ.ศ. 2564-2567)

บรรณาธิการ

รศ. ดร.ปัญญา หมนักเก็บ

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รศ. ดร.รุ่งตะวัน ยมหล้า
ดร.เอกพล ทองแก้ว

ผู้ดูแลระบบ

นายปิยวัฒน์ ศรีสวัสดิ์

กองบรรณาธิการ

ศ. ดร.บัญชา สมบูรณ์สุข
ศ. ดร.สุฤติ ประเทืองวงศ์
ศ. ดร.อังคณา จันทราปัติ
ศ. ดร.ฉลอม วชิราภากร
ศ. ดร.ยุพา หารบุญพร
ศ. ดร.เนาวนิตย สงคราม
ศ. ดร.อนิศา มุ่งงาม
ศ. ดร.วเรศ จันทสร
รศ. ดร.กานต์ สุขสุแพทย์
รศ. ดร.กำจร หลุยยะพงศ์
รศ. ดร.จินดา ขลิบทอง
รศ. ดร.จุฑารัตน์ เศรษฐกุล
รศ. ดร.ชูเกียรติ หะยีสามา
รศ. ดร.ไกรเลิศ ทวีกุล
รศ. ดร.ปรเมศ บันเทิง
รศ. ดร.วราห์ เทพาคู
รศ. ดร.ศิริชัย กัลยาณรัตน์
รศ. ดร.สนธิชัย จันทิเปรม
ผศ. ดร.จักรมาส เลหาณวิธ
ผศ. ดร.พิสสวรรณ เจริญสมบัติ
ผศ. ดร.เยาวรัตน์ ศรีวรานันท์
ผศ. ดร.วัชรวิจิต ภิวัต
ผศ. ดร.วีระณีย์ ทองศรี
ผศ. ดร.เสาวคนธ์ เหมวงษ์
คุณอัญชลี สุวจิตตานนท์
ผศ. ดร.อนัญญา เจริญพรนิพัทธ์
ศ. ดร.มยุรา สุนยวิระ
ผศ. ดร.นุกูล ถวิลถึง
รศ. ดร.คำรณวิทย์ ทิพย์มณี
รศ. ดร.พรหมมาศ คุณากาญจน์
รศ. ดร.สุณีพร สุวรรณมณีพงษ์
รศ. ดร.กัญญา แซ่เตียว
รศ. ดร.ศุภลักษณ์ สรศักดิ์
ผศ. ดร.อัจริ เรื่องเดช
ผศ. ดร.ลำแพน ขวัญพูล
ผศ. ดร.ดวงมกล ปานรศทิพ ธรรมาธิวัฒน์
ผศ. ดร.ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล
ผศ. ดร.จำลอง มิตรขาวไทย
ผศ. ดร.มัลลิกา กิลลาโส
ดร.ธันท์ สมณคุปต์
ดร.ปัทมา นิตโรสง

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

เลขานุการและงานทะเบียน

นางสาวกุลธิดา ทรัพย์น้อย

ติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ที่

กองบรรณาธิการวารสารเกษตรพระจอมเกล้า
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 02-328-9000 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 42 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม 2567 ฉบับนี้ประกอบด้วยบทความวิจัยจำนวน 15 บทความ ประกอบด้วยสาขาพืชสวน 4 บทความ พืชไร่ 1 บทความ ปฐพีศาสตร์ 1 บทความ สัตวศาสตร์ 1 บทความ อุตสาหกรรมอาหาร 1 บทความ วิทยาศาสตร์การประมง 2 บทความ เศรษฐศาสตร์เกษตรและบริหารธุรกิจ 3 บทความและนิเทศศาสตร์เกษตร 2 บทความ บทความทุกเรื่องนอกจากมีความน่าสนใจในเนื้อหาให้ได้เรียนรู้และต่อยอดต่อไปแล้ว ยังได้ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในแต่ละสาขาที่เกี่ยวข้อง (Peer Review) ทั้งที่มาจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเพื่อยกระดับคุณภาพของงานวิจัยและมีมาตรฐานทางวิชาโดยได้ผลิตและเผยแพร่แบบสื่่ออิเล็กทรอนิกส์ (E-Journal) ทั้งนี้ วารสารฯ ได้เริ่มใช้การระบุ DOI (ตัวระบุวัตถุดิจิทัล) ตั้งแต่วารสารปีที่ 41 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยในการค้นหา การเข้าถึง และเชื่อมโยงการเข้าถึงสารสนเทศดิจิทัล

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

รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา หมั่นเก็บ
บรรณาธิการวารสารเกษตรพระจอมเกล้า

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสมบัติทางฟิสิกส์ของดินบางประการในพื้นที่แสดงโรคต้นและรากเน่าของมันสำปะหลังในประเทศไทย นภาพร พันธุ์กลมศิลป์ จินตนา อันอาตม์งาม นวรัตน์ เวชวิฐาน และ นุชจรินทร์ เนียมจ่านงค์	134
ผลของระยะเวลาการนึ่งและอุณหภูมิอบแห้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อสารต้านอนุมูลอิสระ ประไพ บางเขย ชัยวัฒน์ บรรดิเดชพร กฤตณัย แก้วยศ และ ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์	145
ประสิทธิภาพการผลิต การตอบสนองต่อความเครียด และสถานะภูมิคุ้มกันของสุกรอนุบาลที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมกากเมล็ดถั่วเหลือง วันดี ทาตระกูล อติศักดิ์ คงแก้ว รุ่งทิวา ใจมาศรี1 นิทัศน์ วิชาสิทธิ์ ญัฐปภัสร สุรัสสุราโกคิน และจักรพันธ์ สาตัม	152
การตอบสนองทางสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เสื่อมคุณภาพแตกต่างกันต่อการกระตุ้นการงอกด้วย PEG 6000 พจนา สีขาว และจำรูญ เล้าสินวัฒนา	163
การศึกษาปริมาณไขมันและสารสีของสาหร่ายขนาดเล็กที่เพาะเลี้ยงในน้ำจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เบญจมาศ เขียรศิลป์ ธิดาพร ชุมเงิน และวชิพร มณีโชติ	173
การศึกษาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นของประเทศไทย วรารัณดา เรือนสุทธิ	183
การทำธุรกิจเกษตรอินทรีย์ของคนรุ่นใหม่ตลอดโซ่อุปทานการเกษตร รัตนวดี เศรษฐจิตร และวิเชียร ลัทธิพงศ์พันธ์	192
การประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาคุในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช 202 วัฒนณรงค์ มากพันธ์ มลิมาศ จริยพงศ์ นฤมล ขุนวิช่วย และมานะ ขุนวิช่วย	
ผลของชนิดวัสดุปลูกและระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกระวาน (<i>Amomum testaceum</i> Ridl.) ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน นภาพร จิตต์ศรัทธา พิกุล นุชนวลรัตน์ และวัชรวิทย์ รัชมี	212
ผลของสารโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดกรีนคอส ธีรยุทธ คล้าชื่น วิดา กิ่งกลาง ขวัญชัย ทองอร่าม นิยม บัวบาน พันทิพา ลี้มสงวน และวัชรพงษ์ พิทักษ์ภากร	221

ผลของ BA ต่อการชักนำให้เกิดแคลลัส การเจริญพัฒนาเป็นต้นและรากจากแคลลัส ของหม้อข้าวหม้อแกงลิงในสภาพปลอดเชื้อ จิระศักดิ์ วิชาสวัสดิ์	227
ผลของความเข้มข้นและความถี่ของรำข้าวเปลือกหมักต่อการเพิ่มจำนวนของโคฟีพอดธรรมชาติ ดวงทิพย์ อุ่เงิน วรเทพ มุธุวรรณ ศิริประภา พ้ากระจำว วิรชา เจริญดี วิไลวรรณ พวงสันเทียะ พัชรีดา สอนพงษ์ อมรรัตน์ กนกรุ่ง รติมา ครุวรรณเจริญ สรณัฐ โชตินิพัทธ์ ชนม์ ภู่อสุวรรณ และจักรพงษ์ ศรีพนมยม	235
การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของโพลิโอสไลเคน ชนิด <i>Parmotrema tinctorum</i> (Despr. ex Nyl.) Hale อัมรินทร์ ธงจันทร์ อารีรัตน์ ไส่ส่อง นุจรี ชำนาญทัฬห กฤษณา จำปาหาสี และขวัญเรือน นาคสุวรรณกุล	244
มูลค่าทางเศรษฐกิจของเนื้อไม้ ในพื้นที่พระตำหนักเมืองนคร อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช บวรพจน์ เทพรัตน์ และวัฒนณรงค์ มากพันธ์	253
กลวิธีการสร้างธนาคารต้นไม้เพื่อสิ่งแวดล้อมชุมชนและเศรษฐกิจครัวเรือนในประเทศไทย ทศพร สอนบุตร สุวารีย์ ศรีบุญะ ผมหอม เชิดโกทา ประภาพร ชูลีลัง บัญญวนิช บุญวนิชนานันท์ ธันว์ยากร คำวงศ์ และประเสริฐ เหล่าบุญอนันต์	265

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสมบัติทางฟิสิกส์ของดินบางประการในพื้นที่แสดงโรคต้นและรากเน่า ของมันสำปะหลังในประเทศไทย

Morphology and Some Physical Properties of Soil in Areas Presented of Stem and Root Rot Disease of Cassava in Thailand

นภาพร พันธุ์กมลศิลป์^{1*} จินตนา อันอาดมงาม² นวรัตน์ เวชวิฐาน¹ และ นุชจรินทร์ นิยมจำนงค์¹
Napaporn Phankamolsil^{1*}, Jintana Unartngam², Nawarat Wetvithan¹ and Nuchjarin Niamjumnong¹

Received date: 8 ก.ย. 65 Revised date: 22 มิ.ย. 66 Accepted date: 26 มิ.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.001>

บทคัดย่อ

ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของดินและเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ที่มีการเกิดโรครากเน่า โคนเน่า และลำต้นเน่า ของมันสำปะหลังในประเทศไทย เพื่อศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่เป็นลักษณะเฉพาะในพื้นที่เกิดโรครากเน่า โคนเน่า และลำต้นเน่า ของมันสำปะหลัง ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่เกิดโรค พร้อมอ้างอิงพิกัดภูมิศาสตร์และข้อมูลดินระดับชุดดินจากแผนที่ดินรายจังหวัดของประเทศไทยของกรมพัฒนาที่ดิน ศึกษาสัณฐานวิทยาของดินโดยการขุดดินด้วยสว่านเจาะดิน เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20, 20-40 และ 40-60 เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ เนื้อดิน ความหนาแน่นรวมของดิน และสภาพการนำน้ำของดิน ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่เกิดโรคมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดินที่พบได้คือ การมีชั้นดานแข็ง ดินตื้น การพบจุดประและการสะสมดินเหนียวในชั้นดินล่าง ผลการวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์พบว่าพื้นที่เกิดโรคสามารถเกิดได้ในดินเนื้อหยาบไปจนถึงดินเนื้อละเอียด (ดินทรายถึงดินเหนียว) ดินมีความหนาแน่นรวมสูงในดินล่างอย่างชัดเจน ในขณะที่มีสภาพการนำน้ำของดินอึดตัวต่ำในดินล่าง ซึ่งลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่พบในพื้นที่เกิดโรคได้แก่ การเป็นดินตื้น การพบจุดประ และการสะสมดินเหนียวในชั้นดินล่าง เป็นไปตามข้อมูลพื้นฐานระดับชุดดิน อย่างไรก็ตามพบว่าการเกิดโรคเป็นผลสืบเนื่องจากการจัดการดินต่อสมบัติดินด้วยได้แก่การมีชั้นดานไผ่พรุนระดับตื้น เกิดชั้นแน่นทึบ ความหนาแน่นสูง เป็นข้อจำกัดในการระบายน้ำของดิน ส่งเสริมให้เกิดโรคได้

คำสำคัญ: สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน รากเน่า ลำต้นเน่า มันสำปะหลัง

Abstract

Soil morphological features were investigated, and soil samples were collected in cassava stem and root rot disease areas in Thailand for elucidating soil physical properties that are specific characteristics of cassava stem and root rot disease areas. Soil samples were collected in diseased areas with reference to the geographic coordinates and soil series data from the provincial soil map of Thailand of the Land Development Department. Soil morphological features were studied by excavating the soil with a soil auger. Soil samples at depths of 0-20, 20-40, and 40-60 centimeters were collected at the study locations for analyzing the soil texture, soil bulk density, and hydraulic conductivity. The results of the study showed that soil morphological characteristics of the study sites, with spreading disease, were of hard layers, shallow soils, mottle, and an accumulation of clay in the subsoil. The soil physical properties showed that soil texture from spreading areas of disease ranged from coarse texture to fine texture (sand texture to clay texture). It was clearly shown that the soil bulk density was very high in the subsoil while the saturated hydraulic conductivity of these soils was low in the subsoil. The morphological characteristics found in disease incidence areas were based on basic soil datasets in soil series such as shallow soils, mottle, and accumulation of clay in the subsoil. However, disease incidence was also due to soil management that resulted in soil properties including the presence of a shallow

¹ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

² คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

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

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

*Corresponding author: boy_agri@hotmail.com

tillage layer, a dense layer, and a high bulk density, which are limitations of soil drainage and further enhance disease incidence.

Keywords: soil physical properties, root rot, stem rot, cassava

คำนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมากเพราะ ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีและใช้ปัจจัยในการผลิตน้อย สามารถผลิตได้แม้ในที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในช่วงระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมา การผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทยเปลี่ยนแปลงไป จากการปลูกเพื่อเป็นพืชอาหารสัตว์เป็นการปลูกเพื่ออุตสาหกรรม ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง เอทานอลและไบโอพลาสติก (Sawatdikarn, 2014) เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นความต้องการของตลาดสูงขึ้น ดังนั้นเกษตรกรปลูกติดต่อกันตลอดทั้งปี ส่งผลให้มีการสะสมและแพร่ระบาดของเชื้อสาเหตุโรคเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งโรคมันสำปะหลังที่สำคัญในประเทศไทย ได้แก่ โรคใบไหม้ (bacterial blight disease) โรคแอนแทรคโนส (anthracnose disease) โรคใบจุดสีน้ำตาล (brown leaf spot disease) โรคใบจุดไหม้ (blight leaf spot disease) โรคต้นและรากเน่า (stem and root rot disease) (Charaensatapon et al., 2014) เนื่องจากโรคต้นและรากเน่าเกิดจากเชื้อราเป็นเชื้อสาเหตุหลัก และสมบัติของดินก็เป็นปัจจัย สภาพแวดล้อมอีกปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโรคหัวเน่า รากเน่า และลำต้นเน่า หรือการระบาดของโรคในพื้นที่ต่างๆ จากการศึกษเกี่ยวกับสมบัติดินและการเกิดโรคพืชที่ผ่านมา ตัวอย่างเช่น Jiang et al. (2021) พบว่าความชื้นดินมีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญกับการเกิดโรคเหี่ยวแบคทีเรีย (bacterial wilt disease) นอกจากนี้ Segura et al. (2022) ยังพบว่าพีเอชของดินและปริมาณไนโตรเจนมีความสำคัญกับการเกิดโรคเหี่ยวที่เกิดจากเชื้อ Fusarium (Fusarium wilt) อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ดินที่มีค่าพีเอชต่ำ และปริมาณไนโตรเจนสูงจะเพิ่มการเกิดโรสดังกล่าว ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน เช่น ความลึกของดินก่อนพบชั้นหิน การพบชั้นดานในหน้าตัดดิน เนื้อดิน การพบจุดประ โครงสร้างดิน ความหนาแน่นรวม และสภาพการนำน้ำ เป็นปัจจัย สภาพแวดล้อมที่สัมพันธ์โดยตรงกับสภาพความชื้นในดิน ซึ่งจะเชื่อมโยงเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้

ประเทศไทยมีการสำรวจและรายงานข้อมูลดินระดับจังหวัดโดยกรมพัฒนาที่ดิน มีข้อมูลดินระดับชุดดินมากกว่า 300 ชุด ดิน และปัจจุบันข้อมูลดินระดับจังหวัดของประเทศไทยเผยแพร่ในมาตราส่วน 1:25,000 ให้ข้อมูลที่มีความละเอียดกว่าชุดดิน (Land Development Department [LDD], 2020a) อย่างไรก็ตามข้อมูลดินจากแผนที่ดินรายจังหวัดที่ทำการเผยแพร่ผ่านสารสนเทศต่างๆ ของกรมพัฒนาที่ดิน จะมุ่งเน้นในด้านลักษณะสัณฐานวิทยาและสมบัติทางเคมีของดินเป็นส่วนใหญ่ ในส่วนของสมบัติทางฟิสิกส์ของดินนั้นจะต้องมีการแปลผลจากข้อมูลสัณฐานวิทยาโดยผู้เชี่ยวชาญด้านดิน หรือมีการวิเคราะห์เพิ่มเติม เมื่อมีข้อมูลหลายด้านประกอบกัน จะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการเพาะปลูก การป้องกันโรคระบาด รวมถึงการต่อยอดงานวิจัยต่อไป

วิธีการศึกษา

กำหนดพื้นที่เข้าสำรวจการเกิดโรคในจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง โดยใช้ในการเลือกพื้นที่จาก agri-map online ของกรมพัฒนาที่ดิน (LDD, 2020b) ทีมสำรวจโรค (ทีมวิจัยด้านโรคพืช) ทำการสำรวจโรคเพื่อเก็บข้อมูลการเกิดโรค และเก็บตัวอย่างการเกิดโรค จำนวน 29 แปลงตัวอย่าง พร้อมบันทึกพิกัดทางภูมิศาสตร์ในจุดเกิดโรค เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลพื้นฐานด้านดินจากข้อมูลแผนที่ดินระดับจังหวัด (LDD, 2020c) ทีมสำรวจดินเข้าเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่เกิดโรคเพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสมบัติทางฟิสิกส์ต่อไป

เก็บตัวอย่างดินบริเวณที่เกิดโรครากเน่า 29 แปลงตัวอย่าง ใน 9 จังหวัด ได้แก่ ระยอง นครราชสีมา ราชบุรี กาญจนบุรี กาฬสินธุ์ อุบลราชธานี อุทัยธานี พิจิตร โขงหินทราย สุรินทร์ สุราษฎร์ธานี สระแก้ว ฉะเชิงเทรา และชลบุรี ที่ระดับความลึก 0-20, 20-40 และ 40-60 เซนติเมตร แบบไม่รบกวนโครงสร้าง โดยใช้ท่อเก็บตัวอย่างดิน (core) ใน 3 ระดับความลึกที่กำหนด เพื่อนำไปวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน และสภาพการนำน้ำของดิน และเก็บตัวอย่างดินตามชั้นกำเนิดดินจากการชุดดินด้วยสว่านเจาะดินเพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาบางประการของดิน ได้แก่ ความลึกของดิน การพบชั้นดาน การพบจุดประ เนื้อดิน สีดิน ชั้นดิน เป็นต้น

การวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density, ρ_b) โดยวิธีใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดินที่ไม่ทำลายโครงสร้าง (core method) (Blake & Hargte, 1986) สภาพการนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (hydraulic conductivity, K_{sat}) (Klute & Dirksen, 1986) และสัณฐานวิทยาของดิน (Kheoruenromne, 2004)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สำรวจพื้นที่การเกิดโรคและทำการเก็บตัวอย่างดินตามวิธีการที่กำหนด โดยใช้ข้อมูลพื้นที่การเกิดโรคที่สำรวจพบของทีมสำรวจโรค โดยจังหวัดที่พบแปลงการเกิดโรคมามากที่สุดคือจังหวัดอุบลราชธานี ฉะเชิงเทรา และอุทัยธานี ตามลำดับ ไม่พบแปลงเกิดโรคในจังหวัด ชัยนาท ขอนแก่น ชัยภูมิ นครสวรรค์ และกำแพงเพชร ทำการเก็บพิกัดทางภูมิศาสตร์ เก็บข้อมูลลักษณะสำคัญบางประการของดินโดยการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดิน โดยวิธีการขุดดินด้วยสว่านเจาะดิน เก็บตัวอย่างดินตามชั้นความลึกเพื่อนำไปศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์บางประการในห้องปฏิบัติการต่อไป จุดเก็บตัวอย่างแสดงดัง Figure 1

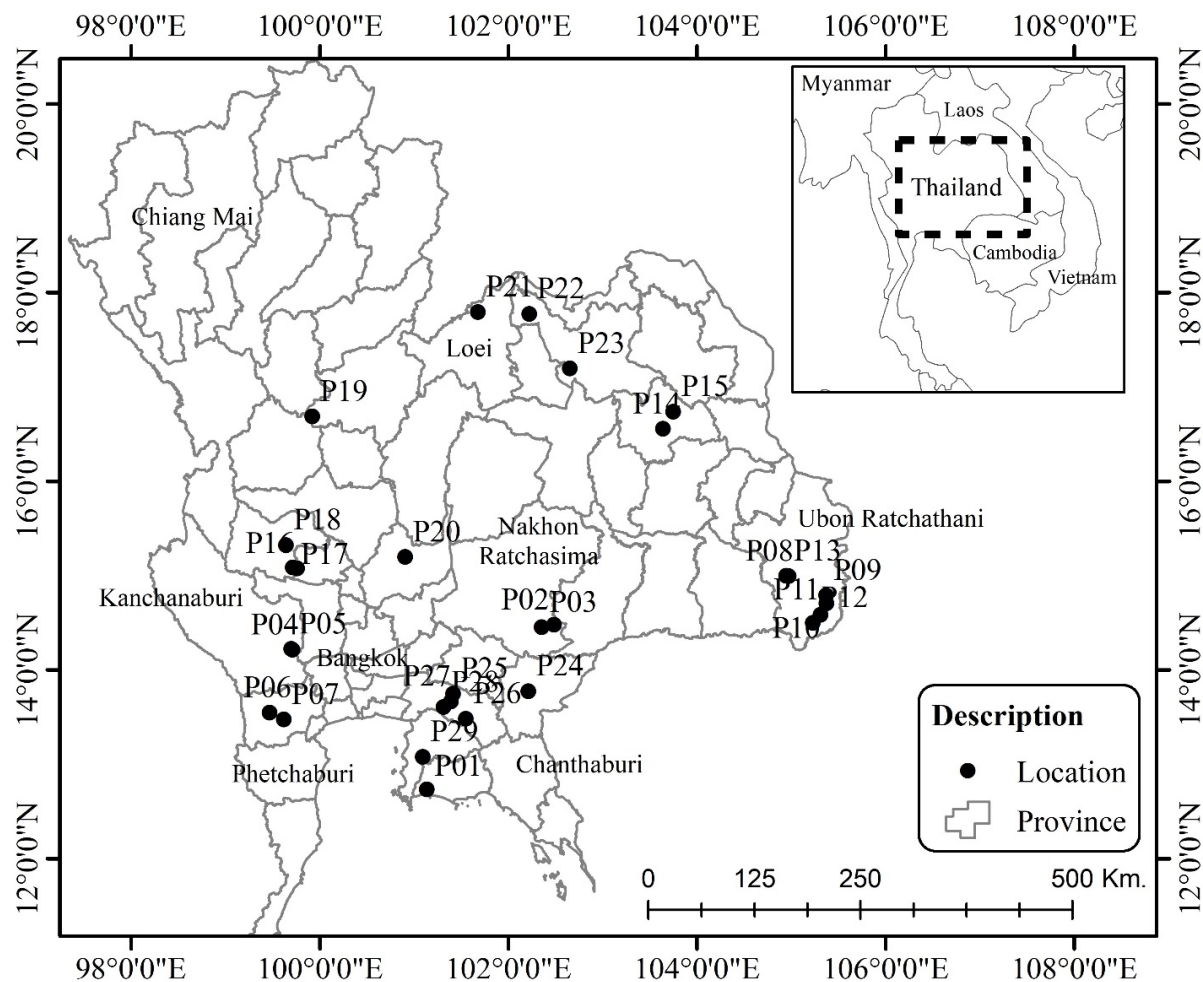


Figure 1 Coordinates of soil sample collection areas in the area presented root rot, tuber rot, stem rot of cassava in Thailand

ลักษณะของดินที่เรียงขึ้นตามความลึกที่เก็บตัวอย่างโดยสว่านเจาะดินในพื้นที่ศึกษา จำนวน 29 ดินตัวแทน แสดงดัง Figure 2, 3 ชื่อชุดดินตามอ้างอิงตามพิกัดภูมิศาสตร์และสืบค้นจากแผนที่ดินในระบบสารสนเทศเชิงพื้นที่เพื่อวางแผนการใช้ที่ดิน (LDD on Farm) ซึ่งเป็นแผนที่ดินมาตราส่วน 1:25,000 ผลิตปี 2561 แสดงดัง Table 1

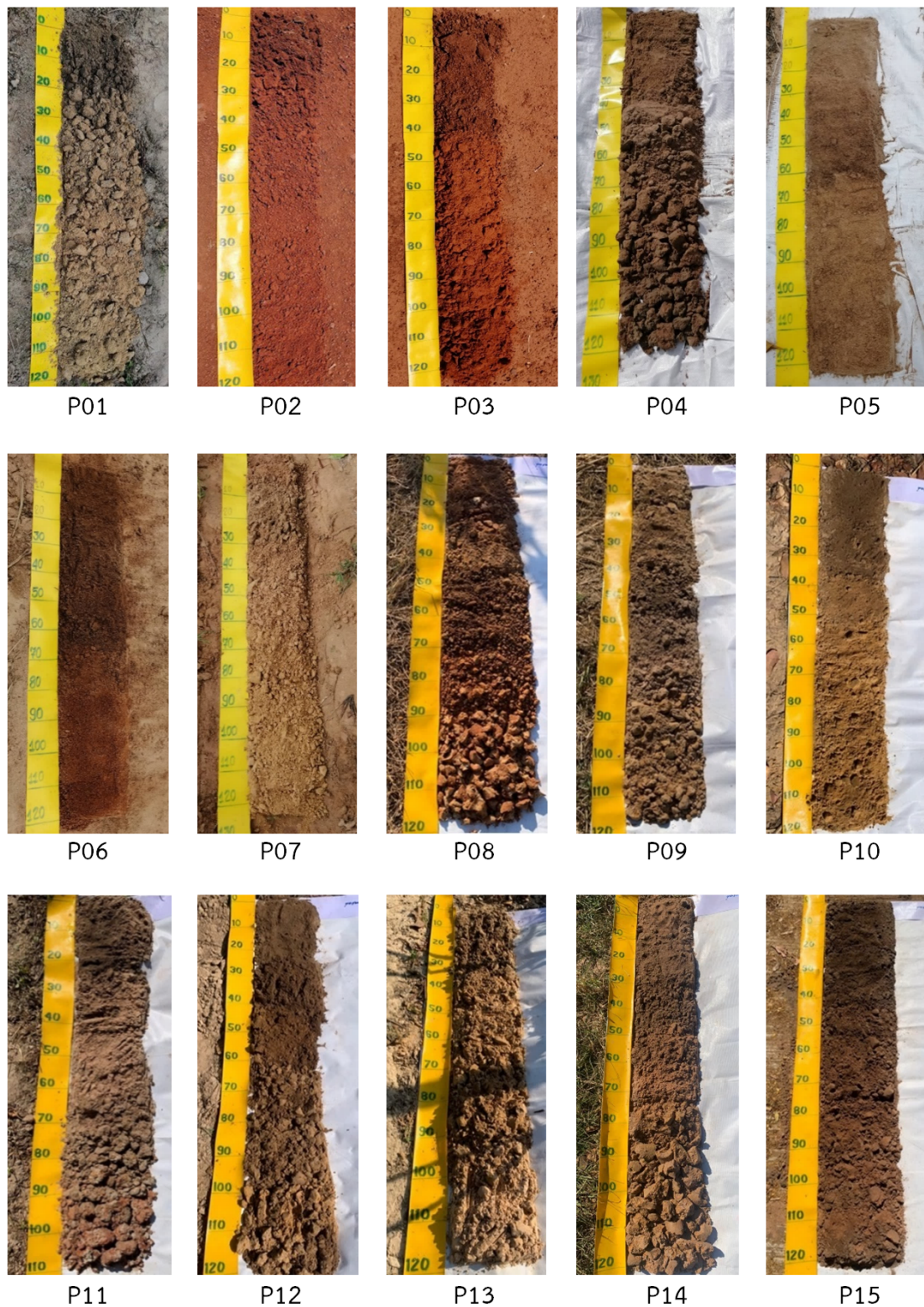


Figure 2 Soil horizon by auger and morphology of soil areas in the area presented root rot, tuber rot, stem rot of cassava in Thailand (P01-P15)

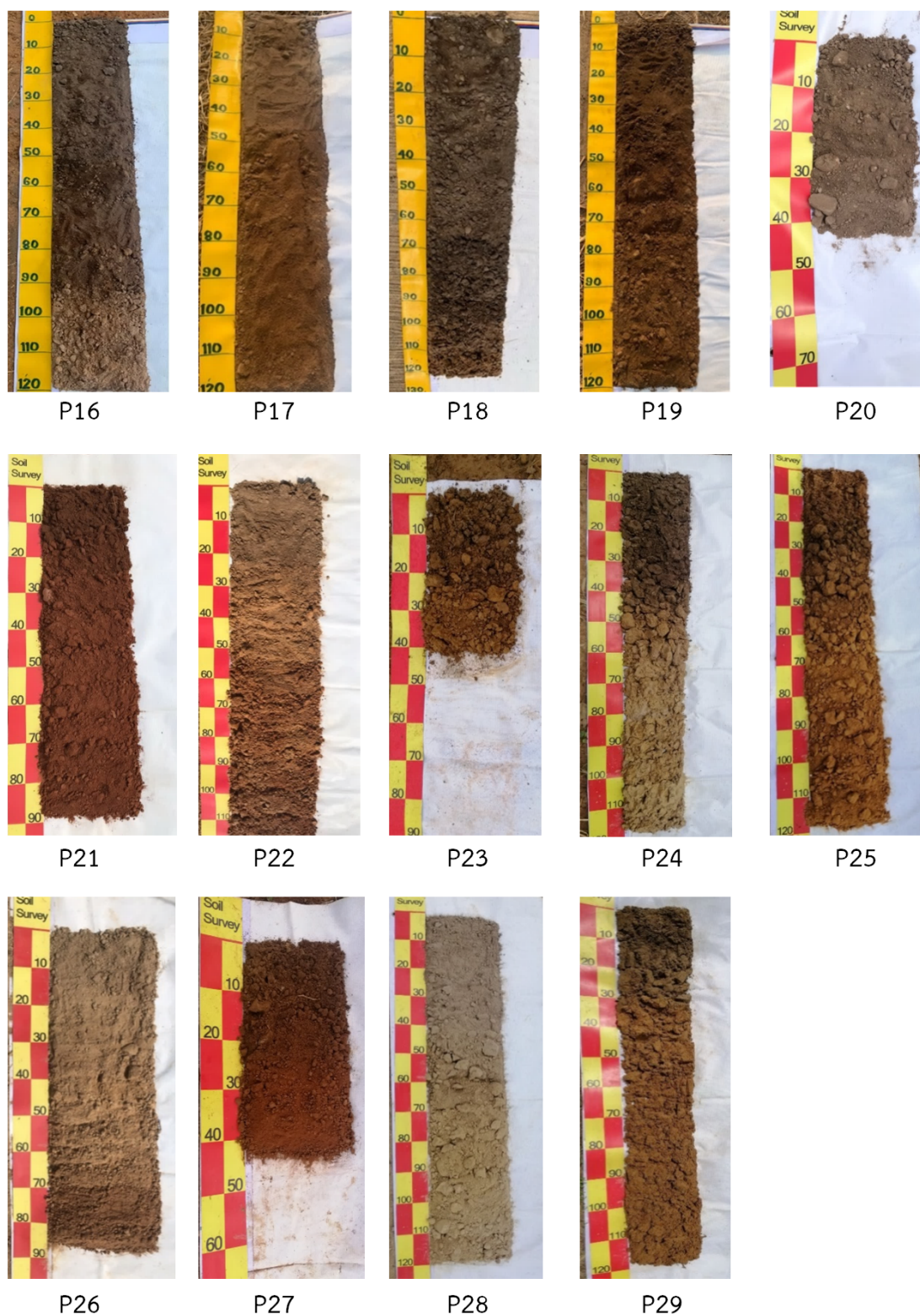


Figure 3 Soil horizon by auger and morphology of soil areas in the area presented root rot, tuber rot, stem rot of cassava in Thailand (P16-P29)

จากข้อมูลลักษณะหน้าตัดดินที่ทำการศึกษาพบลักษณะเชื่อมโยงสำคัญของสมบัติดินต่อการเกิดโรคได้แก่ 1. ชั้นดานเชื่อมแน่นในดินทรายแปลง P01 จังหวัดระยอง แปลง P05 จังหวัดกาญจนบุรี แปลง P07 จังหวัดราชบุรี แปลง P16 แปลง P17 และ P18 จังหวัดอุทัยธานี แปลง P19 จังหวัดพิษณุโลก แปลง P25 จังหวัดฉะเชิงเทรา และแปลง P29 จังหวัดชลบุรี 2. ดินมีจุดประแสดงลักษณะการระบายน้ำได้ช้าในแปลง P09, P12 และ P14 จังหวัดอุบลราชธานี และแปลง P24 จังหวัดสระแก้ว 3. พบชั้นกรวดและหรือลูกรัง (ศิลาแลง) หรือศิลาแลงอ่อน หรือเป็นดินที่มีชั้นดินตื้นกว่า 100 เซนติเมตร ในแปลง P04 จังหวัดกาญจนบุรี แปลง P08 P10 และ P11 จังหวัดอุบลราชธานี แปลง P20 จังหวัดลพบุรี แปลง P21 จังหวัดเลย แปลง P22 และ P23 จังหวัดอุดรธานี แปลง P26 และ P27 จังหวัดฉะเชิงเทรา 4. พบลักษณะการสะสมอนุภาคดินเหนียวอย่างชัดเจนในชั้นดินตอนล่างส่งผลให้การระบายน้ำไม่ดีในแปลง P02 และ P03 จังหวัดนครราชสีมา แปลง P06 จังหวัดราชบุรี แปลง P13 จังหวัดอุบลราชธานี และแปลง P15 จังหวัดกาฬสินธุ์ 5 ลักษณะการมีอนุภาคทรายแป้งปริมาณสูง ในแปลง P28 จังหวัดฉะเชิงเทรา (Figure 2, 3) ในส่วนของแปลง P02 และ P03 จังหวัดนครราชสีมาแม้ว่าเนื้อดินจะเป็นดินเหนียว แต่เป็นดินเหนียวที่มีพัฒนาการสูง มีโครงสร้างดินแบบเม็ดกลมทำให้ตอนบนดินระบายน้ำได้ดี แต่เนื่องจากการอัดแน่นในดินล่างจึงจำกัดการซึมของน้ำลงสู่ชั้นตอนล่างลงไป

สมบัติทางฟิสิกส์บางประการของดินในพื้นที่เกิดโรคในจังหวัดระยอง นครราชสีมา ราชบุรี กาญจนบุรี กาฬสินธุ์ อุบลราชธานี อุทัยธานี พิษณุโลก ลพบุรี เลย อุดรธานี สระแก้ว ฉะเชิงเทรา และชลบุรี จำนวน 29 แปลง แสดงดัง Table 1 พบว่าการเกิดโรคสามารถเกิดได้ในดินที่มีเนื้อหยาบ (ดินทราย) ไปจนถึงดินเนื้อละเอียด (ดินเหนียว) มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.18-1.95 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่าส่วนใหญ่มีความหนาแน่นรวมสูง (สูงกว่า 1.50 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินล่าง (ความลึก 20-60 เซนติเมตร) เมื่อพิจารณาความหนาแน่นรวมของดินตามความลึกพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามความลึก ทั้งนี้พบว่าจุดเก็บตัวอย่าง 17 จุดเก็บตัวอย่างมีความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้นตามความลึกโดยมีค่าสูงสุดที่ระดับความลึก 40-60 เซนติเมตร และจุดเก็บตัวอย่าง 12 จุดเก็บตัวอย่างมีค่าความหนาแน่นรวมสูงสุดที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร ค่าความหนาแน่นรวมของดินนี้เป็นสัดส่วนมวลดินแห้งต่อปริมาตรทั้งหมด (ปริมาตรดิน+ปริมาตรช่อง) ดังนั้นในดินเนื้อหยาบซึ่งมีปริมาตรช่องว่างรวมน้อยกว่าในดินเนื้อละเอียดจึงจะมีค่าความหนาแน่นรวมสูงกว่า โดยในดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายมีค่าอยู่ระหว่าง 1.20-1.80 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (ค่าเฉลี่ย 1.50 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) และในดินเหนียวมีค่าอยู่ที่ 1.00-1.60 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (ค่าเฉลี่ย 1.30 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) (Department of Soil Science, 2005) ซึ่งผลจากการศึกษาความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่เกิดโรคมียค่าสูงกว่าค่าโดยปกติของดินโดยทั่วไปอย่างเห็นได้ชัดทั้งในดินเนื้อหยาบและดินเนื้อละเอียด สภาพการนำน้ำของดินอ้อมตัวด้วยน้ำอยู่ระหว่าง 0.005-42.789 เมตร/วัน พบว่าดินมีสภาพการนำน้ำของดินอ้อมตัวด้วยน้ำต่ำในดินล่าง (ความลึก 20-60 เซนติเมตร) อย่างชัดเจน ค่าสภาพการนำน้ำมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นรวมของดินอย่างชัดเจน และมีความสอดคล้องกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดินที่พบชั้นที่แสดงลักษณะการมีชั้นดานทรายหรือชั้นที่มีการสะสมดินเหนียวมากขึ้นในหน้าตัดดิน

จากข้อมูลลักษณะดินของชั้นดินที่ขุดด้วยสว่านเจาะดิน (Figure 2, 3) และข้อมูลสมบัติทางฟิสิกส์บางประการพบว่าบางจุดศึกษามีลักษณะและสมบัติของดินแตกต่างจากสมบัติของดินตามที่ระบุชื่อชุดดินที่อ้างอิงตามพิภคภูมิศาสตร์และสืบค้นจากแผนที่ดินในระบบสารสนเทศเชิงพื้นที่เพื่อวางแผนการใช้ที่ดินเกษตรกรรายแปลง (LDD on Farm) ซึ่งเป็นแผนที่ดินมาตราส่วน 1:25,000 ผลิตปี 2561 ซึ่งเป็นตามมาตรฐานการสำรวจและแผนที่ดินในแต่ละมาตราส่วนจะมีข้อจำกัดความคลาดเคลื่อนที่สามารถเกิดขึ้นได้ ทั้งในส่วนของความคลาดเคลื่อนที่เส้นขอบเขตและความคลาดเคลื่อนสิ่งเกิดจากสิ่งเจือปนชั้นต่ำในแต่ละระดับของการสำรวจดิน (Kheoruenromne, 2005)

Table 1 Physical properties of soil in representative study area

Area no. Latitude Longitude	Soil series ^{1/}	Depth (cm)	Texture	Bulk density (g/cm ³)	K _{sat} (m/day)
P01	Mapbon	0-20	sandy loam	1.53	2.347
12.732900	(Mb)	20-40	sandy clay loam	1.74	0.079
101.135000		40-60	sandy clay	1.65	0.107
P02	Chokchai	0-20	Clay	1.22	5.370
14.478564	(Ci)	20-40	Clay	1.43	0.021
102.481993		40-60	Clay	1.44	0.039
P03	Chokchai	0-20	Clay	1.18	0.343
14.453240	(Ci)	20-40	Clay	1.42	0.064
102.352980		40-60	Clay	1.19	0.012
P04	Khao Plong-very thick	0-20	sand	1.48	1.041
14.213663	sand (Kpg-vtk)	20-40	sand	1.52	0.377
99.708388		40-60	loamy sand	1.65	0.005
P05	Khao Plong-very thick	0-20	sand	1.58	0.834
14.223854	sand (Kpg-vtk)	20-40	sand	1.59	0.644
99.697655		40-60	sand	1.84	0.216
P06	Chan Thuek	0-20	sand	1.34	0.626
13.547880	(Cu)	20-40	loamy sand	1.51	0.278
99.467400		40-60	loamy sand	1.47	0.118
P07	Tha Yang	0-20	sand	1.39	0.523
13.475469	(Ty)	20-40	sand	1.43	0.119
99.618133		40-60	loamy sand	1.48	0.169
P08	Na Dun-Phon Phisai	0-20	sandy clay loam	1.55	0.038
14.994647	with gray mottle	20-40	sandy clay loam	1.72	0.030
104.970569	(Nad-Pp-gm)	40-60	sandy clay loam	1.75	0.025
P09	Sri Muang Mai	0-20	silty clay	1.28	4.278
14.790749	(Smi)	20-40	silty clay	1.47	2.026
105.367678		40-60	silty clay	1.42	2.436
P10	Pak Thong Chai	0-20	sandy loam	1.48	2.266
14.706971	(Ptc)	20-40	sandy loam	1.72	0.283
105.370441		40-60	sandy loam	1.52	1.927

Table 1 (contd.)

Area no. Latitude Longitude	Soil series ¹	Depth (cm)	Texture	Bulk density (g/cm ³)	K _{sat} (m/day)
P11	Lahan Sai-fine texture (Lah-ft)	0-20	sandy loam	1.48	3.792
14.585940		20-40	sandy loam	1.62	0.352
105.308894		40-60	sandy loam	1.54	1.725
P12	Khambong-thick sand (Kg-tks)	0-20	loamy sand	1.69	3.792
14.500562		20-40	loamy sand	1.75	0.124
105.226339		40-60	loamy sand	1.71	0.357
P13	Phon Phisai- gray mottle (Pp-gm)	0-20	sandy loam	1.45	0.492
14.997714		20-40	sandy loam	1.70	0.325
104.944091		40-60	sandy loam	1.87	0.157
P14	Lahan Sai (Lah)	0-20	sandy loam	1.56	3.471
16.556454		20-40	sandy loam	1.62	2.258
103.640141		40-60	sandy loam	1.74	1.845
P15	Khambong (Kg)	0-20	sandy loam	1.55	8.024
16.739327		20-40	sandy loam	1.66	4.217
103.748083		40-60	sandy loam	1.69	3.258
P16	Khao Plong (Kpg)	0-20	loamy sand	1.56	4.528
15.077366		20-40	loamy sand	1.69	3.587
99.757565		40-60	loamy sand	1.71	2.017
P17	Khao Plong (Kpg)	0-20	loamy sand	1.58	4.650
15.086312		20-40	loamy sand	1.68	4.102
99.714184		40-60	loamy sand	1.75	1.254
P18	Uthai (Uti)	0-20	sandy loam	1.53	0.310
15.323691		20-40	sandy loam	1.65	0.765
99.641456		40-60	loamy sand	1.69	1.260
P19	Kamphaeng Phet - Kamphaeng Phet -fine texture (Kp-Kp-ft)	0-20	loamy sand	1.34	0.235
16.687754		20-40	loamy sand	1.44	0.147
99.920013		40-60	loamy sand	1.50	0.134
P20	Mouang Khom (Mm)	0-20	gravelly clay	1.38	7.280
15.197669		20-40	very gravelly clay	1.90	0.099
100.903927		40-60	-	-	-

Table 1 (contd.)

Area no. Latitude Longitude	Soil series ¹	Depth (cm)	Texture	Bulk density (g/cm ³)	K _{sat} (m/day)
P21 17.795787 101.677281	Loei (Lo)	0-20 20-40 40-60	sandy clay clay clay loam	1.52 1.72 1.55	39.516 2.461 1.303
P22 17.777071 102.220785	Chiang Khong (Cg)	0-20 20-40 40-60	slightly gravelly sandy clay loam slightly gravelly silty clay loam slightly gravelly silty clay loam	1.43 1.72 1.84	5.731 5.417 2.755
P23 17.197654 102.651229	Wang Nam Khiao (Wk)	0-20 20-40 40-60	clay loam clay loam -	1.60 1.67 -	4.940 1.148 -
P24 13.775616 102.210678	Pang Rai-coarse loamy (Pg-col)	0-20 20-40 40-60	loam loam loam	1.79 1.88 1.95	1.934 0.711 0.107
P25 13.748391 101.413204	Don Rai (Dr)	0-20 20-40 40-60	sandy clay loam sandy clay loam sandy clay loam	1.79 1.86 1.75	3.943 2.921 2.044
P26 13.483012 101.548417	Don Rai-deep and coarse loamy (Dr-d, col)	0-20 20-40 40-60	sandy loam slightly gravelly sandy loam very gravelly sandy loam	1.68 1.73 1.91	7.476 3.986 2.911
P27 13.666826 101.389139	Bang Khla (Bka)	0-20 20-40 40-60	gravelly sandy clay loam very gravelly sandy clay loam -	1.75 1.81 -	30.919 10.411 -
P28 13.605540 101.310412	Bang Khla (Bka)	0-20 20-40 40-60	sandy loam sandy loam sandy loam	1.77 1.84 1.91	6.565 1.438 4.377
P29 13.078814 101.092032	Mapbon (Mb)	0-20 20-40 40-60	loamy sand loamy sand slightly gravelly sandy loam	1.83 1.91 1.95	0.546 0.316 0.215

^{1/} soil series presented in application LDD on farm Land use planning which online soil map of Land development Department update in 2018.

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ได้แก่การพบดานใต้ชั้นไทรพรวน ความหนาแน่นรวมของดินสูง และสภาพการนำน้ำต่ำในชั้นดินล่าง ในพื้นที่เกิดโรครากเน่าและลำต้นเน่ามันสำปะหลังสอดคล้องกับข้อมูลการศึกษาการเกิดชั้นดานไทรพรวนภายใต้การใช้ที่ดินเพื่อการปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของ Anusontpornperm et al. (2005) รายงานว่าจากการศึกษาดิน 9 บริเวณพบชั้นที่อยู่ใต้ชั้นการไทรพรวนที่ความลึกระหว่าง 30-50 เซนติเมตร มีค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น ความพรุนรวมมีค่าลดลงจากชั้นดินบนอย่างชัดเจน และค่าสภาพการนำน้ำขณะดินอิ่มตัวของดินมีค่าลดลงจากดินบนอย่างชัดเจน การศึกษาวิจัยลักษณะของดินในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยที่ผ่านมารายงานว่า ดินมีความหนาแน่นรวมผันแปรเป็นไปตามลักษณะดิน ส่วนใหญ่ดินมีความหนาแน่นรวมสูง และมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความลึก พบชั้นสะสมดินเหนียวในชั้นดินล่าง พบชั้นที่มีความหนาแน่นรวมสูง และค่าการนำน้ำของดินอิ่มตัวต่ำในบริเวณใต้ชั้นไทรพรวนอันเป็นผลสืบเนื่องจากการจัดการดิน (Anusontpornperm et al., 2009; Boonrawd et al., 2021; Uppapanpongchai et al., 2017)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับความรุนแรงของการเกิดโรครากเน่า Cruz et al. (2020) พบว่าความรุนแรงของการเกิดโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Fusarium graminearum* มีความรุนแรงเพิ่มขึ้นในดินเนื้อละเอียดเมื่อเปรียบเทียบกับดินเนื้อหยาบ Zitnick-Anderson et al. (2020) ยังพบอีกว่า ปริมาณดินเหนียว (clay content) มีความสำคัญกับการเกิดโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อที่ *Fusarium acuminatum*, *A. euteiches* และ *Fusarium sporotrichioides* ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในปัจจุบันที่พบชั้นสะสมดินเหนียวในชั้นดินล่าง นอกจากนี้ Williamson-Benavides & Dhingra (2021) รายงานว่าการแพร่กระจายของเชื้อสาเหตุโรครากเน่าได้รับการสนับสนุนโดยความชื้นในดินปานกลางถึงสูง สภาพการระบายน้ำไม่ดี สภาพแน่นทึบของดิน ดังนั้นการที่ดินส่วนใหญ่ในการศึกษารังนี้มีความหนาแน่นรวมสูง และมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความลึก รวมทั้งมีค่าการนำน้ำของดินอ้อมตัวต่ำในบริเวณใต้ชั้นไผ่พรวนอาจจะส่งผลให้มีการระบายน้ำไม่ดี ดินมีความชื้นสูงและส่งผลให้เกิดโรครากเน่าโคนเน่าเพิ่มขึ้นได้

สรุปผลการศึกษา

จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่สำรวจพบโรค 9 จังหวัด ได้แก่ ระยอง นครราชสีมา ราชบุรี กาญจนบุรี ภาพสินธุ์ อุบลราชธานี อุทัยธานี พิษณุโลก ลพบุรี เลย อุดรธานี สระแก้ว ฉะเชิงเทรา และชลบุรี ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสมบัติทางฟิสิกส์ของดินในพื้นที่เกิดโรคจำนวน 29 ดินตัวแทน พบลักษณะเชื่อมโยงที่สำคัญของสมบัติดินต่อการเกิดโรคได้แก่ 1. ชั้นดานเชื่อมแน่นในดินทราย 2. ดินมีจุดประแสดงลักษณะการระบายน้ำได้ช้า 3. พบชั้นกรวดและหรือลูกรังหรือเป็นดินที่มีชั้นดินตื้นกว่า 100 เซนติเมตร 4. พบลักษณะการสะสมอนุภาคดินเหนียวอย่างชัดเจนในชั้นดินตอนล่างส่งผลให้การระบายน้ำไม่ดี 5. ลักษณะการมีอนุภาคทรายแบ่งปริมาณสูง การศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของดินจำนวน 29 แปลง แสดงให้เห็นว่าการเกิดโรคสามารถเกิดได้ในดินที่มีเนื้อหยาบ (ดินทราย) ไปจนถึงดินเนื้อละเอียด (ดินเหนียว) ดินส่วนใหญ่มีความหนาแน่นรวมสูง โดยเฉพาะในดินล่าง ที่ระดับความลึก 20-40 เซนติเมตร และ 40-60 เซนติเมตร (ส่วนใหญ่มีความหนาแน่นรวมสูงกว่า 1.5 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) มีสภาพการนำน้ำของดินอ้อมตัวด้วยน้ำต่ำโดยเฉพาะในชั้นดินล่างที่มีความหนาแน่นรวมสูง สอดคล้องกับลักษณะชั้นที่แสดงการมีชั้นดานทรายหรือชั้นที่มีการสะสมดินเหนียวมากขึ้น ค่าการนำน้ำของดินอ้อมตัวต่ำในบริเวณใต้ชั้นไผ่พรวนอาจจะส่งผลให้มีการระบายน้ำไม่ดี เมื่อดินมีความชื้นสูงจะส่งผลให้เกิดโรครากเน่าโคนเน่าเพิ่มขึ้นได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุนทุนในการศึกษาวิจัยภายใต้โครงการ P17-50122 และขอขอบคุณภาควิชาปฐพีวิทยา และภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนการใช้อุปกรณ์และห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

- Anusontpornperm, S., Nortcliff, S., & Kheoruenromne, I. (2005). Hardpan formation of some coarse-texture upland soils in thailand. In **proceeding of Mamngment of Tropical Sandy Soils from Sustainable Agriculture**, pp. 285. Land Development Department of Thailand.
- Anusontpornperm, S., Nortcliff, S., & Kheoruenromne, I. (2009). Interpretability comparison between Soil Taxonomic and Fertility Capability Classification units: a case of some major cassava soils in northeast, Thailand. **Kasetsart Journal (Natural Science)**, 43(5), 9-18.
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk density. In Klute, A. (Ed.), **Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods**, pp. 363-382. American Society of Agronomy.
- Boonrawd, S., Anusontpornperm, S., Thanachit, S., Kheoruenromne, I., & Janjirawuttikul, N. (2021). Characteristics and fertility capability of cassava growing soils under different annual rainfall conditions in Northeast Thailand. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 49 (4), 1034-1046.
- Charasatapon, R., Saelee, T., Chulkod, U., & Cheadcoo, S. (2014). Phytophthora root and tuber rot of cassava in Thailand. **Book of Abstracts of the 5th Asian Conference on Plant Pathology (ACPP2014)**, pp. 66. The Empress Convention Center.
- Cruz, D. R., Leandro, L. F. S., Mayfield, D. A., Meng, Y., & Munkvold, G. P. (2020). Effects of soil conditions on root rot of soybean caused by *Fusarium graminearum*. **Phytopathology**, 110(10), 1604-1736.
- Department of Soil Science. (2005). **Introduction to Soil Science**. 10th ed. Kasetsart University Press.
- Jiang, G., Wang, N., Zhang, Y., Wang, Z., Zhang, Y., Yu, J., Zhang, Y., Wei, Z., Xu, Y., Geisen, S., Friman, V. P., & Shen, Q. (2021). The relative importance of soil moisture in predicting bacterial wilt disease occurrence. **Soil Ecology Letters**, 3, 356-366.
- Kheoruenromne, I. (2004). **Soil Survey Laboratory Manual**. Kasetsart University Press.

- Kheoruenromne, I. (2005). **Soil Survey**. Kasetsart University Press.
- Klute, A., & Dirksen, C. (1986). Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In A. Klute. (ed.), **Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph**, pp. 687-734. American Society of Agronomy.
- Land Development Department. (2020a). **Characteristics and Soil Properties of Soil Series Established in Thailand**. Retrieved from: http://oss101.ddd.go.th/thaisoils_museum/ThaiSoilData_57.htm.
- Land Development Department. (2020b). **Agri-map**. Retrieved from: <https://www.ddd.go.th/Agri-Map/Index.html>.
- Land Development Department. (2020c). **Application LDD on Farm Land Use Planning**. Retrieved from: <https://londonfarm.ddd.go.th/londonfarm/main>.
- Sawatdikarn, S. (2014). **Industrial Field Crops**. Odeon Store.
- Segura, R. A., Stoorvogel, J. J., & Sandoval, J. A. (2022). The effect of soil properties on the relation between soil management and Fusarium wilt expression in Gros Michel bananas. **Plant and Soil**, 471, 89-100.
- Uppapanpongchai, P., Anusontpornperm, S., Thanachit, S., Ketrot, D., & Petprapai, P. (2017). Effect of Cassava Starch Waste, Ground Limestone and Dolomite on Cassava Grown in Satuk Soil. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 45(1), 25-34.
- Williamson-Benavides, B. A., & Dhingra, A. (2021). Understanding root rot disease in agricultural crops. **Horticulturae**, 7(2), 1-43.
- Zitnick-Anderson, K., del Río Mendoza, L. E., Forster, S., & Pasche, J. S. (2020). Associations among the communities of soil-borne pathogens, soil edaphic properties and disease incidence in the field pea root rot complex. **Plant and Soil**, 457, 339-354.

ผลของระยะเวลาการนึ่งและอุณหภูมิอบแห้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อสารต้านอนุมูลอิสระ

Effect of Parboiling Times and Temperatures Drying of Riceberry on Antioxidant Activity

ประไพ บางเขย¹ ชัยวัฒน์ บรรดิษฐ์¹ กฤตณัย แก้วยศ² และ ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์^{1*}
Prapai Bangchay¹, Chaiwat Bandaiphut¹, Krittana Kaewyot² and Chaiyong Taechapairoj^{1*}

Received date: 18 ส.ค. 65 Revised date: 29 พ.ค. 66 Accepted date: 8 ก.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.002>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10, 20 และ 30 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อสารต้านอนุมูลอิสระ โดยความชื้นสุดท้ายอยู่ระหว่าง 15-16 % มาตรฐานแห้ง ผลการศึกษพบว่าค่าสี L*, a* และ b* อยู่ระหว่าง 29.53-32.74, 0.88-1.00 และ 0.14-0.18 ตามลำดับ โดยเมื่อผ่านการนึ่งและการอบแห้งพบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลงอยู่ระหว่าง 10.00-10.90 mgGAE/g ส่วน %DPPH scavenging activity ลดลงอยู่ระหว่าง 69.52-81.80% และปริมาณ ferric-reducing antioxidant power ลดลงอยู่ระหว่าง 7.14-7.99 mgFeSO₄/g เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิง โดยการนึ่ง 10 นาที และการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส จะเหมาะสมที่สุดในการศึกษา

คำสำคัญ: การนึ่ง การอบแห้ง ไรซ์เบอร์รี่ สารต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The aim of this research was to investigate the effect of parboiling riceberry at 100°C for 10, 20 and 30 minutes and drying at 50, 60 and 70°C on antioxidant activity. The moisture content of parboiled rice was approximately of 15 - 16% db. The experimental results showed that color L*, a* and b* were in the range of 29.53 - 32.74, 0.88 - 1.00 and 0.14 - 0.18, respectively. The total phenolic content, %DPPH scavenging activity and ferric reducing antioxidant power (FRAP) of riceberry after process were decreased in the range of 10.00 - 10.90 mgGAE/g, 69.52 - 81.80% and 7.14 - 7.99 mgFeSO₄/g, respectively, when compared to reference rice. Parboiling for 10 min and drying at 50°C were the most suitable in this study.

Keywords: parboiling, drying, riceberry, antioxidant activity

คำนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) ถือว่าเป็นอาหารหลักและพืชเศรษฐกิจประเทศไทย และแน่นอนว่าไม่ได้มีเพียงแค่ข้าวขาว ประเทศไทยยังมีข้าวสีอื่น ๆ หลายสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย ซึ่งเมล็ดที่อยู่ในข้าวมีรายงานว่าเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมี (Phytonutrients) ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายรวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระ (Chen and Bergman, 2005) ซึ่งข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Riceberry) ก็ถือว่าเป็นหนึ่งในข้าวที่มีสีและได้รับความนิยมในประเทศไทยที่สูงมาก เนื่องจากมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่สูง (Wang et al., 2010) โดยลักษณะข้าวไรซ์เบอร์รี่จะมีสีม่วงเข้ม สายพันธุ์ลูกผสมจากพันธุ์ข้าวหอมนิลและข้าวหอมมะลิ 105 (Kongkachuichai et al., 2013) นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีธาตุเหล็กสูงและระดับน้ำตาลต่ำ สามารถใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับผู้ป่วยโรคโลหิตจางและเบาหวานได้ (Leardkamolkarn et al., 2011)

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000

² กลุ่มงานวิจัยและพัฒนา สถาบันจิตเวชศาสตร์สมเด็จเจ้าพระยา กรมสุขภาพจิต กรุงเทพมหานคร 10600

¹ Department of Biotechnology, Faculty of Engineering and Industrial technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000

² Division of Research and Development, Somdet Chaopraya Institute of Psychiatry, Department of Mental Health, Bangkok 10600

*Corresponding author: chaiyong_t@yahoo.com

โดยปัจจุบันข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพต่าง ๆ แต่กระบวนการแปรรูปจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารอาหารในผลิตภัณฑ์ โดยข้าวหนึ่ง (Parboiling Rice) เป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่ง โดยการนำข้าวผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลซึ่งประกอบด้วย การแช่ การทำให้เกิดเจลลิตไนเซชัน (Gelatinization) และการคายน้ำ (Dehydration) ซึ่งจะเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ โภชนาการ การปรุงอาหาร และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของเมล็ดข้าว โดยจะลดความเหนียวของข้าว และทำให้สีเข้มขึ้น (Liu et al., 2020) นอกจากนี้ การผลิตข้าวหนึ่งมีจุดประสงค์เพื่อลดปริมาณข้าวหักระหว่างการสี ลดการสูญเสียสารอาหารบางส่วนจากเมล็ดข้าว และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวในระหว่างขั้นตอนการผลิต ตลอดจนช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของข้าว และเพิ่มคุณค่าการใช้ประโยชน์จากข้าว (Bhattacharya, 1985; Champagne, 2004) โดยข้าวหลังจากนำมาผ่านกระบวนการแช่แล้ว ข้าวจะมีความชื้นที่สูงและจะมีปริมาณของจุลินทรีย์ที่สูงซึ่งเกิดขึ้นที่ผิวของข้าว จึงต้องนำมาผ่านกระบวนการอบแห้ง เพื่อลดความชื้นภายในข้าวและทำให้สามารถนำมาเก็บรักษาได้นานขึ้น และแน่นอนว่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของการแช่และการอบแห้งเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาหรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์จากข้าวไรซ์เบอร์รี่

การนี้เป็นการรักษาความชื้นด้วยความร้อนประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ๆ คือ 1) การแช่ข้าวจนถึงความชื้นอิ่มตัว 2) การนึ่งหรือต้ม และ 3) การอบแห้งข้าวหนึ่งด้วยแสงแดดหรือเตาอบจนปริมาณความชื้นลดลงเหลือน้อยกว่า 14% (Ayamdoo et al., 2013) ในกระบวนการนึ่งข้าวจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณค่าทางโภชนาการ เม็ดสี วิตามินและแร่ธาตุ ซึ่งทำให้ข้าวหนึ่งที่ผ่านการขัดสีมีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความแข็งของข้าวเพื่อให้มีเมล็ดข้าวหักน้อยลง (Elbert et al., 2001) จากการทบทวนวรรณกรรมการนึ่งหรือการอบแห้งข้าวไรซ์เบอร์รี่จะพบเป็นการอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (Drum drying) (Wiriyawattana et al., 2018) หรือการอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheated Steam) (Boonmawat et al., 2019) ส่วนการนึ่งและการอบแห้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังมีอยู่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นการศึกษาผลของการนึ่งและการอบแห้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถใช้ผลการวิจัยเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อุดมไปด้วยสารอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระต่อไป

วิธีการศึกษา

การเตรียมวัตถุดิบ

ใช้ข้าวเปลือกสายพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ จากเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย เข้าสู่กระบวนการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แบ่งเป็นระยะเวลา 10, 20 และ 30 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นสุดท้ายอยู่ระหว่าง 15-16% มาตรฐานแห้ง (%db.) ส่วนข้าวอ้างอิง (Reference) จะผ่านกระบวนการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ไม่ผ่านกระบวนการนึ่งและการอบแห้ง โดยใช้อากาศแวดล้อม (Ambient Air) ในการลดความชื้นจนได้ความชื้นสุดท้ายอยู่ระหว่าง 15-16% มาตรฐานแห้ง (%db.) จากทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามมาตรฐานของ AACC (American Association Cereal Chemistry, 1995) มีขั้นตอนดังนี้ ชั่งน้ำหนักของข้าวเปลือก 50 กรัม ใส่ในกระป๋องความชื้น (Moisture Can) อบลมร้อนอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นใส่ในโถดูดความชื้น 45 นาที ชั่งน้ำหนักอีกครั้งจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ แล้วคำนวณเป็นความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db.) จากทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

การวัดสี

การวัดสี โดยนำข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกแล้ว 50 กรัม นำมาวัดสีด้วยเครื่อง Colorimeter (NR200 Precision Colorimeter, China) โดยปริมาณที่วัดได้นั้นจะอ้างอิงตามระบบ CIE Lab Scale รายงานผลในรูปของ L^* , a^* , b^* ซึ่งทั้ง 3 ค่าเป็นการแสดงการวัดค่าสีโดยที่ค่า L^* คือค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าความสว่างมากเมื่อเข้าใกล้ 100 และมีความมืดเมื่อเข้าใกล้ 0

ค่า a^* คือค่าความเป็นสีเขียว (Greenness) เมื่อมีค่าเป็นลบและมีค่าความเป็นสีแดง (Redness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่า b^* คือค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวกและค่าความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบ จากทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

การวิเคราะห์ทางเคมี

การสกัดตัวอย่าง

การสกัดตัวอย่างจากวิธีการของ Skerget et al. (2005) โดยนำข้าวที่บดให้ละเอียดน้ำหนัก 5 กรัม ผสม 70% เอทานอล 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปกวน 20 นาที และปั่นเหวี่ยงที่ 3500 g ระยะเวลา 10 นาที เก็บส่วนใสแล้วนำตะกอนที่เหลือสกัดซ้ำ แล้วนำส่วนใสมารวมกัน จากนั้นกรองสารที่สกัดได้ด้วยกระดาษกรอง Whatman No.5 และระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่อง Rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้เหลือปริมาตรสุดท้าย 5 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์ปริมาณ Total Phenolic Content (TPC)

การวิเคราะห์ปริมาณ Total Phenolic Content จากวิธีการของ Shao et al. (2014) นำสารสกัดตัวอย่าง 200 ไมโครลิตร เติม Folin-Ciocalteu's reagent ที่เจือจาง 10 เท่า ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ระยะเวลา 5 นาที จากนั้นเติม 7.5% (w/v) Na_2CO_3 1.5 มิลลิลิตร แล้วนำไปบ่มที่ห้องมืดอุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร คำนวณผลเป็น mg GAE/g Dry Weight จากทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

การวิเคราะห์ DPPH Radical Scavenging Activity

การวิเคราะห์ DPPH Radical Scavenging Activity จากวิธีการของ Shao et al. (2014) นำสารสกัดตัวอย่าง 100 ไมโครลิตร ผสมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 100 ไมโครโมล/ลิตร ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร บ่มไว้ในที่มืดนาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้สาร Trolox เป็นสารมาตรฐาน คำนวณผลเป็น %DPPH Scavenging Activity จากทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

การวิเคราะห์ Ferric-reducing Antioxidant Power (FRAP)

การวิเคราะห์ Ferric-reducing Antioxidant Power (FRAP) จากวิธีการของ Deng et al. (2013) นำสารสกัดตัวอย่าง 100 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย FRAP ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง 4 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร คำนวณผลเป็น $\text{mgFeSO}_4/\text{g Dry Weight}$ จากทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างข้าวอ้างอิงกับข้าวที่ผ่านกระบวนการนี้และการอบแห้งด้วยวิธี One-way ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ปริมาณความชื้น

จาก Figure 1A-1C แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะเวลาในการนึ่งและอุณหภูมิการอบแห้งต่าง ๆ พบว่า ความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการนี้เฉลี่ยเท่ากับ 38.68 ± 2.09 %db. และเมื่อผ่านการอบแห้ง ปริมาณความชื้นที่ระยะเวลามาก ๆ ของการนึ่งที่ 10, 20 และ 30 นาที พบปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน แต่เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งมากขึ้น ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง โดยต้องการความชื้นสุดท้ายอยู่ระหว่าง 15-16 %db. ซึ่งการอบแห้งที่อุณหภูมิ

50 องศาเซลเซียส (Figure 1A) จะใช้เวลา 20 นาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (Figure 1B) จะใช้เวลา 18 นาที และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (Figure 1C) จะใช้เวลา 10 นาที โดยใช้ตัวอย่างดังกล่าวไปวิเคราะห์ต่อไป

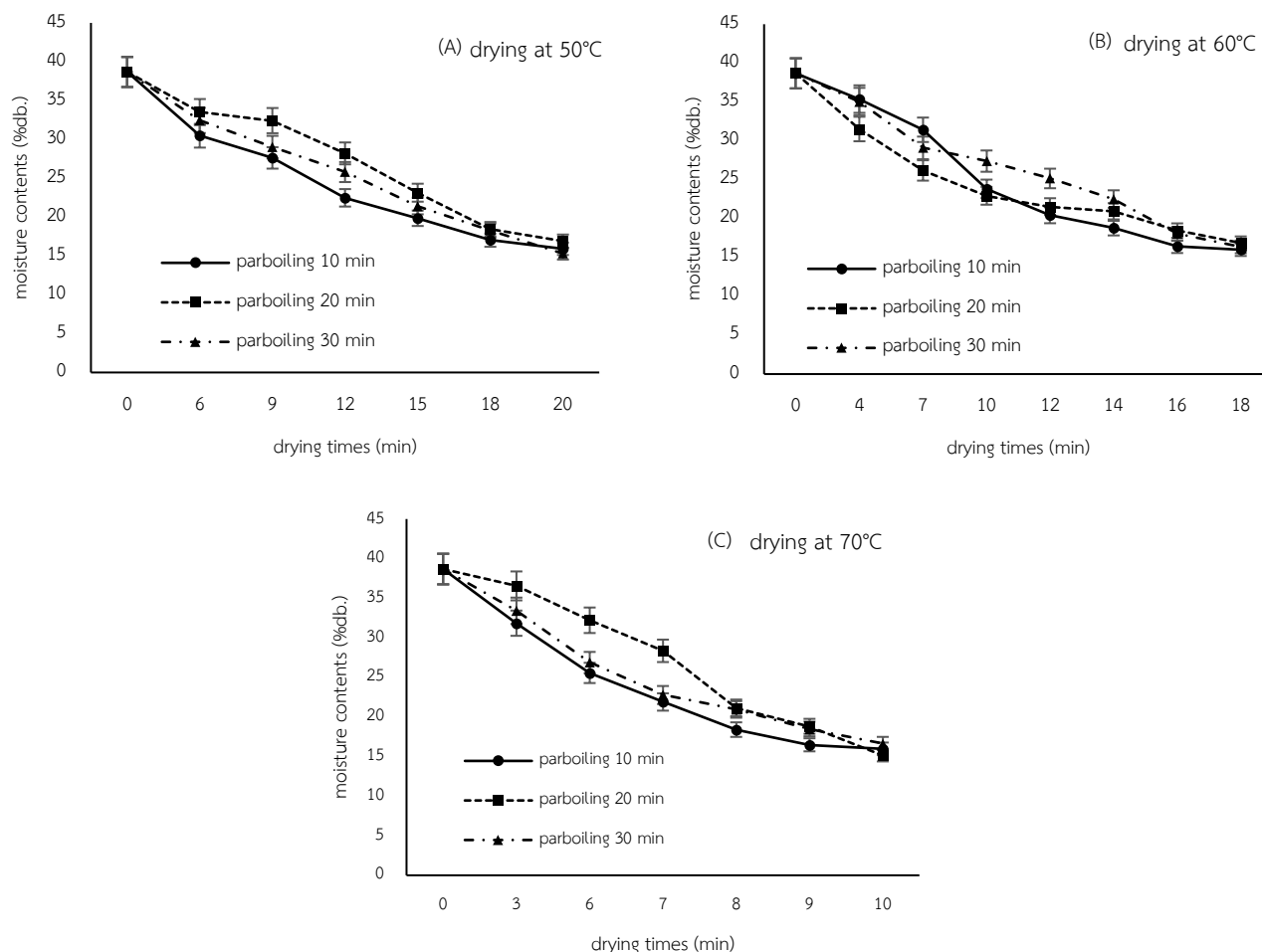


Figure 1A-1C Changes in moisture content of riceberry at different parboiling times and drying temperatures

คำสี

จาก Table 1 แสดงค่าสีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการนึ่งและการอบแห้ง พบว่า ในส่วนของค่าสี L* มีค่าอยู่ระหว่าง 29.53-33.03 ซึ่งไม่แตกต่างกับค่าสี L* ของข้าวอ้างอิง (32.23-32.78) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าสี a* มีค่าอยู่ระหว่าง 0.88-1.00 ซึ่งไม่แตกต่างกับค่าสี a* ของข้าวอ้างอิง (0.96-1.01) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และค่าสี b* มีค่าอยู่ระหว่าง 0.14-0.17 ซึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสี a* ของข้าวอ้างอิง (0.05-0.06) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากตัวอย่างมีการผ่านความร้อนทำให้มีสีที่เข้มขึ้นได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Hu et al. (2017) ที่ศึกษาผลของการนึ่งต่อสารประกอบทางชีวภาพและสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวแดงอก พบว่า การผ่านกระบวนการนึ่งทำให้ค่าสีเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงเม็ดสีจากเอ็มบริโอเป็นชั้นสีน้ำตาลของแอนโทไซยม (Sirisoontaralak et al., 2015) นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างข้าวไรซ์เบอร์รี่อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะพื้นผิวของวัสดุเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิสูงในระหว่างกระบวนการอบแห้งจึงเกิดการกระตุ้นให้เกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ซึ่งนำไปสู่การเกิดสีที่เข้มขึ้น (Dao, 2015)

Table 1 Change in color of riceberry after processing

Drying temperatures	Parboiling times	Color		
		L* ^{ns}	a* ^{ns}	b*
Raw	-	32.23±0.01	1.01±0.01	0.05±0.01 ^a
Reference	-	32.78±0.01	0.96±0.01	0.06±0.01 ^a
50°C	10 min	32.08±0.01	0.95±0.01	0.14±0.01 ^b
	20 min	29.53±5.19	0.94±0.02	0.15±0.01 ^b
	30 min	31.65±0.53	0.94±0.02	0.16±0.02 ^b
60°C	10 min	31.17±0.32	0.98±0.02	0.14±0.01 ^b
	20 min	31.28±0.45	0.95±0.01	0.17±0.02 ^b
	30 min	32.06±0.04	1.00±0.03	0.18±0.05 ^b
70°C	10 min	32.74±1.47	0.88±0.01	0.17±0.01 ^b
	20 min	33.03±0.01	0.89±0.01	0.17±0.01 ^b
	30 min	32.67±0.01	0.90±0.01	0.14±0.01 ^b

^{a,b}Different superscripts in column mean that the values are significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant

ปริมาณ Total Phenolic Content (TPC), DPPH Radical Scavenging Activity และ Ferric-reducing Antioxidant Power (FRAP)

จาก Table 2 แสดงปริมาณ Total Phenolic Content (TPC), DPPH Radical Scavenging Activity และ Ferric-reducing Antioxidant Power (FRAP) ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการนึ่งและการอบแห้ง พบว่าในส่วนของปริมาณ Total Phenolic Content (TPC) น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิง (19.02-19.79 mg GAE/g dry weight) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการนึ่งและอุณหภูมิในการอบแห้ง พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีค่าอยู่ระหว่าง 10.00-10.90 mg GAE/g dry weight โดยใกล้เคียงกับการศึกษาของ Luang-In et al. (2018) ที่ศึกษาปริมาณ TPC ในข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่หักและน้ำมันข้าวไรซ์เบอร์รี่ อยู่ประมาณ 9.94 mg GAE/g extract

ส่วน %DPPH Scavenging Activity น้อยกว่าเช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิง (84.54-85.58%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการนึ่งและอุณหภูมิในการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการนึ่ง 30 นาที %DPPH Scavenging Activity จะลดลงอยู่ที่ 75.68% และที่การอบแห้งอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการนึ่ง 30 นาที %DPPH Scavenging Activity จะลดลงอยู่ที่ 69.52% ซึ่งแตกต่างกับระยะเวลาการนึ่งและอุณหภูมิการอบแห้งอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยภาพรวมจะมีค่าอยู่ระหว่าง 69.52-81.80% และปริมาณ Ferric-reducing Antioxidant Power (FRAP) น้อยกว่าเช่นเดียวกันเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิง (9.17-9.22 mgFeSO₄/g dry weight) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการนึ่งและอุณหภูมิในการอบแห้ง พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีค่าอยู่ระหว่าง 7.14-7.99 mgFeSO₄/g Dry Weight ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของ Fe³⁺ ที่อยู่ในรูป Fe³⁺-TPTZ เมื่อถูกรีดิวซ์จะเกิดเป็น Fe²⁺-TPTZ ซึ่งถ้าเกิด Fe²⁺-TPTZ มากแสดงว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ (Benzie & Strain, 1999) ทั้งนี้เนื่องจากการผ่านความร้อนในกระบวนการนึ่งและการอบแห้งส่งผลให้สารต้านอนุมูลอิสระสูญเสียสภาพไปบ้าง ส่งผลให้ ปริมาณ Total Phenolic Content (TPC), DPPH Radical Scavenging Activity และ Ferric-reducing Antioxidant Power (FRAP) มีค่าลดลงจากข้าวอ้างอิง ซึ่งสารดังกล่าวเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ และไม่เสถียรจึงสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน (Jongjitt et al., 2017) ซึ่งจากการศึกษาของ Leardkamolkarn et al., (2011) กล่าวว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสารประกอบที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น ฟีนอลและแอนโทไซยานินในปริมาณสูง ซึ่งสาร

ดังกล่าวมีรายงานว่าสามารถสลายตัวได้เร็วเมื่อถูกความร้อนที่สูงขึ้นและ pH ที่ลดลง (Hou et al., 2013) นอกจากนี้ Nayak et al. (2011) ได้รายงานว่า การสลายตัวของสารต้านอนุมูลอิสระอาจเกิดจากการก่อตัวของสารประกอบสีน้ำตาลผ่านปฏิกิริยา Maillard ที่อุณหภูมิสูง

Table 2 Total Phenolic Content (TPC), DPPH Radical Scavenging Activity และ Ferric-reducing Antioxidant Power (FRAP) of riceberry after processing

Drying temperatures	Parboiling times	TPC (mg GAE/g dry weight)	%DPPH scavenging activity	FRAP (mgFeSO ₄ / g dry weight)
Raw	-	19.02±0.04 ^a	84.54±0.02 ^a	9.17±0.85 ^a
Reference	-	19.79±0.01 ^a	85.58±0.04 ^a	9.22±0.74 ^a
50°C	10 min	10.00±0.06 ^b	81.80±0.14 ^b	7.64±0.04 ^b
	20 min	10.81±0.11 ^b	80.19±0.13 ^b	7.23±0.33 ^b
	30 min	10.38±0.10 ^b	75.68±0.15 ^c	7.18±0.31 ^b
60°C	10 min	10.90±0.08 ^b	79.68±0.21 ^b	7.52±0.11 ^b
	20 min	10.13±0.02 ^b	80.88±0.18 ^b	7.48±0.13 ^b
	30 min	10.14±0.15 ^b	79.65±0.15 ^b	7.97±0.10 ^b
70°C	10 min	10.11±0.09 ^b	76.31±0.15 ^c	7.19±0.17 ^b
	20 min	10.10±0.09 ^b	76.03±0.20 ^c	7.14±0.73 ^b
	30 min	10.62±0.13 ^b	69.52±0.26 ^d	7.99±0.43 ^b

^{a,b}Different superscripts mean that the values are significantly different ($p < 0.05$)

สรุปผลการศึกษา

เมื่อนำข้าวไรซ์เบอร์รี่เข้าสู่กระบวนการการนึ่งและกระบวนการอบแห้งให้มีปริมาณความชื้นสุดท้ายอยู่ระหว่าง 15-16 %db. ซึ่งการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 20 นาที ได้ปริมาณความชื้น 15.92-16.90%db อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 18 นาที ได้ปริมาณความชื้น 15.99-16.86%db. และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 10 นาที ได้ปริมาณความชื้น 15.14-16.65%db. โดยมีค่าสี L* อยู่ระหว่าง 29.53-32.74 และ a* อยู่ระหว่าง 0.88-1.00 ซึ่งไม่แตกต่างจากข้าวอ้างอิง ยกเว้นค่าสี b* ที่มีค่าสีอยู่ระหว่าง 0.14-0.18 ซึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการนึ่งและการอบแห้ง และเมื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า ปริมาณ Total Phenolic Content (TPC) ลดลงอยู่ระหว่าง 10.00-10.90 mg GAE/g dry weight ส่วน %DPPH Scavenging Activity ลดลงอยู่ระหว่าง 69.52-81.80% และปริมาณ Ferric-reducing Antioxidant Power (FRAP) ลดลงอยู่ระหว่าง 7.14-7.99 mgFeSO₄/g Dry Weight ซึ่งลดลงเมื่อผ่านกระบวนการนึ่งและการอบแห้ง แต่ยังถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เนื่องจากมีความแตกต่างจากข้าวอ้างอิงหรือข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการเพียงเล็กน้อย ซึ่งการนึ่ง 10 นาที และการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส จะเหมาะสมที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อศึกษาต่อยอตคุณภาพทางกายภาพ เช่น ร้อยละต้นข้าว (Head Rice Yield) ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- American Association Cereal Chemistry. (1995). **Approved Methods of the American Association Cereal Chemistry**. 9th ed. St.Paul.
- Ayamdoo, A. J., Demuyakor, D., Dogbe, W., Owusu, R., & Ofosu, M. A. (2013). Effect of varying parboiling conditions on physical qualities of jasmine 85 and nerica 14 rice varieties. **American Journal of Food Technology**, 8, 31-42.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1999). Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. **Methods in Enzymology**, 299, 15-27.
- Bhattacharya, K. R. (1985). Parboiling of rice. In: Juliano, B. O., ed. **Rice: Chemistry and Technology**. St. Paul.
- Boonmawat, S., Ratphitagsanti, W., & Haruthaitanasan, V. (2019). Effect of superheated steam heating on quality and antioxidant activities of riceberry bran. **Agriculture and Natural Resources**, 53, 130-138.
- Champagne, E. T. (2004). **Rice: Chemistry and Technology**. 3rd ed. The American Association of Cereal Chemists Inc.
- Chen, M. H., & Bergman, C. J. (2005). A rapid procedure for analyzing rice bran tocopherol, tocotrienol and γ -oryzanol contents. **Journal of Food Composition and Analysis**, 18, 319-331.
- Dao, V. T. T. (2015). Optimization of drum drying process parameters for pumpkin powder production and its substitution in rice noodles. **Journal of Science**, 3, 149-160.
- Deng, G. F., Lin, X., Xu, X., Gao, L., Xie, J., & Lia, H. (2013). Antioxidant capacities and total phenolic contents of 56 vegetables. **Journal of Functional Foods**, 5, 260-266.
- Elbert, G., Tolaba, M. P., & Suárez, C. (2001). Effects of drying conditions on head rice yield and browning index of parboiled rice. **Journal of Food Engineering**, 47(1), 37-41.
- Hou, Z., Qin, P., Zhang, Y., Cui, S., & Ren, G. (2013). Identification of anthocyanins isolated from black rice (*Oryza sativa* L.) and their degradation kinetics. **Food Research International**, 50(2), 691-697.
- Hu, Z., Tang, X., Liu, J., Zhu, Z., & Shao, Y. (2017). Effect of parboiling on phytochemical content, antioxidant activity and physicochemical properties of germinated red rice. **Food Chemistry**, 214, 285-292.
- Jongjitt, K., Donthuan, J., Prathumtet, J., Kaewkhamjan, P., & Kansuk, P. (2017). Determination of antioxidant, total phenolic compounds and facial cream formulation from *Antidesma bunius* extract. **Isan Journal of Pharmaceutical Sciences**, 13(Suppl.), 209-218.
- Kongkachuichai, R., Prangthip, P., Surasiang, R., Posuwan, J., Charoensiri, R., Kettawan, A., & Vanavichit, A. (2013). Effect of riceberry oil (deep purple oil; *Oryza sativa* indica) supplementation on hyperglycemia and change in lipid profile in streptozotocin (STZ)-induced diabetic rats fed a high fat diet. **International Food Research Journal**, 20, 873-882.
- Leardkamolkarn, V., Thongthep, W., Suttiarporn, P., Kongkachuichai, R., Wongpornchai, S., & Wanavijitr, A. (2011). Chemopreventive properties of the bran extracted from a newly developed Thai rice: The riceberry. **Food Chemistry**, 125(3), 978-985.
- Liu, Q., Kong, Q., Li, X., Lin, J., Chen, H., Bao, Q., & Yuan, Y. (2020). Effect of mild-parboiling treatment on the structure, colour, pasting properties and rheology properties of germinated brown rice. **LWT**, 130, 109623.
- Luang-In, V., Yotchaisarn, M., Somboonwatthanakul, I., & Deeseenthum, S. (2018). Bioactivities of organic riceberry broken rice and crude riceberry rice oil. **Thai Journal of Pharmaceutical Sciences**, 42(3), 161-168.
- Sirisoontaralak, P., Nakornpanom, N. N., Koakietdumrongkul, K., & Panumaswiwath, C. (2015). Development of quick cooking germinated brown rice with convenient preparation and containing health benefits. **LWT**, 61(1), 138-144.
- Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J., & Beta, T. (2014). Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.). **Journal of Cereal Science**, 59, 211-218.
- Skerget, M., Kotnik, P., Hadolin, M., Hraš, A. R., Simonič, M., & Knez, Z. (2005). Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. **Food Chemistry**, 89, 191-198.
- Wang L., Xie, B., Shi, J., Xue, S., Deng, Q., Wei, Y., & Tian, B. (2010). Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars. **Food Hydrocolloids**, 24, 208-216.
- Wiriyawattana, P., Suwonsichon, S., & Suwonsichon, T. (2018). Effects of drum drying on physical and antioxidant properties of riceberry flour. **Agriculture and Natural Resources**, 52, 445-450.

ประสิทธิภาพการผลิต การตอบสนองต่อความเครียด และสถานะภูมิคุ้มกันของสุกรอนุบาล ที่ได้รับอาหารที่มี ส่วนผสมกากเมล็ดกัญชง

Productive Performance, Stress Response, and Immune Status of Nursery Pigs Fed a Diet Containing Hemp Seed Meal

วันดี ทาตระกูล^{1*}, อติศักดิ์ คงแก้ว¹, รุ่งทิพา ไจมาศรี¹, นิตชน วิชาสี¹, ณัฐปภัสร สุภัทสรโกสิน², และจักรพันธ์ สาตัม²

Wandee Tatrakoon^{1*}, Adisak Kongkeaw¹, Rungthiwa Jaimasri¹, Nithat Wichasit¹, Natthaphat Suphatsaraphokin², and Jakapan Satum²

Received date: 22 มิ.ย. 65 Revised date: 2 พ.ค. 66 Accepted date: 12 ก.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.003>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการใช้กากเมล็ดกัญชง (hemp seed meal; HSM) ในสูตรอาหารต่อประสิทธิภาพการผลิต การตอบสนองต่อความเครียด และสถานะภูมิคุ้มกันในสุกรอนุบาล ใช้สุกรเพศผู้ตอน [(Landrace × Large White) × Duroc] อายุ 3 สัปดาห์ จำนวน 40 ตัว น้ำหนักเริ่มต้น 5.48 ± 0.2 กก. แบ่งสุกรออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 10 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ได้แก่ กลุ่มที่ได้รับอาหารพื้นฐานที่ไม่มี HSM (HSM0) และกลุ่มที่ได้รับอาหารผสม HSM ที่ระดับ 5, 10 และ 15 % ตามลำดับ (HSM5, HSM10, และ HSM15) HSM มีคุณค่าทางโภชนาได้แก่ ไขมัน โปรตีน เยื่อใย และไลซีน 7.95, 32.46, 12.94 และ 1.49% ตามลำดับ พลังงานรวม 3,594 กิโลแคลอรี/กก. ผลการใช้ HSM ในอาหารสุกรอนุบาลพบว่า ปริมาณการกินอาหารของสุกรกลุ่ม HSM10 เฉลี่ยต่อวันในสัปดาห์ที่ 1-2 ดีกว่าสุกรกลุ่ม HSM15 ($P < 0.05$) ทำให้น้ำหนักตัวเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตตลอดการทดลอง มากกว่ากลุ่มอื่น ($P < 0.05$) สำหรับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักของสุกรไม่พบความแตกต่าง ($P > 0.05$) ระหว่างกลุ่มทดลอง ผลด้านสภาวะความเครียดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันพบได้จากระดับของเอนไซม์ในพลาสมาของสุกรกลุ่ม HSM15 มีความเข้มข้นของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) ต่ำที่สุด และเอนไซม์ glutathione peroxidase (GPx) มากที่สุด ($P < 0.05$) สุกรกลุ่ม HSC5 มีระดับคอร์ติซอลน้อยที่สุด ($P < 0.05$) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับสุกรกลุ่ม HSM10 นอกจากนี้ยังพบว่าสุกรกลุ่ม HSM10 มีความเข้มข้นของอิมมูโนโกลบูลินชนิด M (IgM) มากที่สุด ($P < 0.05$) ในขณะที่สุกรกลุ่ม HSM10 และ HSM15 พบความเข้มข้นของอิมมูโนโกลบูลินชนิด G (IgG) มากที่สุด ($P < 0.05$) สรุปได้ว่าระดับการใช้ HSM ที่ระดับ 10% ให้ผลดีที่สุดในการสุกรอนุบาล

คำสำคัญ: กากเมล็ดกัญชง สุกรอนุบาล การตอบสนองต่อความเครียด สถานะภูมิคุ้มกัน

Abstract

This study aimed to examine hemp seed meal (HSM) in the nursery pig diet for productive performance, stress response, and immune status. Forty castrated [(Landrace × Large White) × Duroc] pigs, 3 weeks of age with an initial body weight of 5.48 ± 0.2 kg were used in this study. The pigs were divided into four groups with 10 replicates per group. The experiment design was a completely randomized design. The dietary treatments were the control group fed the basal diet without HSM (HSM0) and the groups fed diet contained 5, 10 and 15% HSM (HSM5, HSM10 and HSM15), respectively. The results showed that HSM had significant nutritional value with crude fat, crude protein, crude fiber, and lysine of 7.95, 32.46, 12.94 and 1.49%, respectively. In addition, it had gross energy of 3,594 kcal/kg. The use of HSM in the nursery pig diet showed that the average daily feed intake during weeks 1-2 of the pigs in the HSM10 group was better than the HSM15 ($p < 0.05$) group. Additionally, their bodyweight gain and average daily gain throughout the trial were greater than other groups ($P < 0.05$). There were no significant differences ($P > 0.05$) in the feed conversion ratio (FCR) between the experimental groups.

¹ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

² คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

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

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

*Corresponding author: boy_agri@hotmail.com

The stress conditions caused by oxidative reactions were observed by the level of enzymes in the plasma of the pigs. The lowest concentration of superoxide dismutase (SOD) and the highest of glutathione peroxidase (GPx) ($P < 0.05$) were found in HSM15 group. The HSM5 group had the minimum cortisol hormone levels ($P < 0.05$), which were not statistically different from the HSM10 group. It was also found that the HSM10 group had the highest immunoglobulin M (IgM) concentration ($P < 0.05$), while the pig in groups HSM10 and HSM15 had the highest immunoglobulins G (IgG) concentrations ($P < 0.05$). In conclusion, the use of HSM at 10% level in the diet was the most efficiency for nursery pigs.

Keywords: hemp seed cake, nursery pigs, stress response, immune status

คำนำ

ปัจจัยหรืออิทธิพลที่มีความเกี่ยวข้องกับความเครียดของสุกรหลังจากหย่านม เช่น ความเครียดจากการถูกพรากจากแม่ การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมใหม่ การต่อสู้เพื่อจัดลำดับทางสังคมหรือพฤติกรรมทางสังคมของสุกรเมื่อเข้าร่วมกลุ่มใหม่ และการเปลี่ยนแปลงโภชนาการ ซึ่งสาเหตุของความเครียดที่ได้กล่าวมานั้นล้วนเป็นที่มาของสภาวะชะงักการเจริญเติบโตหลังหย่านม หรือที่เรียกว่า ภาวะ set back ร่วมด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาประสิทธิภาพต่อการย่อยและดูดซึมสารอาหารในระบบการย่อยอาหารของสุกรหย่านมใหม่ จึงมักพบว่าสุกรจะมีอาการท้องเสียหลังจากหย่านม (Post-weaning diarrhea; PWD) (Rhouma et al., 2017) ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร สภาวะขาดน้ำ น้ำหนักสุกรลดลง อัตราตายสุกรจะเพิ่มขึ้น สำหรับการเกิด PWD มีความสัมพันธ์ระหว่างการจัดการแม่สุกร และลูกสุกร รวมถึงการจัดการสภาพแวดล้อม การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย และการจัดการทางปศุสัตว์ ส่งผลต่อการสร้างภูมิคุ้มกันและการเจริญเติบโตสุกรลดลง (Pluske et al., 1997; Rhouma et al., 2017) การติดตามความเครียดจึงควรเป็นปัจจัยสำคัญต่อการศึกษาสวัสดิภาพสัตว์ และมีบทบาทที่สำคัญในการเลี้ยงสัตว์ โดยความเครียดนั้นส่งผลต่อ อัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต และพฤติกรรมของสัตว์ที่แตกต่างกันไป แต่ปัจจัยเหล่านี้ไม่เพียงพอในการประเมินขอบเขตที่แท้จริงของสภาวะความเครียด เพราะยังมีปัจจัยจากเพศ อายุ สถานะสุขภาพ และสายพันธุ์ ดังนั้นการศึกษาในระดับการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาออกซิเดชัน และความเข้มข้นของระดับคอร์ติซอล จึงเป็นวิธีการหนึ่งในการศึกษาผลกระทบจากปัจจัยนั้นๆ โดยเฉพาะเมื่อสัตว์ถูกสร้างความเครียดในระยะเวลานาน ระดับของกลูโคคอร์ติคอยด์ (Glucocorticoids) จะกระตุ้นการสร้างกลูโคเนโอเจเนซิส (Gluconeogenesis) รวมทั้งการสลายไขมัน และกระบวนการเมแทบอลิซึมอื่นๆ ซึ่งจะเป็นการบ่งชี้สภาวะความเครียดของฮอร์โมนสามารถตรวจวัดได้จากเลือด มีส่วนในการสะท้อนถึงระดับความเครียดแบบเรียลไทม์ หรือ ในช่วงเวลานั้นๆ ได้ ถึงแม้จะมีความผันผวนจากปัจจัยการบังคับสัตว์เพื่อเจาะเลือด แต่การหลังสารสื่อความเครียดเข้าสู่กระแสเลือดนั้นมักใช้เวลาประมาณ 30 นาที (Giergiel et al., 2021) ด้วยปัจจัยความแปรปรวนของปัจจัยการจับบังคับสัตว์ การศึกษาระดับความเข้มข้นของฮอร์โมนคอร์ติซอลจึงเป็นดัชนีชี้วัดที่ควรทำควบคู่ไปกับการศึกษาระดับการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อสร้างความเชื่อมั่นของผลการศึกษาระดับฮอร์โมนความเครียด (Palme et al., 2012) ดังนั้นในอุตสาหกรรมการผลิตสุกรจึงพยายามหาสารเสริมจากธรรมชาติเพื่อลดความเครียด ซึ่งกัญชงเป็นพืชทางเลือกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการผ่อนคลายการเจ็บปวดของกล้ามเนื้อที่เกิดอาการบาดเจ็บและอักเสบจากการบังคับสัตว์ มีประโยชน์ในการกระตุ้นการกินอาหาร ลดความเครียดในสภาวะต่างๆ (Silversides & Lefrancois, 2005) สอดคล้องกับรายงานของ Kongkeaw et al. (2022) ที่ได้มีการประยุกต์ใช้รากกัญชงสดแปรรูปเสริมในอาหารสุกรรุ่น-ขุน ช่วยกระตุ้นการกินอาหาร สามารถปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก และลดความเครียดจากการตรวจสอบระดับของฮอร์โมนคอร์ติซอลในเลือดของสุกรระยะขุนได้ และผลการใช้กากเมล็ดกัญชงหยาบ (Crude Hemp Seed Cake, CHSC) ที่ระดับการใช้ 2.5 - 5.0% ในอาหารของสุกรระยะเล็ก-รุ่นไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิต และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Jaimasri et al., 2022) เนื่องด้วยคุณสมบัติของเมล็ดกัญชงมีโปรตีนสูงและอุดมไปด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3, 6, 9 แล้วยังประกอบด้วย แกมมาไลโนเลนิก แอซิด (Gamma-Linolenic Acid, GLA) เช่น กรดลิโนเลอิก (Linoleic Acid) และกรดลิโนเลนิก (linolenic acid) จัดเป็นกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สามารถนำไปใช้ในการสร้างกรดอีโคแซเพนตออีโนอิก (Eicosapentaenoic Acid, EPA) มีประโยชน์ช่วยในการลดระดับคอเลสเตอรอล (cholesterol) และไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ในเลือด ซึ่งจะช่วยเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลชนิดดี (High-Density Lipoprotein Cholesterol; HDL-C) เป็นชนิดไขมันที่มีความหนาแน่นในตัวเองซึ่งเป็นไขมันดีสำหรับหลอดเลือด และกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิก (Docosahexaenoic Acid, DHA) อีกทั้งยังมีกรดไขมันที่จำเป็นในกลุ่ม omega-3 ที่ร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้ โดยที่เมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดเย็นจะได้ผลพลอยได้ในกระบวนการสกัดน้ำมันเป็นกากเมล็ดกัญชงหยาบมีน้ำมันกัญชงคงเหลือประมาณ 6-8% มีคุณสมบัติของใยอาหาร และสารออก

ฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีคุณสมบัติทางยาในกลุ่มของสารแคนนาบินอยด์ (Cannabinoid) สารออกฤทธิ์ดังกล่าวจัดเป็นอนุพันธ์ที่อยู่ในกลุ่มของ ไฟโตแคนนาบินอยด์ เทอร์ปีน เทอร์พีนอยด์ และฟลาโวนอยด์ โดยสารกลุ่มต่างๆ เหล่านี้ จะถูกจัดกลุ่มของสารออกฤทธิ์เป็น Cannabidiol (CBD) และ Tetrahydrocannabinol (THC) เพื่อกำหนดขอบเขตของการใช้ให้ถูกต้องตามกฎหมาย กัญชงจึงมีศักยภาพสามารถนำไปใช้ประกอบในสูตรอาหารสัตว์ได้ เช่น ในรูปแบบใยอาหารฟังก์ชัน (Functional Fiber) (Kongkeaw et al., 2022; Rocca & Salvo. 2020; Ryz et al., 2017) และเป็นวัตถุดิบอาหารในกลุ่มแหล่งพลังงานกึ่งโปรตีน อยู่ระหว่าง กากถั่วเหลือง และรำละเอียด ด้วยคุณสมบัติทางเคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ การใช้เมล็ดกัญชงในอาหารของแม่สุกร 2% ก่อนคลอด 10 วัน และ 5% ในช่วง 21 วันเลี้ยงลูก จากการศึกษาของ Palade et al. (2019) พบว่าส่งผลดีต่อการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระในเลือดของแม่สุกร สอดคล้องกับ De Petrocellis et al. (2011) ได้สรุปฤทธิ์ของไฟโตแคนนาบินอยด์ และกรดไขมัน จะช่วยกระตุ้นการกระบวนการยับยั้งกระบวนการอักเสบ และเพิ่มการสร้างฮอร์โมน Prostaglandin (PG2 α) ในแม่สุกร ซึ่งผลจากข้างต้นนั้นสารชีวภาพของไฟโตแคนนาบินอยด์เข้าไปส่งเสริมกิจกรรมของระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ (Endocannabinoid System; ECS) ได้มีการจำลองระบบนี้ในสัตว์ทดลองพบว่าสามารถ บรรเทาอาการปวด ด้านการอักเสบ สารต้านอนุมูลอิสระ กระตุ้นภูมิคุ้มกัน ปรับปรุงระดับความดันโลหิต และควบคุมการนอนหลับ (Rocca & Salvo. 2020) แต่เนื่องจากการศึกษาสารไฟโตแคนนาบินอยด์ต่อระดับภูมิคุ้มกันในสัตว์เศรษฐกิจยังมีน้อยมาก ดังนั้น งานทดลองนี้จึงมีการนำผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันเมล็ดกัญชงรูปแบบสกัดเย็น ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพแยกเปลือกเมล็ด (Hemp Seed Shell, HSC) แล้วนำส่วนของกากเมล็ดกัญชง (Hemp Seed Meal, HSM) มาใช้ประกอบในสูตรอาหารสุกรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ศึกษาในระดับเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ระดับฮอร์โมนคอร์ติซอล และระดับภูมิคุ้มกันในสุกรอนุบาล

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้รับการรับรอง จากคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เกษตรเพื่องานวิทยาศาสตร์ ใบอนุญาตเลขที่ คคสค.0003/2565 ศึกษาจากเมล็ดกัญชงหยาบ (Crude Hemp Seed Meal; CHSC) จากกัญชงสายพันธุ์พื้นเมืองไทย (Thailand's Native Strains) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันกัญชงโดยกรรมวิธีการสกัดเย็น นำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร ยี่ห้อ We2perfect, China เพื่อเปลี่ยนแปลงเชิงกายภาพ โดยการบดรอบแรกใช้เวลา 1 นาที แล้วนำมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร เพื่อแยกส่วน HSC ชนิดหยาบออก และนำส่วนที่ผ่านตะแกรงไปบดให้ละเอียดอีกครั้งใช้เวลา 1-2 นาที แล้วนำมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และปั่นเหวี่ยงสุญญากาศผ่านตะแกรงแยก 1 มิลลิเมตรครั้งสุดท้าย กระบวนการดังกล่าวสามารถแยกส่วนที่เป็น HSC ชนิดละเอียด และได้เป็น HSM ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าเยื่อใยลดลงกว่า 6.16 ส่วน คาร์โบไฮเดรตลดลงกว่า 4.81 ส่วน และ พลังงานรวม (Gross Energy; GE) ลดลงกว่า 205 ส่วน สำหรับสัดส่วนของโปรตีนเพิ่มขึ้นกว่า 2.06 ส่วน อีกทั้งไฟโตนิวเทรียนท์ (phytonutrients) และประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant Efficiency) มีค่าเพิ่มขึ้น (Table 1) พร้อมทั้งมีการตรวจสอบกรดไขมัน กรดอะมิโน และแร่ธาตุของ HSM (Table 2) และเก็บรักษาวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 10 °C เพื่อควบคุมสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต และชะลอการเกิดกลิ่นหืน

Table 1 Comparison of chemical, phytonutrient composition and antioxidant efficiency in crude hemp seed cake and hemp seed meal

Item	Units (%W/W)		diff
	Crude hemp seed cake (CHSC)	Hemp Seed Meal (HSM)	
Chemical composition ¹			
Ash (%)	5.20	7.21	2.01
Carbohydrate (%)	49.87	45.06	-4.81
Crude Fiber (%)	18.17	12.01	-6.16
Crude Protein (%)	30.40	32.46	2.06
Crude Fat (%)	6.84	7.95	1.11
Moisture (%)	7.69	7.32	-0.37
Gross Energy (kcal/kg)	3,799	3,594	-205.00
Phytonutrient composition ²			
Cannabidiolic acid (CBDA)	0.005	0.115	0.11
Cannabidiol (CBD)	0.005	0.037	0.03
Cannabinoid (CBN)	0.002	0.005	0.001
Tetrahydrocannabinolic acid (THCA)	0.001	0.011	0.01
Tetrahydrocannabinol (THC)	0.001	0.026	0.03
Antioxidant efficiency (mg GAE/g DW) ³			
Total Phenolic Content (TPC)	14.92	32.31	17.39
Antioxidant potential capacity (APC)	10.97	21.28	10.31
DPPH reaction (ADA-DPPH) (%)	39.28	41.98	2.70

Note: ¹Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd

²Cannabis Extraction and Analysis Laboratory at Cannabis LAB Laboratory for Motional Cannabis Research, Faculty of Arts and Sciences, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus

³Animal Feed Physical Laboratory, Natural Resources and Environment, Naresuan University

Table 2 Fatty acid, amino acids and mineral composition of hemp seed meal used in the experiment

Composition	Unit
Fatty acid composition	
Palmitic acid (C16:0)	1.03
Stearic acid (C18:0)	0.40
Arachidic acid (C20:0)	0.11
Behenic acid (C22:0)	0.05
Saturated fatty acid	1.61
Palmitoleic acid (C16:1n7)	0.01
Cis-9-Oleic acid (C18:1n9c)	1.50
Monounsaturated fatty acid	1.54
Cis9,12-Linoleic acid (C18:2n6)	5.30
Gamma-Linolenic acid (C18:3n6)	0.06
Alpha-Linolenic acid (C18:3n3)	1.35
Cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2)	0.01
Cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid (C20:5n3)	0.03

Composition	Unit
Polyunsaturated fatty acid	6.77
Unsaturated fatty acid	8.31
Omega 3 (mg/100g)	1382.57
Omega 6 (mg/100g)	5372.41
Omega 9 (mg/100g)	1516.62
Amino acid profile (mg/100g)	
Alanine	1759.87
Arginine	4685.97
Aspartic acid	4057.87
Cystine	543.58
Glutamic acid	7153.83
Glycine	1711.70
Histidine	1211.90
Isoleucine	1507.60
Leucine	2651.77
Lysine	1494.46
Methionine	725.95
Phenylalanine	1861.59
Proline	1393.08
Serine	2102.04
Threonine	1436.67
Tryptophan	456.41
Tyrosine	1243.80
Valine	2010.61
Minerals (mg/kg)	
Calcium (Ca)	2968
Copper (Cu)	20.89
Iron (Fe)	56.96
Magnesium (Mg)	10,330
Phosphorus (P)	22,825
Potassium (K)	17,080
Selenium (Se)	0.78
Sodium (Na)	49.9
Zinc (Zn)	117

Note: ¹Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd

แผนการทดลองและอาหารทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) ศึกษาการใช้ HSM ในอาหารสุกรหย่านมเพศผู้ตอน [(Landrace × Large White) × Duroc] จำนวน 40 ตัว อายุ 21- 63 วัน น้ำหนัก 5.48±0.2 กิโลกรัม เลี้ยงสุกรในหน่วยวิจัยโภชนศาสตร์สุกรอนุบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ในโรงเรือนระบบปิดที่มีการควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส สุ่มสุกรออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 10 ตัว ใช้ HSM ประกอบในสูตรอาหารที่ระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (HSM0, HSM5, HSM10 และ HSM15) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางสัดส่วนวัตถุดิบในสูตรอาหาร โดยการลดสัดส่วนของกากถั่วเหลือง และรำละเอียด เพื่อทดแทนด้วย HSM ในสูตรอาหาร (Table 3) ทั้งนี้สุกรทุกตัวได้รับอาหารที่มีปริมาณโภชนะ

ไม่น้อยกว่าความต้องการ ของสุกรระยะอนุบาล (NRC, 2012) อาหารที่ใช้ในการศึกษาจะผลิตและใช้ทดลองภายใน 7 วันเท่านั้น โดยอาหารจะผ่านการผสมและอัดเม็ดที่ได้มาตรฐานจากหน่วยปฏิบัติการผลิตอาหารสัตว์ สถานีวิจัยและฝึกอบรมปศุสัตว์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยใช้อุณหภูมิในการอัดเม็ดในช่วง 70-75 °C ผ่านตะแกรงเพื่อคัดความชื้นออกจากอาหารอัดเม็ดด้วยอุณหภูมิ 100-105 °C เป็นระยะเวลา 1-2 นาที

การบันทึกข้อมูลและการเก็บตัวอย่าง

บันทึกข้อมูลน้ำหนักตัวสุกร และปริมาณอาหารที่กินเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการผลิต ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร บันทึกข้อมูลความรุนแรงอาการท้องเสีย โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน คือ ระดับ 0 อุจจาระแข็งปกติ ระดับ 1 อุจจาระกึ่งแข็งเป็นก้อน ระดับ 2 อุจจาระเป็นน้ำปนด้วยอุจจาระแข็ง และระดับ 3 อุจจาระเหลวเป็นน้ำ (Haruthai et al., 2018) ซึ่งคะแนนอุจจาระและอุบัติการณ์ท้องร่วงแต่ละกลุ่มจะถูกคำนวณตามสูตรดังนี้

$$\text{คะแนนอุจจาระ (DI)} = \frac{\text{ผลรวมของคะแนนอาการท้องร่วง}}{\text{จำนวนวันทดลอง}}$$

$$DI (\%) = \frac{\text{จำนวนสุกรที่มีอาการท้องเสียของแต่ละกลุ่ม} \times \text{วันท้องเสีย} \times 100}{(\text{สุกรทั้งหมดในกลุ่ม} \times \text{จำนวนวันทดลอง})}$$

เมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 42 ของการทดลอง เก็บตัวอย่างเลือดสุกรทุกตัวในสภาวะสัตว์ไม่อดอาหาร โดยการเจาะเลือดบริเวณคอ (Jugular Veins) โดยใช้เข็มขนาด 18 x 1 (0.9 x 25 mm) ด้วยหลอดเจาะเลือดแบบสุญญากาศ วางไว้ในอุณหภูมิห้องเพื่อให้เลือดแข็งตัว และแยกชั้น (Clot) แบ่งเลือดส่วนที่แรก วิเคราะห์ลักษณะและปริมาณของเม็ดเลือดโดยนำมาตรวจบนแผ่นสไลด์และส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ หลังจากนั้นนำเลือดบางส่วนมาปั่นเพื่อหาความเข้มข้นของเม็ดเลือด แบ่งเลือดส่วนที่สอง ปั่นเอาเฉพาะเซรัม นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ Superoxide dismutase (SOD) และ Glutathione peroxidase (GPx) โดยใช้ชุดตรวจสอบสำเร็จรูป Superoxide Dismutase Activity Assay Kit , Glutathione Peroxidase Assay Kit ด้วยวิธี Colorimetric ที่ความยาวคลื่นแสง 340 และ 450 นาโนเมตร ตามลำดับ ด้วยเครื่อง Multi-mode Microplate Readers (Synergy H1 Biotex) วัดปริมาณฮอร์โมนคอร์ติซอลจากตัวอย่างเลือดโดยใช้ Accu Bind ELISA Microwell ด้วยวิธีของ Bushong et al. (2000) และ ด้วยเครื่อง micro plate enzyme immunoassay แบ่งเลือดส่วนที่สามปั่นเอาเฉพาะเซรัม นำไปตรวจหาปริมาณอิมมูโนโกลบูลิน (IgG IgA และ IgM) โดยใช้หลักการของ Immunonephelometric ด้วยเครื่อง Atellica ตามวิธีของ (Zheng et al., 2019)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าความแปรปรวนร่วมโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1980) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 28

Table 3 Composition of the experimental diets (as fed basis)

Ingredients (%)	Dietary treatment			
	HSM0	HSM5	HSM10	HSM15
Broken rice	30.00	30.00	30.00	30.00
Grounded corn	19.35	19.20	19.30	19.45
Skim milk powder	5.00	5.00	5.00	5.00
Soybean meal	34.20	31.50	28.50	25.50
Rice bran	6.00	4.00	2.00	0.00
Hemp seed cake	0.00	5.00	10.00	15.00
Soybean oil	2.20	0.15	0.20	0.25
Lysine	0.10	0.15	0.20	0.25
DL-Methionine	0.25	0.25	0.30	0.30
Dicalcium Phosphate	1.60	1.60	1.60	1.60
CaCO ₃	0.50	0.50	0.50	0.50
NaCl	0.35	0.35	0.35	0.35
Vitamin-mineral premix	0.25	0.25	0.25	0.25
Anti-mycotoxin	0.10	0.10	0.10	0.10
Pellet Binder	0.10	0.10	0.10	0.10
Calculated chemical composition (%)¹				
Crude protein	22.03	22.13	22.13	22.12
Ether extract	4.63	4.51	4.40	4.29
Crude fiber	3.43	3.62	3.81	3.99
Metabolizable energy (kcal/kg)	3,401	3,408	3,412	3,419
Antioxidant efficiency (mg GAE/g DW)²				
Total phenolic content (TPC)	17.83	20.79	22.36	22.97
Antioxidant potential capacity (APC)	8.90	10.85	12.47	13.12
DPPH reaction (ADA-DPPH) (%)	15.17	18.19	21.03	21.56

Note: ¹Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd²Animal Feed Physical Laboratory, Natural Resources and Environment, Naresuan University

ผลการทดลองและวิจารณ์

ประสิทธิภาพการผลิตสุกรอนุบาล

จากการศึกษาการใช้ HSM ที่นำ CHSC มาผ่านกระบวนการปรับปรุงทางกายภาพ ลดส่วนประกอบของเยื่อใยลง มาประกอบในสูตรอาหารสุกรอนุบาลในระดับการใช้ 0, 5, 10 และ 15 % ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า สุกรกลุ่ม HSM5 เมื่อใช้ HSM 5 % ในอาหารไม่ส่งผลต่อการกินได้ การเพิ่มน้ำหนักตัว การเจริญเติบโตของสุกรอนุบาล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Madsen et al. (2022) เมื่อใช้ HSM ในสูตรอาหารสุกรรุ่นที่ระดับ 4% แต่จากการศึกษานี้พบว่าเมื่อใช้ HSM 10 % ในอาหาร (กลุ่ม HSM10) มีผลทำให้น้ำหนักตัวสุกรเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม HSM0 และ HSM5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

และจากการศึกษานี้ยังพบอีกว่าสุกรกลุ่ม HSM10 มีปริมาณอาหารที่กินได้เฉลี่ยต่อวันในสัปดาห์ที่ 1-2 มากกว่าสุกรกลุ่ม HSM15 ที่เป็นระดับการใช้ HSM สูงสุดในการศึกษานี้ รวมทั้งสุกรกลุ่ม HSM10 มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุดในช่วงสองสัปดาห์แรก และสูงที่สุดตลอดการทดลอง 6 สัปดาห์ ($P<0.05$) แต่เมื่อใช้ HSM 15% ในอาหารกลับส่งผลให้สุกรกินอาหารลดลงในช่วง 2 สัปดาห์แรก ทำให้มีผลกับอัตราการเจริญเติบโต เมื่อเทียบกับสุกรกลุ่ม HSM10 ($P<0.05$) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการใช้ HSM ที่ยังคงมีส่วนของเปลือกเมล็ดผสมอยู่เมื่อใช้ถึงระดับ 15% ส่งผลต่อรสชาติของอาหารจึงทำให้การกินอาหารของสุกรลดลงซึ่งจะสังเกตได้จากสูตรอาหารเมื่อใช้ HSM 15% ปริมาณเยื่อใยหยาบของสูตรอาหารจะสูงถึง 3.99 % ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Jaimasri et al. (2022) ที่ใช้กากเมล็ดถั่วเหลือง (CHSC) 5 % ในสุกรระยะเล็กทำให้อาหารมีเยื่อใยหยาบ 4.34 % ทำให้การกินอาหารของสุกรมีแนวโน้มลดลง แต่ในการศึกษานี้หลังจากทดลองถึงสัปดาห์ที่ 3-4 และ 5-6 สุกรกลุ่ม HSM15 ก็สามารถปรับตัวได้ กินอาหารได้เพิ่มขึ้นจนทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณอาหารที่กินได้เฉลี่ย 6 สัปดาห์ไม่แตกต่างกับทุกกลุ่มการทดลอง และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 6 สัปดาห์ไม่ต่างจากกลุ่ม HSM10 ($P>0.05$) ส่วนสุกรกลุ่ม HSM5 และกลุ่ม HSM0 มีแนวโน้มมีปริมาณอาหารที่กินได้เฉลี่ยต่อวันในสัปดาห์ที่ 1-2 ใกล้เคียงกับกลุ่ม HSM10 ($P>0.05$) สำหรับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างกลุ่มทดลอง (Table 4)

Table 4 The effect of dietary hemp seed meal on growth performance of nursery pigs

Item	Dietary treatment				SEM	P-value
	HSM0	HSM5	HSM10	HSM15		
Initial weight (kg)	5.44	5.49	5.42	5.57	0.04	0.66
Weight gain (kg)	14.44 ^b	14.32 ^b	15.98 ^a	15.21 ^{ab}	0.19	0.00
Final weight (kg)	19.88 ^b	19.81 ^b	21.40 ^a	20.78 ^{ab}	0.20	0.00
Average daily feed intake; ADFI (g/d)						
Week 1-2	353.50 ^{ab}	352.19 ^{ab}	407.39 ^a	334.09 ^b	10.19	0.05
Week 3-4	550.37	512.54	572.81	536.30	13.49	0.47
Week 5-6	679.53	726.86	747.98	754.89	16.10	0.35
Week 1-6	527.80	530.53	576.06	541.76	9.05	0.21
Average daily gain; ADG (g/d)						
Week 1-2	200.51 ^b	213.77 ^b	247.96 ^a	206.12 ^b	5.02	0.00
Week 3-4	376.53 ^{ab}	347.45 ^b	412.25 ^a	406.63 ^a	8.78	0.02
Week 5-6	454.08	461.73	481.12	473.47	4.89	0.21
Week 1-6	343.70 ^b	340.99 ^b	380.44 ^a	362.07 ^{ab}	4.50	0.00
Feed conversion ratio; FCR (G/F)						
Week 1-2	1.76	1.65	1.65	1.63	0.03	0.43
Week 3-4	1.46	1.47	1.40	1.32	0.03	0.15
Week 5-6	1.50	1.57	1.55	1.59	0.03	0.66
Week 1-6	1.54	1.55	1.51	1.49	0.03	0.81
Diarrhea incidence (%)	7.10	5.00	7.50	6.90	0.76	0.67

^{a,b} Different superscripts in the same row indicate significant differences ($P<0.05$) among treatment groups.

สถานะภูมิคุ้มกัน และการตอบสนองต่อความเครียดของสุกรอนุบาล

สำหรับการศึกษานี้สถานะภูมิคุ้มกันในเลือดของสุกรอนุบาลที่ได้รับ HSM จากการตรวจสอบความเข้มข้นของอิมมูโนโกลบูลิน (IgM IgG และ IgA) พบว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับ HSM 10% ส่งผลทำให้ IgM ในเลือดสูงกว่า กลุ่ม HSM0, HSM5 และ HSM15 ($P<0.05$) สำหรับสุกรกลุ่ม HSM10 และ HSM15 พบว่ามีระดับ IgG ในเลือดสูงกว่าสุกรกลุ่ม HSM0 ส่วนสุกรกลุ่ม HSM5 มีแนวโน้มใกล้เคียงกับกลุ่ม HSM10 และ HSM15 ($P<0.05$) ผลการศึกษาดังกล่าวกลุ่มการทดลองจัดในสภาวะเดียวกันกับการเลี้ยงด้วยระบบการระบายอากาศแบบ Evaporative Cooling Pad System ที่สอดคล้องกับการเลี้ยงเชิงอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ซึ่ง

สอดคล้องกับการศึกษาของ Vodolazs & Lauridsen (2020) ที่รายงานไว้ว่าลูกสุกรที่กินนมจากแม่สุกรที่ได้รับน้ำมันเมล็ดกัญชงในระดับ 5% มีความเข้มข้นของไขมันโนโกลบูลินมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) อาจเป็นผลมาจากแม่สุกรได้รับอาหารที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid; PUFA) ในปริมาณที่มากพอที่จะส่งผลให้ความเข้มข้นของเซลล์เม็ดเลือดแดง และฮีมาโตคริตในซีรัมเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่มี PUFA ต่ำ สอดคล้องกับการเสริม n-3 PUFA ในอาหารสุกรช่วงหลังหย่านมช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต ลดสภาวะเครียด ลดอาการท้องเสีย และกระตุ้นภูมิคุ้มกันได้ (Li et al., 2014; Zhang et al., 2020) สำหรับการใช้ HSM ในอาหารสัตว์ เป็นการมุ่งหวังให้สารออกฤทธิ์ทางชีวเคมีช่วยส่งเสริมและปรับสมดุลสภาวะความเครียดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจากงานทดลองพบว่าระดับของเอนไซม์ Superoxide Dismutase (SOD) ในพลาสมาของลูกสุกรกลุ่ม HSM10 และ HSM15 มีระดับ SOD ต่ำกว่ากลุ่ม HSM0 และ HSM5 ($P < 0.05$) แสดงว่าสุกรที่กินอาหารที่มี HSM เป็นส่วนประกอบ จะช่วยลดการเกิดทำงานของเอนไซม์ในการป้องกันการเกิดออกซิไดส์ (antioxidative enzyme) เพื่อไปทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาดิสมิวเทชัน (Dismutation Reaction) ช่วยลดอนุมูลอิสระที่เกิดจากการเผาผลาญภายในเซลล์ ส่วนกลุ่ม HSM15 ซึ่งเป็นระดับการใช้สูงสุดนั้นส่งผลทำให้เอนไซม์ Glutathione Peroxidase (GPx) มีความเข้มข้นสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น ($P < 0.05$) ซึ่งจากรายงาน GPx ในซีรัมของสุกรช่วงอายุ 42-63 วัน จะมีโคแฟกเตอร์สำหรับการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ ที่ไปกระตุ้นปฏิกิริยารีดักชันต่อไฮโดรเปอร์ออกไซด์โดยจะอยู่ในรูปรีดิวซ์กลูตาไทโอน แล้วจะได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยาในการควบคุมสภาวะปกติของเซลล์ (Stukelj et al., 2013; Vašková et al., 2012; Xu et al., 2018) ฉะนั้นการใช้ HSM ในสูตรอาหารจะช่วยลดสภาวะเครียดออกซิเดชันในระดับเซลล์ได้ สอดคล้องกับ Le et al. (2019) และ Omthonglang et al. (2021) สำหรับการตรวจสอบสภาวะเครียดจากระดับฮอร์โมนคอร์ติซอลในเลือดสุกร พบว่าสุกรกลุ่ม HSM5 มีระดับคอร์ติซอลต่ำกว่าสุกรกลุ่มการทดลองอื่นๆ ($P < 0.05$) ส่วนสุกรกลุ่ม HSM10 มีแนวโน้มใกล้เคียงกับสุกรกลุ่ม HSM5 แต่มีค่าต่ำกว่าสุกรกลุ่ม HSM0, HSM5% ($P < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Kongkeaw et al. (2022) และ Michael et al. (2022) ที่รายงานว่ากัญชงสามารถลดปริมาณฮอร์โมนคอร์ติซอลในสัตว์ได้ อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่าง SOD และ GPx จะผกผันกันจากงานทดลองพบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์ SOD ที่ลดลงนั้นแต่ระดับความเข้มข้นของ GPx ที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากใน HSM มีปริมาณของ Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA) ที่ยังเหลืออยู่จากกระบวนการสกัดน้ำมัน ซึ่ง PUFA กระตุ้นสถานะของสารต้านอนุมูลอิสระโดยไปสัมพันธ์กับการกระตุ้น Nuclear Factor Erythroid 2-related Factor 2 (Nrf2) อีกทั้งยังมีส่วนในการยับยั้ง NF- κ B ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างสารออกฤทธิ์ทางชีวเคมีของกัญชง CBD และ Phenolic Compounds จะทำหน้าที่ปรับสมดุลและสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoyxygenase โดยสามารถเข้าจับกับไอออนของเหล็กซึ่งเป็น Cofactor ส่งผลให้เอนไซม์ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้ เมื่อสารในกลุ่มนี้รับอนุมูลอิสระเข้ามาในโมเลกุลแล้ว อนุมูลอิสระจะเข้าไปอยู่ในวิถีเรโซแนนซ์ (Resonance) และทำให้โมเลกุลดังกล่าวเสถียรขึ้นและลดความรุนแรงของอนุมูลอิสระลง (Nimse et al., 2015; Palade et al. 2019) โดยการแสดงถึงสภาวะปกติทั้งภายในและภายนอกเซลล์ ประเมินทางอ้อมได้จากปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเจริญเติบโต และระดับฮอร์โมนคอร์ติซอล แนวโน้มของผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสุกรที่กิน HSM สามารถป้องกันความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และช่วยลดการเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบในระดับเซลล์ได้ ส่วนการตรวจสอบค่าชีวเคมีของเลือดในการศึกษานี้ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (Table 5)

Table 5 The effect of dietary hemp seed meal on immunological function, oxidative stress derivatives and hematological changes in nursery pigs

Item	Dietary treatment				SEM	P-value
	HSM0	HSM5	HSM10	HSM15		
Immunoglobulin (mg/dL)						
IgM	41.43 ^b	42.18 ^b	55.15 ^a	40.37 ^b	1.95	0.01
IgG	227.50 ^b	247.80 ^{ab}	268.40 ^a	267.50 ^a	5.39	0.01
IgA	<25.00	<25.00	<25.00	<25.00	0.00	-
Oxidative stress						
Superoxide Dismutase (U/ml)	121.12 ^{ab}	125.32 ^a	79.98 ^{bc}	73.37 ^c	7.94	0.02
Glutathione peroxidase (U/ml)	620.74 ^b	643.50 ^b	651.92 ^b	764.20 ^a	17.88	0.01
Cortisol hormone (Serum) (ug/dL)	5.20 ^a	2.32 ^c	3.53 ^{bc}	3.98 ^{ab}	0.31	0.00
Total blood cell						
Red blood cell (x10 ⁶ /cu.mm)	6.99	7.08	7.15	6.82	0.09	0.59
Hemoglobin (g/dL)	11.72	11.62	10.84	11.04	0.19	0.28
Platelet count (x10 ⁶ /cu.mm)	38.68	36.44	37.85	38.04	1.40	0.96
White blood cell (x10 ⁶ /cu.mm)	14.20	14.97	14.80	15.97	0.40	0.50
Hematocrit (%)	36.60	34.50	34.60	33.20	0.53	0.17
Neutrophil (%)	31.00	35.57	39.33	34.17	1.52	0.31
Lymphocyte (%)	62.33	62.67	61.38	67.00	1.54	0.64
Monocyte (%)	4.20	3.83	4.50	4.50	0.24	0.74
Eosinophil (%)	2.20	2.50	3.33	2.43	0.23	0.36

^{a,b} Different superscripts in the same row indicate significant differences (P < 0.05) among treatment groups

สรุปผลการศึกษา

กากเมล็ดกัญชง ที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพที่เหมาะสม สามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสุกรระยะอนุบาลได้ถึง 10% ส่งผลดีต่อน้ำหนักสุกร ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเจริญเติบโต ลดระดับของสภาวะเครียดออกซิเดชันทั้งภายในและภายนอกเซลล์ ลดระดับฮอร์โมนคอร์ติซอลในเลือดสุกร อีกทั้งมีค่าบ่งชี้ระดับภูมิคุ้มกันของสุกรได้แก่ระดับ IgM และ IgG เพิ่มขึ้นในสภาวะเดียวกันกับการเลี้ยงด้วยระบบการระบายอากาศแบบ Evaporative cooling pad system ที่สอดคล้องกับการเลี้ยงเชิงอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท เฟิร์สลิเทค จำกัด สำหรับการสนับสนุน วัตถุดิบสำหรับการทดลองและทุนวิจัยภายใต้ความร่วมมือด้านงานวิจัยระหว่างบริษัทและมหาวิทยาลัยนเรศวร

เอกสารอ้างอิง

- Bushong, D. M., Friend, T. H., & Knabe, D. A. (2000). Salivary and plasma cortisol response to adrenocorticotropin administration in pigs. *Laboratory Animals*, 34, 171-181.
- Jaimasri, R., Boonchoo, R., Omthonglang, W., Choot, O., Wichasit, N., Kongkeaw, A., & Tatrakoon, W. (2022). Chemical composition, the antioxidative potential of hemp seed cake and usage tests in starter-grower pig diets. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 50 (Suppl1), 259-264.

- Kongkeaw, A., Jaimasri, R., Phudsasad, N., Mokmued, P., & Tartrakoon, W. (2022). Application of hemp root as a functional dietary fiber to reduce stress in fattening pigs. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 50 (Suppl1), 253-268
- Le, H. H., Vidacs, E., Phillips, D. J., Zhao, W., Furness, J. B., Gabler, N. K., Renaudeau, D., Wijffels, G., Dunshea, F. R., Giacomo, K. D., Roura, E., Leury, E. J., & Cottrell, B. (2019). PSIV-8 Effect of selenium and superoxide dismutase supplementation on heat-stressed pigs. *Journal of Animal Science*, 9(2), 179-189.
- Li, Q., Brendemuhl, J. H., Jeong, K. C., & Badinga, L. (2014). Effects of dietary omega-3 polyunsaturated fatty acids on growth and immune response of weanling pigs. *Journal of Animal Science and Technology*, 56, 7.
- Madsen, P. A., Curtasu, M. V., Canibe, N., Hedemann, M. S., Pedersen, M. L. M., & Lauridsen, C. (2022). Non-targeted metabolomics of saliva to explore potential biomarkers for gastric ulceration in pigs fed hemp. *Animal*, 3, 1043-1047.
- Michael D. K., Weeder, M., Montgomery, S., Martin, M., Curtis, A., Magnin, G., Lin, Z., Griffin, J., & Coetzee, J. F. (2022). Short-term feeding of industrial hemp with a high cannabidiolic acid (CBDA) content increases lying behavior and reduces biomarkers of stress and inflammation in Holstein steers. *Journal of Scientific Reports*, 12(1), 3683.
- Mohamed, R., Fairbrother, J. M., Beaudry, F., & Letellier, A. (2017). Post weaning diarrhea in pigs: risk factors and non-colistin-based control strategies. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 59, 31.
- Nimse, S. B., & Pal, D. (2015). Free Radicals, Natural Antioxidants, and Their Reaction Mechanisms. *RSC Advances*, 5(35), 27986-8006
- Omthonglang, W., Jaitup, R., ot, O., Kongkeaw, A., Incharoen, T., Monprasert, C., & Tatrakoon, W. Ch. (2021). Effect of *Cordyceps militaris* spent mushroom substrate on growth performance and oxidative stress in nursery pigs. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 49 (Suppl1), 75-80
- Palade, L. M., Habeanu, M., Marin, D. E., Chedea, V. S., Pistol, G. C., Grosu, I. A., Gheorghe, A., Ropota, M., & Taranu, I. (2019). Effect of dietary hemp seed on oxidative status in sows during late gestation and lactation and their offspring. *Animals*, 9(4), 194.
- Pluske, J. R., Hampson, D. J., & Williams, I. H. (1997). Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. *Livestock Production Science*, 51, 215-236
- Silversides, F. G. & Lefrancois, M. R. (2005). The effect of feeding hemp seed meal to laying hens. *British Poultry Science*, 46(2), 231-235.
- Stukelj, M., Toplak, I., & Svete, A. N. (2013). Blood antioxidant enzymes (SOD, GPX), biochemical and haematological parameters in pigs naturally infected with porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 16(2), 369-376.
- Rocca, G. D., & Salvo, A. D. (2020). Hemp in Veterinary Medicine: From Feed to Drug. *Frontiers in Veterinary Science*, 7(287), 1-11.
- Ryz, N. R., Remillard, D. J., & Russo, E. B. (2017). Cannabis Roots: A Traditional Therapy with Future Potential for Treating Inflammation and Pain. *Cannabis and Cannabinoid Research*, 2(1), 210-216.
- Vařková, J., Vařko, L., & Kron, I. (2012). *Antioxidant Enzyme: Oxidative Processes and Antioxidative Metaloenzymes*. Headquarters, IntechOpen Limited.
- Vodolazs, K. D., & Lauridsen, C. (2020). Effects of dietary hemp seed oil to sows on fatty acid profiles, nutritional and immune status of piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11, 28.
- Xu, Y. U., Wang, Z. Q., Qin, Z., Yan, S. M., & Shi, B. L. (2018). Effects of chitosan addition on growth performance, diarrhea, anti-oxidative function, and serum immune parameters of weaned piglets. *South African Journal of Animal Science*, 48(1), 142-150.
- Zhang, J. Y., Wang, X. B., Hu, J., & Kim, I. H. (2020). Effects of dietary supplementation with graded levels of omega-3 fatty acids on growth performance, nutrients digestibility, blood profile, fecal microbial in weaning pigs. *Journal of Applied Animal Research*, 48(1), 390-396.

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เสื่อมคุณภาพแตกต่างกัน

ต่อการกระตุ้นการงอกด้วย PEG 6000

Physiological Responses of Different Aged Rice Seeds

to Osmopriming with PEG 6000

พจนา สีขาว^{1*}, จารุญ เล้าสินวัฒนา¹Potjana Sikhao^{1*}, Chamroon Laosinwattana¹

Received date: 23 มิ.ย. 66 Revised date: 7 ก.ค. 66 Accepted date: 17 ก.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.004>

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เสื่อมคุณภาพแตกต่างกันหลังจากการกระตุ้นการงอก ดำเนินการทดลองโดยนำเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มาทำให้เสื่อมคุณภาพโดยวิธีการเร่งอายุที่อุณหภูมิ 44 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 0 (ไม่ผ่านการเร่งอายุ), 1, 2, 3 และ 4 วัน เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำเมล็ดพันธุ์ที่มีการเสื่อมคุณภาพแตกต่างกันทุกกรรมวิธีมากระตุ้นการงอกด้วยการแช่ในสารละลาย PEG 6000 ที่มีความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านกรรมวิธีดังกล่าวแล้วมาลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จนระดับความชื้นของเมล็ดพันธุ์ลดลงใกล้เคียงกับความชื้นเริ่มต้น แล้วนำมาตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ในลักษณะต่างๆ ได้แก่ ความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่เพาะในหึ่งปฏิบัติการและในสภาพแปลงปลูก ดัชนีการงอก ความเร็วในการงอก และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ด ผลการทดลอง พบว่า เมล็ดพันธุ์ที่มีการเสื่อมคุณภาพแตกต่างกันทุกระดับการเสื่อมมีค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ดลดลงหลังจากการกระตุ้นการงอก ส่วนในด้านการงอกและความสม่ำเสมอในการงอก หากเมล็ดพันธุ์มีการเสื่อมคุณภาพแตกต่างกันจะมีการตอบสนองต่อการกระตุ้นได้แตกต่างกัน โดยเมล็ดพันธุ์ที่มีระดับการเสื่อมคุณภาพที่มีความงอกอยู่ที่ 12 และ 33 เปอร์เซ็นต์ สามารถกระตุ้นการงอกเพิ่มขึ้นได้ 27 และ 48 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพมากไปกว่านั้นมีการตอบสนองที่ลดลง

คำสำคัญ: การเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ การกระตุ้นการงอก เมล็ดพันธุ์ข้าว

Abstract

The objective of this research was to compare the quality of different aged rice seed after priming. The rice seeds were deteriorated by accelerated aging method at 44 °C and relative humidity 100 %, in different periods for 0 (without accelerated aging), 1, 2, 3, and 4 days. Then, the germination of rice seeds of different ages were induced by soaking in 30% of PEG 6000 solution at room temperature for 24 hours. After that, the rice seeds were dried in a hot air oven at 35 °C for 10 hours until the moisture content was close to the initial moisture. Finally, these treated rice seeds were examined for the seed quality of various characteristics such as seed germination rate (planted in the laboratory and field conditions), germination index, speed of germination, and electrical conductivity of solution used for soaking seeds. The results showed that the electrical conductivity of all different aged seeds decreased after priming. For the field of germination and germination uniformity, it was found that the seeds with different rates of deterioration showed different responses to the priming. Aged seeds with germination rates of 12 and 33 percent germination were able to induce germination rate by 27 and 48 percent, respectively, while aged seeds with higher deterioration rate had a decreased response.

Keywords: seed deterioration, seed enhancement, seed priming, rice seeds

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

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

* Corresponding author: potjana.si@kmitl.ac.th

คำนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกข้าวที่สำคัญของโลก โดยสถิติปี 2565/2566 ผลผลิตข้าวไทยมีปริมาณ 34.13 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปีก่อนที่มีปริมาณ 32.62 ล้านตัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.63 และไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวอันดับ 2 ของโลก รองจากเวียดนาม มีปริมาณการส่งออก 4.2 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2564 ถึงร้อยละ 51.37 (Department of Foreign Trade, 2022) ในการผลิตข้าวให้มีความปลอดภัยจะต้องใช้เมล็ดพันธุ์ที่ดีในการผลิต ซึ่งคุณสมบัติของเมล็ดพันธุ์ที่ดีคือต้องตรงตามพันธุ์ มีความบริสุทธิ์ของสายพันธุ์สูง มีความสะอาด ปราศจากสิ่งเจือปน ขนาดสม่ำเสมอ อัตราการงอกสูง มีความแข็งแรง ปราศจากโรคและแมลงเข้าทำลาย (Rice Seed Division, 2008) โดย Food and Agricultural Organization of the United Nations (1998) ยืนยันว่าการใช้เมล็ดพันธุ์ดีทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มสูงขึ้นถึง 12.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูง เมื่อนำไปปลูกในสภาพแวดล้อมที่แปรปรวนจากสภาวะแห้งแล้งหรือสภาพที่มีความร้อนสูง จะมีความสามารถด้านการงอกในแปลงได้ดี งอกเร็วและสม่ำเสมอ นอกจากนี้ต้นกล้ายังสมบูรณ์และตั้งตัวได้เร็ว ส่งผลให้ต้นอ่อนทนทานต่อสภาพแวดล้อม โรคและแมลง ให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดี ฉะนั้นการใช้เมล็ดพันธุ์ดีในการผลิตข้าวจึงเป็นทั้งการลดต้นทุนและเป็นการเพิ่มผลกำไรอีกด้วย ทั้งนี้เกษตรกรในประเทศไทยยังขาดเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ดี ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นหนึ่งในพันธุ์ข้าวดีที่เกษตรกรเลือกใช้ มีปริมาณความต้องการใช้ถึง 0.44 ล้านตันข้าวเปลือก (Rice Department/Department of Internal Trade, 2023) แม้ว่าภาครัฐและเอกชนจะผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวได้ในปริมาณมาก แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร เพราะความต้องการของชนิดพันธุ์และปริมาณในแต่ละปีไม่เท่ากัน (Wichayadecha, 2015) แสดงให้เห็นว่าถ้าในปีใดการผลิตเมล็ดพันธุ์ดีสายพันธุ์ต่างๆ ไม่ตรงกับเป้าหมายการจำหน่าย จะเหลือเมล็ดพันธุ์ที่จำหน่ายไม่หมด และต้องเก็บไว้จำหน่ายในฤดูต่อไปจึงเกิดการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ขึ้น ซึ่งการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ จะเริ่มเกิดขึ้นทันทีหลังจากเมล็ดพันธุ์สุกแก่ทางสรีรวิทยา การเสื่อมจะเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ความแข็งแรงเริ่มลดลง จนสูญเสียความมีชีวิตในที่สุด Thai Seed Association (2022) ได้กำหนดมาตรฐานอายุเมล็ดพันธุ์ข้าวไว้ที่ 8 เดือน ซึ่งถือว่าระยะการมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ค่อนข้างนาน แต่ในระหว่างการเก็บรักษาก่อนการจำหน่ายในฤดูถัดไป จะเกิดการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แม้ว่าจะมีอัตราการงอกที่ไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานกฎหมายการค้าเมล็ดพันธุ์ แต่ความแข็งแรงก็ต่ำลง ทำให้ต้นกล้าไม่แข็งแรงส่งผลให้เจริญเติบโตไม่เต็มที่

การกระตุ้นการงอก หรือ การทำ seed priming เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ทางสรีรวิทยา โดยการใช้ความชื้นและสารเคมีต่างๆ เป็นการเตรียมความพร้อมให้แก่เมล็ดพันธุ์ก่อนการงอก ทำให้เมล็ดพันธุ์มีความสามารถในการงอกเพิ่มขึ้น งอกได้สม่ำเสมอ และเป็นการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ให้สูงขึ้น ซึ่งเป็นการทำให้เมล็ดพันธุ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการทำให้เมล็ดพันธุ์ได้รับความชื้นที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม แล้วลดความชื้นในเมล็ดให้อยู่ระดับเดิมก่อนที่จะนำไปปลูก เพื่อกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ให้เกิดกระบวนการงอกในระยะแรก แต่ยังไม่ถึงระยะที่รากอ่อน (radicle) แทงทะลุออกมาจากเปลือกหุ้มเมล็ด (McDonald, 2000) เมื่อนำเมล็ดพันธุ์ไปปลูก เมล็ดนั้นจะงอกอย่างรวดเร็วเนื่องจากภายในเมล็ดได้มีการดำเนินการทางสรีรวิทยาไปแล้วระดับหนึ่ง (Fakthongphan, 2016) แต่การกระตุ้นการงอกให้ประสบความสำเร็จขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยระยะเวลาในการแช่เมล็ดพันธุ์ ความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิ การเติมออกซิเจนในระหว่างการกระตุ้นการงอก และอายุของเมล็ดพันธุ์ก่อนกระตุ้นการงอก ซึ่งมีผลทำให้การกระตุ้นการงอกได้ผลที่ดีขึ้น โดยการกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ในระยะเวลาที่เหมาะสมกับอุณหภูมิที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์ก่อนนำไปปลูก จะช่วยให้เมล็ดพันธุ์มีความงอกและความสม่ำเสมอในการงอกเพิ่มขึ้น (Bewley et al., 1985) อย่างไรก็ตาม เมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้กระบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ ภายในเมล็ดเกิดไม่พร้อมกัน ซึ่งเมล็ดพันธุ์บางชนิดอาจดูดน้ำเร็วเกินไปทำให้เกิดความเสียหายกับเมล็ดพันธุ์ได้ ซึ่งการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการกระตุ้นการงอกมีผลต่อการดูดน้ำของเมล็ดในระหว่างการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ (McDonald, 2000) สอดคล้องกับงานทดลองของ Charoensrisumphan (2012) ที่ได้ศึกษาการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์พริกหยวกด้วยสารละลาย GA_3 ในความเข้มข้น 0.01, 0.015 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ความเข้มข้น 0.015 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มทำให้ความงอกในห้องปฏิบัติการและในสภาพโรงเรือนสูงที่สุด นอกจากนี้ อุณหภูมิในระหว่างการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกันส่งผลต่ออัตราการดูดน้ำและการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Parkins - Veazle & Cantliffe, 1984) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Haigh et al. (1986) ได้ทำการกระตุ้นการงอกเมล็ดมะเขือเทศ แครอท และหัวหอม ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ช่วยเพิ่มความงอกของเมล็ดมากกว่าอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และพบว่าออกซิเจนมีผลต่อกระบวนการหายใจในกระบวนการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ การตอบสนองต่อปริมาณออกซิเจนของเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ ชนิดของพืช อุณหภูมิ ระดับการพักตัว และสรีรวิทยาของเมล็ด โดยทั่วไปเมล็ดต้องการออกซิเจนสำหรับการงอกที่ 50% (Bradford et al., 2008) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Bewley et al. (1985) ได้ทำการกระตุ้นการงอกของเมล็ดหัวหอมด้วย PEG 6000 ในสภาพที่มีออกซิเจนเพียงพอมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงกว่าสภาพที่ไม่มีออกซิเจน

จากการศึกษาของ Deeeong & Phutoya (2018) ที่ได้กระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีการแช่เมล็ดพันธุ์ข้าวในสารละลายชนิดต่างๆ รายงานว่าการแช่เมล็ดพันธุ์ข้าวในสารละลาย PEG 6000 ที่ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เมล็ดพันธุ์มีความงอกที่เพาะในสภาพห้องปฏิบัติการและในสภาพโรงเรือน ดัชนีการงอก และความเร็วในการงอก ดีกว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวที่แช่ในสารละลายชนิดอื่นๆ (priming ข้าวด้วย PEG 6000) เนื่องจาก PEG 6000 เป็นสารสกัดที่ได้จากธรรมชาติจึงไม่มีสารพิษที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ตกค้างในเมล็ดพันธุ์ และมีคุณสมบัติบางประการที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์ โดยสารละลาย PEG 6000 มีค่าความต่างศักย์ของน้ำต่ำกว่าน้ำบริสุทธิ์ เมล็ดพันธุ์จึงดูดน้ำได้ช้าลง ทำให้น้ำไม่เข้าสู่เมล็ดพันธุ์พืชมากจนเกินไป ปริมาณน้ำที่ได้เพียงพอที่จะใช้ในกระบวนการซ่อมแซมและจัดเรียงตัวใหม่ของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งทำให้เมล็ดมีการรั่วไหลของสารภายในเซลล์ออกนอกเซลล์ได้น้อยลง ทำให้กิจกรรมต่างๆ ภายในเซลล์ดำเนินได้ตามปกติ (Khan et al., 1992) จากที่ได้กล่าวข้างต้นว่าการกระตุ้นการงอกให้ประสบความสำเร็จนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้อง และอายุของเมล็ดพันธุ์ก่อนกระตุ้นการงอกเป็นปัจจัยที่สำคัญ ซึ่งระดับของการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์จะตอบสนองต่อการกระตุ้นการงอกได้แตกต่างกัน (Heydecker & Coolbeare, 1997) จากข้อมูลผลการทดลองเบื้องต้นรวมถึงความเป็นประโยชน์และปัจจัยดังกล่าวจึงได้นำสารละลาย PEG 6000 มาต่อยอดใช้ในงานทดลองนี้ ดำเนินการทดลองโดยนำเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มาจำลองการเสื่อมคุณภาพให้มีระดับที่แตกต่างกันด้วยวิธีการเร่งอายุ เนื่องจากหากใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีการเสื่อมคุณภาพตามธรรมชาติที่ระดับความเสื่อมต่างกันอาจใช้เวลานานและการเสื่อมอาจเกิดจากปัจจัยอื่นที่ไม่สามารถควบคุมได้ จากการทดลองได้เตรียมเมล็ดพันธุ์ให้มีการเสื่อมคุณภาพในระดับต่างๆ ด้วยวิธีการเร่งอายุที่อุณหภูมิ 44 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 วัน โดยการเร่งอายุที่ 0 วัน เป็นตัวแทนของเมล็ดที่ไม่มีการเสื่อม (เมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุ) และมีระดับการเสื่อมคุณภาพมากขึ้นสำหรับเมล็ดพันธุ์ที่นำมาเร่งอายุเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 วัน ตามลำดับ วิธีการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เนื่องจากการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์เป็นการนำเมล็ดพันธุ์มาจำลองการเสื่อมคุณภาพด้วยวิธีการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อม โดยทั่วไปนิยมควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 40-50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1-8 วัน (Delouche & Baskins, 1973) จากนั้นจึงนำมากระตุ้นการงอกเพื่อศึกษาการตอบสนองต่อการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีการเสื่อมคุณภาพแตกต่างกันต่อไป

วิธีการศึกษา

การจำลองการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าว

จำลองการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ให้มีระดับที่แตกต่างกันด้วยวิธีการเร่งอายุ ดำเนินการโดยสุ่มเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ผ่านการเก็บรักษาในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์สภาพอุณหภูมิห้องมาแล้ว 2 เดือน) กรรมวิธีละ 60 กรัม มาใส่ตะแกรงวางในกล่องพลาสติกที่มีระดับน้ำสูงห่างจากก้นตะแกรงประมาณ 2 เซนติเมตร ปิดฝากล่องแล้วฉีดด้วยเทปใสให้สนิทเพื่อกันความชื้นออกแล้วนำไปเข้าตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิ 44 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 วัน ตามลำดับ โดยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุเป็นวิธีการควบคุม (เร่งอายุเป็นเวลา 0 วัน) เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด นำเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุในแต่ละระยะเวลาที่กำหนดมาลดความชื้นให้แห้งใกล้เคียงกับระดับความชื้นเดิมก่อนการเร่งอายุ (11 เปอร์เซ็นต์) โดยการอบในตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

การกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีการเสื่อมคุณภาพแตกต่างกัน

เตรียมสารละลาย PEG 6000 ที่มีความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กันทรากกร คืออง และ กิตติญาภรณ์ ภูโตะยา, 2561) โดยการชั่ง PEG 6000 30 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำมากระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ โดยนำเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 วัน กรรมวิธีละ 30 กรัม มาแช่ในสารละลาย PEG 6000 ที่เตรียมขึ้นอัตรา 2,500 มิลลิลิตร ต่อเมล็ดพันธุ์ 1 กิโลกรัม แช่ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการแช่ไปล้างด้วยน้ำเปล่าโดยผ่านน้ำไหล เป็นเวลา 2 นาที ซับให้หมาด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง (เมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการแช่ในแต่ละระดับการเสื่อมคุณภาพเป็นกรรมวิธีควบคุม) จากนั้นนำทุกกรรมวิธีมาตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ในลักษณะต่างๆ ได้แก่ ความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่เพาะในห้องปฏิบัติการและในสภาพแปลงปลูก ดัชนีการงอก ความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ด

การบันทึกข้อมูล

ความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่เพาะในสภาพห้องปฏิบัติการ

นำเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทุกกรรมวิธีมาทดสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่เพาะในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยวิธี top of paper (TP) ทำการทดลอง 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด แล้วนำไปไว้ในตู้เพาะเมล็ดพันธุ์ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำ

การตรวจนับหลังการเพาะ โดยตรวจนับครั้งแรก (first count) ที่ 5 วัน และนับครั้งสุดท้าย (final count) ที่ 14 วัน ของการเพาะ (International Seed Testing Association, 2019) จากนั้นรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ตามสูตรคำนวณความงอกของเมล็ดพันธุ์ (1)

ความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่เพาะในสภาพแปลงปลูก

นำเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทุกกรรมวิธีมาทดสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่เพาะในสภาพแปลงปลูก โดยเพาะในแปลงที่มีทรายละเอียด (ผ่านการอบฆ่าเชื้อ) ที่มีความชื้น ทำการทดลอง 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด รดน้ำทุกวัน ทำการตรวจนับครั้งแรก (first count) ที่ 5 วัน จากนั้นนับทุกวันจนถึงการนับครั้งสุดท้าย (final count) ที่ 14 วัน ของการเพาะ (International Seed Testing Association, 2019) แล้วรายงานเป็นเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ตามสูตรคำนวณความงอกของเมล็ดพันธุ์ (1)

$$\text{ความงอกของเมล็ดพันธุ์ (\%)} = \left(\frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ}} \right) \times 100 \quad \text{————— (1)}$$

ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์

ตรวจสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกผลการงอกของเมล็ด ตามวิธีทดสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ (International Seed Testing Association, 2019) และบันทึกจำนวนวันที่นับครั้งแรกและครั้งสุดท้าย มาคำนวณดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ตามสูตรดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ (2)

$$\text{ดัชนีการงอก} = \text{ผลรวมของ} \left(\frac{\text{จำนวนต้นกล้าที่งอกปกติในแต่ละวันที่ตรวจนับ}}{\text{จำนวนวันที่ตรวจนับ}} \right) \times 100 \quad \text{————— (2)}$$

ความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์

ตรวจสอบความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกผลการงอกของเมล็ด ตามวิธีทดสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์ในสภาพแปลงปลูก (International Seed Testing Association, 2019) และบันทึกจำนวนวันที่นับครั้งแรกจนถึงครั้งสุดท้าย มาคำนวณความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ตามสูตรความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ (3)

$$\text{ความเร็วในการงอก (ต้น/วัน)} = \text{ผลรวมของ} \left(\frac{\text{จำนวนต้นกล้าที่งอกปกติในแต่ละวันที่ตรวจนับ}}{\text{จำนวนวันที่ตรวจนับ}} \right) \times 100 \quad \text{————— (3)}$$

ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ด

ทดสอบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ด โดยนำเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 แต่ละกรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด บันทึกน้ำหนักเมล็ดแต่ละซ้ำ แล้วแช่ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 250 มิลลิตร พร้อมกับนำน้ำกลั่นที่ไม่ได้แช่เมล็ด ตั้งไว้ในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด กรองด้วยตะแกรงเพื่อนำเมล็ดออก จากนั้นนำน้ำกลั่นและน้ำที่แช่เมล็ดมาวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าแบบปากกา รุ่น ECTest11⁺ อ่านค่าที่ปรากฏ แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ดจากสูตรค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ด (4)

$$\text{ค่าการนำไฟฟ้า } (\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}) = \left(\frac{\text{ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ด} - \text{ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ}}{\text{น้ำหนักเมล็ด 50}} \right) \quad \text{————— (4)}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) 5 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สำเร็จรูป Statistic Analysis System (SAS)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการทดลองได้ทำการจำลองการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการดังกล่าว เพื่อให้เมล็ดพันธุ์มีการเสื่อมคุณภาพแตกต่างกัน (0, 1, 2, 3 และ 4 วัน) แล้วตรวจสอบการตอบสนองต่อการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ที่มีการเสื่อมคุณภาพที่ระดับต่างๆ โดยกระตุ้นการงอกด้วย PEG 6000 แล้วตรวจสอบคุณภาพทางสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ ทั้ง 5 ลักษณะ ได้แก่ ความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่เพาะในสภาพห้องปฏิบัติการและในสภาพแปลงปลูก ดัชนีการงอก ความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ด ในส่วนของความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่เพาะในสภาพห้องปฏิบัติการ พบว่าความงอกของเมล็ดพันธุ์ก่อนกระตุ้นการงอกมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเร่งอายุมีความงอกสูงที่สุดเท่ากับ 87.00 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1, 2, 3, และ 4 วัน มีความงอกลดลงตามระยะเวลาการเร่งอายุเท่ากับ 58.00, 7.00, 12.50 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพบว่าความงอกของเมล็ดพันธุ์หลังกระตุ้นการงอกมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเร่งอายุมีความงอกสูงที่สุดเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1 และ 2 วัน มีความงอกเท่ากับ 40 และ 27.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมล็ดพันธุ์ที่มีความงอกต่ำที่สุด คือ เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 3 และ 4 วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีความงอก 6.00 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังกระตุ้นการงอก พบว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 2 วัน มีความงอกของเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้นถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุและผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1 วัน มีความงอกลดลงถึง 7 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่มีระดับของการเสื่อมคุณภาพแตกต่างกันจะตอบสนองต่อการกระตุ้นการงอกได้แตกต่างกัน (Heydecker & Coolbeare, 1997)

Table 1 Germination of different aged rice seeds under laboratory condition before and after priming with PEG 6000

Aging periods (day)	Seed germination under laboratory (%) ^{1/}		Changed (%)
	Before priming	After priming	
0	87.00 ^a	80.00 ^a	- 7.00
1	58.00 ^b	40.00 ^b	- 18.00
2	12.50 ^c	27.50 ^c	+ 15.00
3	7.00 ^{cd}	6.00 ^d	- 1.00
4	0.50 ^d	1.00 ^d	+ 0.50
F – test	**	**	-
C.V. (%)	6.52	3.13	-

** highly significant (p ≤ 0.01)

^{1/} Means in a column with the same letter are not significantly different based on DMRT.

ส่วนความงอกของเมล็ดพันธุ์ในสภาพแปลงปลูก พบว่าก่อนกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เสื่อมคุณภาพในระดับแตกต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเร่งอายุ มีความงอกสูงที่สุดเท่ากับ 79.50 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1 และ 2 วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีความงอกเท่ากับ 33.00 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ดพันธุ์ที่มีความงอกต่ำที่สุด คือ เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 3 และ 4 วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีความงอกเท่ากับ 10.50 และ 2.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และความงอกของเมล็ดพันธุ์หลังกระตุ้นการงอกมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย

เมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเร่งอายุมีความงอกสูงที่สุดเท่ากับ 83.00 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1 และ 2 วัน มีความงอกเท่ากับ 48.50 และ 32.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมล็ดพันธุ์ที่มีความงอกต่ำที่สุด คือ เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 3 และ 4 วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีความงอกเท่ากับ 6.50 และ 0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังกระตุ้นการงอก พบว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเร่งอายุและเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1 วัน มีความงอกเพิ่มขึ้น 3.05 และ 15.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 2) แสดงให้เห็นว่าการกระตุ้นการงอกด้วย PEG สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวได้ สอดคล้องกับงานทดลองของ Sun et al. (2011) ที่พบว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นการงอกด้วย PEG มีผลดีต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นกล้า เนื่องจาก PEG สามารถช่วยในการเร่งกระบวนการเผาผลาญกลูโคส ปรับปรุงกิจกรรมของ PAL, SOD, CAT และ POD ในเมล็ดได้ นอกจากนี้ Kartika et al. (2021) ยังพบว่าการกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วย PEG ยังช่วยให้ต้นกล้าข้าวสามารถตั้งตัวในระยะแรกได้ดีหากข้าวได้รับผลกระทบจากความแห้งแล้ง

Table 2 Germination of different aged rice seeds under field condition before and after priming with PEG 6000

Aging periods (day)	Seed germination under field condition (%) ^{1/}		Changed (%)
	Before priming	After priming	
0	79.50 ^a	83.00 ^a	+ 3.50
1	33.00 ^b	48.50 ^b	+ 15.50
2	33.00 ^b	32.50 ^c	- 0.50
3	10.50 ^c	6.50 ^d	- 4.00
4	2.00 ^c	0.00 ^d	- 2.00
F – test	**	**	-
C.V. (%)	5.11	6.81	-

** : highly significant ($p \leq 0.01$)

^{1/} Means in a column with the same letter are not significantly different based on DMRT.

และจากการตรวจสอบดัชนีการงอก พบว่าก่อนกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวมีดัชนีการงอกแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งมีการลดลงตามระยะเวลาการเร่งอายุ โดยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเร่งอายุเมล็ด มีดัชนีการงอกสูงที่สุดเท่ากับ 10.13 รองลงมา คือ เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1 วัน มีดัชนีการงอกเท่ากับ 7.67 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 2, 3 และ 4 วัน ที่มีดัชนีการงอกเท่ากับ 1.40, 0.89 และ 0.03 ตามลำดับ และดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์หลังกระตุ้นการงอกมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเร่งอายุมีดัชนีการงอกสูงที่สุดเท่ากับ 14.65 รองลงมา คือ เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1 และ 2 วัน มีดัชนีการงอกเท่ากับ 3.56 และ 1.96 ตามลำดับ และเมล็ดพันธุ์ที่มีดัชนีการงอกต่ำที่สุดคือเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 3 และ 4 วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีดัชนีการงอกเท่ากับ 0.43 และ 0.07 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังกระตุ้นการงอก พบว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเร่งอายุและเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 2 วัน มีดัชนีการงอกเพิ่มขึ้น 4.52 และ 0.56 ตามลำดับ (Table 3)

Table 3 Germination Index of different aged rice seeds before and after priming with PEG 6000

Aging periods (day)	Germination index ^{1/}		Changed
	Before priming	After priming	
0	10.13 ^a	14.65 ^a	+ 4.52
1	7.67 ^a	3.56 ^b	- 4.11
2	1.40 ^b	1.96 ^c	+ 0.56
3	0.89 ^b	0.43 ^d	- 0.46
4	0.03 ^b	0.07 ^d	+ 0.04
F – test	**	**	-
C.V. (%)	4.00	1.85	-

** : highly significant ($p \leq 0.01$)

^{1/} Means in a column with the same letter are not significantly different based on DMRT.

ในทำนองเดียวกัน ความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ที่มีระดับการเสื่อมคุณภาพแตกต่างกันก่อนกระตุ้นการงอกมีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งพบว่าลดลงตามระยะเวลาการเร่งอายุเช่นเดียวกันกับลักษณะอื่น โดยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเร่งอายุมีความเร็วในการงอกสูงที่สุดเท่ากับ 10.10 ต้นต่อวัน รองลงมา คือ เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1 และ 2 วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีความเร็วในการงอกเท่ากับ 3.58 และ 3.09 ต้นต่อวัน ตามลำดับ และเมล็ดพันธุ์ที่มีความเร็วในการงอกต่ำที่สุด คือ เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 3 และ 4 วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีความเร็วในการงอกเท่ากับ 0.83 และ 0.16 ต้นต่อวัน ตามลำดับ และความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์หลังกระตุ้นการงอกมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุ มีความเร็วในการงอกสูงที่สุดเท่ากับ 14.38 ต้นต่อวัน รองลงมา คือ เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1 และ 2 วัน มีความเร็วในการงอกเท่ากับ 7.25 และ 3.98 ต้นต่อวัน ตามลำดับ และเมล็ดพันธุ์ที่มีความเร็วในการงอกต่ำที่สุด คือ เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 3 และ 4 วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีความเร็วในการงอกเท่ากับ 0.62 และ 0.00 ต้นต่อวัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังกระตุ้นการงอก พบว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเร่งอายุ และเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1 และ 2 วัน มีความเร็วในการงอกเพิ่มขึ้น 4.28, 3.67 และ 0.89 ต้นต่อวัน ตามลำดับ (Table 4)

จากผลการทดลองทั้ง 4 ลักษณะที่ได้กล่าวมาเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพแตกต่างกันจะตอบสนองในด้านการงอกและความสม่ำเสมอในการงอกต่อการกระตุ้นการงอกได้แตกต่างกัน โดยจะเห็นว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ทำให้เสื่อมคุณภาพและเมล็ดพันธุ์ที่ทำให้เสื่อมคุณภาพด้วยการเร่งอายุเป็นเวลา 1 และ 2 วัน มีการตอบสนองต่อการกระตุ้นการงอกในทางบวก ในขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่ทำให้เสื่อมคุณภาพด้วยการเร่งอายุเป็นเวลา 3 และ 4 วัน มีการตอบสนองในทางลบ เนื่องจากการกระตุ้นการงอกให้ประสบความสำเร็จขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังที่ได้กล่าวข้างต้น ซึ่งหนึ่งในปัจจัยต่างๆ เหล่านั้นที่สำคัญ คือ อายุของเมล็ดพันธุ์ หากเมล็ดพันธุ์เก่าเกินไป จะไม่สามารถตอบสนองต่อการกระตุ้นการงอกให้ดีขึ้นได้ (Berjak & Villiers, 1972) ดังการศึกษาของ Aquila et al. (1978) ที่ได้ศึกษาในเมล็ดพันธุ์ข้าวสาลี พบว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุจะตอบสนองต่อการกระตุ้นการงอกสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเร่งอายุ นอกจากนี้ การศึกษาถึงความใหม่-เก่าของเมล็ดที่ผ่านการกระตุ้นการงอกด้วยการแช่เมล็ดในน้ำต่อความงอกและอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวสาลี โดยนำเมล็ดพันธุ์ไปเร่งอายุในระยะเวลาต่างๆ กัน แล้วจึงนำไปกระตุ้นการงอก พบว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เร่งอายุนั้น การกระตุ้นการงอกและไม่กระตุ้นการงอกไม่ได้ทำให้ความงอกและอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวสาลีแตกต่างกัน แต่ในเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นั้นเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นการงอกมีอัตราการเจริญเติบโตที่ลดลง ขณะที่เมล็ดที่ผ่านการกระตุ้นการงอกกลับมีอัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น แต่หากเร่งอายุเมล็ดนานเกินไป (เมล็ดมีการเสื่อมคุณภาพมากเกินไป) ทั้งเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการกระตุ้นการงอกจะไม่ตอบสนองต่อวิธีการนี้ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างกัน (Goldsworthy et al., 1982)

Table 4 Speed of germination of different aged rice seeds before and after priming with PEG 6000

Aging periods (day)	Speed of germination (seedlings/day) ^{1/}		Changed (seedlings/day)
	Before priming	After priming	
0	10.10 ^a	14.38 ^a	+ 4.28
1	3.58 ^b	7.25 ^b	+ 3.67
2	3.09 ^b	3.98 ^c	+ 0.89
3	0.83 ^c	0.62 ^d	- 0.21
4	0.16 ^c	0.00 ^d	- 0.16
F – test	**	**	-
C.V. (%)	4.57	2.11	-

** : highly significant ($p \leq 0.01$)

^{1/} Means in a column with the same letter are not significantly different based on DMRT.

การเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์จะเกิด lipid peroxidation ซึ่งส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์เสียหาย (Ray et al., 1990) สามารถตรวจสอบได้จากการวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ด (Tonthong et al., 2018) จากผลการทดลอง พบว่าก่อนกระตุ้นการงอกค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุที่มีค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ดต่ำที่สุดเท่ากับ 11.63 เพอร์เซ็นต์ กับเมล็ดพันธุ์ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 วัน ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุทุกช่วงเวลาที่มีค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ดเท่ากับ 15.50, 15.87, 15.53 และ 15.68 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ตามลำดับ หลังจากนำมากระตุ้นการงอกแล้ว พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ดทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 7.30 – 7.43 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังกระตุ้นการงอก พบว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการกระตุ้นการงอกมีค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ดลดลงทั้งเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเร่งอายุ และเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 วัน มีค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ดลดลงถึง 4.21, 8.12, 8.49, 8.10 และ 8.38 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ตามลำดับ (Table 5) โดยสรุปได้ว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการกระตุ้นการงอกมีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ทำการกระตุ้นการงอกในทุกระดับการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์อย่างชัดเจน โดย Delouche & Baskins (1973) อธิบายอาการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ไว้ว่า เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพจะมีสภาพของ plasma membrane ที่สูญเสียคุณสมบัติในการควบคุมและกักเก็บสารต่างๆ ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารต่างๆ ออกมานอกเมล็ด จากผลการทดลองจะเห็นว่า PEG 6000 สามารถรักษาโครงสร้างของ plasma membrane ที่สามารถควบคุมการรั่วไหลของสารภายในเซลล์ให้ออกมานอกเซลล์ได้น้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ดแต่ละระดับการเสื่อมสภาพหลังจากการกระตุ้นการงอกมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่เพาะทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและแปลงปลูก ดัชนีการงอก รวมถึงความเร็วในการงอกนั้นมีค่าที่แตกต่างกันมาก อาจเนื่องมาจากระดับการเสื่อมสภาพของ plasma membrane แต่ละกรรมวิธีมีความใกล้เคียงกันอยู่แล้ว ตั้งแต่ก่อนการกระตุ้นการงอก แต่แตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการเร่งอายุที่มีระดับการเสื่อมสภาพต่ำที่สุด จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า PEG 6000 ที่นำมาใช้ในงานทดลองสามารถรักษาสภาพของ plasma membrane ให้กลับมาคงเดิมได้เทียบเท่ากับเมล็ดที่ไม่มีการเสื่อมสภาพซึ่งเป็นวิธีการควบคุม (เมล็ดที่ไม่ผ่านการเร่งอายุ)

Table 5 Electrical conductivity of different aged rice seeds before and after priming with PEG 6000

Aging periods (day)	Electrical conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$) ^{1/}		Changed ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$)
	Before priming	After priming	
0	11.63 ^b	7.42	- 4.21
1	15.50 ^a	7.38	- 8.12
2	15.87 ^a	7.38	- 8.49
3	15.53 ^a	7.43	- 8.10
4	15.68 ^a	7.30	- 8.38
F – test	**	ns	-
C.V. (%)	2.85	2.04	-

ns : not significant, ** : highly significant ($p \leq 0.01$)

^{1/} Means in a column with the same letter are not significantly different based on DMRT.

สรุปผลการศึกษา

เมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เสื่อมคุณภาพแตกต่างกันทุกระดับการเสื่อมมีค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ดลดลงหลังจากกระตุ้นการงอก ส่วนในด้านการงอกและความสม่ำเสมอในการงอก หากเมล็ดพันธุ์มีการเสื่อมคุณภาพแตกต่างกันจะมีการตอบสนองต่อการกระตุ้นได้แตกต่างกัน โดยเมล็ดพันธุ์ที่มีระดับการเสื่อมคุณภาพที่มีความงอกอยู่ที่ 12 และ 33 เปอร์เซ็นต์สามารถกระตุ้นการงอกเพิ่มขึ้นได้ 27 และ 48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพมากไปกว่านั้นมีการตอบสนองที่ลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโครงการนักวิจัยพี่เลี้ยง กองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Aquila, D. A., Savino, G., & Leo, P. (1978). Metabolic change induced by hydration-dehydration pre-sowing treatment in wheat embryos. *Plant Cell Physiology*, 19(2), 349-354.
- Berjak, P., & Villers, T. A. (1972). Aging in plant embryos II. Age-induced damage and its repair during early germination. *New Phytologist*, 71, 135-145.
- Bewley, J. D., & Black, M. (1985). *Seeds Physiology of Development and Germination*. Plenum Press.
- Bradford, K. J., Benech-Arnold, R. L., Come, D., & Corbineau, F. (2008). Quantifying the sensitivity of barley seed germination to oxygen, abscisic acid, and gibberellin using a population-based threshold model. *Journal of Experimental Botany*, 59, 335-347.
- Charoensrisumphan, N. (2012). *Effect of Chemical Priming on the Germination of Pepper Seeds (Capsicum annuum L.)*. Master's thesis. Kasetsart University. (in Thai).
- Deeong, K., & Phutoya, K. (2018). *Pre-Seed Germination by Seed Priming Method of Rice Seeds*. Bachelor's project. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).
- Delouche, J. C., & Baskin, C. C. (1973). Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology*, 1, 427-452.
- Department of Foreign Trade. (2022). *Situation of World Rice and Thai Rice, August 2022*. Retrieved from: <https://www.dft.go.th/th-th/Service-DFT/Service-Information/DATA-Group-Product/Detail-DATA-Group-Product/ArticleId/23918/23918>. (in Thai).
- Fakthongphan, J. (2016). Seed priming for unfavorable condition tolerance. *Thai Agricultural Research Journal*, 34 (2), 196-210. (in Thai).

- Food and Agricultural Organization of the United Nations. (1998). **Report of the Fifth External Program and Management Review of International Rice Research Institute (IRRI)**. Retrieved from: <http://www.fao.org/docrep/W8439E/w8439e05.htm>.
- Goldsworthy, A., Fielding, J. L., & Drover, M. B. J. (1982). "Flash imbibition": a method for the re-invigoration of aged wheat seed. **Seed Science and Technology**, 10, 55-56.
- Heydecker, W., & Coolbear, P. (1977). Seed treatments for improved performance survey and attempted prognosis. **Seed Science and Technology**, 5, 353-425.
- International Seed Testing Association. (2019). **International Rules for Seed Testing**. International Seed Testing Association.
- Kartika, K., Lakitan, B., & Ria, R. P. (2021). Hydro- and osmo-priming effects on upland rice exposed to drought conditions at vegetative and reproductive stages. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**, 20(3), e2021053.
- Khan, A. A. (1992). **Pre-Plant Physiological Seed Conditioning**. John Willey and Sona.
- McDonald, M. B. (2000). Seed priming. In M. and J. D. Bewley (eds.). **Seed Technology and Its Biology Basis Black**. Sheffield Academic Press.
- Perkins-Veazie, P., & Cantliffe, D. J. (1984). Need for high quality seed for effective priming to overcome thermodormancy in lettuce. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 109, 368-372.
- Ray, M. B., Halder, S., & Gupta, K. (1990). Differential responses of early and late cultivars of rice seeds under accelerated ageing. **Seed Science and Technology**, 18, 823-831.
- Rice Department/Department of Internal Trade. (2023). **Action Plan: Comprehensive Rice Production and Marketing Plan, Production Year of 2022/2023**. Retrieved from: <https://www.ricethailand.go.th/plan/P65-66.pdf>. (in Thai).
- Rice Seed Division. (2008). **Buying Good Rice Seeds Takes Advantage of the Quality Worthwhile**. Retrieved from: <http://nsw-rsc.ricethailand.go.th/images/image/purchase/ricedeedee.pdf>. (in Thai).
- Sun, Y. Y., Sun, Y. J., Wang, M. T., Li, X. Y., Guo, X., Hu, R., & Ma, J. (2010). Effects of seed priming on germination and seedling growth under water stress in rice. **Acta Agronomica Sinica**, 36(11), 1931-1940.
- Thai Seed Association. (2022). **Announcement of Thai Seed Association: Determination of Age Standards for Controlled Seed on the Label**. Retrieved from: <https://www.thasta.com/pdf/2021/Standard2564.pdf>. (in Thai).
- Tonthong, Y., Chanprasert, W., Romkaew, J., & Kaewsorn, P. (2018). Germinability and storability of pre-germinated rice (*Oryza sativa* L.) seeds. **Seed Science and Technology**, 46(1), 119-129.
- Wichayadecha, W. (2015). **Development of Thailand to be Rice Seed Trade Hub in Asean**. Individual Study. Devawongse Varopakarn Institute of Foreign Affairs, Ministry of Foreign Affairs. (in Thai).

การศึกษาปริมาณไขมันและสารสีของสาหร่ายขนาดเล็กที่เพาะเลี้ยงในน้ำจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม Study on Lipid and Pigment Contents of Microalgae Cultivated in Water from *Litopenaeus vannamei* Shrimp Farm

เบญจมาส เชียร์ศิลป์^{1*}, ธิดาพร ขุมเงิน¹ และวชิพร มณีโชติ¹Benjamas Cheirsilp^{1*}, Thidaporn Khumngen¹ and Wageporn Maneechote¹

Received date: 1 พ.ค. 66 Revised date: 17 ก.ค. 66 Accepted date: 20 ก.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.005>

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในน้ำจากบ่อต่างๆ ในฟาร์มกุ้งขาวแวนนาไมเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมให้กับกุ้ง โดยทำการศึกษาการเจริญ ปริมาณไขมัน และสารสีของสาหร่ายขนาดเล็ก ผลการเติมยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนเสริม และผลการขยายขนาดบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่าย ผลการทดลองพบว่าสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella* sp. SHP ที่คัดแยกได้จากฟาร์มกุ้งให้ปริมาณสารสีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าอีกสองสายพันธุ์มาก และยังสามารถเจริญได้ดีที่สุดในน้ำทิ้งจากบ่อบำบัด เมื่อเปรียบเทียบกับบ่อเพาะเลี้ยงในน้ำจากบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยงกุ้ง และพบว่าการเติมยูเรียที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร และการขยายขนาดการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อเลี้ยงสาหร่ายจำลองขนาด 50 ลิตร แบบเปิดและมีน้ำไหลวน ทำให้ได้สาหร่ายน้ำหนักรวมสูงสุดเท่ากับ 0.19 ± 0.03 กรัมต่อลิตร โดยเซลล์สาหร่ายมีปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 44.96 ± 2.79 ปริมาณสารสีคลอโรฟิลล์เอบี และแคโรทีนอยด์ เท่ากับ 11.65 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 5.45 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และพบว่าเซลล์สาหร่าย 1 กรัม มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วัดจากค่า Radical scavenging activity เท่ากับร้อยละ 66.71 ± 0.02 ซึ่งผลจากการศึกษาคาดว่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการผลิตเซลล์สาหร่ายที่มีไขมันและสารสีสูงที่จะสามารถนำไปใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับเลี้ยงกุ้งต้นทุนต่ำได้

คำสำคัญ: สารต้านอนุมูลอิสระ สาหร่ายขนาดเล็ก สารสี โปรตีน บ่อเลี้ยงกุ้ง

Abstract

This study aimed to cultivate microalgae in water from *Litopenaeus vannamei* shrimp farm to be used as supplement for shrimp. The study focused on its growth, lipid and pigment contents and effects of urea addition as nitrogen source and scale-up of microalgae cultivation. Microalga *Chlorella* sp. SHP isolated from shrimp farm showed higher pigment content and antioxidant activity than other two isolated strains. *Chlorella* sp. SHP grew best in effluent from treatment pond compared to water from reservoir pond and shrimp pond. The addition of urea at 2 g/L and the scale up in 50 L microalgae cultivation pond gave the maximum biomass of 0.19 ± 0.03 g/L, the lipid content of $44.96 \pm 2.79\%$, and the contents of chlorophyll ab and carotenoids of 11.65 mg/g and 5.45 mg/g, respectively. The antioxidant activity based on radical scavenging activity of 1 g microalgal biomass was $66.71 \pm 0.02\%$. The findings from this study could be an alternative for producing microalgae with high lipid and pigment contents, and further utilization as low-cost supplements for shrimp cultivation.

Keywords: antioxidants; microalgae; pigments; protein; shrimp pond

¹ ศูนย์วิจัยความเป็นเลิศนวัตกรรมเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อการใช้ประโยชน์ทรัพยากรชีวภาพอย่างยั่งยืน คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

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

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

คำนำ

สาหร่ายขนาดเล็กเป็นสาหร่ายเซลล์เดียวจัดเป็นพืชชั้นต่ำแต่สามารถเจริญเติบโตได้ดีแม้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น น้ำกร่อย น้ำเค็ม หรือในพื้นที่ที่ไม่สามารถเพาะปลูกพืชอื่นได้ ใช้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยงน้อย และยังมีค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยวและขนส่งถูกกว่าเมื่อเทียบกับการปลูกพืชชนิดอื่นๆ และยังสามารถผลิตสารสีที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และสารอื่นๆ ที่มีมูลค่าสูงได้ เช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น (Cichonski & Chrzanowski, 2022) สาหร่ายขนาดเล็กถูกนำมาประยุกต์ใช้ทางเทคโนโลยีชีวภาพหลายๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ด้านเชื้อเพลิงชีวภาพ พลังงาน เครื่องสำอาง ยา สิ่งแวดล้อม อาหารมนุษย์ และอาหารสัตว์ (Bhalamurugan et al., 2018) นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น ปู และกุ้ง เพื่อช่วยเพิ่มสีและระบบภูมิคุ้มกันได้ โดยความต้องการของสาหร่ายขนาดเล็กมีชีวิตในอุตสาหกรรมสัตว์น้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Brown & Blackburn, 2013) ดังนั้นจึงมีการผลิตสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้สาหร่ายขนาดเล็กเพื่อเป็นอาหารสำหรับการเลี้ยงไร้นางฟ้า (Fairly shrimp) (Chaoruangrit et al., 2018) และมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในน้ำทิ้งสังเคราะห์เพื่อผลิตโปรตีนและสารสี (Yang et al., 2023) รวมทั้งมีงานวิจัยที่พบว่าสาหร่ายขนาดเล็กสามารถบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Nasir et al., 2023) โดยน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมักมีธาตุอาหารเช่น แอมโมเนีย ไนโตรเจน และฟอสเฟต หลงเหลืออยู่มาก เนื่องมาจากการใช้อาหารปริมาณมากเกินไป และอาจจะมาจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของสัตว์น้ำ เป็นต้น โดยธาตุอาหารเหล่านี้สามารถใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายได้ อย่างไรก็ตามยังไม่มีมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสายพันธุ์ที่มีสารสีและมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงโดยใช้น้ำจากฟาร์มกุ้ง

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กโดยใช้น้ำจากฟาร์มกุ้งโดยเน้นสายพันธุ์ที่มีปริมาณไขมันและสารสีสูงเพื่อประยุกต์ใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับสัตว์น้ำได้ โดยงานวิจัยเริ่มจากการคัดเลือกสาหร่ายขนาดเล็กที่มีการเจริญเติบโต การผลิตไขมัน สารสี และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง จากนั้นจึงศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในน้ำจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม การเติมยูเรียเพื่อเพิ่มแหล่งไนโตรเจน รวมทั้งศึกษาการขยายขนาดการเพาะเลี้ยงในบ่อเลี้ยงจำลองขนาด 50 ลิตร ซึ่งคาดว่าจะได้สภาวะในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กที่มีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับสัตว์น้ำได้ นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงสาหร่ายยังคาดว่าจะสามารถช่วยบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Bioremediation) และนำไปสู่การลดของเสียตามแนวทาง Zero waste ได้ต่อไปในอนาคต

วิธีการศึกษา

การคัดเลือกสาหร่ายขนาดเล็กที่มีฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระสูง

ทำการศึกษาการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Chlorella* sp. SHP ที่แยกได้จากแหล่งน้ำในฟาร์มกุ้ง เปรียบเทียบกับ *Chlamydomonas* sp. WP1 และ *Scenedesmus* sp. WP2 ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ Bioprocess engineering คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทำการเลี้ยงในอาหารเหลว Modified Chu 13 ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ในสภาวะที่มีการให้แสง 3,000 ลักซ์ พ่นอากาศด้วยเครื่องพ่นอากาศที่อัตราการไหล 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรอาหารต่อนาที (volume per volume per minute, vvm) กวนด้วยแท่งแม่เหล็กความเร็ว 300 รอบต่อนาที (Maneechote & Cheirsilp, 2021) โดยทำการเลี้ยงสายพันธุ์ละ 3 ขั้ว เป็นเวลา 5 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุกวัน เพื่อวัดค่าความขุ่นและค่าพีเอช และเมื่อครบกำหนดเวลาการเลี้ยงเป็นเวลา 5 วัน นำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณเซลล์แห้ง สารสี และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ เลือกสาหร่ายที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีและให้สารมูลค่าสูงเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในแหล่งน้ำจากฟาร์มกุ้ง

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดเลือกได้ในแหล่งน้ำจากฟาร์มกุ้ง 3 แหล่งที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ ได้แก่ น้ำจากบ่อบำบัด น้ำก่อนเข้าบ่อบำบัด และน้ำจากบ่อบำบัด ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ทำการทดลองละ 3 ซ้ำ เป็นเวลา 5 วัน และเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าต่างๆ เช่นเดียวกันกับการทดลองข้างต้น เลือกแหล่งน้ำที่สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดี

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กแบบระบบเปิดในตู้กระจกและการเติมยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดเลือกได้ในแหล่งน้ำจากฟาร์มกุ้งที่เหมาะสม ทำการเลี้ยงแบบระบบเปิดในตู้กระจกขนาด 4 ลิตร ใช้ปริมาตรน้ำ 1 ลิตร ทำการศึกษาลงของการเติมยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนเพิ่มเติม โดยมีชุดควบคุมเป็นตัวอย่างน้ำที่ไม่มีการเติมยูเรีย และชุดการทดลองที่มีการเติมยูเรีย 1, 2, 4 และ 6 กรัมต่อลิตร ในสภาวะแสงจากธรรมชาติ (3000-9000 ลักซ์) ฟ่นอากาศด้วยเครื่องฟ่นอากาศที่อัตราการไหล 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรอาหารต่อนาที ทำการเลี้ยงเป็นเวลา 7 วัน เก็บตัวอย่างทุกวันและวัดค่าต่างๆ เช่นเดียวกันกับการทดลองข้างต้น เลือกปริมาณยูเรียที่เหมาะสม

การขยายขนาดการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กแบบระบบเปิดในบ่อจำลอง

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดเลือกได้ในแหล่งน้ำจากฟาร์มกุ้งที่เหมาะสม มาเลี้ยงในบ่อระบบเปิดขนาดความจุ 50 ลิตร มีระบบการไหลเวียนน้ำผ่านปั๊มและท่อ ดังแสดงใน Figure 1 ทำการเติมยูเรียที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยในบ่อนี้ ใช้การไหลวนของน้ำผ่านท่อเป็นตัวช่วยในการให้อากาศ และใช้พลังงานแสงจากแสงอาทิตย์ ทำการเลี้ยงเป็นเวลา 7 วัน เก็บตัวอย่างทุกวันและวัดค่าต่างๆ เช่นเดียวกันกับการทดลองข้างต้น

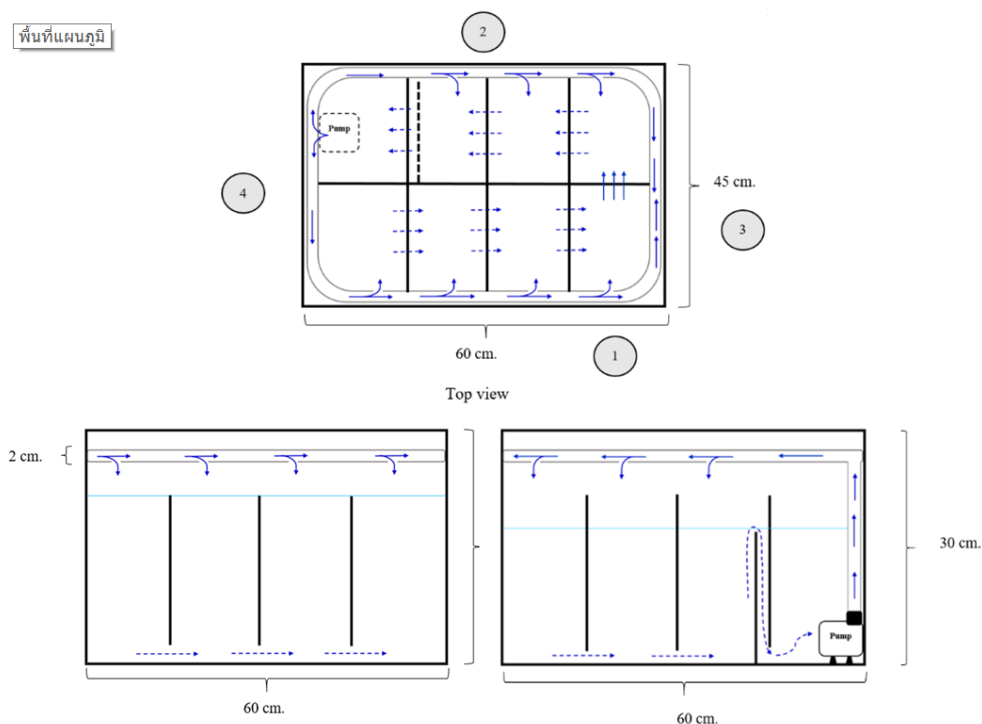


Figure 1 Top view and side view of microalgae cultivation pond model. Dashes line represent water flow input for water pump and solid lines represent water flow output from water pump through water pipe set on the top of pond model.

วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของเซลล์สาหร่ายและการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

นำตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดพลาสติก แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำการล้างตะกอนเซลล์ด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ก่อนนำไปปั่นเหวี่ยงให้เซลล์ตกตะกอน แล้วนำตะกอนเซลล์ไปอบที่อุณหภูมิ 60

องศาเซลเซียส จนแห้งหรือประมาณ 48-72 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่ง คำนวณน้ำหนักเซลล์แห้ง จากนั้นทำการสกัดไขมันโดยการเติมสารผสมคลอโรฟอร์มและเมทานอล (อัตราส่วน 2:1 ปริมาตรต่อปริมาตร) 1 มิลลิลิตร บดตะกอนเซลล์ให้ละเอียดผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปทำให้เซลล์แตกด้วยเครื่องคลื่นเสียงความถี่สูงเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วแยกส่วนใสเก็บไว้ ทำการสกัดซ้ำ จากนั้นนำสารละลายที่สกัดทั้งหมดไประเหย แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนักแล้วนำไปคำนวณหาปริมาณไขมัน (Maneechote & Cheirsilp, 2021)

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ตามวิธีของ Sartory (1982) อ้างโดย (Maneechote & Cheirsilp, 2021) โดยนำตัวอย่างสาหร่ายปริมาตร 10 มิลลิลิตร หมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที เทส่วนใสทิ้ง นำตะกอนเซลล์สาหร่ายเติมสารละลายอะซีโตนร้อยละ 90 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร บดตะกอนเซลล์ให้ละเอียดผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปทำให้เซลล์แตกด้วยเครื่องคลื่นเสียงความถี่สูงเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วแยกส่วนใสเก็บไว้ นำสารละลายใส่ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มคำนวณปริมาณสารสี

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในสาหร่ายขนาดเล็ก

ทำการสกัดสารจากสาหร่ายขนาดเล็กด้วยเอทานอลร้อยละ 95 (โดยปริมาตร) อัตราส่วน 1:10 แล้ว นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการเก็บสารละลายส่วนใสสีเขียวไว้แล้วทำการสกัดซ้ำอีก 3 ครั้ง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไประเหยเอทานอล ออกจนหมด จะได้สารสกัดเข้มข้น นำสารสกัดที่ได้มาผสมกับ 1 มิลลิลิตร ของสารละลาย DPPH (0.5 มิลลิโมลาร์ในเอทานอล) เก็บในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร (ใช้เอทานอลเป็น blank และใช้ BTH เป็นสารละลายมาตรฐาน) นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปคำนวณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Choochote et al., 2014)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การคัดเลือกสาหร่ายขนาดเล็กที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง

จากการศึกษาการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Chlorella* sp. SHP ที่แยกได้จากแหล่งน้ำในฟาร์มกุ้ง เปรียบเทียบกับ *Chlamydomonas* sp. WP1 และ *Scenedesmus* sp. WP2 ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ Bioprocess engineering โดยการเลี้ยงในอาหารเหลว Modified Chu 13 ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ในสภาวะที่มีการให้แสง 3,000 ลักซ์ ฟนอากาศด้วยเครื่องฟนอากาศที่อัตราการไหล 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรอาหารต่อนาที ผลการทดลองแสดงดัง Figure 2 พบว่าสาหร่าย *Chlamydomonas* sp. WP1 และ *Scenedesmus* sp. WP2 มีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็วในช่วงห้าวันแรก และใกล้เคียงกันทั้งสองสายพันธุ์ ในขณะที่สาหร่าย *Chlorella* sp. SHP มีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าสาหร่ายสองสายพันธุ์แรก สำหรับการเปลี่ยนแปลงพีเอช พบว่าในช่วงวันแรกมีค่าอยู่ในช่วง 8-9 และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 10-11 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้ HCO_3^- ที่แตกตัวมาจาก NaHCO_3 ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการเจริญทำให้พีเอชเพิ่มขึ้น (Poza-Carrion et al., 2001) หลังจากวันที่ 4 ของการเพาะเลี้ยงค่าพีเอชจะเริ่มลดลงซึ่งอาจเกิดจากสาหร่ายเริ่มเข้าสู่ระยะ stationary phase หรือมีบางเซลล์เริ่มแตก และองค์ประกอบภายในเซลล์ละลายออกมาในน้ำหมักทำให้ค่าพีเอชเริ่มลดลง หลังจากทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กทั้งสามสายพันธุ์จนครบเวลา 5 วัน แล้วทำการเก็บเกี่ยวตัวอย่างนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักเซลล์แห้ง (dry cell weight) ปริมาณสารสี (pigment) และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย แสดงดัง Figure 2f พบว่า *Chlamydomonas* sp. WP1 และ *Scenedesmus* sp. WP2 ให้ค่าน้ำหนักเซลล์แห้งใกล้เคียงเท่ากับ 0.63 ± 0.17 และ 0.71 ± 0.08 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่า *Chlorella* sp. SHP (0.55 ± 0.15 กรัมต่อลิตร) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเซลล์แห้งของสาหร่ายขนาดเล็กนี้ พบว่าสาหร่ายทั้งสามสายพันธุ์เป็นสาหร่ายไขมันสูง คือ มีปริมาณไขมันที่สกัดได้มากกว่าร้อยละ 20 โดยสาหร่ายทั้งสามสายพันธุ์ให้ปริมาณใกล้เคียงกัน แต่เมื่อคำนวณเป็นร้อยละของไขมัน พบว่า *Chlorella* sp. SHP มีร้อยละไขมันสูงกว่า *Chlamydomonas* sp. WP1 และ *Scenedesmus* sp. WP2 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) Figure 2g แสดงปริมาณสารสี (pigments) ประกอบไปด้วย คลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll a), คลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll b), คลอโรฟิลล์เอบี (Chlorophyll ab) และแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) พบว่า *Chlorella* sp. SHP มีปริมาณสารสีต่างๆ สูงกว่าสาหร่ายอีกสองสายพันธุ์ ดังนั้นเมื่อนำสารสกัดของสาหร่ายขนาดเล็กแต่ละสายพันธุ์ไปวิเคราะห์หาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) assay ที่วัดค่า O.D. ที่ 517 นาโนเมตรแล้วคำนวณออกมาเป็นค่า Radical scavenging activity (%) พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP มี Radical scavenging activity สูงถึงร้อยละ 32.34 ± 0.17 ซึ่งมากกว่า *Chlamydomonas* sp. WP1 (ร้อยละ 8.47 ± 0.17) และ *Scenedesmus* sp. WP2 (ร้อยละ 7.04 ± 0.17) จึงแสดงให้เห็นว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Choochote et al. (2014) ที่ทำการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสาหร่าย *Chlorella* sp. E53 และ *Chlorella* sp. ED53 พบว่ามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (% Radical scavenging activity) สูงถึงร้อยละ 68.18 และ 58.98 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Safafar et al. (2015) ที่พบว่าสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella* sp. มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH อยู่ที่ร้อยละ 28-34 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารสีที่วัดได้จากสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP มีความสัมพันธ์กับค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสาหร่าย *Chlorella* หลายสายพันธุ์มีปริมาณของสารสีสูงทั้งกลุ่มคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ และมีการรายงานว่าสารกลุ่มแคโรทีนอยด์นั้นมีคุณสมบัติของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย (Markou and Nerantzis, 2013) จึงเป็นไปได้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากจากสาหร่ายอาจมาจากสารสีในกลุ่มของคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ดังนั้นจึงเลือกสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP

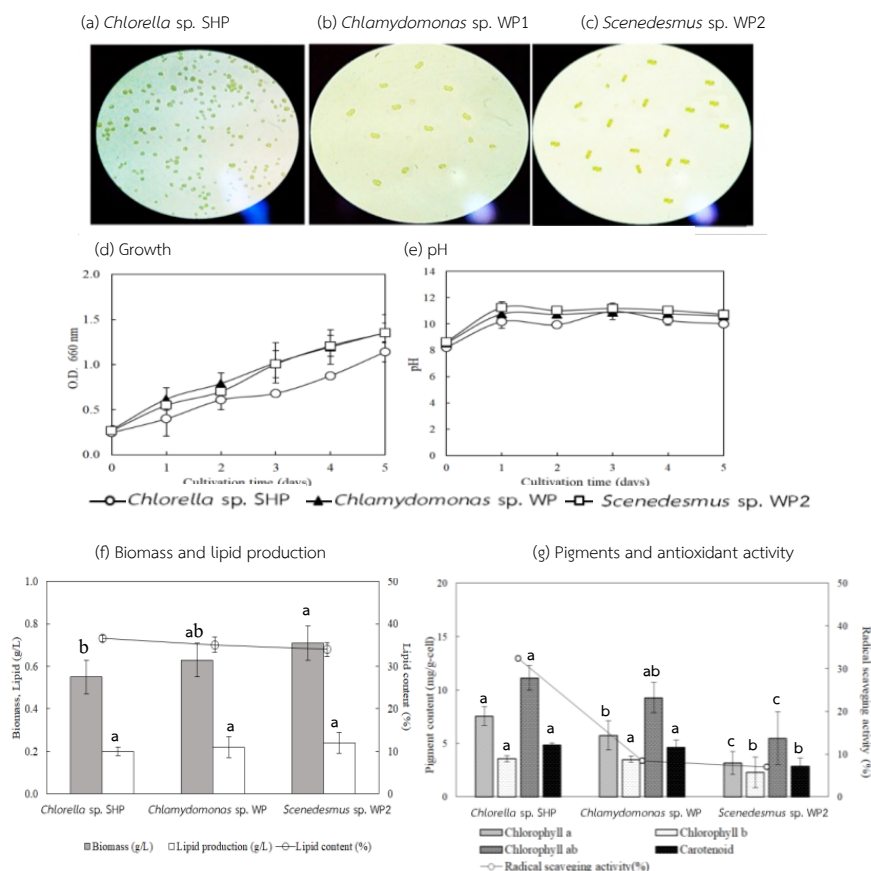


Figure 2 Screening of microalgae for biomass, lipids and pigments production. Different letters on the bars indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$).

การศึกษาการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็กในแหล่งน้ำจากฟาร์มกุ้ง

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจะศึกษาการใช้น้ำจากบ่อกุ้งเป็นอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยในฟาร์มกุ้งจะมีบ่อน้ำหลักๆ อยู่สามบ่อด้วยกันคือ บ่อพักน้ำ (Reservoir pond water, RPW) บ่อเลี้ยงกุ้ง (Shrimp pond water, SPW) และบ่อบำบัดน้ำหลังการเลี้ยงกุ้ง (Treatment pond water, TPW) ดังแสดงใน Figure 3a-c สำหรับ Table 1 แสดงค่าซีไอดี ปริมาณไนโตรเจน ความเค็ม และค่าพีเอชของน้ำจากบ่อทั้งสาม จะเห็นได้ว่าบ่อบำบัดน้ำหลังการเลี้ยงกุ้งมีสีเขียวซึ่งเป็นแหล่งที่ทำการแยกสายพันธุ์ *Chlorella* sp. SHP มีสีเขียว แสดงให้เห็นถึงความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารที่สาหร่ายสามารถใช้ในการเจริญได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนที่พบว่าน้ำทั้งจากบ่อบำบัดมีค่าสูงสุดที่ 8.0 ± 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบว่าค่าซีไอดีของทั้งสามบ่อมีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 51-65 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าพีเอชที่เป็นด่างในช่วง 7.73-8.03 สำหรับความเค็มพบว่าบ่อเลี้ยงกุ้งมีปริมาณเกลือสูงสุดที่ร้อยละ 2.52 ± 0.07 ในขณะที่บ่อพักน้ำและบ่อบำบัดน้ำมีปริมาณเกลือใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 2 ซึ่งการใช้น้ำเค็มในการเลี้ยงสาหร่ายมีข้อดีคือ สามารถยับยั้งกลุ่มเชื้อโรคและ zooplankton ที่มีโอกาสปนเปื้อนเมื่อเลี้ยงสาหร่ายในบ่อเปิด (Bacellar Mendes and Vermelho, 2013) นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยที่พบว่าน้ำที่จากบ่อเลี้ยงกุ้งมีปริมาณค่า orthophosphate ที่เพียงพอต่อการเจริญของสาหร่าย (Nasir et al., 2023)

จากการศึกษาการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP ในตัวอย่างน้ำที่ไม่ผ่านการปรับค่าพีเอช และไม่ผ่านฆ่าเชื้อเพื่อกำหนดสภาวะในการเลี้ยงให้เหมือนสภาวะจริง ทำการศึกษาการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็กที่เลี้ยงในน้ำจากบ่อต่างๆ ในฟาร์มกุ้ง ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ในสภาวะที่มีการให้แสง 3,000 ลักซ์ พ่นอากาศด้วยเครื่องพ่นอากาศที่อัตราการไหล 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรอาหารต่อนาที กวนด้วยแท่งแม่เหล็กความเร็ว 300 รอบต่อนาที ผลการทดลองแสดงดัง Figure 3d-g พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP ที่เลี้ยงในน้ำทั้งจากบ่อบำบัดน้ำมีอัตราการเจริญเร็วที่สุดในช่วงสองวันแรกของการเลี้ยง จากนั้นจะเริ่มมีการเจริญน้อยลงในวันที่สี่ของการเลี้ยง และพบว่าค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเล็กน้อยก่อนจะเริ่มลดลงในวันที่ 3 โดยสาเหตุที่สาหร่ายหยุดการเจริญน่าจะมาจากการขาดสารอาหารที่ต้องใช้ในการเจริญ โดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจนที่ใช้ในการสร้างเซลล์และแบ่งตัว (Yang et al., 2023) ในการศึกษาต่อไปจึงศึกษาผลของการเติมยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มการเจริญของสาหร่าย หลังจากเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP จนครบระยะเวลา 5 วัน แล้วทำการเก็บเกี่ยวสาหร่ายมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทั้งจากบ่อบำบัดให้ปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งสูงที่สุดเท่ากับ 0.24 ± 0.00 กรัมต่อลิตร ($P < 0.05$) รองลงมาคือสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งและบ่อพักน้ำ ซึ่งให้ปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 0.20 ± 0.02 และ 0.17 ± 0.04 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณไขมันพบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP ที่เลี้ยงในตัวอย่างจากบ่อบำบัดน้ำมีร้อยละของการสะสมไขมันเท่ากับ 28.7 ดังแสดงใน Figure 3f โดยไขมันจากสาหร่ายสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้ (Ruangsomborn, 2020) เมื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณสารสี พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP ที่เลี้ยงในตัวอย่างน้ำทั้งจากบ่อบำบัดน้ำมีปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์สูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงจากแหล่งน้ำอีกสองแหล่งดังแสดงใน Figure 3g ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนที่สูงกว่าเนื่องจากสาหร่ายต้องใช้ไนโตรเจนในการสร้างสารสี (Yang et al., 2023) และจากการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (% Radical scavenging activity) ของสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP ที่เลี้ยงในน้ำทั้งจากบ่อบำบัด พบว่ามีค่าสูงถึงร้อยละ 59.55 ± 1.52

Table 1 Characterization of water from shrimp farm ponds

Water source	COD (mg/L)	Total nitrogen (mg/L)	Salinity (% NaCl w/v)	pH
Reservoir pond water	65.50 ± 5.50^a	4.00 ± 1.00^b	1.10 ± 0.83^a	7.73 ± 0.02^b
Shrimp pond water	61.50 ± 7.50^a	5.00 ± 2.00^{ab}	2.52 ± 0.07^a	7.63 ± 0.03^b
Treatment pond water	51.50 ± 18.50^a	8.00 ± 1.00^a	2.06 ± 1.00^a	8.03 ± 0.11^a

Different superscript letters indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$).

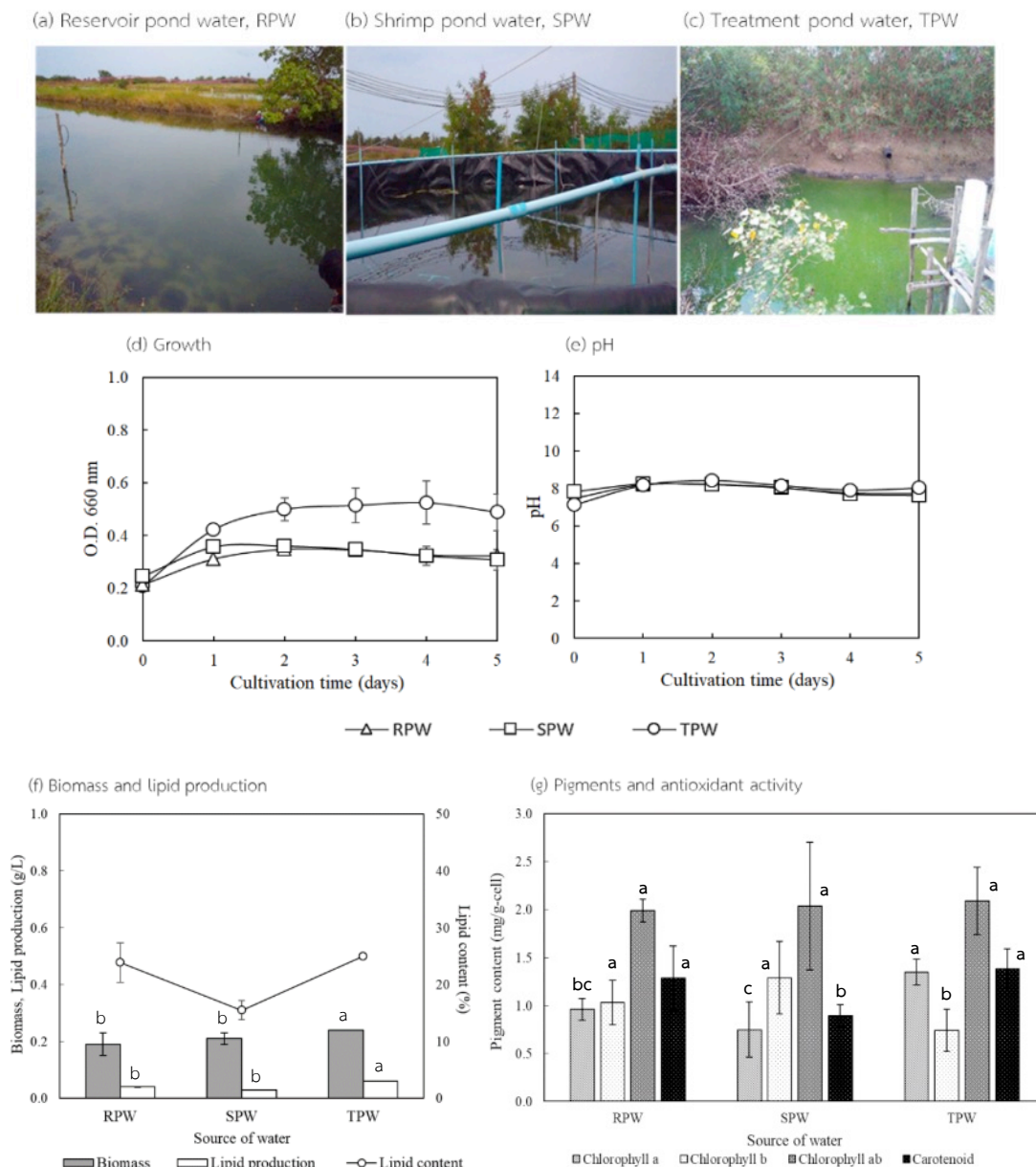


Figure 3 Cultivation of microalgae in reservoir pond water (RPW), shrimp pond water (SPW) and treatment pond water (TPW) for biomass, lipids and pigments production. Different letters on the bars indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$).

การศึกษาผลของการเติมยูเรียในน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก

ในการทดลองนี้ศึกษาผลของการเติมยูเรียในน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กเนื่องจากยูเรียเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่มีราคาถูก โดยในการทดลองนี้จะทำการขยายขนาดการผลิตเป็น 1 ลิตร และเพาะเลี้ยงแบบระบบเปิด ใช้แสงธรรมชาติ โดยมีชุดควบคุมที่ไม่เติมยูเรีย เปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่มีการเติมยูเรียที่ความเข้มข้น 1, 2, 4 และ 6 กรัมต่อลิตร ผลการทดลองแสดงดัง Figure 4 พบว่าชุดการทดลองที่มีการเติมยูเรียที่ 2, 4 และ 6 กรัมต่อลิตร ให้อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP ที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติมยูเรียเพียง 1 กรัมต่อลิตร ให้อัตราการเจริญเติบโตที่ช้ากว่า ส่วนค่าพีเอชพบว่ามีความสูงขึ้นเล็กน้อยในช่วงสองวันแรก จากนั้นค่าพีเอชจะเริ่มลดลงเล็กน้อยและคงที่ เมื่อเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP จนครบเวลา 6 วัน แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP ที่เลี้ยงใน

น้ำทิ้งที่เติมยูเรีย 2 กรัมต่อลิตร ให้ปริมาณน้ำหนัเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 0.85 ± 0.00 กรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Figure 4c

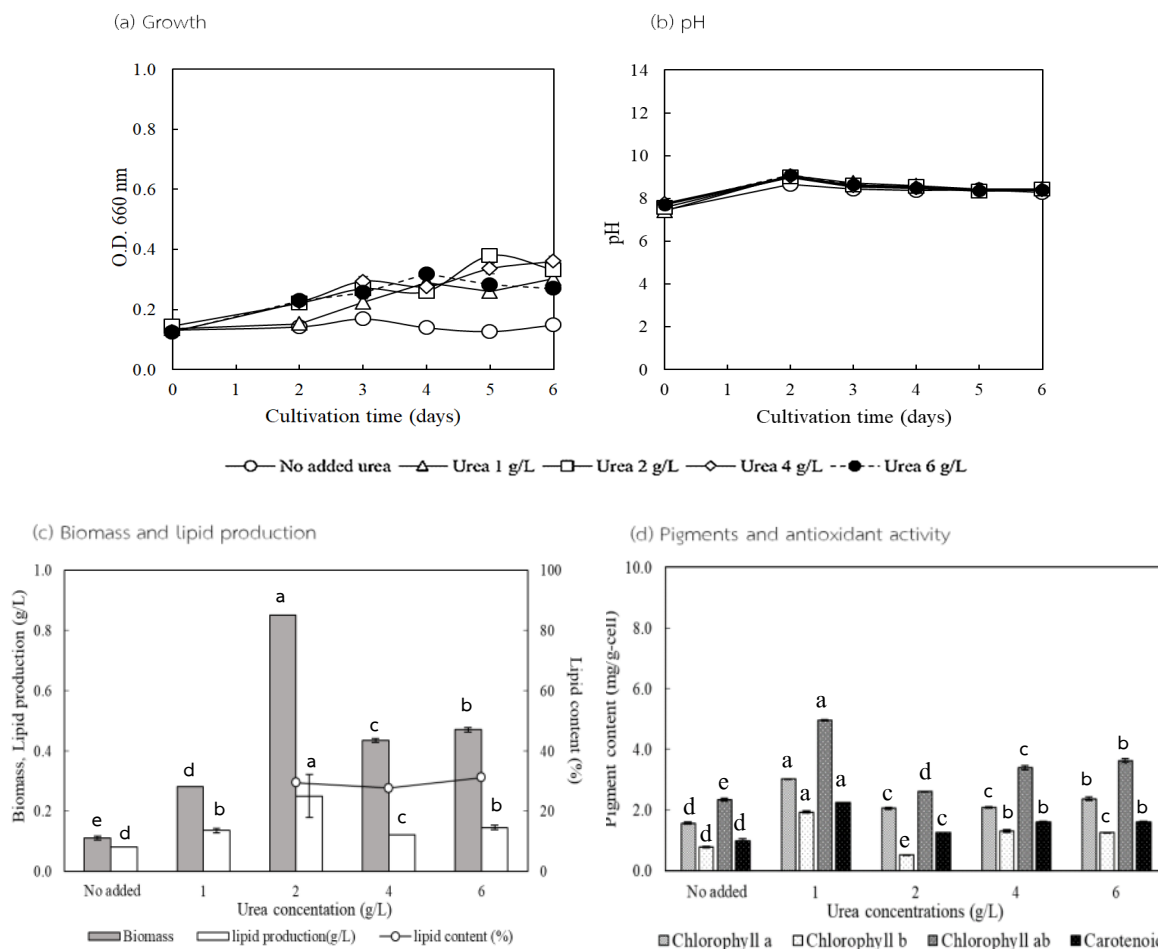


Figure 4 Effect of urea addition on biomass, lipids and pigments production. Different letters on the bars indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$).

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณไขมันพบว่าสาหร่ายจากชุดการทดลองที่เติมยูเรีย 2 กรัมต่อลิตร ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุด ($P < 0.05$) และคิดเป็นร้อยละของการสะสมไขมันที่ร้อยละ 29-31 สำหรับชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติมยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร ไม่สามารถวัดปริมาณไขมันและคำนวณร้อยละของการสะสมไขมันได้เนื่องจากมีปริมาณเซลล์แห้งน้อยเกินไปที่จะสกัดน้ำมันได้ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารสี พบว่าชุดการทดลองที่เติมยูเรียจะให้ปริมาณสารสีสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมยูเรีย แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของยูเรียที่เหมาะสมที่สุดในการเติมลงไปในตัวอย่างเป็นน้ำทิ้ง คือ 2 กรัมต่อลิตร และเมื่อนำตัวอย่างสาหร่ายไปวัดฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ พบว่าให้ค่าที่สูงเช่นกัน โดยมี Radical scavenging activity เท่ากับร้อยละ 66.71 ± 0.02

การศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กแบบระบบเปิดในบ่อเลี้ยงจำลองที่มีระบบน้ำไหลวน

ทำการศึกษาการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP ในตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดในฟาร์มกุ้งที่มีการเติมยูเรียลงไป 2 กรัมต่อลิตร ในบ่อเลี้ยงจำลองที่มีระบบน้ำไหลวน ดังแสดงใน Figure 1 โดยการเลี้ยงในสภาวะที่เป็นระบบเปิดเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานจริงในฟาร์มกุ้ง เพราะการเพาะเลี้ยงในระบบเปิดมีข้อดี คือ เพาะเลี้ยงง่าย การบำรุงรักษาง่าย และมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ มีการใช้แสงจากธรรมชาติ โดยมีการใช้ปั๊มสูบน้ำขึ้นไปตามท่อน้ำด้านบนที่มีรูพ่นน้ำในตำแหน่งที่ตรงกับแต่ละช่อง เพื่อให้เกิดการไหลวนของน้ำและเซลล์ของสาหร่าย ซึ่งน้ำและสาหร่ายจะถูกดูดขึ้นมาและหมุนเวียนไปเรื่อยๆ แบบนี้ สาหร่ายก็จะได้รับอากาศเพิ่มขึ้นจากการที่ไหลออกมาจากท่อลงมาด้านล่างอีกครั้งอีกทั้งทำให้เกิดการตีกันของน้ำจากแรงดันน้ำที่ออกมาจากท่อ

ด้านบน และด้านล่างของบ่อเลี้ยงจำลองยังมีการเจาะเป็นรูตรงแผ่นกันเพื่อให้ น้ำเกิดแรงดันและเกิดการไหลเวียนได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นระยะเวลา 7 วัน ผลการทดลองแสดงดัง Figure 5 พบว่าค่าสาหร่ายมีการเจริญจนถึงวันที่ 6 ของการเพาะเลี้ยง และค่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อทำการเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP จนครบระยะเวลา 7 วัน จึงทำการเก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายที่ได้เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ค่าองค์ประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในสาหร่าย พบว่ามีค่าน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 0.19 ± 0.03 กรัมต่อลิตร มีปริมาณไขมันที่สูงถึงร้อยละ 44.96 ± 2.79 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอบี และแคโรทีนอยด์เท่ากับ 11.65 ± 2.50 และ 5.45 ± 0.89 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทดลองในบ่อเลี้ยงจำลองที่มีระบบไหลเวียนน้ำสามารถช่วยป้องกันการตกตะกอนของสาหร่ายระหว่างการเลี้ยงได้ แต่เนื่องจากการทดลองนี้ไม่ได้พ่นอากาศซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ได้ปริมาณเซลล์สาหร่ายน้อยมาก

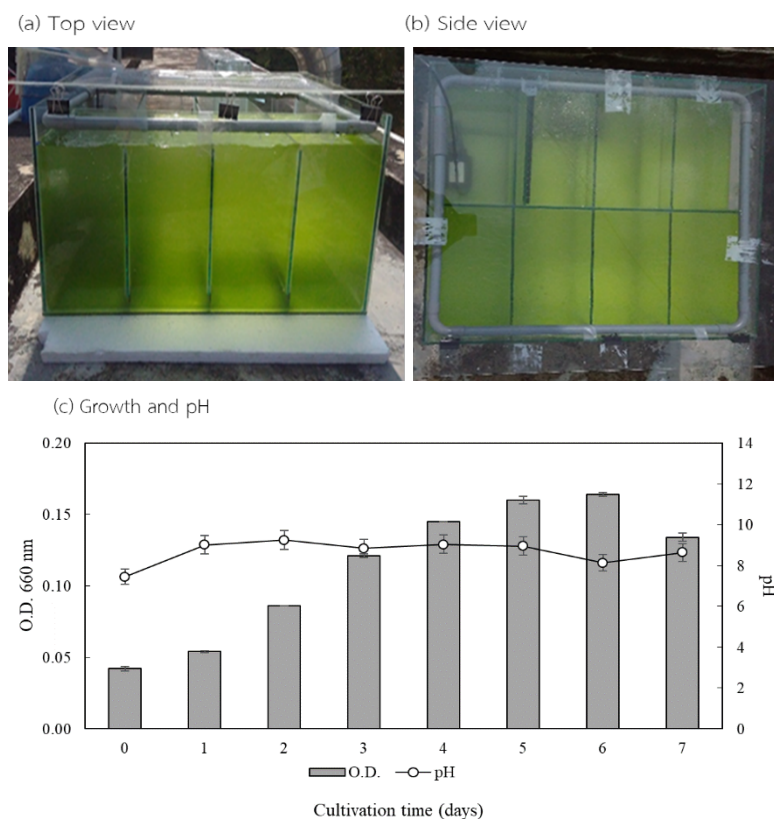


Figure 5 Microalgae cultivation mode (a) top view, (b) side view and (c) growth and pH.

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อผลิตสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP ที่คัดแยกได้จากฟาร์มกุ้งสามารถผลิตสารที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุดร้อยละ 59.55 ± 1.52 และพบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. SHP สามารถเจริญได้ดีที่สุดในน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดในฟาร์มกุ้ง และพบว่าความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ทำให้สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นถึง 0.85 ± 0.0 กรัมต่อลิตร และมีค่า Radical scavenging activity สูงถึงร้อยละ 66.71 ± 0.02 และจากการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในบ่อเลี้ยงจำลองที่มีระบบน้ำไหลวนแบบระบบเปิด พบว่าสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้และช่วยลดปัญหาการตกตะกอนของสาหร่ายได้ดี ดังนั้นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งให้ปริมาณไขมัน และสารสีสูงถือเป็นแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตเป็นอาหารเสริมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมทั้งยังถือเป็นการบำบัดน้ำทิ้งและใช้ประโยชน์ของเสียอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการวิจัยถ่ายทอดเทคโนโลยี/องค์ความรู้ และนวัตกรรมจากผลการวิจัย ภายใต้ทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภายใต้รหัสโครงการวิจัย AGRO52-STP60

เอกสารอ้างอิง

- Bacellar Mendes, L. B., & Vermelho, A. B. (2013). Allelopathy as a potential strategy to improve microalgae cultivation. **Biotechnology for Biofuels**, 6, 152.
- Bhalamurugan, G. L., Valerie, O., & Mark, L. (2018). Valuable bioproducts obtained from microalgal biomass and their commercial applications: A review. **Environmental Engineering Research**, 23(3), 229-241.
- Brown, M. R. & Blackburn, S. I. (2013). Live Microalgae as Feeds in Aquaculture Hatcheries. In Allan, G., & G. Burnell, **Advances in Aqua-culture Hatchery**, pp. 117-157. Woodhead Publishing.
- Chaorungrit, L., Tapaneeyaworawong, P., Powtongsook, S., & Sanoamuang, L. (2018). Alternative microalgal diets for cultivation of the fairy shrimp *Branchinella thailandensis* (Branchiopoda: Anostraca). **Aquaculture International**, 26(1), 37-47.
- Choochote, W., Suklampoo, L., & Ochaikul, D. (2014). Evaluation of antioxidant capacities of green microalgae. **Journal of Applied Phycology**, 26, 43-48.
- Cichonski, J., & Chrzanowski, G. (2022). Microalgae as a source of valuable phenolic compounds and carotenoids. **Molecules**, 27(24), 8852.
- Maneechote, W., & Cheirsilp, B., (2021). Stepwise-incremental physicochemical factors induced acclimation and tolerance in oleaginous microalgae to crucial outdoor stresses and improved properties as biodiesel feedstocks. **Bioresource Technology**, 328, 124850.
- Markou, G., & Nerantzis, E. (2013). Microalgae for high-value compounds and biofuels production: a review with focus on cultivation under stress conditions. **Biotechnology Advance**, 31, 1532-1542.
- Nasir, N. M., Jusoh, A., Harun, R., Ibrahim, N. N. L. N., Rasit, N., Ghani, W. A. W. A. K., & Kurniawan, S. B. (2023). Nutrient consumption of green microalgae, *Chlorella* sp. during the bioremediation of shrimp aquaculture wastewater. **Algal Research**, 72, 103110.
- Poza-Carrión, C., Fernández-Valiente, E., Piñas, F. F., & Leganés, F. (2001). Acclimation of photosynthetic pigments and photosynthesis of the cyanobacterium *Nostoc* sp. strain UAM206 to combined fluctuations of irradiance, pH, and inorganic carbon availability. **Journal of Plant Physiology**, 158(11), 1455-1461.
- Ruangsomboon, S. (2020). **Microalgae Cultivation and Utilizations**. Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- Safafar, H., Van Wagenen, J., Møller, P., & Jacobsen, C. (2015). Carotenoids, phenolic compounds and tocopherols contribute to the antioxidative properties of some microalgae species grown on industrial wastewater. **Marine Drugs**, 13(12), 7339-7356.
- Yang, R., Wang, Q., Luo, X., & Wei, D. (2023) High-efficient nitrate conversion to protein and chlorophylls from synthetic wastewater by mixotrophic *Chlorella pyrenoidosa*. **Algal Research**, 71, 103025.

การศึกษาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับปริมาณการส่งออก
ปลาสดหรือแช่เย็นของประเทศไทย
A Study of Suitable Forecasting Model for the Export Quantity of
Fresh or Chilled Fish in Thailand

วารางคณา เรียนสุทธิ^{1*}Warangkhan Riansut^{1*}

Received date: 1 มี.ค. 65 Revised date: 19 มิ.ย. 66 Accepted date: 22 ก.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.006>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นของประเทศไทยด้วยวิธีการทางสถิติ 7 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ โดยใช้ปริมาณการส่งออกเฉลี่ยต่อเดือนจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ข้อมูลชุดที่ใช้สร้างตัวแบบคือ ปริมาณการส่งออกตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2563 จำนวน 120 เดือน ข้อมูลชุดที่ใช้เปรียบเทียบความแม่นยำคือ ปริมาณการส่งออกตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม 2564 จำนวน 12 เดือน โดยใช้เกณฑ์ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก

คำสำคัญ: ปลา, การส่งออก, การพยากรณ์, บ็อกซ์-เจนกินส์, การทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลัง

Abstract

The aim of this study was to find a suitable forecasting model for the export quantity of fresh or chilled fish in Thailand using seven statistical methods including Box-Jenkins method, Holt's exponential smoothing method, Brown's exponential smoothing method, damped trend exponential smoothing method, simple seasonal exponential smoothing method, Winters' additive exponential smoothing method, and Winters' multiplicative exponential smoothing method. The average monthly export quantity from the website of the Office of Agricultural Economics was used for data analysis. The data set used to create the models was the export quantity from January 2011 to December 2020 for 120 months. The data set used to compare the accuracy was the export quantity from January to December 2021 for 12 months using the lowest mean absolute percentage error. The results indicated that the most accurate method was the damped trend exponential smoothing method.

Keywords: fish, export, forecast, Box-Jenkins, exponential smoothing

คำนำ

ปัจจัยที่ช่วยให้เศรษฐกิจของแต่ละประเทศเกิดการขยายตัวมีหลายปัจจัย เช่น การบริโภคของประชาชน การลงทุน การใช้จ่ายเงินงบประมาณของรัฐบาล และการค้าระหว่างประเทศ สำหรับประเทศไทยภาคการส่งออกมีบทบาทสำคัญในการนำเงินตราต่างประเทศเข้าสู่ประเทศ ซึ่งเป็นรายได้หลักที่จะทำให้เศรษฐกิจขยายตัวเพิ่มขึ้น ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกสินค้าประมงที่มีคุณภาพดีแห่งหนึ่งของโลก โดยอาหารทะเลของประเทศไทยได้รับความนิยมในตลาดโลกเป็นอย่างมาก ประกอบกับประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์ในด้านทรัพยากรทางธรรมชาติ มีศักยภาพของผู้ประกอบการที่สามารถพัฒนาคุณภาพและรูปแบบของสินค้าให้เป็นที่ไปตามความต้องการของตลาด ด้วยปัจจัยสนับสนุนดังกล่าว ส่งผลให้ประเทศไทยมีอาหารทะเลที่

¹ สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.พัทลุง 93210

¹ Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung 93210

* Corresponding author: email warang27@gmail.com

หลากหลายและมีปริมาณการผลิตมากเพียงพอที่จะส่งออกได้ (Noppasao, 2013) การศึกษานี้ผู้วิจัยให้ความสนใจกับการส่งออกพลาสติกหรือแผ่นฟิล์ม ไม่รวมเนื้อพลาสติกแบบฟิล์มและแบบอื่น ซึ่งจากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ที่สรุปว่าท่ามกลางวิกฤตการณ์ของโรคติดเชื้อไวรัส โควิด-19 ในปี 2564 แม้ว่าจะมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจโลก แต่สถิติภาพรวมการส่งออกสินค้าเกษตรของไทยไปยังประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกในช่วง 11 เดือนของปี 2564 (มกราคม – พฤศจิกายน 2564) ยังคงแข็งแกร่ง โดยภาพรวมการค้าไทยกับทั่วโลก คิดเป็นมูลค่า 1,273,761 ล้านบาท เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี 2563 ที่มีมูลค่า 1,098,475 ล้านบาท หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.96 (OAE, 2022a) ขณะที่ปริมาณการส่งออกพลาสติกหรือแผ่นฟิล์มของประเทศไทยกลับมีแนวโน้มลดลง โดยปี 2554 มีปริมาณการส่งออก 6,186,233 กิโลกรัม และลดลงทุกปีจนกระทั่งปี 2559 มีปริมาณการส่งออกต่ำที่สุดเท่ากับ 4,288,616 กิโลกรัม อีกทั้งปริมาณการส่งออกพลาสติกหรือแผ่นฟิล์มยังมีความผันผวนตามฤดูกาลค่อนข้างสูง (OAE, 2022b) อาจเป็นเหตุผลมาจากค่าเงินที่แข็งค่าขึ้น จึงทำให้ปริมาณการส่งออกลดลง แต่ยังคงมีมูลค่าการส่งออกที่สูงขึ้น ด้วยเหตุผลของความขัดแย้งดังกล่าว จึงนำมาสู่วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อสร้างตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกพลาสติกหรือแผ่นฟิล์มของประเทศไทยในอนาคตว่าเป็นอย่างไร ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่ามีการศึกษาพยากรณ์เกี่ยวกับปริมาณการส่งออก เช่น Keerativibool (2016) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกเนื้อไก่แช่แข็งและแช่เย็น Riansut & Nisan (2017) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกไก่แปรรูป Riansut (2019) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์และ Riansut (2020) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกกุ้งสดแช่แข็ง แต่ยังไม่เคยมีการศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกพลาสติกหรือแผ่นฟิล์ม ดังนั้นการศึกษานี้ ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกพลาสติกหรือแผ่นฟิล์มด้วยวิธีการทางสถิติ โดยผลการวิจัยที่ได้จะทำให้ทราบการเคลื่อนไหว แนวโน้ม และฤดูกาลของปริมาณการส่งออกพลาสติกหรือแผ่นฟิล์ม รวมทั้งนำตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ไปพยากรณ์ปริมาณการส่งออกในอนาคต เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจวางแผนการผลิตและการส่งออกสำหรับกลุ่มผู้ผลิตและส่งออกพลาสติกหรือแผ่นฟิล์มให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งยังนำข้อมูลไปเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายในการส่งเสริมการลงทุนและการตลาดของพลาสติกหรือแผ่นฟิล์มของภาครัฐได้อีกด้วย

วิธีการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษา

- 1) ข้อมูลที่ศึกษาคือ ปริมาณการส่งออกเฉลี่ยต่อเดือนของพลาสติกหรือแผ่นฟิล์มของประเทศไทย (กิโลกรัม) จากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (OAE, 2022b) ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2564 จำนวน 132 เดือน แบ่งออกเป็นข้อมูลชุดสร้างตัวแบบพยากรณ์คือ ปริมาณการส่งออกตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2563 จำนวน 120 เดือน และข้อมูลชุดเปรียบเทียบความแม่นยำคือ ปริมาณการส่งออกตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2564 จำนวน 12 เดือน เปรียบเทียบโดยใช้เกณฑ์ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (mean absolute percentage error: MAPE) ที่ต่ำที่สุด
- 2) ตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลของอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกพลาสติกหรือแผ่นฟิล์มชุดแรก ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคาล-วอลล์ลิส (Kruskal-Wallis's one-way analysis of variance by rank) โดยการตรวจสอบแนวโน้มเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวจำแนกข้อมูลเป็นรายปี ถ้าพบว่าอนุกรมเวลาแต่ละปีมีค่ามัธยฐานแตกต่างกัน จะสรุปว่าอนุกรมเวลามีแนวโน้ม แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลง ต้องพิจารณาเพิ่มเติมจากกราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา ขณะที่การตรวจสอบอิทธิพลของฤดูกาลจะเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวจำแนกข้อมูลเป็นรายเดือน (ข้อมูลหลังจากกำจัดแนวโน้มออกแล้ว) ถ้าพบว่าอนุกรมเวลาแต่ละเดือนมีค่ามัธยฐานแตกต่างกัน จะสรุปว่าอนุกรมเวลามีอิทธิพลของฤดูกาล ถ้าผลการตรวจสอบพบว่าอนุกรมเวลามีเฉพาะแนวโน้ม ควรใช้วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ autoregressive integrated moving average: ARIMA(p, d, q) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรม อนุกรมเวลามีเฉพาะอิทธิพลของฤดูกาล ควรใช้วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย อนุกรมเวลามีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล ควรใช้วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ seasonal autoregressive integrated moving average: SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ (Box et al., 1994; Ket-iam, 2005; Manmin, 2006) จากผลการตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลในผลการวิจัยแสดงว่าปริมาณการส่งออกพลาสติกหรือแผ่นฟิล์มมีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้จะพิจารณาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการพยากรณ์ทางสถิติที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาทุกรูปแบบ เพื่อให้ครอบคลุมตัวแบบพยากรณ์ที่ดีที่สุด
- 3) ตรวจสอบข้อสมมุติ (assumptions) ของตัวแบบพยากรณ์คือ อนุกรมเวลาของค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการแจกแจงปกติ ด้วยการทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมิรโนฟ (Kolmogorov-Smirnov test: KS test) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน

ด้วยการทดสอบรันส์ (runs test) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ด้วยการทดสอบที (t-test) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา ด้วยการทดสอบของเลวินภายใต้การใช้อัมยฐาน (Levene's test based on median) ถ้าข้อสมมุติไม่เป็นจริง หมายความว่า ตัวแบบพยากรณ์ไม่เหมาะสม ไม่ควรนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่อไป

4) เปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ โดยการเปรียบเทียบปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นตั้งแต่เดือน มกราคมถึงเดือนธันวาคม 2564 จำนวน 12 เดือน ($n_2 = 12$) กับค่าพยากรณ์ เพื่อคำนวณค่า MAPE โดยตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด จัดเป็นตัวแบบที่มีความแม่นยำมากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด สูตร MAPE แสดงดังนี้ (Ket-iam, 2005)

$$MAPE = \frac{100}{n_2} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{Y_t} \right|$$

เมื่อ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ แทนค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t

Y_t แทนค่าจริงหรือค่าสังเกต ณ เวลา t

$\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการพิจารณาจากกราฟลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นชุดแรกตั้งแต่ เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2563 จำนวน 120 เดือน พบว่าปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นมีแนวโน้มลดลง และ เมื่อใช้การทดสอบที (t-test) เพื่อทดสอบสมมติฐาน พบว่าปริมาณการส่งออกมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 ($t = -5.1234$, $p\text{-value} < 0.0001$) โดยเมื่อแยกพิจารณาปริมาณการส่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาคือ ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนสิงหาคม 2559 จำนวน 68 เดือน พบว่าปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 ($t = -5.3986$, $p\text{-value} < 0.0001$) ขณะที่ช่วงเวลาเดือนกันยายน 2559 ถึงเดือนธันวาคม 2563 จำนวน 52 เดือน พบว่าปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 ($t = 2.4691$, $p\text{-value} = 0.017$) รวมถึงปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นมี อิทธิพลของฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย (Figure 1) ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล พบว่า ปริมาณการส่งออกมีค่ามัธยฐานในแต่ละปีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 ($\chi^2 = 52.829$, $p\text{-value} < 0.0001$) นั่นคือ อนุกรม เวลา มีแนวโน้ม และปริมาณการส่งออกหลังจากกำจัดแนวโน้มมีค่ามัธยฐานในแต่ละเดือนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 ($\chi^2 = 38.209$, $p\text{-value} < 0.0001$) นั่นคือ อนุกรมเวลา มีอิทธิพลของฤดูกาล ซึ่งการศึกษานี้ใช้วิธีการกำจัดแนวโน้มออกด้วยการหาร เนื่องจากอนุกรมเวลา มีการเคลื่อนไหวหรือมีการแกว่งตัวไม่คงที่เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป (Figure 1)

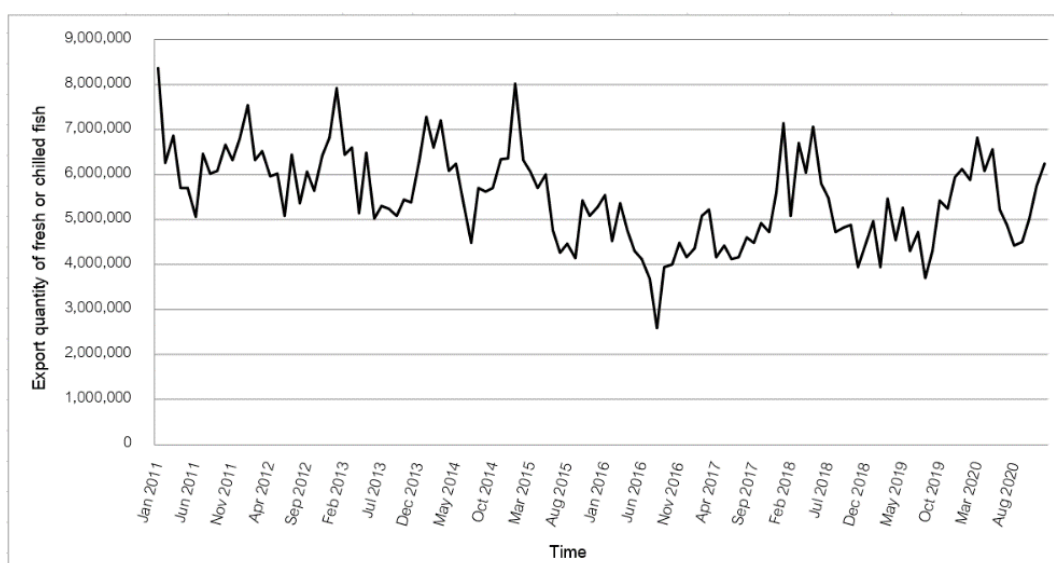


Figure 1 Run plot for the export quantity of fresh or chilled fish during January 2011 to December 2020.

ผลการตรวจสอบที่พบว่าอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นมีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล จึงแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) เพื่อกำจัดแนวโน้ม และหาผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 ($D = 1$) เพื่อกำจัดอิทธิพลของฤดูกาล แล้วสร้างกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (autocorrelation function: ACF) และกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (partial autocorrelation function: PACF) เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ พบว่าอนุกรมเวลาหลังจากการแปลงข้อมูลมีลักษณะคงที่ เนื่องจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (PACF) อยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นที่กำหนด ยกเว้นช่วงเวลาที่ 1, 5, 11, 12 ของกราฟ ACF ที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองเกินขอบเขตความเชื่อมั่นที่กำหนด จึงกำหนดให้ $q = 2$ และ $Q = 1$ และช่วงเวลาที่ 1, 11, 12, 24 ของกราฟ PACF ที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองเกินขอบเขตความเชื่อมั่นที่กำหนด จึงกำหนดให้ $p = 1$ และ $P = 2$ (Figure 2) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้นคือ ตัวแบบ SARIMA(1, 1, 2)(2, 1, 1)₁₂ ผลการคัดเลือกตัวแบบให้เหลือเฉพาะพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบว่าตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมคือ ตัวแบบ SARIMA(0, 1, 1)(0, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เมื่อแทนค่าประมาณพารามิเตอร์จากโปรแกรม SPSS จะได้ตัวแบบพยากรณ์ของแต่ละวิธีการพยากรณ์ (Table 1) และค่าดัชนีฤดูกาล (Table 2) ซึ่งสามารถอธิบายความหมายของค่าดัชนีฤดูกาลได้ดังนี้ จากวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายและวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก พบว่าปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นจะสูงในช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม พฤษภาคม และธันวาคม เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลมากกว่า 0 และจากวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ พบว่าปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นจะสูงในช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม พฤษภาคม และธันวาคม เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลมากกว่า 1

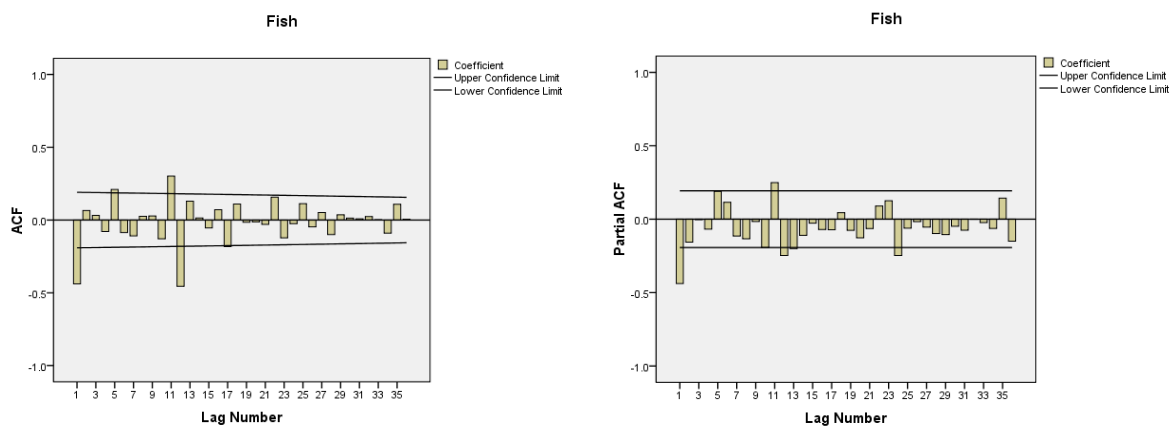


Figure 2 ACF and PACF of the transformed data ($d = 1$ and $D = 1$).

Table 1 Results of the forecasting model

No.	Forecasting methods	Forecasting model
1	Box-Jenkins	$SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_S :$ $\hat{\phi}_p(B)\hat{\phi}_p(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D\hat{Y}_t$ $= \hat{\delta} + \hat{\theta}_q(B)\hat{\theta}_q(B^s)e_t$ $SARIMA(0, 1, 0)(0, 1, 1)_S :$ $\hat{Y}_t = Y_{t-1} + Y_{t-12} - Y_{t-13} - 0.44007e_{t-1}$ $-0.72388e_{t-12} + 0.31856e_{t-13}$ where Y_{t-j} represents the time series at time $t-j$ and e_{t-j} represents the error at time $t-j$
2	Holt	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t(m)$ where $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$ $\hat{Y}_{t+m} = 5,888,238.46430$ $+ 12,594.25986(m)$
3	Brown	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t\left[(m-1) + \frac{1}{\alpha}\right]$ where $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)a_{t-1}$ $b_t = \alpha(a_t - a_{t-1}) + (1-\alpha)b_{t-1}$ $\hat{Y}_{t+m} = 5,605,240.23093$ $+ 154,716.84076\left[(m-1) + \frac{1}{0.37052}\right]$
4	damped	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^m \phi^i$ where $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + \phi b_{t-1})$ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)\phi b_{t-1}$ $\hat{Y}_{t+m} = 5,825,257.48347$ $+ 588,862.80669 \sum_{i=1}^m (0.41505)^i$
5	simple seasonal	$\hat{Y}_t = a_t + \hat{S}_t$ where $a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)a_{t-1}$ $\hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$ $\hat{Y}_t = 5,793,050.63142 + \hat{S}_t$
6	Winters' additive	$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m) + \hat{S}_t$ where $a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$ $\hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$ $\hat{Y}_{t+m} = (5,728,010.80788 - 11,825.71457m)$ $+ \hat{S}_t$
7	Winters' multiplicative	$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m)\hat{S}_t$ where $a_t = \alpha \frac{Y_t}{\hat{S}_{t-s}} + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$ $\hat{S}_t = \delta \frac{Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$ $\hat{Y}_{t+m} = (5,725,496.72864 - 11,558.68445m)$ $\times \hat{S}_t$

where $m = 1$ represents January 2021 and $\hat{S}_t$ is shown in Table 2.

Table 1 มีความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังนี้

$\hat{Y}_t$ และ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t และเวลา $t+m$ ตามลำดับ โดยที่ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

$\hat{\delta} = \hat{\mu}\hat{\phi}_p(B)\hat{\phi}_p(B^s)$ แทนค่าคงตัว (constant) โดยที่ $\hat{\mu}$ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่ (stationary)

$\hat{\phi}_p(B) = 1 - \hat{\phi}_1 B - \hat{\phi}_2 B^2 - \dots - \hat{\phi}_p B^p$ แทนตัวดำเนินการถดถอยในตัวเองอันดับที่ p กรณีไม่มีฤดูกาล (non-seasonal autoregressive operator of order p : AR(p))

$\hat{\phi}_p(B^s) = 1 - \hat{\phi}_1 B^s - \hat{\phi}_2 B^{2s} - \dots - \hat{\phi}_p B^{ps}$ แทนตัวดำเนินการถดถอยในตัวเองอันดับที่ P กรณีมีฤดูกาล (seasonal autoregressive operator of order P : SAR(P))

$\hat{\theta}_q(B) = 1 - \hat{\theta}_1 B - \hat{\theta}_2 B^2 - \dots - \hat{\theta}_q B^q$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ q กรณีไม่มีฤดูกาล (non-seasonal moving average operator of order q : MA(q))

$\hat{\theta}_Q(B^s) = 1 - \hat{\theta}_1 B^s - \hat{\theta}_2 B^{2s} - \dots - \hat{\theta}_Q B^{Qs}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ Q กรณีมีฤดูกาล (seasonal moving average operator of order Q: SMA(Q))

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดแรก ($n_1 = 120$)

s แทนจำนวนฤดูกาล ซึ่งอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกพลาสติกหรือเข้าเย็นเป็นข้อมูลรายเดือน ดังนั้น $s = 12$

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง (backward operator) โดยที่ $B^s Y_t = Y_{t-s}$

a_t และ b_t แทนค่าประมาณระยะตัดแกน Y และความชันของแนวโน้ม ณ เวลา t ตามลำดับ

α , γ , ϕ และ δ แทนค่าคงตัวการทำให้เรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$, $0 < \gamma < 1$, $0 < \phi < 1$ และ $0 < \delta < 1$

Table 2 Seasonal index from simple seasonal exponential smoothing method, Winters' additive exponential smoothing method, and Winters' multiplicative exponential smoothing method

Month	$\hat{S}_t$ from simple seasonal	$\hat{S}_t$ from Winters' additive	$\hat{S}_t$ from Winters' multiplicative
JAN	1,240,550	1,175,498	1.20628
FEB	162,258	109,024	1.02584
MAR	796,481	755,073	1.14173
APR	-67,518	-97,096	0.96062
MAY	319,088	301,341	1.01824
JUN	-594,150	-600,066	0.85838
JUL	-497,208	-491,292	0.87740
AUG	-801,789	-784,042	0.83250
SEP	-578,617	-549,040	0.90518
OCT	-172,663	-131,258	0.99020
NOV	-116,284	-63,054	0.98957
DEC	309,843	374,884	1.06587

ผลการตรวจสอบข้อสมมุติของตัวแบบพยากรณ์ พบว่าตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้น 6 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรม วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ มีข้อสมมุติเป็นจริงทุกข้อที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กล่าวคือ อนุกรมเวลาของค่าตลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการแจกแจงปกติ เคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา ขณะที่วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ มีค่าตลาดเคลื่อนไม่เป็นอิสระกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (p-value = 0.028) นั่นคือ ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ไม่เหมาะสมและไม่ควรนำไปใช้ในการพยากรณ์ (Table 3) ดังนั้นการศึกษานี้จะไม่นำวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ไปเปรียบเทียบความแม่นยำในการพยากรณ์

Table 3 The results of checking the assumptions of the forecasting models

No.	Forecasting methods	KS test	p-value	Runs test	p-value	t-test	p-value	Levene statistic	p-value
1	Box-Jenkins	0.439	0.991	-0.291	0.771	0.564	0.574	1.017	0.438
2	Holt	0.710	0.695	-2.200	0.028*	-0.034	0.973	0.862	0.579
3	Brown	0.596	0.869	-0.367	0.714	0.397	0.692	1.002	0.451
4	damped	0.630	0.822	-0.733	0.463	-0.184	0.854	0.933	0.512
5	simple seasonal	0.647	0.797	-1.467	0.142	-0.263	0.793	0.862	0.579
6	Winters' additive	0.607	0.854	-1.467	0.142	0.109	0.913	0.862	0.579
7	Winters' multiplicative	0.514	0.954	-1.100	0.271	0.259	0.796	0.766	0.672

* Significant at the 0.05 level.

เมื่อใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้น (Table 1) พยากรณ์ปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2564 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าจริงโดยการคำนวณค่า MAPE พบว่าวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรม (MAPE = 8.4696) รองลงมาคือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ (MAPE = 12.6880) (Table 4)

Table 4 Accuracy comparison

time	export quantity	Box-Jenkins	Brown	damped	simple seasonal	Winters' additive	Winters' multiplicative
Jan 2021	6,473,351	6,721,500	6,022,810	6,069,665	7,033,601	6,891,683	6,892,623
Feb 2021	6,556,253	5,877,511	6,177,527	6,171,107	5,955,309	5,813,384	5,849,708
Mar 2021	7,697,704	6,798,271	6,332,243	6,213,210	6,589,531	6,447,607	6,497,384
Apr 2021	7,060,539	5,984,788	6,486,960	6,230,685	5,725,533	5,583,612	5,455,605
May 2021	5,488,553	6,475,015	6,641,677	6,237,938	6,112,139	5,970,224	5,771,106
Jun 2021	6,198,910	5,482,012	6,796,394	6,240,948	5,198,900	5,056,990	4,855,103
Jul 2021	5,832,243	5,410,789	6,951,111	6,242,198	5,295,843	5,153,939	4,952,568
Aug 2021	6,811,500	4,948,800	7,105,828	6,242,716	4,991,262	4,849,363	4,689,489
Sep 2021	5,951,651	5,198,311	7,260,545	6,242,931	5,214,433	5,072,539	5,088,437
Oct 2021	6,163,091	5,712,757	7,415,261	6,243,021	5,620,387	5,478,496	5,554,951
Nov 2021	6,647,335	5,777,083	7,569,978	6,243,058	5,676,767	5,534,874	5,539,943
Dec 2021	7,476,901	6,263,581	7,724,695	6,243,073	6,102,894	5,960,986	5,954,784
MAPE		12.8751	<u>12.6880</u>	8.4696	14.0591	15.4561	15.8357

จากผลการตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลของอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นชุดแรก พบว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมควรจะเป็นวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ SARIMA วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ (Ket-iam, 2005; Manmin, 2006) ขัดแย้งกับผลการศึกษาที่พบว่าวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรมมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีค่า MAPE ต่ำที่สุด (MAPE = 8.4696) รองลงมาคือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ (MAPE = 12.6880) ซึ่งทั้ง 2 วิธีการพยากรณ์นี้มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีเพียงแนวโน้มเท่านั้น ขณะที่กลุ่มของวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีทั้งแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล เช่น วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ SARIMA วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณมีค่า MAPE สูงกว่า (MAPE = 12.8751, 15.4561 และ 15.8357 ตามลำดับ) (Table 4) ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้ อาจเนื่องมาจากช่วงเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม 2564 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณให้ค่าพยากรณ์ต่ำกว่าค่าจริง ขณะที่วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ให้ค่าพยากรณ์สูงกว่าค่าจริง แต่มีเพียงวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรมเท่านั้นที่ให้ค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าจริง (Figure 3) ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับการพยากรณ์ทุกครั้งควรพิจารณาวิธีการพยากรณ์ที่หลากหลาย เพื่อให้ครอบคลุมตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Keerativibool (2016) ที่พบว่าวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรมมีความเหมาะสมมากที่สุด แต่ไม่สอดคล้องกับ Riansut & Nisan (2017) และ Riansut (2019) ที่พบว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมมากที่สุด และไม่สอดคล้องกับ Riansut (2020) ที่พบว่าวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวกมีความเหมาะสมมากที่สุด อาจเนื่องมาจากการศึกษาข้อมูลต่างประเภทกัน

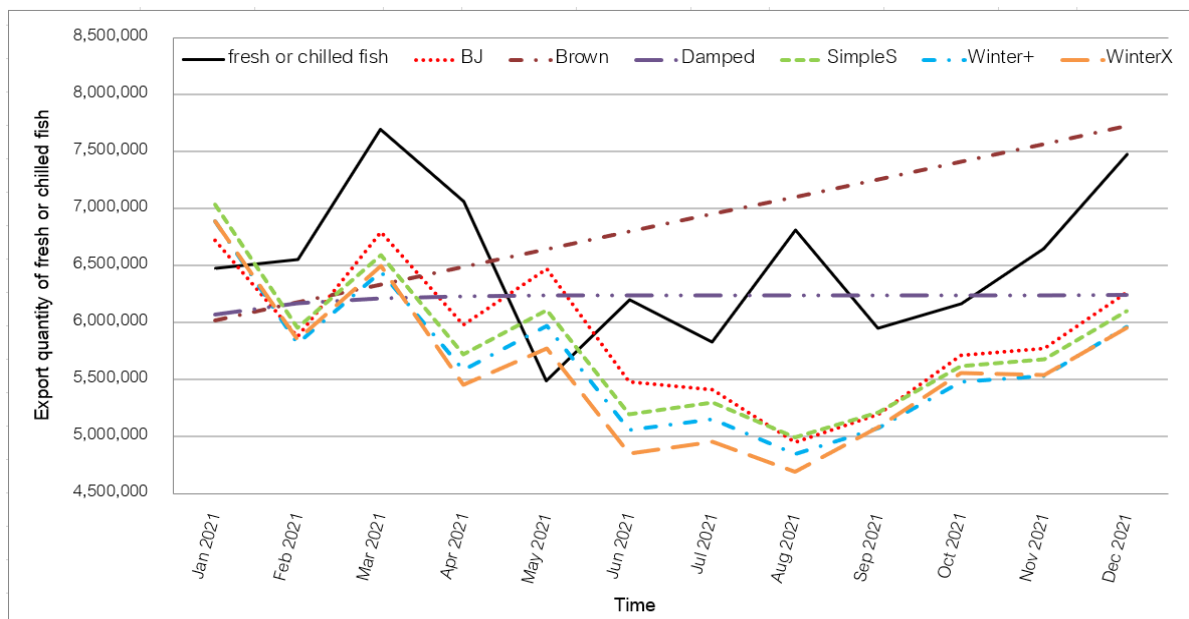


Figure 3 Comparison of the export quantity of fresh or chilled fish and its forecasts during January to December 2021.

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นของประเทศไทยด้วยวิธีการทางสถิติ 7 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ผลการศึกษาพบว่าวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก โดยมีตัวแบบพยากรณ์ ดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 5,825,257.48347 + 588,862.80669 \sum_{i=1}^m (0.41505)^i$$

เมื่อ $m = 1$ แทนเดือนมกราคม 2564

เมื่อใช้วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2565 พบว่าปริมาณการส่งออกมีแนวโน้มคงที่ มีค่าพยากรณ์ปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นเป็น 6,243,084 กิโลกรัม อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ได้พิจารณาเพียงปัจจัยเวลาเท่านั้นในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ซึ่งปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ และการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากปัจจัยเวลาดังนั้นเมื่อมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการส่งออกหรือมีข้อมูลที่เป็นปัจจุบันมากขึ้น ผู้วิจัยควรนำมาปรับปรุงตัวแบบเพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความแม่นยำยิ่งขึ้น สำหรับใช้ในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นในอนาคต ซึ่งค่าพยากรณ์ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางวางแผนการผลิตและส่งออกสำหรับกลุ่มผู้ผลิตและส่งออกปลาสดหรือแช่เย็น และยังใช้เป็นแนวทางให้รัฐบาลกำหนดนโยบายส่งเสริมการลงทุนและการตลาดของปลาสดหรือแช่เย็น เช่น ในเดือนที่คาดว่าจะมีการส่งออกปลาสดหรือแช่เย็นปริมาณมาก รัฐบาลควรมีนโยบายส่งเสริมให้กลุ่มผู้ผลิตเพิ่มปริมาณการผลิตให้สอดคล้องกัน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (1994). **Time Series Analysis: Forecasting and Control**. 3rd ed. Prentice Hall.
- Keerativibool, W. (2016). Forecasting the export quantity of frozen and chilled chicken. **RMUTP Research Journal**, 10(1), 37-50. (in Thai).
- Ket-iam, S. (2005). **Forecasting Technique**. 2nd ed. Thaksin University. (in Thai).
- Manmin, M. (2006). **Time Series and Forecasting**. Fore printing. (in Thai).
- Noppasao, J. (2013). **An Export Trending Analysis of Thai Chilled and Frozen Fresh Fishes**. Master's thesis. Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics (OAE). (2022a). **Thai Agricultural Products are still Strong in the Global Market, Office of Agricultural Economics Reveals that in 2021, Exports are still Growing, both FTA and ASEAN Trading Partners**. Retrieved from <https://www.oae.go.th/view/1/รายละเอียดข่าว/ข่าว%20สศก./38149/TH-TH>. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics (OAE). (2022b). **Export Statistics of Fresh or Chilled Fish, excluding Fillets and other Fillets**. Retrieved from: http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2554&E_YEAR=2564&PRODUCT_GROUP=5257&PRODUCT_ID=4095&wf_search=&WF_SEARCH=Y#export. (in Thai).
- Riansut, W., & Nisan, N. (2017). Forecasting the export volume of processed chicken. **Naresuan University Journal Science and Technology**, 25(2), 140-152. (in Thai).
- Riansut, W. (2019). Forecasting the export quantity of squid and products. **UTK Research Journal**, 13(2), 131-143. (in Thai).
- Riansut, W. (2020). Model for forecasting the quantity of frozen shrimp exports. **RMUTSB Academic Journal**, 8(1), 70-82. (in Thai).

การทำธุรกิจเกษตรอินทรีย์ของคนรุ่นใหม่ตลอดโซ่อุปทานการเกษตร

The Organic Business of the New Generation Throughout the Agricultural Supply Chain

รัตนาดี เศรษฐจิตร * และวิเชียร ลัทธพิงศ์พันธ์¹Rattanawadee Setthajit^{1*} and Wichian Lattipongpun¹

Received date: 30 มิ.ย. 66 Revised date: 23 ก.ค. 66 Accepted date: 25 ก.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.007>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิถีของการเป็นเกษตรกร ประเภทของเกษตรกร และผลลัพธ์ต่อตนเองและสังคมในการทำธุรกิจเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกรรุ่นใหม่ โดยการศึกษาจาก 20 ต้นแบบเกษตรกรรุ่นใหม่ที่ได้รับการยอมรับจากแวดวงเกษตรอินทรีย์ โดยใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ ด้วยการเก็บข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ ผลการวิจัยพบว่า ในช่วง ปี 2554-2564 มีอัตราการเติบโตของเกษตรอินทรีย์อย่างก้าวกระโดด ทั้งในเชิงพื้นที่และจำนวนเกษตรกร ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายรัฐบาลตามยุทธศาสตร์เกษตรอินทรีย์ 2560-2564 และ (ร่าง) แผนปฏิบัติการด้านเกษตรอินทรีย์ 2566-2570 โดยปัจจัยที่ทำให้คนรุ่นใหม่ทำเกษตรอินทรีย์มากขึ้นนั้นมีแรงจูงใจทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยดึง โดยมีรูปแบบการทำเกษตรอินทรีย์ จำนวน 9 รูปแบบ และ 2 ประเภท ที่มีความสอดคล้องกับวิถีชีวิต ความต้องการ และเป้าหมายของชีวิตวิถีใหม่ โดย เกษตรกรรุ่นใหม่มีวิถีการทำเกษตรตลอดทั้งโซ่อุปทานบนฐานนิเวศธุรกิจเกษตรอินทรีย์ทั้งงานต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ โดยผลที่เกิดขึ้นจากการที่คนรุ่นใหม่มาทำเกษตรอินทรีย์มีทั้งผลในเชิงรูปธรรมและนามธรรม โดยผลลัพธ์ในเชิงรูปธรรม คือ 1) มิติทางเศรษฐกิจ ได้แก่ การลดรายจ่าย และการมีรายได้ทั้งรายได้หลักและรายได้เสริม 2) มิติทางด้านสุขภาพ ได้แก่ สุขภาพกาย สุขภาพจิต สุขภาพสังคม ส่วนผลในเชิงนามธรรม ได้แก่ 1) เกิดความเปลี่ยนแปลงและขยายความหมายของคำว่าเกษตรกร 2) มีการส่งเสริมภาพลักษณ์เกษตรกร 3) ได้รับการสนับสนุนจากภาคส่วนต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน 4) สร้างการตระหนักรู้ถึงการมีชีวิตที่ดีด้วย “อาหาร” ให้กับผู้บริโภค

คำสำคัญ: เกษตรกรรุ่นใหม่ ธุรกิจ เกษตรอินทรีย์ โซ่อุปทานการเกษตร การสื่อสาร

Abstract

The objectives of this research were to investigate the way of being a farmer, the type of farmer, and the outcome on oneself and organic farming society of the new generation farmers. Twenty model farmers of the new generation accepted by organic farming community were studied using a qualitative research method with primary and secondary data collection. The results showed that there was a significant in growth rate of both area and number of agricultures during the years 2011-2021. These results are in line with the government policy of the Organic Agriculture Strategy 2017-2021 and the (draft) Organic Agriculture Action Plan 2023-2027. The factors that encourage the new generation to do more organic farming are push and pull factors. Nine patterns and two types of organic farming are in line with the way of life, needs, and goals of the new way of life, with the new generation of farmers having a way of farming throughout the supply chain based on organic farming business ecology, and upstream, middle, and downstream. The new generation involved in organic farming showed both concrete and symbolic effects. The concrete effects are: 1) The economic dimension is reducing expenditures and having income from both primary and supplementary sources. 2) The health dimension is physical health, mental health, and social health. The symbolic effects are: 1) There are a change and expansion of the meaning of the word farmers. 2) The image of farmers is promoted. 3) There is support from various sectors, both public and private sectors, and 4) raising awareness to consumers on living a good life with "food".

Keywords: new generation of farmers, business, organic farming, agricultural supply chain, communications

¹ สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.พัทลุง 93210

¹ Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung 93210

* Corresponding author: email warang27@gmail.com

คำนำ

จากการสำรวจของสถาบันวิจัยเกษตรอินทรีย์ (The Research Institute of Organic Agriculture: FiBL) ร่วมกับสหพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ (International Federations of Organic Agriculture Movements: IFOAM) ที่พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่เกษตรอินทรีย์เป็นอันดับ 4 ของภูมิภาคเอเชียหรืออันดับที่ 40 ของโลก มีพื้นที่ในการทำเกษตรอินทรีย์จำนวนร้อยละ 0.7 ของพื้นที่เกษตรทั้งหมด และมีการเติบโต คิดเป็นร้อยละ 361.7 ของเกษตรอินทรีย์ในช่วงระยะ 10 ปี (National Assembly Library of Thailand, 2022) ประกอบกับข้อมูลจากเอกสารยุทธศาสตร์การพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ (พ.ศ. 2560-2564) และ (ร่าง) แผนปฏิบัติการด้านเกษตรอินทรีย์ พ.ศ. 2566-2570 ที่มีวิสัยทัศน์ คือ ประเทศไทยเป็นผู้นำของภูมิภาคอาเซียนในการพัฒนาเกษตรอินทรีย์สร้างมูลค่าบนพื้นฐานการพัฒนาที่ยั่งยืน ภายในปี 2570 ซึ่งหนึ่งในประเด็นสำคัญ คือ การมุ่งพัฒนาเกษตรกรรุ่นใหม่ (Young Smart Farmer) ให้เข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ โดยส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เพื่อการผลิตในรูปแบบเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะ (Organic Smart Farming) ซึ่งระบุเป้าหมายที่จะมีพื้นที่เกษตรอินทรีย์ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานแล้วจำนวน 2,000,000 ไร่ และจำนวนเกษตรกรอินทรีย์จำนวน 130,000 คน นั้นแสดงให้เห็นถึงการกำหนดนโยบายเชิงรุกด้านเกษตรอินทรีย์ และที่มีแนวทางการพัฒนาข้อสำคัญอยู่ที่เกษตรกรรุ่นใหม่ (The National Organic Agriculture Development Committee, 2017)

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษากลุ่มคนรุ่นใหม่ที่เข้ามาสู่การทำเกษตรอินทรีย์ เพราะการทำเกษตรอินทรีย์ไม่เพียงแต่เปลี่ยนวิถีการทำมาหากิน แต่ยังเป็นการเปลี่ยนวิถีคิด วิถีการดำรงชีวิต รวมถึงเปลี่ยนสภาพแวดล้อม สังคม วัฒนธรรม จึงนับเป็นการปรับตัวที่รอบด้าน ต้องเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ระบบคิด จิตใจ และวิถีการดำรงชีวิต ตามนิยามของเกษตรอินทรีย์ที่หมายถึง “ระบบการผลิตที่ให้ความสำคัญกับความยั่งยืนของสุขภาพดิน ระบบนิเวศ และผู้คน เกษตรอินทรีย์พึงพาอาศัยกระบวนการทางนิเวศวิทยา ความหลากหลายทางชีวภาพและวงจรธรรมชาติที่มีลักษณะเฉพาะของแต่ละพื้นที่ แทนที่จะใช้ปัจจัยการผลิตที่มีผลกระทบทางลบ เกษตรอินทรีย์ผสมผสานองค์ความรู้พื้นบ้าน นวัตกรรม และความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และส่งเสริมความสัมพันธ์ที่เป็นธรรมของคุณภาพชีวิตที่ดีของทุกคนและสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง” (Panyakul, 2002) สัมพันธ์กับแรงจูงใจในการเข้าสู่อาชีพเกษตรในมิติต่างๆ ทั้งปัจจัยหลัก ที่เกิดขึ้นภายในตัวเกษตรกรเองที่จูงใจให้เปลี่ยนอาชีพ หรือหลักเข้าสู่วิถีการทำเกษตรอินทรีย์ (Crompton, 1979 quoted in Phoomborplub, 2018) และปัจจัยดิ่ง เป็นบริบททางสังคมและความเปลี่ยนแปลงต่างๆ เป็นปัจจัยภายนอกที่สนับสนุนให้เกิดการตัดสินใจทำเกษตรอินทรีย์ การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำเกษตรอินทรีย์ของคนรุ่นใหม่ตลอดโซ่อุปทานการเกษตร ตามวัตถุประสงค์การวิจัย คือ เพื่อศึกษาวิถีของการเป็นเกษตรกร ประเภทของเกษตรกร และผลกระทบต่อตนเองและสังคมการเกษตรของการทำเกษตรอินทรีย์โดยเกษตรกรรุ่นใหม่โดยศึกษากลุ่มเป้าหมาย คือ คนรุ่นใหม่ที่มีประสบการณ์ชีวิตในการทำงานอาชีพอื่นๆ มาก่อน แล้วย้ายมาเข้าสู่อาชีพเกษตรอินทรีย์ หรือคนที่ยังทำอาชีพอื่นๆ ควบคู่ไปกับการทำเกษตรอินทรีย์

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) มีระเบียบวิธีวิจัย คือ การเริ่มต้นด้วยการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการทำเกษตรอินทรีย์ของคนรุ่นใหม่จาก หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน สถาบันการศึกษาที่เกี่ยวข้อง และโครงการที่เกี่ยวข้องกับเกษตรกรรุ่นใหม่ ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ศึกษาข้อมูลทางการที่เกี่ยวข้องกับทิศทาง แนวโน้ม สถานการณ์ และโครงการต่างๆ ที่ภาครัฐสนับสนุนเกษตรกรรุ่นใหม่ (โครงการ Young Smart Farmer: YSF) จากหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรมส่งเสริมการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมพัฒนาที่ดิน และ สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม (สปก.) กลุ่มที่ 2 เก็บข้อมูลประเภทข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับโครงการสนับสนุนเกษตรกรรุ่นใหม่ เช่น การประกวด การอบรม การสร้างเครือข่าย จากหน่วยงานเอกชน ได้แก่ 1) บริษัท โทเทิล แอ็คเซ็ส คอมมูนิเคชั่น จำกัด (มหาชน) หรือ DTAC ที่ดำเนินโครงการเกษตรสำนึกรักบ้านเกิด 2) ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์ ที่สนับสนุนโครงการทายาทเกษตร และ 3) โครงการคนกล้าคืนถิ่น ที่ร่วมสนับสนุนโดยภาคเอกชน กลุ่มที่ 3 ข้อมูลการทำเกษตรแนวใหม่ จากมหาวิทยาลัยที่ดำเนินการสอนวิชาเฉพาะด้านนี้ในบริบทของการเป็นผู้ประกอบการด้านการเกษตร และหลักสูตรที่เกี่ยวกับเกษตรอินทรีย์ ได้แก่ 1) สำนักวิทยบริการการเกษตร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดน่าน 2) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 3) คณะวิทยาศาสตร์ หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเกษตรอินทรีย์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และ 4) สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เมื่อได้ข้อมูลปฐมภูมิจากเอกสารและการสัมภาษณ์จากหน่วยงานทั้งสามกลุ่มแล้ว จึงนำข้อมูลมาประมวลผลเพื่อสร้างเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรอินทรีย์ ที่เป็นต้นแบบจำนวน 20 ต้นแบบ โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกที่เริ่มต้นจากการขอรายชื่อบุคคลที่วงการเกษตรอินทรีย์ยอมรับว่าเป็นคนที่ประสบความสำเร็จในการทำเกษตรอินทรีย์ ได้แก่ 1) ได้รับการเสนอชื่อจากหน่วยงานที่ดำเนินโครงการด้านเกษตรอินทรีย์ทั้งภาครัฐและเอกชน 2) ได้รับการเสนอชื่อจากกลุ่ม สมาคม หรือเครือข่าย ในวงการเกษตรอินทรีย์ 3) ได้รับการเสนอชื่อจากสถาบันการศึกษาหลักสูตรที่เกี่ยวข้อง 4) บุคคลที่ได้รับการนำเสนอเรื่องราวผ่านสื่อมวลชน/สื่อสังคมออนไลน์จำนวน 10 สื่อขึ้นไป จากนั้นนำรายชื่อนี้ทั้งหมดมาจัดกลุ่ม โดยใส่รหัส A B C โดยให้ “A” แทนเกษตรกรรุ่นใหม่ที่กำลังทำอาชีพเกษตรกรรมเต็มตัว “B” แทนเกษตรกรที่ทำอาชีพอื่นๆ ควบคู่ไปกับการทำเกษตร และ “C” แทนเกษตรกรที่ทำเกษตรเพื่อวัตถุประสงค์อื่นๆ นอกเหนือจากเรื่องเศรษฐกิจเป็นหลัก และได้ใส่หมายเลขกำกับลำดับบุคคล จากนั้นจึงมีการลงพื้นที่สัมภาษณ์คนต้นแบบที่ได้รับคำแนะนำมา เช็กข้อมูล รวมถึงให้ต้นแบบทำสนทนากลุ่ม (Snowball) เพื่อเป็นการตรวจสอบรายชื่อจากที่ได้รับการเสนอมาอีกครั้ง จากนั้นจึงได้สัมภาษณ์ สนทนากลุ่ม สังเกต เกษตรกรรุ่นใหม่ทั้ง 20 ต้นแบบ ที่มีภูมิหลังที่แตกต่างกันด้วยเกณฑ์การวิเคราะห์ภูมิหลังในหัวข้อต่อไปนี้ 1) อาชีพเดิมก่อนมาทำเกษตรอินทรีย์ หรืออาชีพปัจจุบัน สำหรับเกษตรกรควบคู่/เกษตรตามฝัน 2) การเรียน/ประสบการณ์ด้านการสื่อสาร 3) พื้นฐานเกษตรของครอบครัว 4) การมีที่ดินในตอนเริ่มต้นทำเกษตร 5) ช่องทางการสื่อสารของตัวเอง 6) แบรินด์สินค้า โดยทั้ง 20 ต้นแบบมีภูมิลำเนาที่กระจายอยู่ทั้ง 4 ภาค และมีอายุอยู่ในช่วง 45-55 ปี มีอาชีพที่หลากหลายทั้งที่เกี่ยวข้องกับเกษตรและไม่เกี่ยวข้อง ได้แก่ นักพัฒนาชุมชน นักจัดสวน นักธุรกิจการเกษตร นักปรับปรุงพันธุ์สัตว์ นักการเมืองท้องถิ่น วิชาชีพในวงการภาพยนตร์ นักโฆษณา บัณฑิตจบใหม่/ชายของอิสระ การเงิน/การลงทุน/บัญชี พนักงานเอกชนสายการผลิต ข้าราชการครู นักแปล อาจารย์ด้านวิทยาศาสตร์ อาจารย์ด้านสังคมศาสตร์ และ วิศวกร (บางอาชีพมีจำนวนมากกว่า 1 คน) จากนั้นจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ ร่วมกับข้อมูลสื่อที่เกษตรกรรุ่นใหม่สร้างขึ้นผ่านแพลตฟอร์มต่าง ๆ แล้วจึงนำมาเขียนวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้ตามวัตถุประสงค์การวิจัย

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเติบโตของเกษตรกรอินทรีย์ในประเทศไทย

ในช่วง 10 ปี (พ.ศ.2554-2564) มีอัตราการเติบโตอย่างก้าวกระโดด ทั้งในเชิงพื้นที่และจำนวนเกษตรกร ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายรัฐบาลตามยุทธศาสตร์เกษตรอินทรีย์ 2560-2564 และ (ร่าง) แผนปฏิบัติการด้านเกษตรอินทรีย์ 2566-2570 โดยในปี 2564 มีพื้นที่เกษตรอินทรีย์เป็นจำนวน 1,515,132 ไร่ เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงจากปี 2560 ที่มีจำนวน 1,336,180 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 746 ส่วนจำนวนเกษตรกรอินทรีย์ในปี 2564 มีจำนวน 95,752 ราย เพิ่มขึ้นจากปี 2560 จำนวน 82,451 ราย คิดเป็นร้อยละ 619.9 จากแผนและทิศทางด้านนโยบายของประเทศที่มีการสนับสนุนการทำเกษตรอินทรีย์อย่างต่อเนื่องนี้ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดกระแสคนรุ่นใหม่ได้เข้ามาสู่ระบบเกษตรอินทรีย์หลากหลายรูปแบบทั้งรูปแบบการเปลี่ยนอาชีพสู่การเป็นเกษตรกรอินทรีย์แบบเต็มตัว รูปแบบการทำอาชีพเกษตรอินทรีย์ควบคู่กับงานประจำอื่นๆ หรือ เกษตรกรอินทรีย์ที่มุ่งตอบโจทย์ความฝันหรือวิถีชีวิตที่ต้องการความมั่นคงทางอาหาร สุขภาพ

ปัจจัยที่ทำให้คนรุ่นใหม่ทำเกษตรอินทรีย์มากขึ้น

จากการวิจัยพบว่าคนรุ่นใหม่ได้มุ่งสู่การทำเกษตรอินทรีย์มีแรงจูงใจอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ ปัจจัยผลัก (Push Factor) และปัจจัยดึง (Pull Factor) (Crompton, 1979 quoted in Phoomborplub, 2018) ได้ข้อค้นพบตามตารางต่อไปนี้ (Table 1)

Table 1 Motivation for the new generation to do organic farming

Farmer	Push factor								Pull factor					Total	
	Knowledge	Escape	Challenge	Self-exploratory	Relaxation	Prestige	Regression	Kinship-enhancement	Social interaction	Economics	Social/Cultural	Geography	Policy/Government		Technology
A1	/		/		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12
A2	/		/			/	/	/	/	/	/	/	/	/	11
A3	/	/	/			/		/	/	/	/	/		/	10
A4		/						/		/		/		/(-)	5
A5		/		/	/					/		/			5
A6	/		/				/(-)	/(-)		/	/	/	/		8
A7	/		/		/			/		/	/	/			7
A8						/		/		/	/	/			5
A9	/		/					/		/	/	/	/		7
A10		/			/			/	/	/	/	/			7
A11	/	/	/		/		/	/	/	/	/	/			10
A12	/							/		/	/	/			5
B1	/		/				/	/	/	/	/	/			8
B2							/	/	/	/	/	/		/	7
B3							/	/	/		/	/			5
B4					/		/	/	/	/	/	/			7
C1					/			/	/	/	/	/			6
C2					/			/	/			/			3
C3			/	/	/				/	/	/	/	/		8
C4			/	/	/	/	/		/	/	/	/		/	9
รวม	9	5	10	3	10	5	9	17	13	18	17	20	5	6	
ร้อยละ	45	25	50	15	50	25	45	85	65	90	85	100	25	30	
ละ	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%			%	%	

สรุปผลจากการวิจัยพบว่า

- 1) เกษตรกรทุกคน ในทุกกลุ่ม ได้รับแรงบันดาลใจร่วมทั้งสองส่วน คือ ปัจจัยหลัก และ ปัจจัยดึง
- 2) จำนวนของเกษตรกรรุ่นใหม่ที่เข้ามาทำเกษตรอินทรีย์มีแรงผลักดันด้านครอบครัวสูงที่สุด ส่วนปัจจัยดึงที่มากที่สุด คือ ปัจจัยด้านภูมิศาสตร์ เศรษฐกิจ และสังคม/วัฒนธรรม ตามลำดับ
- 3) กลุ่มเกษตรกรรุ่นใหม่ที่เปลี่ยนอาชีพ และอาชีพควบคู่ มีปัจจัยผลร่วมกันคือ เรื่องของความท้าทาย
- 4) ปัจจัยหลักและปัจจัยดึงที่กลุ่มเกษตรกรกลุ่มเปลี่ยนอาชีพมีเหมือนกัน คือ มิติของครอบครัว ที่ส่วนใหญ่มองว่าการทำอาชีพเกษตรกรรมสามารถตอบโจทย์เรื่องการดูแลครอบครัวได้ ทั้งบทบาทของลูกที่ต้องการกลับไปดูแลพ่อแม่ หรือ บทบาทพ่อแม่ที่ต้องการมีเวลาในการดูแลลูก ส่วนในฝั่งของปัจจัยดึง คือ มิติทางเศรษฐกิจและภูมิศาสตร์
- 5) กลุ่มเกษตรกรควบคู่ มีปัจจัยหลักที่ครบทุกคน คือ ปัจจัยเรื่องความท้าทาย ด้านการยอมรับถึงอดีต การเชื่อมต่อกับสังคม และปัจจัยทางด้านเทคโนโลยี
- 6) แรงจูงใจของกลุ่มเกษตรกรตามพื้นที่ปัจจัยผลร่วมกัน คือ การต้องการความผ่อนคลาย การปฏิสัมพันธ์กับสังคม และปัจจัยทางภูมิศาสตร์
- 7) แรงจูงใจทางด้านการผลึกและการดึงของเกษตรกรรุ่นใหม่ที่เป็นเกษตรกรเต็มตัว มีความสัมพันธ์กัน คือ แรงจูงใจทางด้านความมั่นใจในความรู้ที่จะสามารถทำเกษตรได้ และการขึ้นขอบความท้าทายกับประสบการณ์ใหม่
- 8) ในบางกรณีแรงดึงดูดก็เป็นแรงผลัก/แรงดึง ที่มาจากทางลบ เช่น ปัจจัยดึงจากเทคโนโลยี แต่เป็นการถูก disruption จากเทคโนโลยีทำให้ยากเปลี่ยนอาชีพ หรือ ปัจจัยจากความทรงจำในวัยเด็กและความผูกพันกับครอบครัว ที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเลือกที่จะหลีกเลี่ยงการกลับไปอยู่บ้าน เพราะความทรงจำที่ไม่ดี และไม่อยากกลับไปทำงานที่บ้าน จึงเลือกการทำเกษตรกรรมในพื้นที่อื่นๆ แทน เป็นต้น

จากแนวคิดปัจจัยหลักและปัจจัยดึง (Crompton, 1979 quoted in Phoomborplub, 2018) ที่อธิบายปัจจัยหลัก (Push Factors) ออกเป็น 7 ข้อ ได้แก่ 1) การหลีกเลี่ยงจากสภาพแวดล้อมที่จำเจในชีวิตประจำวัน (Escape) 2) การค้นหาและประเมินตนเอง (Self-Exploratory) 3) การพักผ่อนหย่อนใจ (Relaxation) 4) ความรู้สึกที่มีเกียรติยศ ชื่อเสียง ความมีหน้ามีตา (Prestige) 5) การกลับสู่ความเป็นตัวเองหรือย้อนสู่อดีต (Regression) 6) ความต้องการกระชับความสัมพันธ์ในครอบครัว (Kinship-enhancement) 7) การต้องการมีความสัมพันธ์ทางสังคมกับบุคคลอื่น (Social Interaction) ในงานวิจัยนี้ได้ขยายปัจจัยหลักออกไปอีก 2 ปัจจัย ได้แก่ 8) ความมั่นใจในองค์ความรู้ (Knowledge Confidence) 9) ความท้าทายและต้องการเอาชนะ (Challenge) เนื่องจากเกษตรกรรุ่นใหม่ที่เปลี่ยนฐานการทำงานจากอาชีพอื่นๆ เข้าสู่อาชีพเกษตรอินทรีย์ต้องใช้องค์ความรู้ที่หลากหลาย ทั้งองค์ความรู้ด้านเกษตรและอื่นๆ เพื่อให้ธุรกิจเกษตรอินทรีย์มีความอยู่รอดได้ จึงต้องใช้ความมั่นใจในองค์ความรู้ที่มีซึ่งถือเป็นทุนความรู้ที่สั่งสมก่อนหน้าให้นามาใช้ ให้มั่นใจในศักยภาพของเองที่จะฝ่าฟันโดยเฉพาะกลุ่มคนรุ่นใหม่ที่ตัดสินใจเปลี่ยนอาชีพเข้ามาสู่อาชีพเกษตรอินทรีย์เต็มตัว อีกทั้งในบางกรณีศึกษาต้องต่อสู้กับความคิดเห็นของคนรอบข้าง ทั้งครอบครัว สังคม จึงมองว่าการเข้ามาทำอาชีพเกษตรอินทรีย์นี้เป็นการเอาชนะ เป็นความท้าทายที่จะประกอบอาชีพนี้ด้วย ข้อค้นพบจากการวิจัยนี้ ทำให้เห็นแนวทางในการสนับสนุนเกษตรกรใน Generation ใหม่ที่มีความเป็นตัวของตัวเอง มีทางเลือก มีประสบการณ์จากอาชีพอื่นๆ การสนับสนุนให้เกิดการผสมผสานองค์ความรู้ ประสบการณ์จากต้นทุนเดิมที่มี มาออกแบบการทำเกษตรอินทรีย์ให้มีผลผลิตตามแนวทางของตนเองจึงมีความจำเป็น และมีแนวทางการต่อยอดในการเป็นผู้ประกอบการเกษตรอินทรีย์ ที่ตอบเป้าหมายของชีวิตได้มากกว่า

ในส่วนของปัจจัยดึง (Pull Factor) ที่ทำให้ทราบว่ายังมีแรงดึงอื่นๆ นอกเหนือจากการสนับสนุนของภาครัฐ เอกชน และส่วนงานที่เกี่ยวข้อง รวมเป็น 5 ปัจจัย ได้แก่ 1) ปัจจัยทางเศรษฐกิจ (Economics) 2) ปัจจัยทางสังคมหรือวัฒนธรรม (Social/Cultural) 3) ปัจจัยทางด้านภูมิศาสตร์ (Geography) 4) ปัจจัยทางด้านนโยบายหรือแนวทางการทำงานของรัฐบาล (Policy/Government) และ 5) ปัจจัยทางด้านเทคโนโลยี (Technology) ที่ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่าเกษตรกรอินทรีย์ต้นแบบมีความสำคัญกับปัจจัยทางเศรษฐกิจ และปัจจัยทางสังคมหรือวัฒนธรรมสูงที่สุด เพราะการทำเกษตรอินทรีย์ของคนรุ่นใหม่ นับเป็นสนามของการประกอบอาชีพ มีความเกี่ยวข้องกับปากท้องของตนเองและครอบครัว ดังนั้นจึงมองความหมายของคำว่า “เกษตรอินทรีย์” ที่ครอบคลุมระบบเศรษฐกิจ เป็นอาชีพที่ต้องพึ่งพาตัวเองได้ ในรูปแบบที่แตกต่างไปจากเกษตรดั้งเดิม จึงต้องมีการปรับวิถีชีวิตของตนเองให้ไปไกลกว่าคำว่า “เกษตรกร” แต่ได้ผสมผสานคำว่า “ธุรกิจ” หรือ “ผู้ประกอบการ” เข้าไปในวิถีชีวิต วิถีปฏิบัติ ในการทำเกษตรอินทรีย์ แตกต่างจากเกษตรดั้งเดิมที่มองการเกษตรเป็นการทำอาชีพเกษตร ที่มีความหมายถึงการผลิต

และจบที่การได้ผลผลิตส่งให้กับผู้รับซื้อเท่านั้น (Kampheangphet, 2017) ที่ศึกษาแนวทางการสร้างเกษตรกรไปสู่การเป็นผู้ประกอบการเกษตรกรปราดเปื่อง (Smart Farmer) ที่มีคุณลักษณะผู้ประกอบการเกษตรกรในธุรกิจเกษตรอินทรีย์ของประเทศไทยยุค 4.0 มีแนวทางที่ต้องระบุให้ชัดเจนว่าต้องการสร้างเกษตรกรกลุ่มไหน คือ เกษตรกรดั้งเดิมไปสู่การเกษตรแบบใหม่หรือกลุ่มคนรุ่นใหม่ที่ไม่ใช่เกษตรกรแล้วต้องการไปทำเกษตร เพราะมีแนวทางที่ไม่เหมือนกัน โดยในงานวิจัยนี้ ได้เน้นย้ำการสร้างเกษตรกรรุ่นใหม่ที่ไม่เปลี่ยนจากเกษตรกรแบบดั้งเดิมไปสู่การเกษตรสมัยใหม่ที่ต้องรอบรู้ในระบบการผลิต เน้นการบริหารจัดการโดยใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในธุรกิจ วิเคราะห์เชื่อมโยงและบริหารจัดการการผลิตและการตลาด ตัดสินใจด้วยข้อมูล อีกทั้งยังคำนึงถึงคุณภาพและความปลอดภัยของผู้บริโภค สังคม สิ่งแวดล้อม ที่สำคัญมีความภูมิใจในการเป็นเกษตรกร ไม่ล้มท้อถอย โดยต้องมีการทำงานที่พัฒนาทั้งห่วงโซ่อุปทาน ยกกระตือรือร้นมาตรฐานสินค้าเกษตร ลดต้นทุน ลดความเสี่ยงจากศัตรูพืชและภัยธรรมชาติ และมีการจัดการ/ส่งผ่านความรู้ด้วย (Kaewthep, 2015)

ปัจจัยผลและปัจจัยตั้งทั้ง 14 หัวข้อนี้สะท้อนให้เห็นถึงวิถีชีวิตของคนรุ่นใหม่ เป็นแรงจูงใจที่หลากหลาย สร้างทางเลือกรูปแบบในการทำเกษตรอินทรีย์ที่แตกต่าง เลือกประเภทการดำเนินธุรกิจเกษตรอินทรีย์ และส่งผลถึงผลลัพธ์จากการเป็นเกษตรกรอินทรีย์ทั้งต่อตนเองและแวดวงเกษตรอินทรีย์ ดังจะกล่าวต่อไป

รูปแบบการทำเกษตรอินทรีย์ของคนรุ่นใหม่

การที่คนรุ่นใหม่เข้ามาทำเกษตรอินทรีย์ทำให้เกิดรูปแบบการทำเกษตรที่หลากหลาย สอดคล้องกับวิถีชีวิต ความต้องการ และเป้าหมายของชีวิตวิถีใหม่ โดยจากการศึกษาทั้ง 20 ต้นแบบ พบว่ามีแนวทางการเข้าสู่อาชีพวิถีเกษตรอินทรีย์ จำนวน 9 รูปแบบ ได้แก่

- 1) การเข้าสู่การเป็นเกษตรกรเต็มตัว (รายได้หลักมาจากเกษตรอินทรีย์) และปักหลักบนเส้นทางของการเป็นเกษตรกรเต็มตัว มาตลอด (A)
- 2) การทำเกษตรแบบควบคู่ไปกับงานประจำอื่น (รายได้ 2 ทาง) และยังคงทำอาชีพควบคู่ต่อไป (B)
- 3) การทำเกษตรกรรมแบบที่มุ่งตอบโจทย์ด้านความฝัน (ไม่สนใจรายได้จากการทำเกษตร) และยังคงเรื่องเกษตรกรรมเป็นอาชีพที่ทำตามฝัน มีแบ่งปัน และแบ่งขายบ้าง (C)
- 4) เริ่มจากเกษตรกรเต็มตัว แล้วปรับเปลี่ยนเป็นเกษตรควบคู่ (A --> B)
- 5) เริ่มจากเกษตรกรเต็มตัว แล้วกลับออกมาสู่เกษตรกรรมตามฝัน (A --> C)
- 6) เริ่มจากเกษตรกรควบคู่ แล้วหันกลับไปเหลือเป็นเพียงเกษตรกรรมตามความฝัน (B --> C)
- 7) เริ่มจากเกษตรกรควบคู่ แล้วมุ่งสู่การเป็นเกษตรกรเต็มตัว (B --> A)
- 8) เริ่มจากเกษตรกรรมตามความฝัน ผันไปเป็นเป็นเกษตรกรควบคู่ (C --> B)
- 9) เริ่มจากการเป็นเกษตรกรรมตามความฝัน แล้วผันไปเป็นเกษตรกรเต็มตัว (C --> A)

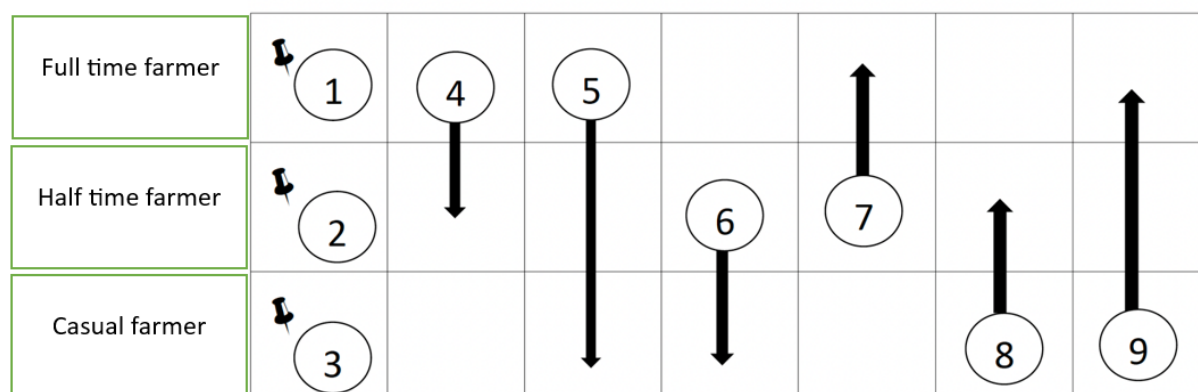


Figure 1 Pattern of new generations farmers entering the way of organic farming

ประเภทของเกษตรกรรุ่นใหม่

จากการที่คนรุ่นใหม่เข้ามาทำเกษตรอินทรีย์ในรูปแบบที่หลากหลายนี้ (Figure 1) กล่าวคือ คนรุ่นใหม่มีโอกาสเลือกเส้นทางว่าจะเข้ามาทำอาชีพเกษตรอินทรีย์ได้มากถึง 9 รูปแบบ ได้แก่ การทำเกษตรแบบเต็มเวลา การทำควบคู่ หรือทำเป็นเกษตรกรตามความฝัน การมีทางเลือก (Choices) ในการเข้าสู่อาชีพนี้ทำให้เห็นว่าการทำเกษตรอินทรีย์เป็นทางเลือกที่คนรุ่นใหม่มีโอกาสได้เปลี่ยนเส้นทางการทำมาหากิน และมีโอกาสเลือกรูปแบบใดมีความเหมาะสมกับตัวเอง โดยการวิจัยนี้พบว่าเกษตรกรรุ่นใหม่อยู่ 2 ประเภทหลัก คือ 1) กลุ่มที่เข้ามาในสถานะใด ก็คงสภาพสถานะนั้น ได้แก่ เกษตรกรแบบเต็มเวลา เกษตรกรอาชีพควบคู่ และเกษตรกรตามฝัน และประเภทที่ 2) เกษตรกรรุ่นใหม่ที่เปลี่ยนรูปแบบการทำเกษตรอินทรีย์อย่างน้อย 2 รูปแบบขึ้นไป ซึ่งมีการเปลี่ยนรูปแบบไปมาในการทำอาชีพเกษตรอินทรีย์หลากหลายรูปแบบ นอกจากนี้ยังมีโอกาสเลือกรูปแบบการทำเกษตร เช่น การปลูกข้าว ปลูกผัก ปลูกดอกไม้ แปรรูป บริการด้านการท่องเที่ยว เพื่อหาสิ่งที่พอดีและพอใจ ที่มีความแตกต่างกับเกษตรกรรุ่นก่อนที่มีโอกาสเลือกน้อย การทำอาชีพเกษตรกรรมของคนรุ่นก่อนมีโอกาสเลือกเพียงว่า “ทำเกษตร” หรือ “ไม่ทำเกษตร” เท่านั้น สะท้อนให้เห็นโอกาสและทางเลือกที่แตกต่างกันตั้งแต่เริ่มต้นการเข้าสู่อาชีพเกษตรกรรม สัมพันธ์กับแนวคิดเรื่อง “ทุน” ที่อยู่เบื้องหลังของคนรุ่นใหม่ ที่สามารถทำให้คงอยู่ในรูปแบบเดิมที่กำหนดไว้ได้ หรือการเปลี่ยนประเภทของการทำเกษตรอินทรีย์ระหว่างเต็มเวลา ควบคู่ และตามฝัน ล้วนแต่ต้องมี “ทุน” สอดคล้องกับแนวคิดเรื่องทุน (Pierre Bourdieu, 1986 quoted in Kaewthep, & Hinwiman, 2010) ว่าต้องมีทุนที่สั่งสมเพื่อใช้สำหรับการแปลงทุนเพื่อไปสู่เป้าหมาย ไม่ว่าจะเป็นทุนเศรษฐกิจ ทุนวัฒนธรรม ทุนสังคม หรือทุนสัญลักษณ์เป็นฐานสำคัญให้สามารถขยับไปมาได้ ซึ่งแตกต่างจากเกษตรกรรุ่นเดิมที่แม้จะต้องการปรับเปลี่ยนไปทำรูปแบบใหม่ก็ไม่สามารถทำได้เพราะไม่ได้สั่งสมทุนมาตั้งแต่ต้น และตอบสนองกับรสนิยม หรือวิถีการทำงานของคนรุ่นใหม่ที่อาศัยความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนเพื่อหาวิถีทางที่เหมาะสมกับตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบในส่วนปัจจัยผลึกข้างต้น

เกษตรกรรุ่นใหม่มีวิธีการทำเกษตรตลอดทั้งโซ่อุปทานบนฐานนิเวศธุรกิจเกษตรอินทรีย์

จากการวิจัยพบว่าเกษตรกรรุ่นใหม่มีองค์ความรู้ในการทำเกษตรอินทรีย์ตลอดทั้งโซ่อุปทาน ด้วยลักษณะเฉพาะของเกษตรอินทรีย์ที่ให้ความสำคัญตั้งแต่กระบวนการผลิตที่สัมพันธ์กับธรรมชาติ เชื่อมโยงกับการดำเนินธุรกิจเกษตรอินทรีย์ตลอดทั้งโซ่อุปทาน (Tinnaphop, 2016) ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่าเกษตรกรรุ่นใหม่มีความเข้าใจในการทำเกษตรอินทรีย์ทั้งระบบ แต่ในการทำงานนั้นได้เลือกทำเพียงบางโซ่ ตามปัจจัยเงื่อนไขของแต่ละคน โดยทุกคนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับโซ่อุปทานว่าคืออะไร เกี่ยวข้องกับใครบ้าง และหากไม่สามารถทำได้เองจะไปติดต่อกับใคร โดยแบ่งเป็นกระบวนการทำงานในแต่ละโซ่ทั้งงานต้นน้ำ งานกลางน้ำ และงานปลายน้ำ

1) **งานต้นน้ำ** ในส่วนนี้จัดเป็นงานในส่วนของการผลิตพืชผล กลุ่มเกษตรกรรุ่นใหม่มุ่งเน้นการผลิตให้ได้มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ที่ครอบคลุมการดูแลดิน น้ำ ทรัพยากรโดยรอบพื้นที่เกษตรอินทรีย์ มีเป้าหมายคือ การผลิต และดูแลปัจจัยการผลิตที่ดี อยู่ในมาตรฐานเพื่อให้สามารถรับรองผลตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ โดยในการทำเกษตรอินทรีย์ในต้นน้ำนี้มักเริ่มต้นที่ตัวเอง ทดลองทำ จากนั้นจึงเป็นการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเครือข่าย พัฒนาตนเองด้วยการค้นคว้า การอบรมกับหน่วยงานต่างๆ ที่จัดขึ้น โดยในบางกรณีที่สามารถเข้าถึงตลาดที่ใหญ่ขึ้นจนเกินกำลังการผลิตแบบปัจเจก จึงได้มีการประสานงานกับเครือข่ายเพื่อรวมผลผลิตไปขายร่วมกัน โดยเครือข่ายนี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 เครือข่ายเกษตรกรรุ่นใหม่ที่เกี่ยวข้องในการผลิตและเข้าใจปัจจัยการผลิต และ กลุ่มที่ 2 เกษตรกรดั้งเดิมที่ผลิตพืชผลเกษตรอินทรีย์ได้ตามมาตรฐาน

2) **งานกลางน้ำ** การทำงานในส่วนนี้มุ่งเน้นที่การเพิ่มมูลค่าสินค้าที่มีอยู่ให้สามารถขายได้ในราคาที่สูงขึ้น โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มงาน ได้แก่ การแปรรูป การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ และการสร้างแบรนด์ โดยในส่วนของงานกลางน้ำนี้มักมีการอบรมโดยภาคส่วนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน รวมถึงเครือข่ายเกษตรกรรุ่นใหม่ด้วยกัน ทำให้การค้นหาคำความรู้ และเกิดเครือข่ายการแลกเปลี่ยนทำได้สะดวก รวดเร็ว

3) **งานปลายน้ำ** งานในส่วนนี้เป็นการทำงานด้านการตลาด ประกอบด้วยการสื่อสารการตลาดและลูกค้าสัมพันธ์ จากการวิจัยนี้พบว่าเกษตรกรรุ่นใหม่ได้ดำเนินการงานปลายน้ำสำคัญๆ ได้แก่ งานการสื่อสารการตลาด และงานลูกค้าสัมพันธ์ โดยในส่วนของงานการสื่อสารการตลาดนั้น เกษตรกรรุ่นใหม่มีวัตถุประสงค์สำคัญอยู่ 3 ส่วน ได้แก่ การสื่อสารเพื่อสร้างฐานลูกค้าใหม่ การสื่อสารเพื่อการธำรงรักษาลูกค้าประจำ และการสื่อสารเพื่อให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเกษตรอินทรีย์ให้กับสาธารณะ

ข้อสรุปจากการวิจัยนี้ทำให้เห็นว่า เกษตรกรรุ่นใหม่ได้ขยายขอบเขตการทำเกษตรกรรมจากเดิมที่มักมีการผลิตเชิงต้นน้ำ ที่มุ่งการสร้างผลผลิตและขายให้กับผู้รับซื้อเท่านั้น แต่เมื่อเกษตรกรรุ่นใหม่เข้ามาทำเกษตรอินทรีย์ได้มีการศึกษาให้เข้าใจวิถีการทำเกษตรกรรมตลอดทั้งโซ่อุปทาน ทั้งงานต้นน้ำ งานกลางน้ำ และงานปลายน้ำ โดยอาจมีบางคนที่ทำตั้งแต่ผลิตจนกระทั่งส่งถึงมือ

ผู้บริโภคร (Saroenrum, 2019) เมื่อเป็นการทำเกษตรในพื้นที่ขนาดเล็ก และมีการทำบางโซ่อุปทาน แต่สามารถสื่อสารให้เข้าใจและเรียนรู้ตลอดทุกโซ่เพื่อให้ทราบสถานการณ์และเห็นปัญหาที่จะเกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการได้ทำให้ต้องใช้ทักษะที่หลากหลาย โดยเฉพาะทักษะด้านการสื่อสารเพื่อสร้างความเข้าใจและอธิบายให้เข้าใจตรงกันตลอดโซ่อุปทาน ซึ่งในการทำงานตลอดโซ่อุปทานนี้มีเป้าหมายและเครือข่ายที่เชื่อมโยงกันและสัมพันธ์กันในระบบนิเวศเกษตรอินทรีย์ของคนรุ่นใหม่ สามารถจัดการกับปัญหาที่เข้ามาได้อย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นปัญหาเรื่องต้นน้ำ กลางน้ำ ปลายน้ำ (Kampheangphet, 2017) ที่มีการศึกษาและพัฒนารูปแบบการสร้างผู้ประกอบการเกษตรกรปราดเปรื่องในธุรกิจเกษตรอินทรีย์ของประเทศไทยยุค 4.0 ที่ระบุคุณลักษณะของผู้ประกอบการสมัยใหม่ที่ต้องเข้าใจทั้งระบบเพื่อให้สามารถบริหารจัดการและแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว

ข้อสรุปจากการวิจัยนี้ทำให้เห็นว่า เกษตรกรรุ่นใหม่ได้ขยายขอบเขตการทำเกษตรกรรมจากเดิมที่มีการผลิตต้นน้ำ ที่มุ่งการสร้างผลผลิตและขายให้กับผู้รับซื้อเท่านั้น แต่เมื่อเกษตรกรรุ่นใหม่เข้ามาทำเกษตรอินทรีย์ได้มีการศึกษาให้เข้าใจวิถีการทำเกษตรกรรมตลอดโซ่อุปทาน โดยมีบางกลุ่มที่ทำตั้งแต่ผลิตจนกระทั่งส่งถึงมือผู้บริโภคในพื้นที่การทำเกษตรขนาดเล็ก และมีการทำเกษตรอินทรีย์บางโซ่อุปทาน แต่สามารถสื่อสารให้เข้าใจและเรียนรู้ตลอดทุกโซ่เพื่อให้ทราบสถานการณ์และเห็นปัญหาที่จะเกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการได้ทำให้ต้องใช้ทักษะที่หลากหลาย โดยเฉพาะทักษะด้านการสื่อสารเพื่อสร้างความเข้าใจและอธิบายให้เข้าใจตรงกันตลอดโซ่อุปทาน

ผลที่เกิดขึ้นจากการที่คนรุ่นใหม่มาทำเกษตรอินทรีย์

จากการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจากการที่เกษตรกรรุ่นใหม่หันมาทำเกษตรอินทรีย์ทำให้เกิดผลลัพธ์ขึ้นใน 2 รูปแบบ อันได้แก่ ผลในเชิงรูปธรรม และผลในเชิงนามธรรม โดยผลลัพธ์ในเชิงรูปธรรม (Concrete Output) คือ 1) มิติทางเศรษฐกิจ คือ การลดรายจ่าย และการมีรายได้ทั้งรายได้หลักและรายได้เสริม 2) มิติทางด้านสุขภาพ ได้แก่ สุขภาพกาย สุขภาพจิต สุขภาพสังคม ส่วนผลในเชิงนามธรรม (Symbolic Output) ได้แก่ 1) ความหมายของคำว่า “เกษตรกร” ทั้งที่เป็นการรื้อสร้างความหมาย การขยายขอบเขตของคำว่าเกษตรกรและเกษตรกรหน้าใหม่ที่ระดับการศึกษาที่สูงขึ้น ทำให้มีการผสมผสานความรู้ในการทำเกษตรเข้ากับองค์ความรู้ที่สั่งสม เป็นนวัตกรรมต่าง ๆ ในการทำเกษตรอินทรีย์ 2) การเสริมสร้างภาพลักษณ์ของคำว่า “เกษตรกร” ได้แก่ เกษตรกรรุ่นใหม่เป็นอาชีพที่มีเกียรติ ดูแลตัวเอง และเลี้ยงครอบครัวได้ และเกษตรกรเป็นอาชีพอิสระ ที่ออกแบบการใช้ชีวิตของตัวเองได้ สามารถกำหนดราคาสินค้า หรือเลือกผู้บริโภคได้ 3) การสนับสนุนจากภาคส่วนต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน “เกษตรกรรุ่นใหม่” วิธีการใหม่ที่มีอัตลักษณ์ศักดิ์ศรี 4) สร้างการตระหนักรู้ถึงการมีชีวิตที่ดีด้วย “อาหาร” ให้กับผู้บริโภค สอดคล้องกับการมีทัศนคติที่ดีต่ออาชีพคุณลักษณะประชากร (Phithuk, 2020) ได้แก่ การรู้จักตนเอง การรักในการเรียนรู้ มีความมุ่งมั่นอดทน การมองเห็นโอกาส กล้าเปลี่ยนแปลง มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ซื่อสัตย์ รอบคอบ กระตือรือร้น มีมนุษยสัมพันธ์ที่ดี รวมถึงการมีแรงบันดาลใจ ซึ่งส่วนใหญ่มาจากครอบครัว หรือการเกิดวิกฤติในชีวิต รวมทั้งการมีความชอบในการทำเกษตร ต้องการมีธุรกิจของตนเอง และมีรัชกาลที่ 9 เป็นแรงบันดาลใจ อีกทั้งได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานๆ อันได้แก่ ครอบครัว หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน เครือข่ายและชุมชน พันธมิตรทางธุรกิจและลูกค้า

ผลการวิจัยในส่วนนี้จึงทำให้เห็นว่า การที่คนรุ่นใหม่หันมาทำเกษตรอินทรีย์นั้นทำให้เกิดผลลัพธ์ทั้งในเชิงรูปธรรม และนามธรรม เป็นการต่อสู้อย่างเต็มที่ในเชิงการพิสูจน์การมีชีวิตที่ดี วิถีชีวิตประจำวันที่สามารถแสดงให้เห็นได้ในเชิงประจักษ์ รวมถึงการต่อสู้ในเชิงของความหมายที่แสดงให้เห็นว่า “ความเป็นเกษตรกร” มาพร้อมกับความหมายใหม่ที่ใช้ชีวิตอย่างฉลาด (Smart farmer) ที่แตกต่างจากยุคเดิมที่เกษตรกรมักถูกสร้างความหมายให้ว่าเป็นผู้ยากไร้และไม่มีทางเลือก นอกจากนี้ยังทำให้เห็นว่าเกษตรกรรุ่นใหม่ที่เป็นต้นแบบนี้มีคุณลักษณะที่ครอบคลุม “การเป็นเกษตรกร” ที่รู้วิถีการผลิตที่เข้าใจระบบตลาด เป็น “ผู้ประกอบการ” ที่มีการวางแผน มีความกล้าเสี่ยง กล้าได้กล้าเสีย เป็น “ผู้สร้างนวัตกรรม” ที่ผสมผสานประสบการณ์ที่เรียนรู้จากภายนอกวงการเกษตรที่นำมาปรับใช้ได้ในหลายกระบวนการในการทำเกษตร และเป็น “นักสื่อสาร” ที่ต้องใช้ในการประสานงานและมีเป้าหมายเพื่อการสื่อสารการตลาดตลอดโซ่อุปทาน ด้วยข้อสรุปนี้จึงทำให้เห็นว่า การประกอบอาชีพเกษตรกรแบบคนรุ่นใหม่ต้องมีองค์ความรู้ที่หลากหลายที่จะสามารถกลายมาเป็น “เกษตรกรอินทรีย์แบบมืออาชีพ” มากกว่า “อาชีพเกษตรกรอินทรีย์”

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาที่แสดงวิถีของการเป็นเกษตรกร ประเภทของเกษตรกร และผลกระทบต่อตนเองและสังคมการเกษตรของการทำเกษตรอินทรีย์โดยเกษตรกรรุ่นใหม่ที่มีความเปลี่ยนแปลงและแตกต่างจากวิถีการทำเกษตรอินทรีย์แบบเดิม มีปัจจัยสนับสนุนทั้งแรงผลักและแรงดึง มีรูปแบบการเข้าสู่อาชีพเกษตรอินทรีย์ที่หลากหลาย มีประเภทของการดำรงอยู่ในวิถีการเป็นเกษตรกรอินทรีย์หลายประเภท ทำการเกษตรอินทรีย์ตลอดโซ่อุปทาน มีผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นทั้งในเชิงรูปธรรมและนามธรรม เป็นส่วนสำคัญในการสร้างความเปลี่ยนแปลงทั้งในส่วนปัจเจก คือ ส่วนความต้องการหลักของเกษตรกรรุ่นใหม่ ได้แก่ เรื่องของเศรษฐกิจและสุขภาพ ที่มาพร้อมกับการวางแผนทั้งเรื่องการเงินและสุขภาพ โดยเกษตรกรต้นแบบมีการวางแผนการดำเนินงานที่เชื่อมโยงกับการวางแผนการเงิน ทำให้ตอบโจทย์ทางเศรษฐกิจที่มั่นคง และเตรียมแผนในฤดูกาลการผลิตที่มีผลตอบแทนที่ขึ้นอยู่กับฤดูกาล จึงมีการสร้างกิจกรรมเสริมในการผลิตที่หลากหลาย และสร้างวิธีการส่งเสริมการขายเพื่อให้เกิดผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่มั่นคงและมั่นคงในระดับที่ตนเองพึงพอใจ ส่วนผลลัพธ์ในเชิงนามธรรม ที่เป็นการต่อสู้อัตลักษณ์ของ “ความหมาย” ที่ส่งผลถึงอัตลักษณ์ศักดิ์ศรี ที่ผลลัพธ์ทั้งสองอย่างนี้ต้องสนับสนุนและไปด้วยกัน ซึ่งผลลัพธ์นี้ส่งผลกระทบกับสังคมและวัฒนธรรมการเกษตรในภาพใหญ่ที่มีต่อความเป็นเกษตรกรไทย ที่มองเห็นอัตลักษณ์ ศักดิ์ศรี และความเป็นมืออาชีพในการทำเกษตรกรรม สะท้อน **คุณลักษณะเกษตรกรรุ่นใหม่ในการทำเกษตรอินทรีย์ จากอาชีพ สู่มืออาชีพ (From Occupation to Professional)**

ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะจากการวิจัยดังต่อไปนี้

1) การสนับสนุนคนรุ่นใหม่ให้ทำเกษตรอินทรีย์ควรมีการสนับสนุนให้ได้เรียนรู้ครบทั้งโซ่อุปทาน เนื่องจากการทำเกษตรอินทรีย์มีความแตกต่างจากการทำเกษตรทั่วไป ที่ต้องมองปัจจัยที่มากกว่าเรื่องเศรษฐกิจ แต่ยังเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม สุขภาพ สังคมวัฒนธรรม ซึ่งหากขาดมิติใดมิติหนึ่งจะทำให้เกิดการสนับสนุนที่ไม่ครบถ้วนจริง จะทำให้ไม่สามารถเติบโตในวงการเกษตรอินทรีย์ในระยะยาว ดังนั้นการสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการสนับสนุนให้ครอบคลุมทั้งเงินทุนในการบริหารจัดการ สนับสนุนเครือข่ายที่ร่วมเรียนรู้และแก้ปัญหาระหว่างดำเนินงาน สนับสนุนองค์ความรู้ทั้งจากส่วนกลางและในพื้นที่ในลักษณะที่เชื่อมโยง หรือศูนย์บ่มเพาะ รวมถึงแนวทางการบริหารจัดการทั้งห่วงโซ่อุปทานเป็นระยะๆ เพราะในแต่ละช่วงต้องการข้อมูล ข่าวสาร องค์ความรู้ที่แตกต่างกัน

2) ปัจจัยในการเข้าสู่อาชีพเกษตรอินทรีย์มีทั้งปัจจัยหลัก ปัจจัยดึง ดังนั้นการสนับสนุนจากภาคส่วนต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนน่าจะมีการวิเคราะห์ทั้งสองปัจจัย เพื่อให้เกิดแนวทางการทำงานที่ครบถ้วน อีกทั้งควรมีการวิเคราะห์ความต้องการแรงสนับสนุนแต่ละช่วง ได้แก่ ช่วงก่อนเข้ามาทำเกษตรอินทรีย์ ช่วงเริ่มต้น และช่วงยกระดับสู่ความเป็นมืออาชีพ เพราะแต่ละช่วงมีแนวทางและปัจจัยสนับสนุนที่แตกต่างกัน

3) การทำงานของเกษตรกรรุ่นใหม่ที่น่าสนใจไปสู่มาตรฐานต่างๆ ทั้งมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ หรือมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องพบว่าความสามารถในการสื่อสารมีส่วนสำคัญ ตั้งแต่การหาข้อมูล การจดบันทึก การส่งมอบข้อมูล/ความรู้ สิ่งต่างๆ ทั้งหมดนี้เชื่อมโยงความสามารถทางการสื่อสารอยู่ภายใน เพราะต้องใช้หลักฐานต่างๆ เช่น การจดบันทึก (written communication) การบอกเล่าเรื่องราว (story telling) ต้องใช้ทักษะในการเล่าเรื่องให้ถูกต้องและน่าสนใจ (oral communication) ดังนั้นการสื่อสารจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการก้าวสู่การเป็นเกษตรกรรุ่นใหม่ในการทำธุรกิจเกษตรอินทรีย์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอกเรื่อง “การจัดการองค์ความรู้เพื่อนวัตกรรมการสื่อสารการตลาดธุรกิจเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกรรุ่นใหม่” ได้รับการสนับสนุนทุนจากคณะนิเทศศาสตร์และนวัตกรรมการจัดการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร ลัทธิพิงศ์พันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา แก้วเทพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รวมถึงเครือข่ายเกษตรอินทรีย์ทุกท่านที่เมตตาให้ข้อมูลและเป็นกำลังใจมิตรทางวิชาการจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

- Kaewthep, K., & Hinviman, S. (2010). **The Stream of Thought of Political Economists and Communication Studies Scholars** 2nd ed. Parbpim Printing. (in Thai).
- Kaewthep, K. (2015). **A Collection of Communication for Agricultural Promotion and Development: Unit 1.** Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai).
- Kampheangphet, M. (2017). **Development Model of Establishing Smart Farmer in Organic Farm Business of Thailand 4.0.** Doctoral dissertation. Silpakorn University. (in Thai).
- National Assembly Library of Thailand. (2022). **“Organic Farming Movement”**. Retrieved from: <https://library.parliament.go.th/th/radioscript/rr2565-apr1>. (in Thai).
- Panyakul, V. (2002). **Introduction to Organic Agriculture.** Earth Net Foundation. (in Thai).
- Phithuk, A. (2020). **The Development of Farmers to be Smart Entrepreneur Farmers.** Doctoral dissertation. Silpakorn University. (in Thai).
- Phoomborplub, W. (2018). Push and Pull Factors in Gambling (Casino) Tourism Motivation. **Academic Journal Bangkokthonburi University**, 7(1), 13-29. (in Thai).
- Saroenrum, S. (2019). **Agriculture Marketing Strategies: A Lesson Learned from Thai Young Farmer.** Master's thesis. Mahidol University. (in Thai).
- The National Organic Agriculture Development Committee (2017). **The National Organic Agriculture Development Strategy: 2017-2021.** Office of Agricultural Economics. (in Thai).
- Tinnaphop, T (2016). **Supply Chain Management by Community Enterprise Producing Organic Rice in the Central Region of Thailand.** Doctoral dissertation Naresuan University. (in Thai).

การประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकुในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช

Economic Evaluation of the Direct Use of Sago Palm in Nakhon Si Thammarat Province

วัฒนณรงค์ มากพันธ์^{1*}, มลิมาศ จรรย์พงศ์¹, นฤมล ขุนวิชัย¹ และมานะ ขุนวิชัย²Wattananarong Markphan^{1*}, Malimas Jariyapong¹, Narumon Khunweechuay¹ and Mana Kunweechuay²

Received date: 28 ก.ค. 65 Revised date: 23 ก.ค. 66 Accepted date: 4 ส.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.008>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการใช้ประโยชน์ และประเมินมูลค่าทางด้านเศรษฐกิจของต้นสาकु โดยการสำรวจป่าสาकुในจังหวัดนครศรีธรรมราช ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 9,942.502 ตารางกิโลเมตร ในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยรวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์จากชาวบ้านที่มีการใช้ประโยชน์จากสาकु จำนวน 272 ครอบครัว การศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่ 1 ส่วนต่าง ๆ ของต้นสาकुที่ชาวบ้านในพื้นที่เก็บหามาใช้ประโยชน์ทั้งการอุปโภค บริโภค รวมถึงจำหน่าย และส่วนที่ 2 ปริมาณที่ชาวบ้านเก็บหาคิดเป็นมูลค่าทางด้านเศรษฐกิจ โดยใช้ราคาท้องถิ่น เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือสัมภาษณ์ ผลการศึกษาพบว่าชาวบ้านมีการนำสาकुไปใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน กล่าวคือใบสาकु ทางสาकु และเปลือกลำต้นที่ส่วนใหญ่นำมาแปรรูปเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ และลำต้นนำมาแปรรูปเป็นอาหารของทั้งคนและสัตว์ ในรูปของส่วนต่าง ๆ 4 ส่วน ได้แก่ ใบ ก้านใบ เปลือกลำต้น และลำต้น ส่วนของสาकुที่ชาวบ้านใช้ประโยชน์มากที่สุด คือ ใบ มูลค่าการซื้อขายในพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ 24,201,272 บาทต่อปี ต้นทุนรวมทั้งหมดเท่ากับ 2,968,647 บาทต่อปี ดังนั้น มูลค่าสุทธิเท่ากับ 21,232,625 บาทต่อปี คิดเป็นมูลค่าเฉลี่ย เท่ากับ 78,061.15 บาทต่อคนต่อปี การศึกษานี้สะท้อนให้เห็นมูลค่าของต้นสาकु ที่ชาวบ้านในพื้นที่ควรตระหนักถึงคุณค่าและส่งเสริมให้เข้าใจถึงการใช้ประโยชน์จากสาकुอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: สาकु (พืช), พืชท้องถิ่น, ประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจ, จังหวัดนครศรีธรรมราช

Abstract

This research aimed to study the utilization and economic evaluation of Sago Palm in Nakhon Si Thammarat Province. The research study covered a total area of 9,942.502 square kilometers of wetlands. Data were collected by interviewing 272 families that utilized sago. First, the data were gathered from the utilization of sago palm by the villagers for consuming and selling. Second, the quantity of sago palm collected was evaluated for economical values. From the study, it was found that villagers can use most parts of sago palm. For example, the use of leaves, petioles, and barks for the processing of tools whereas leaves, petioles, barks and stems are utilized for foods and animal feeds. Sago leaf is found to be the most utilization part. For economic evaluation, the turnover rate in the area was 24,201,272 baht per year, the total cost was 2,968,647 baht per year, and the net value was 21,232,625 baht per year. The average cost was 78,061.15 baht per person per year. Therefore, this research study can reflect the value of the sago palm, and the villagers should be aware of this value in order to promote the sustainable utilization of sago palm.

Keywords: sago palm, local plant, economic evaluation, Nakhon Si Thammarat province

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช นครศรีธรรมราช 80280

² สาขาวิชาสังคมศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช นครศรีธรรมราช 80280

¹ Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat 80280

² Social Studies, Faculty of Education, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat 80280

*Corresponding author, Email: Wattananarong@gmail.com

คำนำ

สาคุ (sago palm) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon) จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับปาล์มน้ำมัน อยู่ในอันดับ (order) Principes ตระกูล (family) Arecaceae ตระกูลย่อย (subfamily) Lepidocaryoid สกุล (genus) Metroxylon ที่เจริญได้ดีในที่ที่มีน้ำขังและพื้นที่ป่าพรุ (Phongphaibun & Thanasuk, 1999) ในดินที่มีระดับความเป็นกรดจัดถึงกรดอ่อน pH = 4.03 – 6.50 มีอินทรีย์วัตถุในดินประมาณ 0.66 – 2.60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ภายในลำต้นจะมีแป้งเป็นองค์ประกอบถึง 40 เปอร์เซ็นต์ สาคุจะออกดอกและติดผลเพียงครั้งเดียวและจะตายลง ดังนั้นสาคุจะถูกตัดในช่วงก่อนที่จะมีดอกหรือเริ่มมีดอกเพื่อนำมาสกัดแป้ง (Paphon & Jaiplem, 2011; Srirot et al., 1999) สาคุที่พบในประเทศไทยมี 3 ชนิด ได้แก่ สาคุไทย หรือ ว่านสาคุ (Marantaarundinaceae L.) พุทธรักษาสาคุ (Canna edulis Ker) และปาล์มสาคุ (Metroxylon sago) ว่านสาคุและพุทธรักษาสาคุ เป็นพืชหัว แตกต่างจากปาล์มสาคุซึ่งถูกจัดให้เป็นพืชในตระกูลปาล์ม (Genus Metroxylon) อยู่ในวงศ์ Arecaceae หรือ Palmae ชนิดพันธุ์ที่เด่นมีเพียง 2 พันธุ์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยใช้ลักษณะการไม่มีหนามหรือมีหนามซึ่งบ่งชี้ในการจำแนกชนิดพันธุ์สาคุ พันธุ์มี หนามที่ก้านใบมียอดสีขาวชื่อ Metroxylon rumpii Mart. สาคุชนิดนี้มีใบสั้นเปราะและเล็กกว่า ส่วนชนิดพันธุ์ที่ก้านใบไม่มีหนามที่มียอดสีแดง ชื่อ Metroxylon sago Rottb. (Smitinand, 2014)

สาคุนับเป็นพืชที่มีบทบาทสำคัญในฐานะเป็นพืชหลักในพื้นที่ชุ่มน้ำ สาคุขึ้นกระจายร่วมกับพรรณพืชอื่นๆ ตามฝั่งคลองหนองพรุ และรอบๆ บริเวณบ้าน มีการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติและชาวบ้านปลูกไว้ใช้ประโยชน์ ชาวบ้านเรียกป่าแถบนี้ว่าป่าสาคุ เพราะระบบนิเวศป่าสาคุมีความหลากหลายทางชีวภาพ ทั้งพืช สัตว์ และแมลงต่างๆ เป็นที่อยู่อาศัยและเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของสัตว์น้ำ ซึ่งชาวบ้านใช้เป็นอาหารเพื่อยังชีพ ใช้เป็นยารักษาโรคและเป็นแหล่งรายได้เสริม นอกจากนี้สาคุยังเป็นพืชที่สะท้อนถึงวัฒนธรรมของท้องถิ่น ซึ่งเกิดจากการนำส่วนประกอบต่างๆ มาใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็น การนำแป้งจากต้นสาคุมาประกอบอาหาร การใช้ส่วนประกอบของใบมาสานเป็นหลังคา นอกจากนี้ สาคุมีบทบาทสำคัญในการดำรงสภาพพื้นที่ชุ่มน้ำที่สำคัญ เพราะเป็นพืชซับน้ำ กักเก็บแหล่งน้ำเพื่อการเกษตร อนุรักษ์ดิน และเป็นพืชหลักของระบบนิเวศพื้นที่ชุ่มน้ำเอื้อให้สังคมพืชหลายอย่างขึ้นร่วมกันได้ สร้างความชุ่มชื้นให้กับบริเวณใกล้เคียง ลดวิกฤติโลกร้อนได้เป็นอย่างดี ความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศป่าสาคุดังกล่าวได้เอื้อประโยชน์ให้ชุมชนที่อาศัยอยู่ใกล้ป่าสาคุและบริเวณใกล้เคียงได้รับประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อม จึงทำให้ชาวบ้านไม่ได้มองป่าสาคุในเชิงมูลค่าการใช้สอยอย่างเดียว แต่มองในเชิงคุณค่าทางจิตใจควบคู่ไปด้วย เพราะสาคุเป็นพืชที่บ่งบอกวิถีชีวิตของชุมชนในเชิงนิเวศ วัฒนธรรม ภูมิปัญญาท้องถิ่นและทุนในการดำรงชีวิตหลายๆ ด้าน (Sukphan & Kunweechuay, 2010)

ในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยมีการใช้ประโยชน์จากต้นสาคุในชีวิตประจำวันของคนในชุมชนท้องถิ่นมายาวนาน โดยเฉพาะพื้นที่ในจังหวัดนครศรีธรรมราช มีเทือกเขานครศรีธรรมราชเป็นแหล่งต้นน้ำที่สำคัญ มีลำคลองหลายสายไหลผ่านพื้นที่ต่าง ๆ ในจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดใกล้เคียง บริเวณริมฝั่งคลองสายต่าง ๆ นั้น พบความหลากหลายของพรรณพืชชุ่มน้ำจำนวนมาก โดยเฉพาะพืชประจำถิ่นภาคใต้ นั่นคือ “สาคุ” (Sago palm, Metroxylon spp.) ซึ่งพื้นที่ภาคใต้มีลักษณะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาคุ จึงพบสาคุขึ้นกระจายอยู่ทั่วไปทั้ง 14 จังหวัด และที่พบจำนวนมาก คือ นครศรีธรรมราช สตูล กระบี่ ปัตตานี นราธิวาส พัทลุงและตรัง สำหรับพื้นที่ป่าสาคุในจังหวัดนครศรีธรรมราช มีประมาณ 118,412.51 ไร่ (Srirot et al., 1999) จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นแหล่งที่ประชาชนใช้สาคุอย่างสสารพัดประโยชน์ ตั้งแต่การดำรงชีพในครอบครัวและการใช้เพื่อเศรษฐกิจ ได้แก่ การใช้ลำต้นเป็นอาหารสัตว์ ใช้เลี้ยงตัวสาคุเพื่อเป็นอาหาร และเป็นรายได้เสริม ใช้เนื้อในลำต้นทำแป้ง สำหรับทำอาหารและขนมต่าง ๆ ส่วนเหลือจากเนื้อในลำต้น (กาก) นำมาทำเป็นปุ๋ย เปลือกนอกของลำต้นใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหาร และนำมาใช้ทำเป็นฝاف้างและฟากปูพื้น ที่พักชั่วคราว ใบสาคุใช้เย็บเป็นจากเพื่อใช้ในการมุงหลังคาที่อยู่อาศัยและคอกสัตว์ เปลือกนอกของก้านใบนำมาทำเป็นตอกสำหรับสานเสื่อ ปัจจุบันจากสาคุ แป้งสาคุ เสื่อสาคุ อาหาร และขนมพื้นบ้านจากแป้งสาคุ ในจังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นสินค้าที่ได้รับความนิยมสูงขึ้นเรื่อย ๆ (Jaiplem, 2006) ดังเช่นงานวิจัยเรื่อง การใช้ประโยชน์ทางเศรษฐกิจจากต้นสาคุของชุมชนในจังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า การใช้ประโยชน์จากต้นสาคุในช่วงอายุสุดท้าย 8-12 ปี จะได้มูลค่าผลผลิตค่อนข้างสูง อีกทั้งผลผลิตมีปริมาณและคุณภาพดี สำหรับต้นสาคุตลอดช่วงอายุระหว่าง 4-12 ปี ยังสามารถใช้ประโยชน์ได้ตลอดจากทางใบและใบ โดยนำไปเย็บเป็นตมมุงหลังคาและเครื่องจักสาน ส่วนการใช้ประโยชน์จากต้นสาคุอายุปานกลาง 4-8 ปี จะได้มูลค่าผลผลิตค่อนข้างน้อย ดังนั้นแนวทางการใช้ประโยชน์จากต้นสาคุจนถึงช่วงอายุสุดท้ายตามที่ได้ศึกษานั้น สามารถช่วยให้ชุมชนใช้ประโยชน์จากต้นสาคุได้อย่างคุ้มค่า (Charungsutjaritkul et al., 2018) ดังปรากฏในงานวิจัยเรื่อง ศึกษาลักษณะการใช้ประโยชน์ และประเมินมูลค่าทางด้านเศรษฐกิจของต้นสาคุ ในพื้นที่จังหวัดพัทลุงและจังหวัดตรัง การศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่ 1 ศึกษาส่วนต่าง ๆ ของต้นสาคุที่ชาวบ้านในพื้นที่เก็บหามาใช้ประโยชน์ และส่วนที่ 2 ศึกษาปริมาณที่ชาวบ้านเก็บหา คิดเป็นมูลค่าทางด้านเศรษฐกิจผลการศึกษา พบว่าส่วนต่าง ๆ ของต้นสาคุที่ชาวบ้านใช้ประโยชน์

ทั้งหมดมีจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ใบสาคุ ลำต้นสาคุ และผิวทางใบสาคุ โดยใบสาคุมีการใช้ประโยชน์มากที่สุด จำนวน 251,130 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นมูลค่ารวมของใบสาคุเท่ากับ 3,233,400 บาทต่อปี (Markphan et al., 2016)

จากความสำคัญดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาเกี่ยวกับการประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการใช้ประโยชน์ทางตรงสาคุของชุมชน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับชุมชนสืบต่อไป อันจะนำไปสู่การส่งเสริมและเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจ ความตระหนักถึงมูลค่าทางเศรษฐกิจของป่าสาคุ ให้หน่วยงานต่างๆ ได้เห็นความสำคัญของระบบนิเวศป่าสาคุมากขึ้น นำไปสู่การเคลื่อนไหวเพื่อการอนุรักษ์และฟื้นฟูป่าสาคุได้อย่างต่อเนื่อง เป็นการสร้างทรัพยากรเพื่อการดำรงชีวิตอย่างยั่งยืน และนำไปสู่วิถีเศรษฐกิจแบบพอเพียงได้อย่างเป็นรูปธรรม

วิธีการศึกษา

ประชากร

ประชากร ได้แก่ ชาวบ้านที่ใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาคุ จังหวัดนครศรีธรรมราช จาก 272 ครัวเรือน (ซึ่งเป็นจำนวนครัวเรือนทั้งหมดในจังหวัดนครศรีธรรมราชที่ใช้ประโยชน์ต้นสาคุ) จากทั้งหมด 10 อำเภอ ได้แก่ 1) อำเภอเมือง 2) อำเภอร่อนพิบูลย์ 3) อำเภอจุฬาภรณ์ 4) อำเภอพรหมคีรี 5) อำเภอเฉลิมพระเกียรติ 6) อำเภอท่าศาลา 7) อำเภอชะอวด 8) อำเภอทุ่งสง 9) อำเภอปากพนังและ 10) อำเภอหัวไทร

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถามประกอบการสัมภาษณ์ แบ่งออกเป็น 7 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 2 การใช้ประโยชน์ป่าสาคุ ส่วนที่ 3 การซื้อขายของป่า ส่วนที่ 4 การเตรียมตัวในการใช้ประโยชน์ป่าสาคุ ส่วนที่ 5 ต้นทุนทั้งหมดในการใช้ประโยชน์ป่าสาคุในรอบปี ส่วนที่ 6 ความคิดเห็นของผู้เก็บหาพืชผักและสมุนไพรในป่าสาคุ และส่วนที่ 7 ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

พื้นที่ทำการศึกษา

ผู้วิจัยดำเนินการสำรวจสถานภาพและจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ของป่าสาคุในจังหวัดนครศรีธรรมราช สำรวจพื้นที่สาคุทั้งหมด 22 อำเภอ 129 ตำบล ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 9,942.502 ตารางกิโลเมตร การกระจายตัวของต้นสาคุส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณที่ราบลุ่ม และกระจายตัวอยู่ในบริเวณที่มีลักษณะคล้ายพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขัง หรือใกล้กับบริเวณริมน้ำ คลอง หนอง และบึง ทั้งหมด 2,421 จุด โดยแบ่งเป็นพื้นที่ที่มีเจ้าของจำนวน 1,353 จุด และพื้นที่สาธารณะ 1,068 จุด พบอำเภอที่พบการกระจายมากที่สุดได้แก่ อำเภอทุ่งสงอยู่ในเขตลุ่มน้ำตรัง รองลงมาได้แก่ อำเภอพรหมคีรีอยู่ในบริเวณลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก ซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยขนาดใหญ่ที่พบการกระจายตัวของสาคุจำนวนมาก การกระจายตัวของต้นสาคุ โดยนำขอบเขตลุ่มน้ำย่อยมาเป็นตัวแบ่งการกระจายทำให้ทราบว่าลุ่มน้ำย่อยที่พบการกระจายค่อนข้างหนาแน่นได้แก่ ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออกที่ครอบคลุมเขตอำเภอนบพิตำ ลานสกา ท่าศาลา และพระพรหมบางส่วน อำเภอพรหมคีรีและอำเภอเมืองทั้งอำเภอ นอกจากนี้ ในส่วนลุ่มน้ำย่อยอื่นๆ พบการกระจายที่หนาแน่นด้วยเช่นกัน ได้แก่ เขตลุ่มน้ำตาปิตอนบน ที่ครอบคลุมอำเภอพิปูน ถ้าพรณรา ทุ่งใหญ่ และช้างกลางบางส่วน ลักษณะทางภูมิศาสตร์จะเห็นว่าการกระจายตัวของป่าสาคุจะเจริญเติบโตและกระจายหนาแน่นในบริเวณที่เป็นที่ราบลุ่มน้ำจัดเป็นส่วนใหญ่ โดยสัดส่วนของพื้นที่กรรมสิทธิ์ พบว่ามีเจ้าของมากกว่าพื้นที่สาธารณะถึงร้อยละ 90 ทุกอำเภอ (Figure 1)

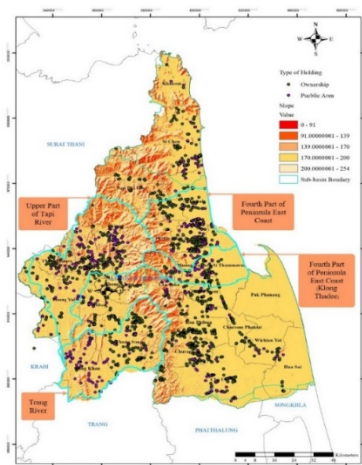


Figure 1 The survey recorded the distribution of sago palm in Nakhon Si Thammarat Province.

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลแบบปฐมภูมิ รวบรวมจากการสัมภาษณ์ชาวบ้านที่ใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु จังหวัดนครศรีธรรมราช จาก 272 ครัวเรือน (ซึ่งเป็นจำนวนครัวเรือนทั้งหมดในจังหวัดนครศรีธรรมราชที่ใช้ประโยชน์โดยไม่มีการสุ่มตัวอย่าง) และข้อมูลทุติยภูมิ ดำเนินการรวบรวมโดยการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารทางวิชาการ บทความ วารสาร และวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु ที่นำมาใช้อ้างอิงผลการวิจัยในครั้งนี้

การวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकुโดยใช้ราคาท้องถิ่นที่มีการซื้อขายกันในพื้นที่ และเก็บข้อมูลจากชาวบ้านที่ใช้ประโยชน์ จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในเบื้องต้นและนำเข้าข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์หามูลค่าทางเศรษฐกิจ ในที่นี้ได้แสดงหลักการคำนวณมูลค่าทางเศรษฐกิจด้านการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु (Markphan, 2016) คิดคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\text{มูลค่าทั้งหมด} = \sum_{j=1}^{272} \sum_{i=1}^n Q_j \times P_i$$

โดยที่ Q_i คือ ปริมาณของผลิตภัณฑ์สาकुชนิดที่ i ที่ชาวบ้านเก็บหา

P_i คือ ราคาตลาดท้องถิ่นของผลิตภัณฑ์สาकुชนิดที่ i

i คือ ชนิดของผลิตภัณฑ์สาकु

n คือ จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์สาकुทั้งหมดที่มีการใช้ประโยชน์

j คือ ครัวเรือนที่เก็บหาสาकुคำนวณหาต้นทุนรวมในการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु ดังสมการที่ 2

$$\text{ต้นทุนทั้งหมด} = \sum_{j=1}^{272} \sum_{i=1}^n C_i$$

โดยที่ C_i คือ ต้นทุนของผลิตภัณฑ์สาकुชนิดที่ i ในการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु ของครัวเรือนที่เก็บหา

i คือ ประเภทของต้นทุนในการใช้ประโยชน์แต่ละผลิตภัณฑ์สาकु

j คือ ครัวเรือนที่มีการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु

n คือ จำนวนของผลิตภัณฑ์สาकुของต้นสาकुของต้นสาकुในการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु

เมื่อคำนวณหามูลค่าทางเศรษฐกิจรวมและต้นทุนรวมแล้ว จึงคำนวณหามูลค่าทางเศรษฐกิจสุทธิ การใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकुของประชากรได้ แสดงการคำนวณสมการที่ 3

$$\text{มูลค่าสุทธิ} = \sum_{j=1}^{272} \left[\sum_{i=1}^n Q_j \times P_i \right] - \left[\sum_{i=1}^n C_i \right]$$

หรือ = มูลค่าทางเศรษฐกิจรวมทั้งหมดของประชากร - ต้นทุนรวมทั้งหมดของประชากร

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ข้อมูลสภาพทางสังคมและเศรษฐกิจ

จากการสัมภาษณ์ชาวบ้านทั้งหมด 272 ครัวเรือน จาก 22 อำเภอ ผลการศึกษา พบว่า ชาวบ้านส่วนใหญ่ เป็นเพศหญิง ร้อยละ 57 นับถือศาสนาพุทธ ร้อยละ 97 สถานภาพสมรสแล้ว ร้อยละ 89 ช่วงอายุที่เก็บหาของป่ามากที่สุด คือ 60 ปีขึ้นไป ร้อยละ 53 มีการศึกษาอยู่ในระดับประถมศึกษา ร้อยละ 70 สมาชิกในครัวเรือนมากที่สุด 4 คน ร้อยละ 31 เก็บหาของป่าเป็นอาชีพเสริม ร้อยละ 91 ระยะเวลาการใช้ประโยชน์ อยู่ในช่วง 60 ปีขึ้นไป ร้อยละ 23 มีรายได้เฉลี่ยต่ำกว่า 4,000 บาท ร้อยละ 78 อยู่ในสถานะหัวหน้าครอบครัว ร้อยละ 68 ระยะเวลาการอาศัยในพื้นที่มากที่สุด คือ 60 ปีขึ้นไป ร้อยละ 40 ทราบเส้นทางจากการบอกเล่าของบรรพบุรุษต่อพ่อแม่ ร้อยละ 97 โดยใช้ประโยชน์จากแหล่งบ้านชายคลอง ร้อยละ 100 และ พบว่า ชาวบ้านทั้งหมด เดินเก็บหาเพียงคนเดียว ร้อยละ 91

จากผลการศึกษา พบว่า ชาวบ้านใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु เป็นเพศหญิงใกล้เคียงกับเพศชาย อาจเนื่องมาจากการพื้นที่ที่มีต้นสาकुมีลักษณะเข้าถึงได้ไม่ยากลำบากนัก เป็นที่ราบลุ่ม ริมแหล่งน้ำหรือป่าพรุ ไม่มีความลาดชัน แตกต่างกับงานวิจัยของ Markphan (2012) ที่ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย เนื่องมาจากการเก็บหาของป่าต้องเดินเท้าเข้าป่าในระยทางที่ไกล และมีความลาดชัน ประกอบกับป่ามีความรกและทึบ จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับเส้นทางเดินป่าเป็นอย่างดี และยังมีสัตว์มีพิษที่อาศัยในพื้นที่อีกประการหนึ่งของป่าส่วนใหญ่จะต้องปีนเก็บ มีน้ำหนกมาก ต้องชุดหรือตัดซึ่งต้องใช้แรง จึงทำให้งานประเภทนี้ไม่เหมาะกับเพศหญิงเท่าที่ควร สถานภาพส่วนใหญ่สมรสแล้ว และเป็นหัวหน้าครอบครัว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Somboonchai (2002) อาจเนื่องจากผู้ที่สมรสแล้ว ต้องมีหน้าที่รับผิดชอบครอบครัว ซึ่งนอกจากการประกอบอาชีพหลักแล้ว จึงต้องมีอาชีพเสริมคือการใช้ประโยชน์จากต้นสาकुเป็นการสร้างรายได้อีกช่องทางหนึ่ง ช่วงอายุที่เก็บหาส่วนใหญ่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป ซึ่งสอดคล้องกับระยะเวลาการอาศัยอยู่ในพื้นที่ ซึ่งส่วนใหญ่ทราบแหล่งเก็บหา และเส้นทางจากการบอกเล่าของบรรพบุรุษ

ลักษณะการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु

จากการสัมภาษณ์ ทำให้ทราบว่าชาวบ้านมีการใช้ประโยชน์ทางตรงจากต้นสาकु 4 ส่วน ได้แก่ ใบสาकु ทางสาकु เปลือกลำต้นสาकु และลำต้นสาकु ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้ตลอดทั้งปี แตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้ประโยชน์ ซึ่งขึ้นอยู่กับอายุของต้นสาคุนั้น ๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ใบสาकु

ชาวบ้านสามารถใช้ประโยชน์ใบสาकुได้ตลอดปี โดยจะเก็บหาใบสาकुเพื่อนำมาแปรรูปเป็นเครื่องมือเครื่องใช้และจำหน่ายในหมู่บ้าน วิธีการเก็บใบสาकुจะใช้มีดพร้าตัดส่วนโคนของทางสาकु จากนั้นเลือกตัดเอาเฉพาะส่วนใบสาकु

จากการสำรวจผู้ที่ใช้ประโยชน์จากใบสาคุมี 241 ราย คิดเป็นร้อยละ 88.60 ของจำนวนประชากรที่ใช้ประโยชน์ทางตรงจากต้นสาคุทั้งหมด ซึ่งปริมาณที่ใช้ประโยชน์เพื่อจำหน่ายคิดเป็นร้อยละ 62 เพื่อใช้เองคิดเป็นร้อยละ 46 และปริมาณการใช้ประโยชน์ใบสาคุเฉลี่ยต่อคนเท่ากับ 3,917 กิโลกรัมต่อปี เมื่อคิดเป็นปริมาณใบสาคุทั้งหมดที่กลุ่มประชากรใช้ประโยชน์ในพื้นที่ มีค่าเท่ากับ 908,145.00 กิโลกรัมต่อปี

ทางสาคุ

ชาวบ้านสามารถใช้ประโยชน์ทางสาคุได้ตลอดปี โดยจะเก็บหาทางสาคุเพื่อนำมาแปรรูปเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ และจำหน่ายในหมู่บ้าน วิธีการเก็บส่วนของทางสาคุจะเลือกต้นที่มีความสมบูรณ์ ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเลือกต้นสาคุที่มีอายุในช่วงกลางๆ ลักษณะของทางสาคุจะมีสีน้ำตาลอมเขียว จากนั้นใช้พร้า ตัดโคนลงมา ตัดส่วนใบออก และตัดทางสาคุแบ่งเป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 50 เซนติเมตร แล้วเก็บใส่กระสอบหรือใส่คานหาบ

จากการสำรวจผู้ที่ใช้ประโยชน์จากทางสาคุมี 43 รายคิดเป็นร้อยละ 15.81 ของจำนวนประชากรที่ใช้ประโยชน์ทางตรงจากต้นสาคุทั้งหมด ซึ่งปริมาณใช้ประโยชน์เพื่อจำหน่ายคิดเป็นร้อยละ 30 ใช้เองคิดเป็นร้อยละ 70 และปริมาณการใช้ประโยชน์

ทางสาकुเฉลี่ยต่อคนเท่ากับ 3,917 เมตรต่อปี เมื่อคิดเป็นปริมาณลำต้นสาकुทั้งหมดที่กลุ่มประชากรใช้ประโยชน์ในพื้นที่ มีค่าเท่ากับ 168,431.42 เมตรต่อปี

เปลือกลำต้นสาकु

ชาวบ้านสามารถใช้ประโยชน์เปลือกสาकुได้ตลอดปี โดยจะเก็บหาเปลือกต้นสาकुเพื่อนำมาแปรรูปเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ และจำหน่ายในหมู่บ้าน วิธีการเก็บส่วนของเปลือกลำต้นสาकुจะเลือกต้นที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์แล้ว ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเลือกต้นสาकुที่มีอายุมาก กำลังจะออกดอก และไม่สามารถผลิตเนื้อแป้งในลำต้นได้อีก โดยชาวบ้านมักจะเรียกว่า “แตกเขากวาง” จากนั้นใช้เลื่อยยนต์ ตัดโคนลงมา และตัดเอาเฉพาะส่วนเปลือกลำต้นแบ่งเป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 50 เซนติเมตร แล้วเก็บใส่กระสอบหรือใส่แคนหาบ

จากการสำรวจผู้ที่ใช้ประโยชน์จากเปลือกลำต้นสาकुมี 11 ราย คิดเป็นร้อยละ 4.04 ของจำนวนประชากรที่ใช้ประโยชน์ทางตรงจากต้นสาकुทั้งหมด ซึ่งปริมาณใช้ประโยชน์เพื่อจำหน่ายคิดเป็นร้อยละ 36 ใช้เองคิดเป็นร้อยละ 64 และปริมาณการใช้ประโยชน์เปลือกลำต้นสาकुเฉลี่ยต่อคนเท่ากับ 510 เมตรต่อปี เมื่อคิดเป็นปริมาณเปลือกลำต้นสาकुทั้งหมดที่กลุ่มประชากรใช้ประโยชน์ในพื้นที่ มีค่าเท่ากับ 5,610.56 เมตรต่อปี

ลำต้นสาकु

ชาวบ้านสามารถใช้ประโยชน์ลำต้นสาकुได้ตลอดปี โดยจะเก็บหาลำต้นสาकुเพื่อนำมาแปรรูปเป็นอาหารและจำหน่ายในหมู่บ้าน วิธีการเก็บส่วนของลำต้นสาकुจะเลือกต้นที่มีความสมบูรณ์ ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเลือกต้นสาकुที่มีอายุมาก เนื่องจากต้นสาकुยิ่งอายุมากใส่ในลำต้นก็จะมีแป้งเพิ่มขึ้นมากเท่านั้น จากนั้นใช้เลื่อยยนต์ตัดโคนลงมา และตัดแบ่งเป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 50 เซนติเมตร แล้วเก็บใส่กระสอบหรือใส่แคนหาบ

จากการสำรวจผู้ที่ใช้ประโยชน์จากลำต้นสาकुมี 210 ราย คิดเป็นร้อยละ 77.21 ของจำนวนประชากรที่ใช้ประโยชน์ทางตรงจากต้นสาकुทั้งหมด ซึ่งปริมาณใช้ประโยชน์เพื่อจำหน่ายคิดเป็นร้อยละ 52 ใช้เองคิดเป็นร้อยละ 48 และปริมาณการใช้ประโยชน์ลำต้นสาकुเฉลี่ยต่อคนเท่ากับ 188.00 เมตรต่อปี เมื่อคิดเป็นปริมาณลำต้นสาकुทั้งหมดที่กลุ่มประชากรใช้ประโยชน์ในพื้นที่ มีค่าเท่ากับ 39,404.86 เมตรต่อปี สำหรับลักษณะการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकुในพื้นที่สามารถสรุปได้ดัง Table 1

Table 1 The characteristics of direct use of various parts of the sago palm.

Part of the sago palm	Unit	Total Quantity Household		Average volume (Unit /Year)
		Household	Percentage	
1. Leaf	kilogram	241	88.60	3,768
2. Petiole	meter	43	15.81	3,917
3. Bark	meter	11	4.04	510
4. Stem	meter	210	77.21	188

Remark: The numbers in the table are rounded up to an integer (except percentages).

3. มูลค่าที่เกิดจากการใช้ประโยชน์

มูลค่ารวมที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु เพื่อนำมาอุปโภค บริโภค และจำหน่าย สามารถคิดเป็นมูลค่าแยกตามการใช้ประโยชน์จากส่วนต่าง ๆ ของต้นสาकु โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Table 2 Income from sago palm utilization.

Part of the sago palm	Unit	Average Price/Unit (Baht)	Average volume (unit)	Average Income (Baht)	Total Quantity (unit)	Total Income (Baht/year)
1. Leaf	kilogram	14.36	3,768.24	54,111.88	908,145.00	13,040,962
2. Petiole	meter	3.50	3,917.01	13,710.00	168,431.42	589,510
3. Bark	meter	45.45	510.00	23,179.50	5,610.56	255,000
4. Stem	meter	261.79	187.64	49,122.85	39,404.86	10,315,800
Total						24,201,272

Remark: The numbers in the table are rounded up to an integer (Except the price).

การใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु พบว่ามูลค่าของใบ มากเป็นลำดับที่ 1 คิดเป็นมูลค่า 13,040,962 บาทต่อปี ลำดับที่ 2 คือลำต้น คิดเป็นมูลค่า 10,315,800 บาทต่อปี ลำดับที่ 3 คือ ก้านใบ คิดเป็นมูลค่า 589,510 บาทต่อปี และลำดับที่ 4 คือ เปลือกลำต้น คิดเป็นมูลค่า 255,000 บาทต่อปี

จากผลการศึกษา พบว่า ลักษณะการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु พบว่ามี 4 ชนิด ได้แก่ ใบ รองลงมาคือ ลำต้น ก้านใบ และเปลือกลำต้น ตามลำดับ คล้ายคลึงกับงานวิจัยของของวัฒนรงค์ Markphan et al. (2016) ที่ศึกษาลักษณะการใช้ประโยชน์ทางตรงของชาวบ้านต่อต้นสาकु ในพื้นที่จังหวัดพัทลุงและจังหวัดตรัง พบชนิดของการใช้ประโยชน์ของต้นสาकु 3 ชนิด ได้แก่ ใบสาकु ลำต้นสาकु และผิวทางใบสาकु โดยทุกส่วนสามารถใช้ประโยชน์ได้ตลอดทั้งปี แตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้ประโยชน์ ซึ่งขึ้นอยู่กับอายุของต้นสาकुนั้น ๆ การประเมินมูลค่าของต้นสาकु พบว่ามูลค่าของใบ มากที่สุด คิดเป็นมูลค่าทั้งหมดเท่ากับ 13,040,962 บาทต่อปี เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Markphan et al. (2016) โดยพบว่าส่วนของต้นสาकुที่ชาวบ้านใช้ประโยชน์มากที่สุด คือ ใบสาकुอาจเพราะมีราคาสูง เก็บหาง่าย วิธีการไม่ยุ่งยาก โดยวิธีการเก็บหาใบสาकुจะใช้มีดพาดตัดส่วนโคนของทางสาकु จากนั้นเลือกตัดเอาเฉพาะส่วนใบสาकुซึ่งส่วนใหญ่จะนำมา แปรรูปเป็นเครื่องมือเครื่องใช้และจำหน่ายในหมู่บ้าน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของสาकुที่มีต่อคนในพื้นที่เป็นอย่างมาก หากไม่มีทรัพยากรดังกล่าวก็จะเห็นได้ว่า ในแต่ละปีชาวบ้านต้องสูญเสียรายได้ในส่วนดังกล่าวไป ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าต้นสาकुในพื้นที่มีความสำคัญและเป็นแหล่งสร้างรายได้ให้กับชาวบ้านเป็นอันดับต้นๆ

ต้นทุนรวมที่เกิดจากการใช้ประโยชน์

ต้นทุนด้านอุปกรณ์

ต้นทุนด้านอุปกรณ์ประกอบด้วยต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร ต้นทุนคงที่เป็นต้นทุนที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์ในการใช้ประโยชน์จากต้นสาकुซึ่งเป็นจำนวนคงที่ภายในระยะเวลาสั้นๆ กล่าวคือ ปริมาณการใช้ประโยชน์จากต้นสาकुของชาวบ้านจะมีปริมาณมากหรือน้อย เพิ่มขึ้นหรือลดลง ต้นทุนประเภทนี้ก็มีจำนวนคงที่ ตัวอย่างของต้นทุนประเภทนี้ เช่น มีดพก พร้า เป็นต้น และสำหรับต้นทุนอีกประเภทหนึ่ง คือ ต้นทุนผันแปร เป็นต้นทุนที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการเก็บหา กล่าวคือ ปริมาณการใช้ประโยชน์จากต้นสาकुของชาวบ้านจะมีปริมาณมากหรือน้อย เพิ่มขึ้นหรือลดลง ต้นทุนประเภทนี้ก็เพิ่มขึ้นและลดลงตามปริมาณของการใช้ประโยชน์จากต้นสาकुที่ถูกเก็บหาด้วย ตัวอย่างของต้นทุนประเภทนี้ เช่น กระสอบ เป็นต้น ต้นทุนในการใช้ประโยชน์จากต้นสาकुนี้ ผู้วิจัยได้คำนวณโดยคิดต้นทุนเพียง 1 ปี และไม่ได้แยกตามรายชนิดที่ชาวบ้านได้เก็บหา เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บหาบางชนิดนั้นมีการใช้อุปกรณ์เดียวกัน หากคำนวณโดยแยกตามรายชนิด อาจเกิดการคำนวณที่ซับซ้อนของข้อมูล ทำให้ต้นทุนดังกล่าวไม่สามารถสะท้อนต้นทุนที่แท้จริงได้ ผู้วิจัยจึงใช้การคำนวณรวมกันทั้งหมด ซึ่งการคิดต้นทุนผู้วิจัยคิดเฉพาะต้นทุนในรอบปีนั้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 ค่ามีด มีดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดส่วนต่าง ๆ ของลำต้นสาकु ต้นทุนค่ามีดเฉลี่ยต่อครัวเรือนเท่ากับ 8.16 บาทต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่าทั้งหมดเท่ากับ 2,220 บาทต่อปี

1.2 ค่าพร้า พร้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดส่วนต่าง ๆ ของลำต้นสาकु มีต้นทุนค่าพร้าเฉลี่ยต่อครัวเรือนเท่ากับ 67.45 บาทต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่าทั้งหมดเท่ากับ 18,347 บาทต่อปี

1.3 ค่าเลื่อยยนต์ เลื่อยยนต์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตัดโค่นลำต้นสาकु สำหรับต้นทุนค่าเลื่อยยนต์เฉลี่ยต่อครัวเรือนเท่ากับ 503.50 บาทต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่าทั้งหมดเท่ากับ 136,953 บาทต่อปี

1.4 ค่าขวาน ขวานเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตัดโค่นลำต้นสาकु สำหรับต้นทุนค่าขวาน เฉลี่ยต่อครัวเรือนเท่ากับ 23.92 บาทต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่าทั้งหมดเท่ากับ 6,507 บาทต่อปี

ทั้งนี้ ต้นทุนผันแปรในการใช้ประโยชน์จากต้นสาकु จากชาวบ้านผู้เก็บทั้งหมด 272 ครัวเรือน ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Total cost of the sago palm utilization

Tools	Average Costs/ household (Baht/ household /Year)	Total Cost (Baht/Year)
1. Knife	8.16	2,220
2. Big knife	67.45	18,347
3. Saw motor	503.50	136,953
4. Cleaver	23.92	6,507
Total	603.03	164,025

Remarks: The numbers in the table are rounded up to an integer.

ต้นทุนด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการใช้ประโยชน์จากต้นสาकुในรอบ 1 ปี ซึ่งมีทั้งหมด 4 รายการ คิดเป็นต้นทุนผันแปรเฉลี่ยเท่ากับ 603.03 บาทต่อครัวเรือนต่อปี และคิดเป็นต้นทุนผันแปรทั้งหมด เท่ากับ 164,025 บาทต่อปี

4.2 ต้นทุนด้านแรงงาน

ต้นทุนด้านแรงงาน คิดจากต้นทุนค่าเสียโอกาสของเวลาที่ชาวบ้านใช้ในการใช้ประโยชน์จากต้นสาकुในรอบ 1 ปี การคิดคำนวณผู้วิจัยใช้อัตราค่าจ้างขั้นต่ำของจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเท่ากับ 300 บาทต่อวัน (Ministry of Labour, 2014) หรือการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน สามารถคิดเป็นรายชั่วโมงเท่ากับ 37.50 บาท ดังนั้นการคิดคำนวณจะใช้เวลาที่เข้าไปใช้ประโยชน์จากต้นสาकुคูณกับอัตราค่าจ้างรายชั่วโมง

จากการสัมภาษณ์ชาวบ้านที่มีการใช้ประโยชน์จากต้นสาकु พบว่า ชาวบ้านใช้จำนวนแรงงานในแต่ละครั้ง เท่ากับ 1-2 คน โดยระยะเวลาที่ชาวบ้านเข้าไปเก็บหาต้นสาकुในแต่ละครั้ง พบว่า ใบ ใช้เวลามากที่สุด โดยใช้เวลา 2 ชั่วโมงในการเก็บหา

จากการสัมภาษณ์ชาวบ้านที่ใช้ประโยชน์จากต้นสาकुทำให้ทราบรายละเอียดการใช้แรงงานและระยะเวลาของการใช้ประโยชน์จากต้นสาकुแตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ต้นทุนด้านแรงงานที่ชาวบ้านใช้ประโยชน์จากต้นสาकुเฉลี่ยเท่ากับ 9,850.40 บาทต่อคนต่อปี และคิดเป็นต้นทุนทั้งหมดในรอบปีนั้น เท่ากับ 2,679,309 บาทต่อปี แสดงดัง Table 4

Table 4 The amount of labor and time required to utilize the sago palm.

Part of the Sago palm	Total Quantity Household	Average labor/ time (Person)	Average of time (time per Year)	Total of time (Hours/Year)	Minimum wage (Baht/Hour)	Total Wage (Baht/Year)
1. Leaf	241	3.83	44.12	40,752.00	37.50	1,528,200
2. Petiole	43	1.00	3.20	138.00	37.50	5,175
3. Bark	11	1.00	73.09	804.00	37.50	30,150
4. Stem	210	2.50	56.67	29,754.24	37.50	1,115,784
Total						2,679,309

Remark: The numbers in the table are rounded up to an integer (except for the minimum wage).

ต้นทุนด้านการเดินทาง

ต้นทุนการเดินทางที่ใช้การเดินทางเท้า คือ ระยะเวลาในการเดินทางจากบ้านไปการใช้ประโยชน์จากต้นสาकुและระยะเวลาในการเดินทางไปขาย ซึ่งต้นทุนการเดินทางคิดจากค่าเสียเวลาการใช้ประโยชน์ ส่วนใบ เฉลี่ยเท่ากับ 292 บาทต่อคนต่อปี และคิดเป็นมูลค่าทั้งหมด เท่ากับ 70,416 บาทต่อปี ส่วนก้านใบ เฉลี่ยเท่ากับ 289 บาทต่อคนต่อปี และคิดเป็นมูลค่าทั้งหมด เท่ากับ 12,416 บาทต่อปี ส่วนเปลือกลำต้น เฉลี่ยเท่ากับ 993 บาทต่อคนต่อปี และคิดเป็นมูลค่าทั้งหมด เท่ากับ 10,924 บาทต่อปี ส่วนลำต้นเฉลี่ยเท่ากับ 150 บาทต่อคนต่อปี และคิดเป็นมูลค่าทั้งหมด เท่ากับ 31,557 บาทต่อปี แสดงดัง Table 5

Table 5 The travel cost for the direct utilization of the sago palm.

Part of the Sago palm	Total Quantity Household	Travel costs		Minimum wage (Baht/Hour)	Average Cost Waste of time (Baht/Hour)	Total Travel costs (Baht/year)
		Average collection time (hours/year)	Sell time (hours)			
1. Leaf	241	7.79	-	37.50	292	70,416
2. Petiole	43	7.69	-	37.50	289	12,416
3. Bark	11	26.48	-	37.50	993	10,924
4. Stem	210	4.00	-	37.50	150	31,557
Total						125,313

Remarks: The numbers in the table are rounded up to an integer (except for the distance used by the car walk time and minimum wage).

จากการศึกษา พบว่า สำหรับต้นทุนที่มีค่าใช้จ่ายสูงสุดในงานวิจัยนี้คือ ต้นทุนด้านแรงงาน เพราะสอบถามจากชาวบ้านที่ใช้ประโยชน์จากต้นสาकुตามชนิดต่าง ๆ ซึ่งบางชนิดใช้ระยะเวลาในการเก็บหาค่อนข้างนาน บางครั้งใช้เวลา 6 ชั่วโมง มีขั้นตอนที่ยุ่งยากซับซ้อน รองลงมาคือ ค่าเดินทาง ซึ่งคิดจากระยะทางจากบ้านถึงเขตป่าที่เก็บหา รวมระยะทางในการขนส่ง โดยการเดินเท้า โดยส่วนใหญ่เก็บหาจากแหล่งพื้นที่ไม่ไกลจากบ้านมากนัก ทำให้มีรายจ่ายไม่สูงมากนัก และต้นทุนที่มีรายจ่ายน้อยที่สุดคือค่าอุปกรณ์ เพราะราคาสูงไม่มากนัก ประกอบกับสามารถใช้อุปกรณ์ซ้ำ ๆ กันได้ ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Jariyapong (2009) ซึ่งใช้การคิดคำนวณต้นทุนจากค่าอุปกรณ์ ค่าแรงงาน และค่าเสียเวลาในการเดินทาง และค่าเชื้อเพลิง แต่แตกต่างกัน คือ การคิดคำนวณต้นทุนค่าอุปกรณ์ ที่นำมาคำนวณเป็นต้นทุนค่าอุปกรณ์และมีการคิดคำนวณแยกค่าเชื้อเพลิง แต่งานชิ้นนี้ ผู้วิจัยไม่ได้คำนวณส่วนของค่าอุปกรณ์คงที่ เพราะชาวบ้านไม่ได้ใช้อุปกรณ์เพื่อเก็บหาของป่าชนิดนั้นเพียงอย่างเดียว เช่น พร้า จอบ และเลื่อย ชาวบ้านมีการใช้ร่วมกันกับการใช้ประโยชน์ในส่วนอื่น ๆ ของต้นสาकुด้วย

มูลค่าสุทธิที่เกิดจากการใช้ประโยชน์

มูลค่าสุทธิที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु สามารถคำนวณได้จากมูลค่าทั้งหมดซึ่งเป็นรายได้รวมของต้นสาकुที่ชาวบ้านเก็บหาเพื่อใช้ประโยชน์ทั้ง 4 ส่วน จากนั้นนำรายได้รวมและต้นทุนรวมไปคิดเป็นกำไรสุทธิหรือมูลค่าสุทธิ (Mingmaneenakin, 2010) แสดงดัง Table 6

Table 6 The profit from the utilization of the sago palm.

Incomes and costs	Average Income/household /year (Baht)	Total Income (Baht/Year)
1. Total Incomes		
1.1 Total Income of leaf	47,944.71	13,040,962
1.2 Total Income of Petiole	2,167.31	589,510
1.3 Total Income of Bark	937.50	255,000
1.4 Total Income of Stem	37,925.73	10,315,800
Total	88,975.25	24,201,272
2. Total Costs		
2.1 Total cost of tools	603.00	164,025
2.2 Total cost of wage	9,850.40	2,679,309
2.3 Total cost of travel	460.70	125,313
Total	10,914.10	2,968,647
3. Profit	78,061.15	21,232,625

Remark: The numbers in the table Rounding up to an integer.

สรุปผลการศึกษา

ชาวบ้านที่ใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकु เป็นเพศหญิงใกล้เคียงกับเพศชาย ส่วนใหญ่สถานภาพสมรสแล้ว และเป็นหัวหน้าครอบครัว ส่วนใหญ่อายุ 60 ปีขึ้นไป ซึ่งสอดคล้องกับระยะเวลาการอาศัยอยู่ในพื้นที่ ส่วนใหญ่ทราบแหล่งเก็บหา และเส้นทางจากการบอกเล่าของบรรพบุรุษ ลักษณะการใช้ประโยชน์ทางตรงของต้นสาकुจากส่วนต่าง ๆ 4 ส่วน ได้แก่ ใบสาकु ทางสาकु เปลือกลำต้นสาकु และลำต้นสาकु เมื่อคิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจจากการใช้ประโยชน์ พบว่า มูลค่าสุทธิรวมทั้งหมดเฉลี่ยต่อคนต่อปี เท่ากับ 78,061.15 บาท และมูลค่ารวมสุทธิทั้งหมดเท่ากับ 21,232,625 บาทต่อปี การศึกษานี้สะท้อนให้เห็นรายได้จากการใช้ประโยชน์จากสาकुในแต่ละครัวเรือน ที่ชาวบ้านเข้าไปใช้ประโยชน์ในการเก็บหามาอุปโภค บริโภคและจำหน่ายในพื้นที่ เป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย และสร้างรายได้ให้กับชาวบ้าน นับได้ว่า สาकुเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของชาวบ้านในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ชาวบ้านในพื้นที่ควรตระหนักถึงคุณค่าและส่งเสริมให้เข้าใจถึงการใช้ประโยชน์จากสาकुอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- Charungsutjaritkul, W., Nuktripong, N., & Jorapong, K. (2018). Economic utilization from sago palm trees of community in Nakhon Si Thammarat Province. *Journal of Southern Technology*, 11(2), 153-159. (in Thai).
- Chunta, S. (2017). *Sago Palm in Thailand*. Bangkok press. (in Thai).
- Jaipluem, N. (2006). *Participatory Management on Sago Palm Forest of Rural Communities*. National Research Council of Thailand. (in Thai).
- Jariyapong, M. (2009). *Values of Local Vegetable and Community Management at Ban Wanglung, Tambon Tonhong, Amphoe Phrom Khiri, Changwat Nakhon Si Thammarat*. Master's thesis. Prince of Songkla University. (in Thai).
- Markphan, W., Chankaew, W., & Tiprug, U. (2016). An economic evaluation of the direct use of sago palm in Phatthalung province and Trang Province. *Thaksin University Journal*, 19(2), 99-108. (in Thai).
- Markphan, W. (2012). *Capacity and Income Measurement of Non-Timber Forest Products by Youth Participation: A Case Study of An Area Around Khao Pu-Khao Ya National Park, Sribunphot District, Phattalung Province*. Master's thesis. Prince of Songkla University. (in Thai).
- Ministry of Labour. (2014). *The Daily Minimum Wage 300 baht Policy*. Retrieved from: https://library2.parliament.go.th/ejournal/content_af/2557/may2557-3.pdf. (in Thai).
- Mingmaneeakin, W. (2010). *Principles of Economics*. Thammasat University Printing. (in Thai).
- Paphon, K., & Jaipluem, N. (2011). Soil fertility in sago palm forest. *Agricultural Science Journal*, 42(2 special), 49-52. (in Thai).
- Phongphaibun S., & Thanasuk, S. (1999). *Sago: Plant*. Thailand Cultural Encyclopedia. (in Thai).
- Smitinand, T. (2014). *Thai plant names*. 2014 Ed. Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. (in Thai).
- Somboonchai, S. (2002). *Forest economic values affecting forest conservation motivation: The Case Study of Ban-Pong Royal Project, Phaphai Subdistrict, Sansai District, Chiang Mai*. Master's thesis. Chiang Mai University. (in Thai).
- Sriroth, K., Hicks, A., Oates, C., Patiyut, C., Bualumyai, S., Thongpuek, T., Janyawilad, S., Hathairuktham, S., Chotineranat, S., Chonkub, R., & Piyajomkwan, K. (1999). *Attribute and Evaluation of Sago Palm (Metroxylon spp.) in Thailand*. Text and Journal Publication Company Limited.
- Sukphan, N., & Kunweechuay, M. (2010). *Evaluation and Management of Sago Palm in Nakhon Si Thammarat Province*. Nakhon Si Thammarat Rajabhat University. (in Thai).

ผลของชนิดวัสดุปลูกและระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกระวาน (*Amomum testaceum* Ridl.) ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

Effect of Substrates and Nutrient Solution Concentrations on Growth and Yield of Cardamom (*Amomum testaceum* Ridl.) in Soilless Culture

นภาพร จิตต์ศรัทธา^{1*}, พิกุล นุชนวนรัตน์¹ และ วัชรวิทย์ รัชมี¹

Napaporn Jitsatta^{1*}, Phikun Nuchnuanrat¹, and Watcharawit Rassami¹

Received date: 16 พ.ย. 65 Revised date: 27 มิ.ย. 66 Accepted date: 8 ส.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.009>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของวัสดุปลูกและระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกระวานในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน วางแผนการทดลองแบบ 2x3 Factorial in Completely Randomized Design จำนวน 5 ซ้ำ ซึ่งมี ปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดวัสดุปลูก ได้แก่ ขุยมะพร้าว และกาบมะพร้าวสับ และปัจจัยที่ 2 คือ ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ได้แก่ EC 1.00, 2.00 และ 3.00 mS/cm เริ่มดำเนินการทดลองในเดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2564 จากการทดลองพบว่า ชนิดของวัสดุปลูกและระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงสุด คือกระวานที่ปลูกโดยใช้กาบมะพร้าวสับให้น้ำหนักต้นสูงที่สุด เท่ากับ 256.00 กรัม/ต้น ระดับค่า EC 3.00 mS/cm ให้จำนวนต้นสูงที่สุด เท่ากับ 21.30 ต้น/กระถาง และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย พบว่า กระวานที่ปลูกโดยใช้กาบมะพร้าวสับที่ระดับ EC 3.00 mS/cm ให้จำนวนต้นสูงที่สุด เท่ากับ 23.60 ต้น/กระถาง ดังนั้นการปลูกกระวานเพื่อผลิตหน่อขาย ควรปลูกโดยใช้กาบมะพร้าวสับที่ระดับ EC 3.00 mS/cm ซึ่งให้ผลการเจริญเติบโตและผลผลิตของกระวานดีที่สุด

คำสำคัญ: กระวาน วัสดุปลูก สารละลายธาตุอาหาร ระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

Abstract

This research aimed to investigate the effects of the substrates and nutrient solutions on the growth and yield of cardamom in soilless culture. The experimental design was 2x3 Factorial in Completely Randomized Design with 5 replications. First factor consisted of coconut coir dust and coconut husk chips and the second factors were 3 nutrient solution concentrations; EC=1.00, 2.00 and 3.00 mS/cm. The experiment was carried out during July to December, 2021. The results showed that cardamom grown using coconut husk chips with nutrient solution concentration of EC= 3.00 mS/cm yielded the highest plant weight (256.00 g/plant) and the highest number of plants (21.30 plant/pot), respectively. For the analysis of interaction effect between substrates and nutrient solution concentrations, it was found that cardamom grown by using chopped coconut husks at EC 3.00 mS/cm gave the highest number of plants (23.60 plants/pot). Therefore, to produce shoots for sale, cardamom should be planted using coconut husk chips at EC 3.00 mS/cm in order to obtain the best cardamom growth and yield.

Keywords: cardamom, substrates, nutrient solution, soilless culture

คำนำ

กระวาน เป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ Zingiberaceae (วงศ์เดียวกับขิง ข่า) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Amomum testaceum* Ridl. (Phutthisa, 2020) เป็นพืชล้มลุก มีลำต้นอยู่ใต้ดินเรียกว่า “เหง้า” ชอบขึ้นอยู่ตามป่าที่มีความชื้นสูงและมีไม้ใหญ่ปกคลุม ชอบขึ้นในที่ร่มหรือใต้ต้นไม้ (Pruangprach & Jintana, 2018) ในประเทศพบกระวานมากในภาคใต้ แถบจังหวัดสุราษฎร์ธานี ตรัง ยะลา นราธิวาส และประจวบคีรีขันธ์ และภาคตะวันออก แถบเขาสอยดาว และเขาสระบาป จังหวัดจันทบุรี ซึ่งในจังหวัดจันทบุรี มีชื่อเรียกว่า “กระวานจันท” เป็นกระวานที่มีคุณภาพดีที่สุด ผลมีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก เมล็ดมีรสเผ็ดร้อน และมีกลิ่นหอมแรง นิยม

¹ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จ.จันทบุรี 22000

¹ Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

*Corresponding author, E-mail: napaporn.j@rbru.ac.th

ใช้เป็นเครื่องเทศประกอบอาหาร หรือใช้ในรูปน้ำมันหอมระเหย แต่งกลิ่นอาหาร และเครื่องดื่มต่าง ๆ รวมถึงใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง และผลิตน้ำหอม นิยมส่งออกไปประเทศจีน และฮ่องกง ส่วนหน่ออ่อนนิยมนำมาทำอาหารพื้นถิ่นในจังหวัดจันทบุรี กระวานสามารถช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานได้ เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ภายในมีผลกระตุ้นการดูดกลับของน้ำตาลกลูโคส และเสริมฤทธิ์การทำงานของอินซูลินที่ช่วยในการลดระดับน้ำตาลในเลือด (Changthom, 2019) กระวานจึงเป็นพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจของจังหวัดจันทบุรี แต่เกษตรกรยังผลิตกระวาน ได้ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยในการผลิตได้ เนื่องจากการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถควบคุมสภาพแวดล้อม ปริมาณธาตุอาหารให้มีสภาพ และปริมาณตามที่พืชต้องการ (Nuntagij, 2011) ระบบปลูกในวัสดุปลูกเป็นการปลูกที่คล้ายกับการปลูกในดินมากที่สุด วัสดุปลูกจะทำหน้าที่ให้รากยึดเกาะพยุงลำต้นรวมถึงการเก็บความชื้น และธาตุอาหารเพื่อให้รากดูดใช้ การเลือกวัสดุปลูกต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพด้วย โดยวัสดุที่นำมาใช้ควรมีคุณสมบัติที่ไม่อัดตัวและยุบตัวเมื่อเปียกน้ำ รากพืชสามารถกระจายตัวได้ทั่วในวัสดุปลูก ไม่มีสารที่เป็นพิษต่อพืช ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายธาตุอาหาร และภาชนะที่ใช้ปลูก ไม่เป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคและแมลง และยังสามารถกำจัดโรคและแมลงได้ วัสดุในประเทศไทยมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ ขุยมะพร้าว กาบมะพร้าวสับ ขี้เถ้าแกลบ หวาย กรวด เป็นต้น (Jitsatta & Rassami, 2019) นอกจากนี้การปลูกกระวานยังต้องคำนึงถึงระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร โดยจะวัดอยู่ในรูปของค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity : EC) มีหน่วยเป็นมิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) (Wu & Kubota, 2008) ถ้าค่าการนำไฟฟ้าสูงหรือต่ำกว่านี้ จะส่งผลกระทบต่อในด้านลบกับพืชในการเจริญเติบโต อาจเกิดความเป็นพิษต่อพืช และทำให้สิ้นเปลืองสารละลายธาตุอาหาร นำไปสู่ต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ก็ไม่ควรน้อยไปจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช (Sakamoto & Suzuki, 2020) ระบบการปลูกในวัสดุปลูกจะเป็นระบบที่มีการให้น้ำแบบน้ำหยด ซึ่งเป็นการให้น้ำที่ประหยัดมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้อัตราการใช้น้ำของพืชเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และลดความเสี่ยงต่อการขาดน้ำของพืช (Thongket, 2012) ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษานิตของวัสดุปลูก และระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสม ต่อการปลูกกระวานในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เพื่อเป็นแนวทางใหม่ให้กับเกษตรกรในจังหวัดจันทบุรีเลือกนำความรู้ที่ได้ไปผลิตกระวานเป็นการค้า

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบ 2x3 Factorial in Completely Randomized Design จำนวน 5 ซ้ำ ซึ่งมีปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดวัสดุปลูก ได้แก่ ขุยมะพร้าว และกาบมะพร้าวสับ และปัจจัยที่ 2 คือ ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ได้แก่ EC 1.00, 2.00 และ 3.00 mS/cm ดำเนินการทดลองที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ในเดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2564 ภายในโรงเรือนพลาสติกขนาด 6x12 ตารางเมตร หลังคามุงด้วยพลาสติกคลุมโรงเรือนมีความหนา 200 ไมครอน ด้านข้างจะมีมุ้งกันแมลงทำหน้าที่ในการป้องกันแมลงศัตรูพืชที่จะเข้าทำลายพืช ขนาดตาข่าย 32 ตา ซึ่งทำให้พืชได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอตลอดการทดลอง

การเตรียมวัสดุปลูกและการเตรียมต้นกระวาน

ทำการเตรียมวัสดุปลูกโดยการนำวัสดุปลูกขุยมะพร้าว และกาบมะพร้าวสับใส่กระถางพลาสติก นำมาแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นเทน้ำทิ้ง โดยทำซ้ำแบบเดิมทั้งหมด 3 ครั้ง เนื่องจากขุยมะพร้าวและกาบมะพร้าวสับมีสารแทนนิน อยู่จำนวนมาก เมื่อละลายน้ำจะกลายเป็นกรดแทนนิกสีน้ำตาลดำ เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ กลายเป็นเกลือที่ไม่ละลาย ดังนั้น เมื่อใช้วัสดุ ขุยมะพร้าว และกาบมะพร้าวสับปลูกพืช จะต้องทำการแช่น้ำก่อนใช้ เพื่อให้พืชไม่เกิดอาการขาดธาตุแคลเซียม และเกิดอาการใบไหม้ โดยให้มีค่า EC ไม่เกิน 0.20 mS/cm และค่า pH อยู่ในช่วง 5.50-6.50 ก่อนนำวัสดุมาใช้เพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต การเตรียมต้นกระวานทำการแยกเหง้าจากกอต้นแม่ที่มีอายุหนึ่งปีครึ่ง-สองปี ปี ทำการตัดต้นโดยมีหน่อติดมาด้วย 2-3 หน่อ มีความสูง 30-60 เซนติเมตร และนำมาชำในวัสดุปลูก 4 สัปดาห์ ก่อนลงปลูกในกระถางพลาสติกก้นตันเจาะรูด้านข้าง การเตรียมโรงเรือนสำหรับ

การปลูกกระวาน

ทำการปลูกกระวานในโรงเรือนพลาสติกขนาด 6x12 ตารางเมตร หลังคามุงด้วยพลาสติกคลุมโรงเรือนมีความหนา 200 ไมครอน ด้านข้างจะมีมุ้งกันแมลงทำหน้าที่ในการป้องกันแมลงศัตรูพืชที่จะเข้าทำลายพืช ขนาดตาข่าย 32 ตา โดยภายในโรงเรือนจะซิงด้วยสแลนพรางแสง 60% ซึ่งทำให้พืชได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอ และมีสเปร์ยพ่นหมอก เพื่อควบคุมความชื้นในอากาศให้พืชอย่างสม่ำเสมอตลอดการทดลอง

วิธีการทดลอง

เมื่อต้นกระวานที่ชำได้เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ เริ่มทำการย้ายปลูกในวัสดุปลูก ได้แก่ ขุยมะพร้าว และกาบมะพร้าวสับ ตามแผนการทดลอง และนำกระถางพลาสติกไปวางให้มีระยะปลูกระหว่างแถว 100 เซนติเมตร ระยะระหว่างต้น 50 เซนติเมตร จากนั้นปักหัวน้ำหยดกระถางละ 2 หัวน้ำหยด ต้นกระวานจะได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตร Zingiberaceae Netherlands มีค่า EC ได้แก่ 1.00, 2.00 และ 3.00 mS/cm ตามแผนการทดลอง และ pH 5.50-6.50 โดยใช้เครื่องตั้งเวลา ควบคุมการปิด-เปิด ซึ่งจะเพิ่มเวลาการให้น้ำ ตามการเจริญเติบโตของพืช เครื่องตั้งเวลา สามารถตั้งความถี่การให้น้ำ และระยะเวลาการให้น้ำ สามารถตั้งความถี่สูงสุด 24 ครั้ง และระยะเวลาการให้น้ำในแต่ละครั้ง 0-30 นาที จะทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ สัปดาห์ เมื่ออายุ 20 สัปดาห์ ดังแสดงใน (Figure 1) จะทำการเก็บเกี่ยว โดยการขุดหน่ออ่อนพร้อมลำต้น

การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

ทำการเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตร Zingiberaceae Netherlands (จากโปรแกรม NutriCal V1.7T) (Nuntagij, 2014) ที่มีความเข้มข้น 200 เท่า ปริมาตร 20 ลิตร ถึง A ประกอบด้วย $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = 3.77$ กิโลกรัม และ $\text{Fe-EDTA} = 78.00$ กรัม ส่วนถึง B ประกอบด้วย $\text{KNO}_3 = 1.78$ กิโลกรัม, $\text{KH}_2\text{PO}_4 = 0.65$ กิโลกรัม, $\text{MgSO}_4 = 1.04$ กิโลกรัม, $\text{ZnSO}_4 = 4.76$ กรัม, $\text{CuSO}_4 = 0.51$ กรัม, $\text{MnSO}_4 = 5.32$ กรัม, $\text{H}_3\text{BO}_3 = 5.08$ กรัม และ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} = 0.34$ กรัม หลังจากนั้นนำสารละลายจากถึง A และ B มาผสมกันในถังที่มีน้ำอยู่ 200 ลิตร เพื่อเจือจางสารละลายก่อนนำไปใช้ให้ความเข้มข้นตามที่กำหนดไว้ โดยปริมาตรของสารละลายทั้งสองต้องเท่ากัน จนได้ระดับค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหาร 3 ระดับ คือ $\text{EC} = 1.00, 2.00$ และ 3.00 mS/cm (ปุ๋ยถึง A และ B อย่างละ 800, 1,200 และ 1,600 ml/น้ำ 200 ลิตร ตามลำดับ) โดยใช้เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า Electrical Conductivity Meter เป็นเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลาย และปรับค่า pH 5.50-6.50 โดยใช้กรดไนตริกความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ในการปรับค่า pH ของสารละลายธาตุอาหาร ใช้เครื่องวัดค่า pH Meter เป็นเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังนั้น ระบบน้ำจึงมีทั้งหมด 3 ชุด ซึ่งแต่ละวิธีการทดลองจะทำการสุ่มให้แก่ต้นกระวานด้วย การให้สารละลายไปพร้อมกับน้ำด้วยระบบน้ำแบบหยด ตามแผนการทดลอง

การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากการย้ายปลูกต้นกระวานได้ 1 สัปดาห์ จึงเริ่มการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิต ดังนั้น วัดความสูงต้น (โดยวัดจากส่วนที่อยู่เหนือดินถึงปลายยอด ลำต้นเทียม) ความกว้างใบ ความยาวใบ (เซนติเมตร) (วัดจากใบที่ 3 โดยความกว้างใบ วัดจากส่วนที่กว้างที่สุดของใบจากขอบใบถึงขอบใบอีกด้านหนึ่ง และความยาวใบ วัดจากส่วนโคนใบถึงปลายใบ) ขนาดลำต้น (มิลลิเมตร) (โดยวัดขนาดลำต้นที่อยู่เหนือวัสดุปลูก 10 เซนติเมตร) ความเขียวใบ (SPAD) (วัดจากใบที่ 3 โดยวัด 3 จุดของใบและเฉลี่ยค่าเป็นความเขียวใบ) ความยาวก้านใบ (เซนติเมตร) (วัดจากโคนก้านใบถึงปลายก้านใบ) จำนวนใบ (ใบ/ต้น) (โดยนับจำนวนใบทั้งหมดของต้น) ด้านการเจริญเติบโตจะวัดจากหน่อแรกที่แทงต้นขึ้นมาที่ได้จากการปักชำ นับจำนวนต้น (ต้น/กระถาง) จะนับจำนวนต้นที่แทงขึ้นใหม่ทุกต้นในกระถาง ความชื้นของวัสดุปลูก (เปอร์เซ็นต์) ค่าความเป็นกรด-ด่างของวัสดุปลูก และโดยจะเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและวัสดุปลูกทุก ๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 20 สัปดาห์ และชั่งน้ำหนักต้น (กรัมต่อต้น) โดยจะชั่งจากหน่อจนถึงปลายยอดต้น และชั่งน้ำหนักต้นรวม (กิโลกรัม/กระถาง) โดยจะชั่งจากหน่อถึงปลายยอดต้นทุกต้นในกระถาง จะบันทึกครั้งสุดท้ายในสัปดาห์ที่ 20 และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan' new multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Sirichai Statistics ver.7.0)



Figure 1 Cardamom planted in a soilless culture, 20 weeks after planting.

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโตและผลผลิตของกระวาน

จากการเปรียบเทียบชนิดของวัสดุปลูกที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกระวานในระบบไม่ใช้ดิน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าต้นกระวานที่ปลูกในวัสดุกาบมะพร้าวสับมีน้ำหนักต้น (256.00 กรัม) มากกว่าวัสดุขุยมะพร้าว (211.13 กรัม) เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 3) ค่าความเบี่ยงเบนต่างของวัสดุปลูก พบว่ากาบมะพร้าวสับ (pH 5.90) มีค่ามากกว่าขุยมะพร้าว (pH 5.05) เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 3) ส่วนความชื้นของวัสดุปลูก พบว่าวัสดุขุยมะพร้าว (45.67 เปอร์เซ็นต์) มีค่ามากกว่ากาบมะพร้าวสับ (38.01 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 3) เนื่องจากกาบมะพร้าวสับเป็นวัสดุที่อุ้มน้ำได้ปานกลาง ขนาดที่ใช้ 1-3 เซนติเมตร มีการแลกเปลี่ยนประจุสูง เมื่อผ่านขบวนการสลายตัว ความหนาแน่นรวมเมื่อแห้งต่ำ สามารถสลายตัวได้ (Nuntagij et al., 2014) ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมกับการปลูกกระวาน โดยลักษณะการเจริญเติบโตของกระวานจะชอบวัสดุปลูกที่มีความชื้นสูง แต่ไม่แฉะจนเกินไป (Pruangprach & Jintana, 2018) ซึ่งวัสดุกาบมะพร้าวสับมีความพรุนค่อนข้างสูง แต่ก็อุ้มน้ำได้ทำให้กระวานเจริญเติบโตและผลผลิตดีกว่าขุยมะพร้าว และพบว่าความสูงต้น ความกว้างใบ ความยาวใบ ขนาดลำต้น ความเขียวใบ ความยาวก้านใบ จำนวนใบ จำนวนต้น และน้ำหนักต้นรวมต่อกระถาง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (Table 1, 2 และ 3)

ส่วนระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกระวานในระบบไม่ใช้ดิน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ากระวานที่ปลูกระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ค่า $EC=3.00$ mS/cm มีจำนวนต้นสูงสุด (21.30 ต้น) รองลงมาคือ $EC=2.00$ mS/cm (18.70 ต้น) และจำนวนต้นน้อยที่สุดคือ $EC=1.00$ mS/cm (16.80 ต้น) เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 2) น้ำหนักต้นรวมต่อกระถางที่มากที่สุดคือ ค่า $EC=1.00$ mS/cm (8.38 กิโลกรัม) รองลงมาคือ $EC=2.00$ mS/cm (6.80 กิโลกรัม) และน้ำหนักต้นรวมต่อกระถางน้อยที่สุดคือ $EC=3.00$ mS/cm (5.46 กิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 3) เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหารมากทำให้พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้มากด้วย และยังส่งผลให้จำนวนต้นสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับ Saetiew et al. (2012) ได้ศึกษาอิทธิพลของชนิดหลักคิเลต และระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่มีผลต่อปทุมมา ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในระบบปลูก NFT ใช้ Fe-EDTA ที่ค่า $EC=3.00$ mS/cm มีน้ำหนักหัวของต้นปทุมมามากที่สุด ซึ่งการปลูกกระวานในวัสดุปลูกที่มีการให้สารละลายธาตุอาหาร ในระบบน้ำแบบน้ำหยดนั้น Incrocci et al. (2006) ได้กล่าวว่าการปลูกพืชในระบบน้ำหยดจะให้น้ำแก่พืชครั้งละน้อย ๆ แต่บ่อยครั้งด้วยอัตราที่ต่ำ จะทำให้น้ำสามารถแพร่กระจายได้ดี ซึ่งเป็นระบบการให้น้ำที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้กระวานเจริญเติบโตและผลผลิตดี และพบว่าความสูงต้น ความกว้างใบ ความยาวใบ ขนาดลำต้น

ความเขียวใบ ความยาวก้านใบ จำนวนใบ น้ำหนักต้นรวม/กระถาง ค่าความเป็นกรด-ด่างของวัสดุปลูก และความชื้นของวัสดุปลูก พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (Table 1, 2 และ 3)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยชนิดของวัสดุปลูก และระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกระวานในระบบไม่ใช้ดิน พบว่าความสูงต้นที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกกาบมะพร้าวสับ + EC=2.00 mS/cm มีค่าสูงสุด (127.20 เซนติเมตร) รองลงมาคือวัสดุปลูกขุยมะพร้าว + EC=1.00 mS/cm, ขุยมะพร้าว + EC=3.00 mS/cm, กาบมะพร้าวสับ + EC=1.00 mS/cm และกาบมะพร้าวสับ + EC=3.00 mS/cm (116.80, 113.40, 108.60 และ 91.20 เซนติเมตร) ตามลำดับ และความสูงต้นที่มีค่าน้อยที่สุดคือ ขุยมะพร้าว + EC=2.00 mS/cm (83.00 เซนติเมตร) เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 1) ส่วนความกว้างใบที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกกาบมะพร้าวสับ + EC=2.00 mS/cm มีค่าสูงสุด (10.60 เซนติเมตร) รองลงมาคือวัสดุปลูกขุยมะพร้าว + EC=1.00 mS/cm, ขุยมะพร้าว + EC=3.00 mS/cm, กาบมะพร้าวสับ + EC=1.00 mS/cm และขุยมะพร้าว + EC=2.00 mS/cm (10.33, 10.10, 9.70 และ 9.60 เซนติเมตร) ตามลำดับ และความกว้างใบที่มีค่าน้อยที่สุดคือ กาบมะพร้าวสับ + EC=3.00 mS/cm (9.20 เซนติเมตร) เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 1)

พบว่าความยาวใบที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกขุยมะพร้าว + EC=3.00 mS/cm มีค่าสูงสุด (34.70 เซนติเมตร) รองลงมาคือวัสดุปลูกขุยมะพร้าว + EC=1.00 mS/cm และกาบมะพร้าวสับ + EC=2.00 mS/cm (31.10 และ 31.00 เซนติเมตร) ตามลำดับ และความยาวใบที่น้อยที่สุดคือ กาบมะพร้าวสับ + EC=1.00 mS/cm, กาบมะพร้าวสับ + EC=3.00 mS/cm และขุยมะพร้าว + EC=2.00 mS/cm (28.80, 28.70 และ 26.40 เซนติเมตร) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 1) ขนาดลำต้นที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกกาบมะพร้าวสับ + EC=2.00 mS/cm มีค่าสูงสุด (15.74 มิลลิเมตร) รองลงมาคือวัสดุปลูกขุยมะพร้าว + EC=3.00 mS/cm (14.00 มิลลิเมตร) และขนาดลำต้นที่น้อยที่สุดคือ ขุยมะพร้าว + EC=2.00 mS/cm (11.19 มิลลิเมตร) เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 1) ส่วนความยาวก้านใบที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกขุยมะพร้าว + EC=3.00 mS/cm มีค่าสูงสุด (37.50 เซนติเมตร) รองลงมาคือวัสดุปลูกขุยมะพร้าว + EC=1.00 mS/cm (33.50 เซนติเมตร) และความยาวก้านใบที่น้อยที่สุดคือ กาบมะพร้าวสับ + EC=2.00 mS/cm, กาบมะพร้าวสับ + EC=3.00 mS/cm, กาบมะพร้าวสับ + EC=1.00 mS/cm และขุยมะพร้าว + EC=2.00 mS/cm (32.80, 31.90, 31.50 และ 29.90 เซนติเมตร) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 2) และพบว่าความเขียวใบ จำนวนใบ จำนวนต้น น้ำหนักต้น น้ำหนักต้นรวมต่อกระถาง ค่าความเป็นกรด-ด่างของวัสดุปลูกและความชื้นของวัสดุปลูก พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (Table 1, 2 และ 3) แต่พบว่ากาบมะพร้าวสับ + EC=3.00 mS/cm มีจำนวนต้นต่อกระถางสูงที่สุด (23.60 ต้น/กระถาง) ซึ่งการทดลองการปลูกกระวานในกระถางพลาสติก พบว่ามีจำนวนต้นที่มีปริมาณมากแต่ขนาดลำต้นของกระวานจะไม่ค่อยใหญ่มาก และถ้าขนาดลำต้นใหญ่ก็จะมีจำนวนต้นน้อย เนื่องจากการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมบริเวณรากพืช และพืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพของพืช (Jitsatta & Nuchnuanrat, 2021) ซึ่งต้นกระวานเป็นพืชที่ชอบวัสดุปลูกที่มีความชื้นสูง พื้นที่ร่มรำไร และสามารถปลูกเพื่อผลิตหน่อขายได้โดยไม่จำเป็นต้องเป็นพื้นที่ที่มีระดับน้ำทะเล 500-800 เมตร ขึ้นไป แต่ถ้าต้องการให้ออกดอกเพื่อเก็บเมล็ดยังต้องอาศัยพื้นที่ที่สูงกว่าระดับ 500-800 เมตร ถึงจะออกดอก ซึ่งการปลูกกระวานเพื่อผลิตหน่อขายในระบบไม่ใช้ดินนั้น สามารถปลูกและเก็บเกี่ยวได้ตลอดทั้งปี การปลูกกระวานโดยไม่ใช้ดินจะพบปัญหาเรื่องต้นเน่า น้อย เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Table 1 Effects of substrates and nutrient solution concentrations on plant height, leaf width, leaf length and plant diameter of cardamom in soilless culture

Treatments	Plant height (cm)	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	Plant diameter (mm)
Substrates (A)				
Coconut coir dust (CC)	104.40	10.01	30.73	12.90
Coconut husk chips (CH)	109.00	9.83	29.50	13.69
F-test	ns	ns	ns	ns
EC (B)				
EC=1.00 mS/cm	112.70	10.02	29.95	13.57
EC=2.00 mS/cm	105.10	10.10	28.70	13.46
EC=3.00 mS/cm	102.30	9.65	31.70	12.84
F-test	ns	ns	ns	ns
(A x B)				
Coconut coir dust + EC 1.00	116.80 ^{ab}	10.33 ^{ab}	31.10 ^{ab}	13.51 ^{abc}
Coconut coir dust + EC 2.00	83.00 ^b	9.60 ^{ab}	26.40 ^b	11.19 ^c
Coconut coir dust + EC 3.00	113.40 ^{ab}	10.10 ^{ab}	34.70 ^a	14.00 ^{ab}
Coconut husk chips + EC 1.00	108.60 ^{ab}	9.70 ^{ab}	28.80 ^b	13.64 ^{abc}
Coconut husk chips + EC 2.00	127.20 ^a	10.60 ^a	31.00 ^{ab}	15.74 ^a
Coconut husk chips + EC 3.00	91.20 ^{ab}	9.20 ^b	28.70 ^b	11.68 ^{bc}
F-test	*	*	*	*
C.V.%	23.51	8.15	11.60	13.48

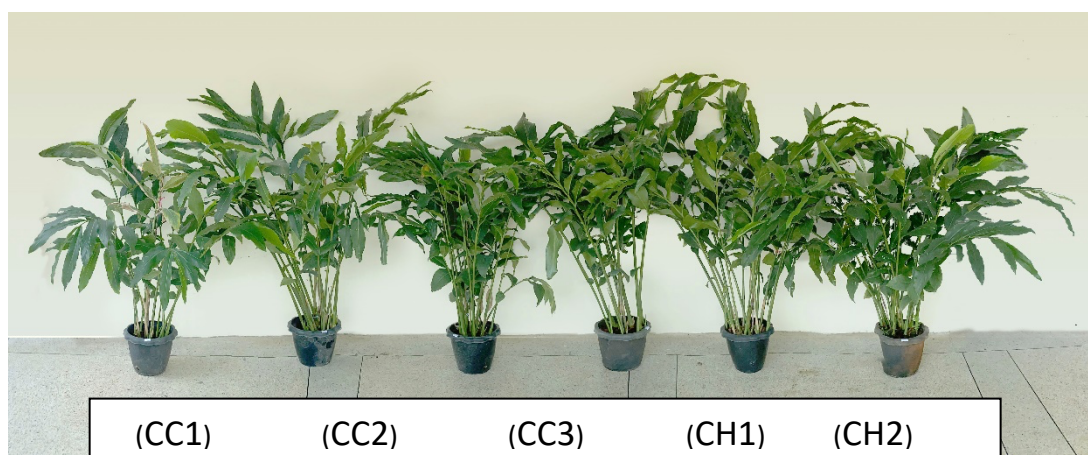
^{ns} Non –significant* Significant at ($P<0.05$)^x Different letters within a column indicate significant difference at ($P<0.05$) by Duncan' s new multiple range test**Table 2** Effects of substrates and nutrient solution concentrations on leaf greenness, leaf stalk length, number of leaves and number plant of cardamom in soilless culture

Treatments	Leaf greenness (SPAD unit)	Leaf stalk length (cm)	Number of leaves (leaves/plant)	Number plant (plants/pot)
Substrates (A)				
Coconut coir dust (CC)	59.69	33.63	15.07	18.27
Coconut husk chips (CH)	57.81	32.07	15.00	19.60
F-test	ns	ns	ns	ns
EC (B)				
EC=1.00 mS/cm	59.30	32.50	15.00	16.80 ^b
EC=2.00 mS/cm	55.88	31.35	15.20	18.70 ^{ab}
EC=3.00 mS/cm	61.08	34.70	14.90	21.30 ^a
F-test	ns	ns	ns	*
(A x B)				
Coconut coir dust + EC 1.00	61.06	33.50 ^{ab}	15.20	16.80
Coconut coir dust + EC 2.00	55.58	29.90 ^b	15.00	19.00
Coconut coir dust + EC 3.00	62.44	37.50 ^a	15.00	19.00
Coconut husk chips + EC 1.00	57.54	31.50 ^b	14.80	16.80
Coconut husk chips + EC 2.00	56.18	32.80 ^b	15.40	18.40
Coconut husk chips + EC 3.00	59.72	31.90 ^b	14.80	23.60
F-test	ns	*	ns	ns
C.V.%	15.34	10.11	11.48	19.82

^{ns} Non –significant* Significant at ($P<0.05$)^x Different letters within a column indicate significant difference at ($P<0.05$) by Duncan' s new multiple range test

Table 3 Effects of substrates and nutrient solution concentrations on fresh plant weight, total plant weight, pH of substrate and substrate moisture of cardamom in soilless culture

Treatments	Fresh plant weight (g/plant)	Total plant weight (kg/pot)	pH of substrate	Substrate moisture (%)
Substrates (A)				
Coconut coir dust (CC)	211.13 ^b	7.22	5.05 ^b	45.67 ^a
Coconut husk chips (CH)	256.00 ^a	6.54	5.90 ^a	38.01 ^b
F-test	*	ns	*	*
EC (B)				
EC=1.00 mS/cm	220.70	8.38 ^a	5.57	42.16
EC=2.00 mS/cm	257.80	6.80 ^b	5.42	40.39
EC=3.00 mS/cm	222.90	5.46 ^c	5.43	42.97
F-test	ns	*	ns	ns
(A x B)				
Coconut coir dust + EC 1.00	180.40	8.67	4.96	47.26
Coconut coir dust + EC 2.00	230.40	6.53	5.12	43.26
Coconut coir dust + EC 3.00	222.60	6.46	5.06	46.48
Coconut husk chips + EC 1.00	261.00	8.09	6.18	37.06
Coconut husk chips + EC 2.00	283.80	7.07	5.72	37.52
Coconut husk chips + EC 3.00	223.20	4.47	5.80	39.46
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V.%	20.02	16.13	8.81	9.97

^{ns} Non –significant* Significant at ($P<0.05$)^x Different letters within a column indicate significant difference at ($P<0.05$) by Duncan' s new multiple range test**Figure 3** Comparison of substrates and nutrient solution concentrations on yield of cardamom in soilless culture.

(CC1) Coconut coir dust+EC 1.00 mS/cm, (CC2) Coconut coir dust+EC 2.00 mS/cm, (CC3) Coconut coir dust+EC 3.00 mS/cm, (CH1) Coconut husk chips +EC 1.00 mS/cm, (CH2) Coconut husk chips+EC 2.00 mS/cm and (Ch3) Coconut husk chips +EC 3.00 mS/cm

ต้นทุนในการผลิตหน่อกระวานในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ต้นทุนในการผลิตหน่อกระวานที่ผลิตในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินโดยใช้วัสดุปลูกกาบมะพร้าวสับที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร EC = 3.00 mS/cm พื้นที่ 1 โรงเรือนปลูกขนาด 6x12 เมตร มีความสูง 3 เมตร จำนวน 5 แถว แถวละ 20 กระถาง สามารถปลูกได้ทั้งหมด 100 กระถาง ๆ ละ 1 ต้น ไม่รวมค่าแรง โดยหน่อกระวานสำหรับบริโภคมีราคาขาย 10 บาท/หน่อ (Thongkham, 2020) ซึ่งในระยะเวลา 1 ปี สามารถปลูกได้ 3-4 รอบ/ปี จะได้กำไรสูงสุด 19,190 บาท/โรงเรือน/รอบปลูก (Table 4)

Table 4 Cost of planting cardamom in area one greenhouses (6x12x3 m³)/planting cycle/100 plants

Treatments	Drip Irrigation (baht)	Green houses (baht)	Substrates and planting container (baht)	Fertilizer and seed (baht)	Number plant (plants/pot)	Compen sation (baht)	Profit (baht)
Substrates (A) X EC (B)							
Coconut coir dust	1.00	250	1,700	160	1,300	1,680	16,800
	2.00	250	1,700	160	1,800	1,900	19,000
	3.00	250	1,700	160	2,300	1,900	19,000
Coconut husk chips	1.00	250	1,700	160	1,300	1,680	16,800
	2.00	250	1,700	160	1,800	1,840	18,400
	3.00	250	1,700	160	2,300	2,360	23,600

สรุปผลการศึกษา

การปลูกกระวานในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ควรใช้วัสดุปลูกกาบมะพร้าวสับที่มีระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร EC= 3.00 mS/cm ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตหน่อกระวานดีที่สุด โดยมีจำนวนต้นสูงที่สุด 23.60 ต้น/กระถาง ซึ่งสามารถทำกำไรได้สูงสุดที่ 19,190 บาท/โรงเรือน/รอบปลูก ในการผลิตหน่อกระวานเพื่อขายเป็นการค้าได้ ซึ่งเกษตรกรสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการปลูกกระวานขายได้ สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตลอดปี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ อธิสุนทร นันทกิจ ที่กรุณาให้คำปรึกษาความรู้ แนะนำ และข้อชี้แนะในการทดลอง และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ในการสนับสนุนทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2564

เอกสารอ้างอิง

- Changthom, C. (2019). **A Textbook of Cardamom Production Wisdom in Chanthaburi**. 1st edition. TMS 2016 Company Limited. (in Thai).
- Incrocci, L., Malorgio, F., Della Bartola, A., & Paradossi, A. (2006). The Influence of Drip Irrigation or Subirrigation on Tomato Grown in Closet-Loop Substrate Culture with Saline Water. *Scientia Horticulturae*, 107, 365-372.
- Jitsatta, N., & Rassami, W. (2019). Effect of Substrates on Growth and Yield of Muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Thai Ramphai Barnee Research Journal*, 13(2), 17-24. (in Thai).
- Jitsatta, N., & Nuchnuanrat, P. (2021). Effects of Nutrient Solution Concentrations on Growth and Yield of Butternut Squash in Soilless Culture. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 39(4), 257-263. (in Thai).
- Nuntagij, I. (2011). **Documentation for the Training Course on Soilless Culture Class 12**. Department of Soil Science, School of Agricultural Technology. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).
- Nuntagij, I. (2014). **Program for Calculating the Preparation of Plant Nutrient Solution NutriCal V1.7T**. School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).

- Nuntagij, I., Laohavisuti, N., Koohakan, P., Na-songkhla, P., Nanthanawat, R., & Thiamboonprasert, C. (2014). **Documentation for the Training Course on Soilless Culture Class 16**. Department of Soil Science, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).
- Phutthisa, J. (2020). **Cardamom Chanthaboon**. Retrieved from: <https://eculture.rbru.ac.th/ID114%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%99>. (in Thai).
- Pruangprach, J., & Jintana, V. (2018). Products and Management of False Cardamom in Agroforestry System at Ta Moon Village, Sai Khao Sub-District, Soi Dao District, Chanthaburi Province. **Thai Agricultural Research Journal**, 36(1), 95-108. (in Thai).
- Saetiew, K., Nuntagij, I., & Dangkongsan, W. (2012). **Effects of Nutrient Solution in NFT System for Growth of Curcuma**. School of Agricultural Technology King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).
- Sakamoto, M., & Suzuki, T. (2020). Effect of Nutrient Solution Concentration on the Growth of Hydroponic Sweet potato. **Agronomy**, 10(11), 1708.
- Thongket, T. (2012). Plant Management in Planting Media. **Thai Journal of Progressive Agriculture**, 25(2), 24-39. (in Thai).
- Thongkham, A. (2020). Cardamom, a Very Valuable Herb. **Thai Nakhon Si Thammarat Journal**, 50(8), 94-97. (in Thai).
- Wu, M., & Kubota, C. (2008). Effects of Electrical Conductivity of Hydroponic Nutrient Solution on Leaf Gas Exchange of Five Greenhouse Tomato Cultivars. **HortTechnology**, 18(2), 271-277.

ผลของสารไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดกรีนคอส
Effects of Chitooligosaccharide on Growth and Yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) cv.
Green Cos

ธีรยุทธ คลุ้มชัน^{1*}, วียดา กิ่งกลาง¹, ขวัญชัย ทองอร่าม¹, นิยม บัวบาน¹, พันทิพา ลิ้มสงวน¹ และวัชรพงษ์ พิทักษ์ภากร²
Teerayut Klumchaun^{1*}, Wiyada Kuengklang¹, Kwanchai Thong-aram¹, Niyom Buaban¹, Pantipa Limsanguan¹
and Watcharapong Pitakpakorn²

Received date: 11 ก.พ. 65 Revised date: 21 ก.ค. 66 Accepted date: 8 ส.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.010>

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของสารไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (COS) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดกรีนคอส วางแผนการทดลองแบบ 3x2 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) โดยศึกษา 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 สาร COS ความเข้มข้น 1, 2 และ 4 มิลลิลิตรต่อลิตร และ ปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาการให้สาร COS ทุก 7 และ 14 วันหลังปลูก ร่วมกับดำรับควบคุม (ไม่ให้สารไคโตโอลิโกแซคคาไรด์) จำนวน 4 ซ้ำ ผลการทดลอง พบว่าการให้สาร COS อัตรา 4 มิลลิลิตรต่อลิตร พ่นทุก 14 วัน ส่งผลให้น้ำหนักสดของผักสลัดกรีนคอสสูงที่สุด 134.78 กรัม แตกต่างกับการให้สาร COS อัตรา 4 มิลลิลิตรต่อลิตร พ่นทุก 7 วัน การให้สาร COS อัตรา 2 มิลลิลิตรต่อลิตร พ่นทุก 7 และ 14 วัน และการให้สาร COS 1 มิลลิลิตรต่อลิตรพ่นทุก 7 และ 14 วัน ตามลำดับ ขณะที่การไม่ให้สาร COS ให้น้ำหนักสดน้อยที่สุด 91.87 กรัม

คำสำคัญ: ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ผักสลัดกรีนคอส ผลผลิต

Abstract

The effects of chitooligosaccharides (COS) on growth and yield of greencos salad were studied. The experimental design was 3x2 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) with 2 factors: Factor 1 was concentration of COS at 1, 2 and 4 mL/L and Factor 2 was administration of COS at 7 and 14 days after planting together with the control (no chitooligosaccharides) using 4 replications. The results showed that COS administration at the rate of 4 mL/L and spraying every 14 days gave the highest fresh weight of greencos salad (134.78 g) when compared to COS at the rate of 4 mL/L and spraying every 7 days, COS administration at the rate of 2 mL/L and spraying every 7 and 14 days and COS 1 mL/L and spraying every 7 and 14 days, respectively. The control (no COS) gave the minimum fresh weight of 91.87 g.

Keyword: Chitooligosaccharide, Green Cos, yield

¹ สาขาการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130

² บริษัท กรีน อินโนเวทีฟ ไบโอเทคโนโลยี จำกัด จ.ปทุมธานี 12120

¹ Crop Production, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12130

² Green Innovative Biotechnology Co., Ltd., Pathum Thani 12130

* Corresponding author: E-mail address: Teerayut_k@rmutt.ac.th

คำนำ

จากข้อมูลผลสำรวจการเปลี่ยนแปลงทางการเกษตร พ.ศ. 2561 พบว่าประเทศไทยมีการทำการเกษตรทั้งสิ้น 6 ล้านราย โดยจำนวนผู้ทำการเกษตรของประเทศไทยในปี 2561 เพิ่มขึ้นจากปี 2556 คิดเป็นร้อยละ 1.10 และมีการปลูกพืชผักและสมุนไพร คิดเป็นร้อยละ 6.20 (National Statistical office, 2019) ในปัจจุบันผู้บริโภคได้ตระหนักถึงความสำคัญของการมีสุขภาพที่ดีและหันมาใส่ใจดูแลสุขภาพกันมากขึ้น ตลอดจนการเลือกรับประทานอาหารที่ปราศจากการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต ผู้บริโภคที่รักสุขภาพมักนิยมรับประทานผักบริโภคสดและผักกินใบเป็นส่วนใหญ่ที่เห็นได้เด่นชัดคือ ผักสลัด ผักสลัดกรีนคอส (Green Cos) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Lactuca sativa* L. เป็นผักสลัดชนิดหนึ่งที่นิยมรับประทานสด (Jirakiattikul & Saelim, 2009) มีจุดเด่นที่รสชาติหวานและให้ความรู้สึกกรอบเบา มีคุณค่าทางโภชนาการสูงประกอบด้วยวิตามินเอ วิตามินซีและโฟเลตที่มีปริมาณมากในกรีนคอส รวมถึงโพแทสเซียม แคลเซียมและเหล็ก ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีส่วนช่วยในการทำงานของระบบต่างๆ ภายในร่างกาย นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด เนื่องจากมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำ ตลอดจนช่วยในเรื่องการขับถ่ายเพราะมีปริมาณไฟเบอร์สูง นับได้ว่ากรีนคอสเป็นผักสลัดที่มีประโยชน์อย่างมาก (Anonymous, 2017) โดยส่วนประกอบของผักสลัดกรีนคอสนั้นมีน้ำถึงร้อยละ 95 ของน้ำหนักสดและยังเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารในการเจริญเติบโต ในปริมาณที่สูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจนที่นำไปใช้ในด้านของการเจริญเติบโตทางใบ (Brady and Weil, 2008) แต่ในกระบวนการการผลิตรายนั้นยังมีปัญหาที่สำคัญอยู่มากคือผักสลัดมีโรคและแมลงศัตรูพืชเข้าทำลายจำนวนมาก ส่งผลให้ผลผลิตตกต่ำ ผลผลิตไม่ได้คุณภาพมาตรฐาน (Srisathit, 2015) ทำให้เกษตรกรต้องใช้สารเคมีในการกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืชเป็นจำนวนมาก แต่การใช้สารเคมีมักก่อให้เกิดสารพิษตกค้าง ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม และมีโอกาสกลับมาเป็นซ้ำง่าย หรือดื้อยา อีกทั้งยังเป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุ จึงมีแนวคิดการสร้างภูมิคุ้มกันให้พืชจากโรคและแมลงตั้งแต่เริ่มต้น หรือที่เรียกว่า “วัคซีนพืช” โดยใช้ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (chitooligosaccharide) ซึ่งเป็นสารที่สามารถย่อยสลายง่าย ไม่มีอันตรายต่อเกษตรกรและผู้บริโภค มีโมเลกุลขนาดเล็กกว่าปากใบพืชทั่วไป สามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์พืชได้อย่างรวดเร็ว พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีเป็นสารที่ผลิตจากธรรมชาติไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ละลายได้ดีในกรดอินทรีย์เจือจาง (Green Innovative Biotechnology, 2016) มีศักยภาพในการยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ก่อโรค (Ramirez et al., 2010) มีสารที่ช่วยกำจัดแมลงศัตรูพืช (Rabea et al., 2003) เป็นตัวชักนำการตอบสนองของปฏิกิริยาการป้องกันตัวของพืช สามารถช่วยให้พืชเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนที่เสริมสร้างภูมิคุ้มกัน เสริมสร้างความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์ของพืชส่งผลให้ราก ลำต้น กิ่งและใบของพืชมีความแข็งแรงมากขึ้น ทั้งยังเพิ่มผลผลิตด้านปริมาณและคุณภาพของพืช ทำให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ผลิตและผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร ในการใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืชและเป็นการลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (Piyasirananda, 2002) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสม ต่อการใช้สาร COS ในการปลูกผักสลัดกรีนคอส

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองโดยมี 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 คือ ปริมาตรของสารไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ใช้ฉีดพ่น โดยใช้สารละลายไคโตโอลิโกแซคคาไรด์สำเร็จรูป ออมเบียร์® ของบริษัท กรีน อินโนเวทีฟ ไบโอเทคโนโลยี่ จำกัด อัตรา 1, 2 และ 4 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร ปัจจัยที่ 2 คือ จำนวนวันที่ใช้ฉีดพ่นทุก 7 และ 14 วัน วางแผนการทดลองแบบ 3x2 แฟคทอเรียล Factorial experiment in CRD (Completely Randomized Design : CRD) ร่วมกับตัวรับควบคุม (ไม่ใช้สารไคโตโอลิโกแซคคาไรด์) จำนวน 4 และ 7 ตัวรับทดลอง ดังนี้

ตัวรับทดลองที่ 1 ไม่ใช้สาร COS

ตัวรับทดลองที่ 2 สาร COS 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร ฉีดพ่นทางใบทุก 7 วัน

ตัวรับทดลองที่ 3 สาร COS 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร ฉีดพ่นทางใบทุก 14 วัน

ตัวรับทดลองที่ 4 สาร COS 2 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร ฉีดพ่นทางใบทุก 7 วัน

ตัวรับทดลองที่ 5 สาร COS 2 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร ฉีดพ่นทางใบทุก 14 วัน

ตัวรับทดลองที่ 6 สาร COS 4 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร ฉีดพ่นทางใบทุก 7 วัน

ตัวรับทดลองที่ 7 สาร COS 4 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร ฉีดพ่นทางใบทุก 14 วัน

การเตรียมต้นกล้า โดยการเพาะเมล็ดผักสลัดกรีนคอสในถาดเพาะเมล็ดที่ใส่พีทมอสจำนวน 1 เมล็ดต่อหลุมเป็นจำนวน 2 ถาด รดน้ำปริมาณ 1-1.50 ลิตร ให้ชุ่มทุกวัน วันละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นทำการย้ายต้นกล้าปลูกลงกระถางขนาด 8 นิ้ว บรรจุดินแห้งเนื้อละเอียดกระถางละ 1.50 กิโลกรัม ซึ่งดินที่ใช้มีค่าวิเคราะห์ดังนี้ ค่าพีเอชดินเท่ากับ 7.54 (เป็นด่างเล็กน้อย)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.11% (ระดับต่ำ) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail.P) 237.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ระดับสูงมาก) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch.K) 136.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ระดับสูงมาก) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ 2.55% (ระดับค่อนข้างสูง)

การเตรียมสารละลาย COS ด้วยใช้ปีเปตตูดสาร COS 1 มิลลิลิตร ละลายในน้ำ 999 มิลลิลิตร สาร COS 2 มิลลิลิตร ละลายในน้ำ 998 มิลลิลิตร และสาร COS 4 มิลลิลิตร ละลายในน้ำ 996 มิลลิลิตร จากนั้นนำสาร COS แต่ละอัตราใส่กระบอกลี้น้ำ (Foggy) เพื่อพ่นฝักสลัด โดยฝักสลัดคอสจะได้รับสาร COS 15 มิลลิลิตรต่อต้น

การใส่ปุ๋ย ทำการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 1.40 กรัมต่อกระถาง โดยแบ่งใส่จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 0.70 กรัมต่อกระถางที่อายุฝักสลัด 7 และ 25 วัน หลังย้ายปลูก รดน้ำทุกวันในเวลาเช้าและเย็นปริมาณ 500 มิลลิลิตรต่อต้น

การเก็บข้อมูลฝักสลัดที่อายุ 35 วันหลังย้ายปลูก (5 สัปดาห์) ได้แก่ การเจริญเติบโต คือ ความสูง โดยใช้ไม้บรรทัดและวัดรอบต้นจากโคนต้นถึงปลายยอดสูงสุด จำนวนใบ นับจำนวนใบทุกใบที่มีการคลี่ออกมา ความกว้างทรงพุ่ม วัดความกว้างของใบที่แผ่ออกมาจากซ้ายสุดถึงขวาสุดของใบที่กว้างที่สุดโดยใช้ไม้บรรทัด ส่วนผลผลิตบันทึกน้ำหนักผลผลิตสดต่อต้นโดยตัดที่โคนต้นเหนือดินแล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักสองตำแหน่ง หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่เครื่องอบลมร้อนเป็นเวลา 72 ชั่วโมง อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส และบันทึกผลน้ำหนักแห้ง

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance : ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการทดลองผลของการให้สาร COS โดยเมื่อปลูกฝักสลัดกรีนคอสเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์พบว่าความสูงเฉลี่ยจำนวนใบเฉลี่ย และความกว้างเฉลี่ยของฝักสลัดกรีนคอสทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) การให้สาร COS อัตรา 4 มิลลิลิตรต่อลิตร พ่นทุก 14 วัน ให้จำนวนใบเฉลี่ยมากที่สุดจำนวน 25.12 ใบ และการไม่ให้สาร COS ให้จำนวนใบเฉลี่ยน้อยที่สุด 23.19 ใบ ส่วนความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อให้สาร COS อัตรา 4 มิลลิลิตรต่อลิตร พ่นทุก 14 วัน (Table 1) ด้านน้ำหนักสดเฉลี่ยของฝักสลัดกรีนคอส พบว่าการให้สาร COS อัตรา 4 มิลลิลิตรต่อลิตร พ่นทุก 14 วัน ให้น้ำหนักสดเฉลี่ยมากที่สุด 134.78 กรัม ขณะที่ไม่ให้สาร COS ให้น้ำหนักสดของฝักสลัดกรีนคอสน้อยที่สุด 91.87 กรัม ส่วนน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของฝักสลัดกรีนคอส พบว่าในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) ส่วนด้านการมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน พบว่าอัตราการให้และจำนวนวันที่ให้สาร COS อัตรา 4 มิลลิลิตรต่อลิตร พ่นทุก 14 วัน ให้น้ำหนักสดสูงที่สุด (Table 2 และ 3)

Table 1 Effect of use chitooligosaccharide levels on plant height, number of leaves, canopy width of Green Cos at 5 weeks

Treatments		Growth		
Chitooligosaccharide (mL/L)	Days	Plant height (cm.)	Number of leaves	Canopy width (cm.)
0		24.61	23.19	24.81
1	7	24.90	24.44	25.94
	14	24.26	24.19	25.25
2	7	24.91	24.37	25.56
	14	24.18	24.19	25.06
4	7	25.04	24.31	25.69
	14	25.57	25.12	26.00
F-test		ns	ns	ns
C.V. (%)		11.67	9.24	6.42

^{ns}not significant.

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

Table 2 Fresh weight and Dry weight of Green Cos

Treatments		Yield	
Chitooligosaccharide (mL/L)	Day	Fresh Weight (g.)	Dry Weight (g.)
0		91.87 c	5.79
1	7	110.00 b	5.26
	14	102.45 bc	5.02
2	7	105.2 b	5.54
	14	107.92 b	5.51
4	7	105.92 b	5.60
	14	134.78 a	5.27
F-test		*	ns
C.V. (%)		18.57	21.35

*significant at 0.05 probability levels.

^{ns}not significant.

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

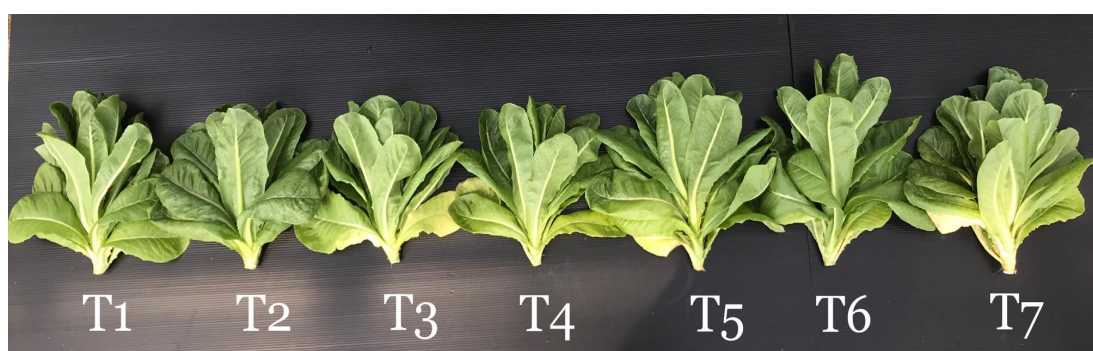
Table 3 The statistically analysis of results by parameters combination of Green Cos on with day 7 and 14 in combination with volume 1, 2 and 4 ml/L

Parameters	Plant height (cm.)	Number of leaves	Canopy width (cm.)	Fresh Weight (g.)	Dry Weight (g.)
Day	ns	ns	ns	ns	ns
Volume	ns	ns	ns	*	ns
Day x Volume	ns	ns	ns	*	ns
C.V. (%)	17.53	17.98	29.79	18.57	21.35

*significant at 0.05 probability levels.

^{ns}not significant.

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

**Figure 1** The growth of green cos vegetables in each experiment.**Figure 2** Fresh produce, each experimental thing.

จากการทดลองพบว่าความสูงต้น จำนวนใบและความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนคอสนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกต พบว่าการให้สาร COS อัตรา 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ฉีดพ่นทุก 14 วัน มีแนวโน้มให้ความสูงต้น จำนวนใบ และความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนคอสมากกว่าการให้ COS อัตราอื่น ทั้งนี้ สาร COS ประกอบด้วยโคตินและโคโตซาน ซึ่งมีคุณสมบัติในการกระตุ้นการเจริญเติบโตและผลผลิต (Kotsaeng & Chompusaen, 2013; Boonlertnirun et al., 2013) และเป็นตัวช่วยเร่งอัตราการเจริญเติบโต ปรับสภาพดินสำหรับเพาะปลูกพืช สามารถยืดเกาะกับพื้นผิวดินได้ดีทนต่อการถูกชะล้าง ลดการระเหยของน้ำ อีกทั้งยังเป็นตัวควบคุมการปลดปล่อยแร่ธาตุ และสารอาหารให้แก่พืช (Khongthong, 2009) จึงทำให้การเจริญเติบโต น้ำหนักสดของผักสลัดกรีนคอสมากที่สุด นอกจากนี้สาร COS ยัง เป็นสารที่สามารถย่อยสลายง่าย มีโมเลกุลขนาดเล็กกว่าปากใบพืชทั่วไป สามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์พืชได้อย่างรวดเร็ว พืชจึงนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีเป็นสารที่ผลิตจากธรรมชาติไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ละลายได้ดีในกรดอินทรีย์เจือจาง (Green Innovative Biotechnology, 2016) มีศักยภาพในการยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ก่อโรค (Ramirez et al., 2010) มีสารที่ช่วยกำจัดแมลงศัตรูพืช (Rabea et al., 2003) เป็นตัวชักนำการตอบสนองของปฏิกิริยาการป้องกันตัวของพืช สามารถช่วยให้พืชเพิ่มประสิทธิภาพ ในการผลิตโปรตีนที่เสริมสร้าง

ภูมิคุ้มกันตนเองได้ ทั้งยังเพิ่มผลผลิตด้านปริมาณและคุณภาพ ช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์ของพืชทำให้พืชแข็งแรง ส่งผลให้ราก ลำต้น กิ่งและใบของพืช มีความแข็งแรงมากขึ้น (Green Innovative Biotechnology, 2016) ส่วนน้ำหนักแห้งของ ผักสลัดกรีนคอส พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทุกตำรับการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Chakhatrakan & Yenjai (2006) รายงานว่าการใช้สารโอลิโกไคโตซานที่มีคุณสมบัติเดียวกันกับไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอม 5 ระดับความเข้มข้น ไม่มีผลต่อความสูงและความกว้างทรงพุ่ม แต่มีผลต่อจำนวนใบและน้ำหนักสด เหมือนกับการให้สาร COS อัตรา 4 มิลลิตรต่อลิตร พันทุก 14 วัน ให้น้ำหนักสดของผักสลัดกรีนคอสสูงที่สุด

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาผลของการให้สาร COS ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดกรีนคอส พบว่าการให้สาร COS อัตรา 4 มิลลิตรต่อลิตร พันทุก 14 วัน ให้น้ำหนักสดของผักสลัดกรีนคอสสูงที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- Anonymous. (2017). **Green Cos by BioBonics**. Retrieved from: <https://biobonics.com/green-cos-by-biobonics>. (in Thai).
- Boonlernirun, S., Suvarnasara, R., & Boonlernirun, K. (2013). Application of chitosan in combination with nitrogen fertilizer in rice production. In **Proceedings of the 53th Kasetsart University**, pp.687-694. Kasetsart University. (in Thai).
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). Soil colloids: seat of soil chemical and physical acidity. In N. C. Brady and R. R. Weil, ed., **The Nature and Properties of Soils**, pp. 311-358. Pearson Education Inc.
- Chakhatrakan, S., & Yenjai, K. (2006). **Effect of Oligochaitosan on Growth and Yield of *Lactuca Sativa* Grown under Hydroponics System**. Thai Science and Technology Journal, 14(1), 16-24. (in Thai).
- Green Innovative Biotechnology. (2016). **Product Green Innovative Biotechnology**. Retrieved from: <http://www.gib.co.th>. (in Thai).
- Jirakiattikul, Y., & Saelim, N. (2009). Growth of Leaf Lettuce cv. Red Oak Grown in Hydroponics with Different Nutrient Solutions. **Thai Science and Technology Journal**, 17(2), 81-88. (in Thai).
- Khongthong, S. (2009). Chitin-Chitosan. **Journal of Industrial Education**, 1, 1-3. (in Thai).
- Kotsaeng, N., & Chompusaen, P. (2013). Effects of Chitosan on Chinese Kale Growth. In **Proceedings of the 9th Mahasarakham University Conference: Research to the ASEAN Community 2nd**, pp.305-478. Mahasarakham University. (in Thai).
- National Statistical Office. (2019). **Agricultural Change Survey 2018**. Retrieved from: <https://gnews.apps.go.th/news?news=44164>. (in Thai).
- Piyasirananda, P. (2002). **Growing Vegetables by Reducing the Use of Chemicals**. Retrieved from: http://www.ddd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical10017.pdf. (in Thai).
- Srisathit, R. (2015). **Appropriate Technologies for Safe Vegetable Production in the Central, the West and the Upper Northeast Thailand**. Retrieved from: <https://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2261>. (in Thai).
- Rabea, E. I., Badawy, M. E. T., Stevens, C. V., Smagghe, G., & Steurbaut, W. (2003). Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action. **Biomacromolecules**, 4(6), 1457-1465.
- Ramirez, M. A., Rodriguez, A. T., Alfonso, L., & Peniche, C. (2010). Chitin and its derivatives as biopolymers with potential applications. **Biotechnologia Aplicada**, 27(4), 270-276.

ผลของ BA ต่อการชักนำให้เกิดแคลลัส การเจริญพัฒนาเป็นต้นและรากจากแคลลัสของ หม้อข้าวหม้อแกงลิงในสภาพปลอดเชื้อ

Effect of BA on Callus Induction, Shoot and Root Development from Callus of *Nepenthes ampullaria* through *In Vitro* Culture

จิระศักดิ์ วิชาสวัสดิ์^{1*}Jirasak Wichasawasdi^{1*}

Received date: 29 มิ.ย. 65 Revised date: 30 ส.ค. 66 Accepted date: 9 ก.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.011>

บทคัดย่อ

หม้อข้าวหม้อแกงลิง (*Nepenthes ampullaria* Jack.) เป็นพืชอยู่ในวงศ์ Nepenthaceae ปัจจุบัน กำลังอยู่ในสถานะเสี่ยงใกล้สูญพันธุ์ เนื่องจากป่าธรรมชาติลดลง อากาศแปรปรวน และมลพิษ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ BA (benzyl adenine) ต่อการชักนำให้เกิดแคลลัสของข้าวหม้อแกงลิงในสภาพปลอดเชื้อ แบ่งเป็น 3 การทดลอง ดังนี้ (1) การชักนำให้เกิดแคลลัส โดยการเพาะเลี้ยงยอดด้วยอาหารสูตร MS (Murashige & Skoog, 1962) ที่เติม BA ความเข้มข้น 0 1 2 และ 4 มก./ล. วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) มี 4 สิ่งทดลองๆ ละ 10 ซ้ำ เพาะเลี้ยงนาน 70 วัน พบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 4 มก./ล. สามารถชักนำให้เกิดแคลลัสได้ดีที่สุด (70%) (2) การชักนำให้แคลลัสพัฒนาเป็นยอด โดยเพาะเลี้ยงแคลลัสด้วยอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0 2 และ 4 มก./ล. วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 สิ่งทดลองๆ ละ 10 ซ้ำ เพาะเลี้ยงนาน 45 วัน พบว่า แคลลัสมีการพัฒนาเป็นยอดใหม่ได้มากที่สุด (19.7 ± 0.3 ยอด) เมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร MS ที่ไม่เติม BA และ (3) การชักนำให้เกิดราก โดยเพาะเลี้ยงยอดขนาด 1-2 เซนติเมตรด้วยอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 0 1 3 และ 5 มก./ล. ร่วมกับ IBA ความเข้มข้น 0 และ 3 มก./ล. วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 8 สิ่งทดลองๆ ละ 10 ซ้ำ เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 40 วัน พบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 1 มก./ล. ร่วมกับ IBA ความเข้มข้น 3 มก./ล. มีความเหมาะสมต่อการชักนำให้เกิดราก ทำให้มีจำนวนรากมากที่สุด เฉลี่ย 7.4 ± 1.6 รากต่อยอด

คำสำคัญ: หม้อข้าวหม้อแกงลิง เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ แคลลัส เบนซิลอะดีนีน

ABSTRACT

Nepenthes ampullaria Jack. or pitcher plant is a carnivorous plant in the Nepenthaceae family. They are in danger of extinction because of the less forest area, volatile weather, and pollution. This study aimed to investigate the influence of BA (6-benzyl adenine) on callus induction of *Nepenthes* sp. through *In vitro* culture. The experiment was divided into three parts; (1) Callus induction; shoot of a pitcher plant were cultured on solid MS medium (Murashige & Skoog, 1962) supplemented with BA (6-benzyladenine) at 0, 1, 2, and 4 mg/l for 70 days. The experiment design was completely Randomized Design (CRD) (4 treatments X 10 replicates). It was found that MS medium supplemented with 4 mg/l BA proved to be a suitable medium for callus induction (70%). (2) Shoot induction from callus; callus were cultured on MS medium supplemented with 0, 2, and 4 mg/l BA (CRD, 3 treatments X 10 replicates) for 45 days. The highest average number of regenerated shoots (19.7 ± 0.3 shoots) was observed on MS medium without BA. (3) Rooting induction; the young shoots, 1-2 cm in length, were cultured on MS medium containing 0, 1, 3, and 5 mg/l NAA combination with 0 and 3 mg/l IBA for 40 days (CRD, 8 treatments X 10 replicates). The results showed that the MS medium supplemented with 1 mg/l NAA and 3 mg/l IBA was suitable for root induction with the average of 7.4 ± 1.6 roots.

Keywords: *Nepenthes* sp., *in vitro*, callus, benzyladenine

¹ สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะมหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.ชุมพร 86170

¹ Division of Plant Science, Faculty of Maejo University at Chumphon, Maejo University, Chumphon 86170

* Corresponding author: Jirasak.w@gmail.com

คำนำ

หม้อข้าวหม้อแกงลิง (*Nepenthes ampullaria* Jack) เป็นพืชกินแมลง อยู่ในสกุล *Nepenthes* ซึ่งพืชสกุลนี้มี 129 ชนิด พืชเหล่านี้มักมีการปรับตัวเพื่อให้อยู่รอดในสภาพแวดล้อมเขตวิฤต เดิบโตได้ในแหล่งที่มีธาตุอาหารต่ำ สภาพดินกรด พื้นที่ชุ่มน้ำ ภูเขา ป่าพรุ ป่าชายหาด และมีโครงสร้างใบเป็นกระเปาะใช้ดักจับแมลงเพื่อดูดซึมสารอาหารในการเจริญเติบโต (Sukamto et al., 2011) ส่วนใหญ่มีกระจายตัวในโซนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้ มีการกระจายพันธุ์ไปถึงตะวันออกของประเทศอินเดีย ศรีลังกา มาดากัสการ์ ตอนเหนือของประเทศออสเตรเลีย (Charoenwattana et al., 2018) นิยมใช้ตกแต่งสวนหย่อม และใช้เป็นสมุนไพร เช่น บรรเทาอาการตาอักเสบ ผิวหนังพุพอง อาการไอ อาการไข้ แก้ปวดท้อง ช่วยระบาย นอกจากนี้ กระเปาะที่เปิดแล้วนำมาใส่อาหารและน้ำ (Sukamto et al., 2011) ในประเทศไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย มีการใช้รับประทานและทำขนมหวานในท้องถิ่น (Sapaeing et al., 2020) ปัจจุบันพืชชนิดนี้กำลังอยู่ในสภาวะเสี่ยงใกล้สูญพันธุ์ เนื่องจากป่าธรรมชาติลดลง อากาศแปรปรวน และมลพิษ แม้ว่าพืชชนิดนี้สามารถขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด แต่มีโอกาสติดเมล็ดน้อย เนื่องจากดอกเพศผู้และดอกเพศเมียอยู่คนละต้นกัน ส่วนการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ เช่น ปักชำกิ่ง ตอนกิ่ง ต้องใช้เวลานานและมีโอกาสสำเร็จน้อย การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจึงเป็นวิธีการที่สำคัญในการผลิตต้นกล้าตรงตามพันธุ์ ได้ปริมาณมากในระยะเวลาสั้น ต้นมีความสม่ำเสมอ ปราศจากโรค และการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อช่วยลดปัญหาการลักลอบนำต้นพ่อแม่พันธุ์จำนวนมากออกมาจากป่าธรรมชาติ (Sukamto et al., 2011)

มีรายงานการศึกษาเทคนิคเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อหม้อข้าวหม้อแกงลิงโดยใช้สารไซโทไคนิน ได้แก่ BA ยกตัวอย่างเช่น การเพาะเลี้ยง *N. albomarginata* โดยใช้ปลายยอด (shoot tip) พบว่า อาหารที่เหมาะสมต่อการชักนำแคลลัส คือ BA ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (มก./ล.) ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 1.5 มก./ล. เพาะเลี้ยงนาน 6 สัปดาห์ หลังจากนั้นย้ายเลี้ยงด้วย BA ความเข้มข้น 1 มก./ล. ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 2 มก./ล. ทำให้เกิดแคลลัสชนิดแน่น (compact callus) (Sukamto et al., 2011) นอกจากนี้ Khompat et al., (2007) ได้เพาะเลี้ยงส่วนยอดหม้อข้าวหม้อแกงลิง *N. mirabilis* ด้วยอาหารสูตร MS ½MS และ ¼MS เป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า เกิดยอดเฉลี่ย 2.4 – 4.3 ยอด โดยการเติม BA ความเข้มข้น 3 มก./ล. ทำให้ยอดสมบูรณ์ ใบมีขนาดใหญ่ มีการเพาะเลี้ยงเมล็ดหม้อข้าวหม้อแกงลิง *N. khasiana* จากนั้นตัดแยกส่วนลำต้นมาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ล. ร่วมกับ IAA ความเข้มข้น 0.1 มก./ล. ทำให้เกิดยอด 10-12 ยอด (Rathore et al., 1991 cited in Sapaeing et al., 2020) มีรายงานการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อหม้อข้าวหม้อแกงลิง *N. lowii* ด้วยอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ล. นาน 32 สัปดาห์ ทำให้มียอดมากที่สุด 34 ยอด (Muangkroot, 2015 cited in Sapaeing et al., 2020) นอกจากนี้ Sapaeing et al. (2020) ได้เพาะเลี้ยงหม้อข้าวหม้อแกงลิง *N. mirabilis* ด้วยอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ล. ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.2 มก./ล. และผงถ่าน ทำให้เกิดยอดได้ 8.48 ± 1.1 ยอด ส่วน Sukamto et al. (2011) ได้เพาะเลี้ยงปลายยอดหม้อข้าวหม้อแกงลิง *N. albomarginata* พบว่า สามารถเดิบโตได้ต้นอาหาร ½MS Jala (2012) ได้รายงานการเพาะเลี้ยงปลายยอด *N. mirabilis* ด้วยอาหาร ½MS ร่วมกับ BA ความเข้มข้น 2 มก./ล. ทำให้เกิดแคลลัสและเกิดยอดได้ 4.2 ยอด Jaisue et al. (2019) ได้เพาะเลี้ยงตาข้างพืชหม้อข้าวหม้อแกงลิง *N. mirabilis* ด้วยอาหารสูตร ½MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ล. สามารถชักนำยอดได้ อย่างไรก็ตามยังไม่ปรากฏรายงานการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อหม้อข้าวหม้อแกงลิง *N. ampullaria* จึงควรมีการศึกษาหาแนวทางในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชหม้อข้าวหม้อแกงลิง มีการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มออกซิน เช่น NAA และ IBA เพื่อช่วยกระตุ้นการเกิดรากได้ดี (Salisbury and Ross, 1978 cited in Sukamto et al., 2011) อาทิเช่น Khumdinpitag et al. (2004) ได้ทดสอบการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อหม้อข้าวหม้อแกงลิง พบว่า ชิ้นส่วนยอดอ่อนจากต้นกล้าที่ได้จากการเพาะเมล็ดหม้อข้าวหม้อแกงลิงในสภาพปลอดเชื้อ มีการสร้างรากได้ดีเมื่อเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนบนอาหาร Half-MS ที่เติม IBA ความเข้มข้น 0.1 มก./ล. ทำให้มีรากมากที่สุดคือ 14.3 ราก และมีความยาวมากที่สุด เฉลี่ย 0.7 ซม. หลังจากเพาะเลี้ยงนาน 5 สัปดาห์ นอกจากนี้ Thanasombat et al. (2009) รายงานว่า สูตรอาหารสังเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุดในการชักนำให้เกิดรากของหม้อข้าวหม้อแกงลิง ได้แก่ อาหารสูตรที่เติม NAA ความเข้มข้น 1.5 มก./ล. ทำให้มีจำนวนราก เฉลี่ย 4.2 ราก การวิจัยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อหม้อข้าวหม้อแกงลิงเรื่องนี้จึงได้ศึกษาแนวทางการใช้ระดับสาร BA ซึ่งเป็นสารกลุ่มไซโทไคนิน โดยทดสอบหาระดับที่เหมาะสมต่อการชักนำให้เกิดแคลลัสได้ดี แล้วนำแคลลัสที่ได้ไปชักนำให้เกิดยอดใหม่และต้นที่สมบูรณ์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตต้นพันธุ์ดีของหม้อข้าวหม้อแกงลิงที่มีความปลอดโรค ได้ปริมาณมาก ในเวลาอันรวดเร็ว นับเป็นการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อหม้อข้าวหม้อแกงลิงพันธุ์การค้า และเป็นแนวทางการขยายพันธุ์สำหรับต่อยอดในเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีการศึกษา

ผลของ BA ต่อการชักนำให้เกิดแคลลัสของหม้อข้าวหม้อแกงลิงในสภาพปลอดเชื้อ

การเตรียมชิ้นส่วนเนื้อเยื่อพืชหม้อข้าวหม้อแกงลิงสำหรับการทดลอง นำต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงที่อยู่ในสภาพปลอดเชื้อในขวดทดลอง โดยได้รับการสนับสนุนโคลน (clone) จากบริษัทเอกชน จำนวน 1 ต้น มีอายุประมาณ 1 เดือน แล้วตัดชิ้นส่วนยอดดังกล่าวมาเพิ่มจำนวนยอดด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อยอดบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 4 มก./ล. ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 1 มก./ล. เป็นเวลา 2 เดือน หลังจากนั้นตัดส่วนยอดมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ล. เป็นเวลา 6 เดือน เพื่อให้ได้จำนวนยอดที่มากเพียงพอสำหรับการวางแผนการทดลองนี้ หลังจากนั้น ตัดชิ้นส่วนยอดที่อยู่ในสภาพปลอดเชื้อแล้ว ให้มีความยาว 1.0 ซม. มีใบจริง 1-2 ใบ เพาะเลี้ยงยอดบนอาหารสูตร MS (pH 6.5) ที่เติม BA ความเข้มข้น 0 1 2 และ 4 มก./ล. วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomize Design (CRD) มี 4 สิ่งทดลองๆ ละ 10 ซ้ำๆ ละ 1 ชิ้นส่วน เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ภายใต้สภาพได้รับแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์ นาน 14 ชั่วโมง/วัน เพาะเลี้ยงนาน 70 วัน โดยไม่เปลี่ยนอาหารใหม่ บันทึกข้อมูลเปอร์เซ็นต์การเกิดแคลลัส และข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางของแคลลัสโดยวัดตรงส่วนกว้างที่สุดของก้อนแคลลัส ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (standard error of mean, SEM) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ Sirichai Statistics version 7.0

ขั้นตอนการชักนำแคลลัสให้พัฒนาเป็นยอดใหม่

ใช้ชิ้นส่วนแคลลัสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากการทดลองดังกล่าว (สิ่งทดลองอาหารสูตรที่เติม BA ความเข้มข้น 4 มก./ล.) ขนาดแคลลัส 0.5×0.5 ซม. เพาะเลี้ยงด้วยอาหารแข็งสูตร MS (pH 6.5) ที่เติม BA ความเข้มข้น 0 2 และ 4 มก./ล. วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 สิ่งทดลองๆ ละ 10 ซ้ำๆ ละ 1 ชิ้นส่วน จากนั้นเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไว้ในสภาพอุณหภูมิ $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ได้รับแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์ นาน 14 ชั่วโมงต่อวัน เพาะเลี้ยงนาน 45 วัน บันทึกข้อมูล ได้แก่ จำนวนยอดใหม่ต่อชิ้นส่วน ความยาวยอดใหม่ (ซม.) เส้นผ่านศูนย์กลางแคลลัส (ซม.) โดยวัดตรงส่วนกว้างที่สุดของก้อนแคลลัส ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (standard error of mean, SEM) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ Sirichai Statistics version 7.0

ผลของ NAA และ IBA ต่อการชักนำให้เกิดรากในสภาพปลอดเชื้อ

ใช้ยอดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ขนาดชิ้นส่วน 1 – 2 ซม. มีใบจริงคู่แรก เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS (pH 6.5) ที่เติมสาร NAA ความเข้มข้น 1 3 และ 5 มก./ล. และสาร IBA ความเข้มข้น 0 และ 3 มก./ล. เพียงอย่างเดียวหรือร่วมกัน โดยมีอาหารสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตเป็นสิ่งทดลองควบคุม วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 8 สิ่งทดลองๆ ละ 10 ซ้ำๆ ละ 1 ชิ้นส่วน เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ได้รับแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์ นาน 16 ชั่วโมงต่อวัน เพาะเลี้ยงนาน 40 วัน บันทึกข้อมูล จำนวนรากต่อชิ้นส่วน ความยาวรากโดยวัดรากที่ยาวที่สุด (ซม.) ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (standard error of mean, SEM) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ Sirichai Statistics version 7.0

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของ BA ต่อการชักนำให้เกิดแคลลัสของหม้อข้าวหม้อแกงลิงภายใต้สภาพปลอดเชื้อ

เมื่อตัดชิ้นส่วนปลายยอดของหม้อข้าวหม้อแกงลิงที่อยู่ในสภาพปลอดเชื้อ นำมาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0 1 2 และ 4 มก./ล. เป็นเวลานาน 70 วัน ปรากฏผลดังนี้ อาหารสูตรที่ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การเกิดแคลลัสชนิดแน่นมากที่สุด คือ MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 4 มก./ล. มีการเกิดแคลลัส เฉลี่ย 70% รองลงมาคือ อาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 1 มก./ล. มีการเกิดแคลลัส เฉลี่ย 50% นอกจากนี้ อาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 4.0 มก./ล. ชักนำให้แคลลัสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด เฉลี่ย 1.17 ± 0.3 ซม. แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 1 มก./ล. ที่แคลลัสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เฉลี่ย 0.8 ± 0.3 ซม. (Table 1, Figure 1) โดยการใช้ BA ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมสามารถชักนำให้เกิดแคลลัสได้ในพืชชนิดนี้ สำหรับแคลลัสนั้นได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ จัดเป็นส่วนหนึ่งของเนื้อเยื่อที่มีกลุ่มเซลล์พาเร็นไคมา

หรือเซลล์เมอร์ริสเต็มมีอยู่ในปริมาณมาก (high contents) ซึ่งแคลลัสเป็นกลุ่มเซลล์ (clump of cell) ที่สามารถพัฒนา (redifferentiation) ไปเป็น meristematic cell และตายอด (shoot bud) ใหม่ได้โดยขบวนการอออร์แกโนเจเนซิส (organogenesis) หากได้รับสัดส่วนของฮอร์โมนไซโทไคนินและออกซินที่เหมาะสม (Sharma and Alam, 2015) งานวิจัยนี้สอดคล้องกับ Jala (2012) ที่ได้เพาะเลี้ยงปลายยอดของหม้อข้าวหม้อแกงลิง (*N. Mirabilis*) ด้วยอาหารสูตร ½MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ล. สามารถชักนำให้เกิดแคลลัสได้ Kumlay and Ercisli (2015) กล่าวว่า BA มีประโยชน์ต่อขบวนการเกิดแคลลัส (callogenesis) BA ช่วยให้เกิดขบวนการสร้างอวัยวะ (organogenesis) ของมันสำปะหลัง นอกจากนี้ BA ช่วยส่งเสริมการเพิ่มปริมาณยอด เมื่อใช้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม นอกจากนี้ Sukamto et al. (2011) ได้เพาะเลี้ยงปลายยอด หม้อข้าวหม้อแกงลิง *N.albomarginata* ด้วย BA ความเข้มข้น 1 มก./ล. ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 1.5 – 2.0 มก./ล. นาน 98 วัน สามารถชักนำให้เกิดแคลลัสได้เช่นกัน Taha (2016) กล่าวว่า หากเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อด้วยอาหารที่มีสมดุล (balance) ระหว่างออกซินและไซโทไคนินที่เหมาะสมจะทำให้แคลลัสเติบโตได้ดี และการเพิ่มความเข้มข้น BA ที่เหมาะสมช่วยเพิ่มน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของแคลลัส โดยไซโทไคนินจะเพิ่มการแบ่งเซลล์ และเพิ่มปริมาตรของเนื้อเยื่อ นอกจากนี้ Savithramma et al. (2010) กล่าวว่า เมื่อพืชได้รับ BA และ kinetin ในความเข้มข้นที่ต่างกันจะมีผลต่อการพัฒนาการของแคลลัสและการพัฒนายอด สำหรับไซโทไคนินได้ถูกค้นพบครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ. 1950 โดย Skoog และ Miller มีชื่อเรียกว่า kinetin ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ adenine ทั้งนี้ ไซโทไคนินที่นิยมใช้มากที่สุดในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ คือ BA เนื่องจาก BA เป็นไซโทไคนินที่มีความคงตัวมากที่สุด ถูกออกซิไดซ์ด้วยแสงได้ยาก มีราคาถูก และใช้ง่าย นอกจากนี้ การเติมไซโทไคนินหรือ BA ในระดับที่เหมาะสมลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อช่วยให้ตามีการพัฒนา (bud formation) และ BA ช่วยส่งเสริมให้เซลล์สามารถพัฒนาจากเซลล์เดี่ยวไปเป็นอวัยวะ (totipotent cells) ต่อไปได้ (Kanchanapoom & Boonvanno, 2000) สำหรับการชักนำให้เกิดแคลลัสด้วยฮอร์โมนเป็นสิ่งจำเป็นต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช มีผู้รายงานว่ โครงสร้างแคลลัสมีสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสัณฐานโดยแคลลัสชนิดแน่น (compact callus) ทำให้เกิดยอดใหม่ได้ ส่วนแคลลัสชนิดหลวม (friable callus) ทำให้เกิดเอ็มบริโอแคลลัส (embryonic callus) (Torres, 1989 cited in Sukamto et al., 2011; Kyte, 1990 cited in Sukamto et al., 2011) Kumlay and Ercisli (2015) รายงานว่า การใช้สาร BA มีผลต่อขบวนการสร้างและพัฒนาเนื้อเยื่อให้เป็นแคลลัส หรือ แคลโลเจเนซิส (callogenesis) Khatun et al., 2003 cited in Kumlay and Ercisli (2015) รายงานว่า มีการใช้อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 5 มก./ล. ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมะเขือเทศ ช่วยชักนำให้เกิดแคลลัสได้ 83.33% มีรายงาน Balachandar et al. (2004) ได้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนยอดและลำต้นของมะแว้งเครือ (*S. trilobatum*) พบว่า การเติม BA ความเข้มข้น 4.4 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับน้ำมะพร้าวอ่อน ช่วยให้เกิดแคลลัสได้ดีที่สุด 75% เมื่อเพาะเลี้ยงนาน 4 สัปดาห์ สำหรับการใช้ BA ความเข้มข้น 13.3 ไมโครโมลาร์ ทำให้แคลลัสที่ได้จากใบ มีการพัฒนาเป็นยอดได้ดีที่สุด 69.8% นอกจากนี้พบว่า การใช้ NAA เพียงอย่างเดียว ไม่มีผลให้เกิดแคลลัสในพืชชนิดนี้ อย่างไรก็ตาม นอกจากการชักนำแคลลัสจะใช้เพียง BA เพียงอย่างเดียว ซึ่งช่วยประหยัดค่าสารเคมีอื่นๆ ควรศึกษาการใช้ BA ร่วมกับ NAA ในสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการชักนำแคลลัสได้มากขึ้น มีรายงานการชักนำให้เกิดแคลลัสจากการเพาะเลี้ยงปลายยอดของหม้อข้าวหม้อแกงลิง *N.albomarginata* สามารถเกิดแคลลัสได้ดี 41.67% เมื่อใช้สาร BA ความเข้มข้น 1 มก./ล. ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 2 มก./ล. นาน 12 สัปดาห์ (Sukamto et al., 2011)

Table 1 Percentage of callus formation and diameter of callus after shoots were tips cultured on MS medium supplemented with BA at the concentrations of 0, 1, 2, and 4 mg/l for 70 days

BA (mg/l)	% of callus formation	Diameter of compact callus (cm)
0	0	0±0.0 ^c
1	50	0.8±0.3 ^{ab}
2	40	0.29±0.1 ^{bc}
4	70	1.17±0.3 ^a
F-test	-	*
CV (%)	-	120%

* = significant difference at 95% level of confidence. - = Not analysis

Mean values (mean ± SE, n=10) with different superscripts in the same column are significantly different (P<0.05)

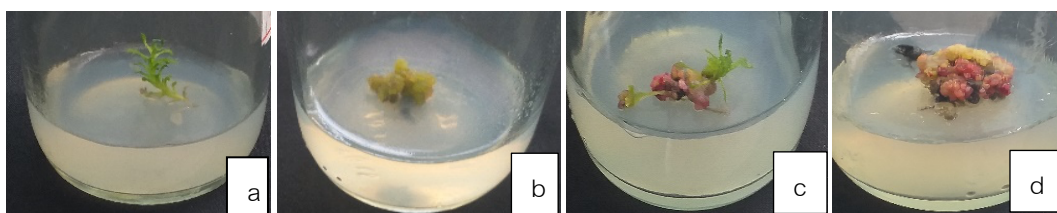


Figure 1 Callus formation after shoots were cultured on MS medium supplemented with BA at the concentrations of (a) 0 mg/l; control (b) 1 mg/l (c) 2 mg/l (d) 4 mg/l for 70 days.

ขั้นตอนการชักนำแคลลัสให้พัฒนาเป็นยอดใหม่

เมื่อได้เพาะเลี้ยงแคลลัส นาน 45 วัน พบว่า อาหารสูตร MS ที่ไม่เติมฮอร์โมน มีจำนวนยอดใหม่พัฒนามากที่สุด เฉลี่ย 19.7 ± 0.3 ยอด และยอดมีความยาวเฉลี่ย 1.32 ± 0.1 ซม. สอดคล้องกับ Khompat et al. (2007) รายงานว่า หลังเพาะเมล็ดหม้อข้าวหม้อแกงลิงด้วยอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 3 มก./ล. แล้วย้ายปลายยอดเลี้ยงต่อด้วยอาหารสูตร MS $\frac{1}{2}$ MS $\frac{1}{4}$ MS และ $\frac{1}{8}$ MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต พบว่า สามารถชักนำให้เกิดยอดที่เติบโตดี จำนวน 2.4 - 4.3 ยอด Aisulaiman & Barakat (2010) รายงานว่า การใช้สารไซโทไคนินในระดับความเข้มข้นต่ำช่วยชักนำให้พัฒนาตาและตาข้างได้

ในงานวิจัยนี้ พบว่า สารควบคุมการเจริญเติบโต BA ไม่สามารถชักนำให้เกิดยอดใหม่ได้ อย่างไรก็ตาม อาหารสูตรที่เติม BA มีส่วนช่วยให้แคลลัสมีการขยายขนาดเพิ่มขึ้นได้ โดยอาหารสูตรที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ล. แคลลัสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด 1.95 ± 0.2 ซม. แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับอาหารสูตรที่เติม BA ความเข้มข้น 4 มก./ล. (Table 2, Figure 2)

Table 2 Number of regenerated shoots, shoot length and callus diameter after callus of *N. ampullaria* were cultured on MS medium supplemented with 0 1 and 2 mg/l BA for 45 days

BA (mg/l)	At 15 days after cultured		At 45 days after cultured		
	Diameter of callus (cm)	% shoot clumps	Number of regenerated shoots	Shoot length (cm)	Diameter of callus (cm)
0	1.25 ± 0.12^a	50	19.7 ± 0.3^a	1.32 ± 0.1^a	0 ± 0^b
2	1.01 ± 0.04^b	0	0 ± 0.0^b	0 ± 0.0^b	1.95 ± 0.2^a
4	0.9 ± 0.04^b	0	0 ± 0.0^{bc}	0 ± 0.0^b	1.84 ± 0.1^a
F-test	*	-	*	*	*
CV (%)	22.63 %	-	80.27	50.64	31.99

* = significant difference at 95% level of confidence. - = Not analysis

Mean values (mean $\pm$ SEM) with different superscripts in the same column are significantly different ($P < 0.05$)

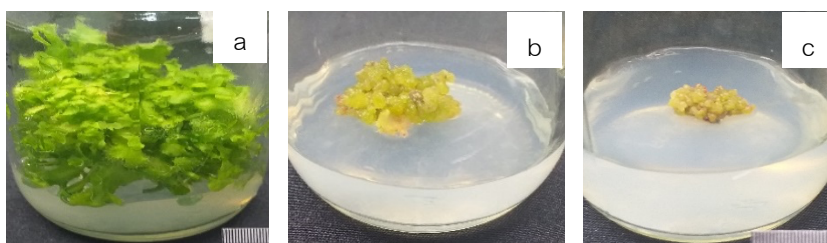


Figure 2 Effect of BA on shoot induction when calluses were cultured on MS medium supplemented with BA at the concentrations of (a) 0 or control (b) 2 mg/l (c) 4 mg/l for 45 days.

ผลของ NAA และ IBA ต่อการชักนำให้เกิดรากในสภาพปลอดเชื้อ

เมื่อนำชิ้นส่วนยอดมาชักนำให้เกิดราก โดยเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ร่วมกับ IBA ความเข้มข้นต่างๆ นาน 40 วัน พบว่า อาหารสูตรที่เหมาะสมต่อการชักนำราก คือ อาหารที่เติม NAA ความเข้มข้น 1 มก./ล. ร่วมกับ IBA ความเข้มข้น 3 มก./ล. ทำให้มีจำนวนรากทั้งหมด (รากที่เกิดบริเวณรอยตัด (roots) และรากเกาะ (climbing roots)) มากที่สุด 7.4 ± 1.6 ราก เมื่อวิเคราะห์แต่ละปัจจัย พบว่า การเติม IBA มีผลต่อจำนวนรากทั้งหมด ส่วนจำนวนราก (รากที่เกิดจากบริเวณรอยตัดชิ้นส่วน) ความยาวราก จำนวนรากเกาะ ความยาวรากเกาะ และความยาวรากทั้งสองชนิด พบว่า ในทุกสูตรอาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 3, Figure 3) เนื่องจาก NAA และ IBA ซึ่งเป็นฮอร์โมนกลุ่มออกซินทำให้สามารถชักนำรากได้ สอดคล้องกับรายงานที่ ออกซินสามารถชักนำให้เกิดรากห้อยขาวห้อยแกงลิง *N. albomarginata* ได้ (Sukanto et al., 2011) โดยมีผู้กล่าวว่า NAA ช่วยชักนำให้เกิดราก (root differentiation) ส่วน IBA ช่วยให้มีการยืดยาวของราก (root elongation) (Mendes et al. 2011 cited in Chamandoosti, 2020) นอกจากนี้ Savithramma et al. (2010) กล่าวว่า NAA เป็นสารออกซินที่มีประสิทธิภาพสูงในการชักนำรากและการเจริญเติบโตของรากพืช *Talinum cuneifolium* ส่วน IBA ช่วยให้เกิดรากได้ดีในพืช ทั้งนี้ Khumdinpitag et al. (2004) ได้รายงานว่า สามารถชักนำให้พืชห้อยขาวห้อยแกงลิง *N. thorelii* เกิดรากได้บนอาหารสูตร Half-MS ที่เติม IBA ความเข้มข้น 0.1 - 2.0 มก./ล. นอกจากนี้ มีการใช้ทั้ง NAA และ IBA ร่วมกันในการชักนำให้เกิดรากได้ Cui et al. (2019) ได้เพาะเลี้ยงยอด *Magnolia sirindhorniae* พบว่า อาหารที่เหมาะสมต่อการชักนำรากดีที่สุด 95.7% คือ อาหารที่เติม NAA กับ IBA ชนิดละ 0.5 มก./ล.

Table 3 Root induction of *N. ampullaria* shoots cultured on MS medium supplemented with different concentration of NAA and IBA after 40 days

NAA (mg/l)	IBA (mg/l)	Number of roots	Root length (cm)	Number of climbing root	Climbing root length (cm)	Number of total roots
0	0	1.8 ± 0.5	2.3 ± 1.2	1.8 ± 0.3	1.8 ± 0.4	3.6 ± 0.4 ^c
1	0	3.1 ± 0.6	1.3 ± 0.2	1.4 ± 0.4	0.9 ± 0.2	4.5 ± 0.7 ^{bc}
3	0	2.3 ± 0.6	1.4 ± 0.3	2.4 ± 0.5	1.3 ± 0.2	4.7 ± 0.6 ^{bc}
5	0	1.9 ± 0.6	1.0 ± 0.2	2.1 ± 0.4	0.9 ± 0.2	4.0 ± 0.6 ^{bc}
0	3	2.8 ± 0.6	1.6 ± 0.3	1.3 ± 0.4	1.0 ± 0.3	4.1 ± 0.5 ^{bc}
1	3	4.5 ± 1.3	1.2 ± 0.2	2.9 ± 0.4	1.2 ± 0.2	7.4 ± 1.6 ^a
3	3	3.2 ± 0.6	0.9 ± 0.2	2.0 ± 0.4	0.9 ± 0.2	5.2 ± 0.7 ^{abc}
5	3	4.1 ± 0.8	1.2 ± 0.2	2.5 ± 0.5	1.1 ± 0.2	6.6 ± 0.8 ^{ab}
F-test		ns	ns	ns	ns	*
CV (%)		78.8	107.2	63.2	70.7	51.4

ns= no significant difference and, * = significant difference at 95% level of confidence, respectively.

Mean values (mean $\pm$ SEM) with different superscripts in the same column are significantly different ($P < 0.05$)

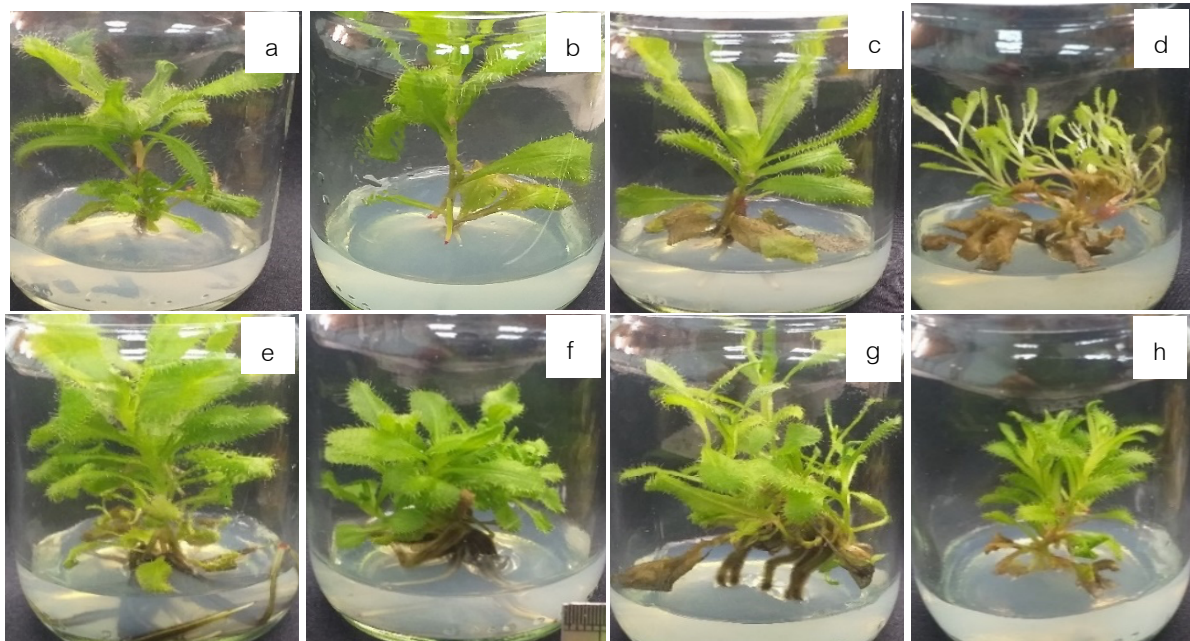


Figure 3 Root induction on MS medium supplemented with NAA and IBA individually or in combination for 40 days. (a) control (b) 1 mg/l NAA (c) 3 mg/l NAA (d) 5 mg/l NAA (e) 3 mg/l IBA (f) 1 mg/l NAA and 3 mg/l IBA (g) 3 mg/l NAA and 3 mg/l IBA (h) 5 mg/l NAA and 3 mg/l IBA

สรุปผลการศึกษา

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชหม้อข้าวหม้อแกงลิง (*Nepenthes ampullaria*) พบว่า อาหารที่เหมาะสมต่อการชักนำให้เกิดแคลลัสชนิดแน่นได้มากที่สุด 70% เมื่อเพาะเลี้ยงยอดอ่อน นาน 70 วัน คือ อาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 4 มก./ล. สำหรับขั้นตอนการชักนำให้แคลลัสมีการพัฒนาไปเป็นยอดใหม่ได้มากที่สุด (50%) คือ อาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมฮอร์โมน ทำให้ได้จำนวนยอด 19.7 ± 0.3 ยอด เมื่อเลี้ยงนาน 45 วัน สำหรับผลของ NAA และ IBA ต่อการชักนำให้เกิดราก พบว่า สูตรที่สามารถชักนำให้เกิดรากได้ดีที่สุด ได้แก่ การใช้อาหารแข็งสูตร MS (1962) ที่เติม NAA ความเข้มข้น 1 มก./ล. ร่วมกับ IBA ความเข้มข้น 3 มก./ล. ทำให้เกิดรากได้มากที่สุด เฉลี่ย 7.4 ± 1.6 ราก เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 40 วัน

เอกสารอ้างอิง

- Ai-sulaiman, F. A., & Barakat, M. N. (2010). *In vitro* shoot multiplication of *Ziziphus spina christi* by shoot tip culture. **African Journal of Biotechnology**, 9(6), 850-857.
- Balachandar, R., Alagumanian, S., Perumal, V. S., Rameshkannan, K., & Rao, M. V. (2004). Plant regeneration from leaf and stem explants of *Solanum trilobatum* L. **Current Science**, 86 (11), 1478-1480.
- Chamandoosti, F. (2020). Citrus tissue culture with two different approaches. **International Journal of Biosciences and Biotechnology**, 8(1), 19-30.
- Charoenwattana, P., Srion, P., Chiablaem, K., Ploykerd, K., & Hongthong, P. (2018). Effects of Cytokinins on Shoot Induction of *Nepenthes mirabilis* *in vitro*. **Agricultural Science Journal**, 49(Suppl.3), 149-153.
- Cui, Y., Deng, Y., Zheng, K., Hu, X., Zhu, M., Deng, X., & Xi, R. (2019). An Efficient Micropropagation Protocol for an Endangered Ornamental Tree Species (*Magnolia Sirindhorniae* Noot. & Chalermglin) and Assessment of Genetic Uniformity through DNA Markers. **Scientific Reports**, 9(9634), para 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46050-w>
- Jaisue, C., Poowan, N., Kanjanasopa, D., Srirawat, T., Thitithanakul, S., Onsanit, S., & Sontikun, Y. (2019). Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) analysis of somaclonal variation among *in vitro* *Nepenthes mirabilis*. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 47(Suppl.1), 515-522.
- Jala, A. (2012). Types of media for seeds germination and effect of BA on mass propagation of *Nepenthes mirabilis* Druce. **American Transaction on Engineering and Applied Sciences**, 1(2), 163-171.
- Kanchanapoom, K., & Boonvanno, K. (2000). A protocol for micropropagation of the piscicidal plant *Maesa ramentacea* A. Dc. **Science Asia**, 26, 201-205.
- Khompat, K. Tokhao, W., & Jantasilp, A. (2007). Factors affecting *in vitro* seed germination and shoot multiplication of a pitcher plant (*Nepenthes mirabilis* Lour Druce). **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, 29(2), 253-260.
- Khumdinpitag, A., Krasaechai, A., & Phornsawatchai, P. (2004). *In vitro* Propagation of Pitcher Plant (*Nepenthes thorelii*). **Journal of Agriculture**, 20(1), 1-9.
- Kumlay, A. M., & Ercisli, S. (2015). Callus induction shoot proliferation and root regeneration of potato (*Solanum tuberosum* L.) stem node and leaf explants under long-day condition. **Biotechnology and Biotechnological Equipment**, 29(6), 1075-1084.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. **Plant Physiology**, 15, 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052>
- Sapaeing, A., Sutthion, P., Hilae, A., & Wattanapan, N. (2020). Effect of BA NAA and activated charcoal on micropropagation of *Nepenthes mirabilis* (Lour.) Druce. **Acta Horticulturae**, 1298(38), 281-286.
- Savithramma, N., Ankanna, S., Prabha, B., & Sasilala, A. (2010). Micropropagation of *Talinum cuneifolium* Vahl. Willd. through petiole culture. **Asian Journal of Environmental Science**, 5(2), 158-163.
- Sharma, V., & Alam, A. 2015. **Plant Tissue Culture**. IK International Publishing House.
- Sukanto, L. A., Mujiono, M., Djukri, D., & Henuhili, V. (2011). Shoot tip culture of *Nepenthes albomarginata* Lobb ex Lindl. *in vitro*. **Journal Biologi Indonesia**, 7(2), 251-261.
- Taha, A. J. (2016). Callus induction and plant regeneration of *Cordia myxa* L. via tissue culture system. **International Journal of Pharmacy and Integrated Life Sciences**, 4(5), 18-29.
- Thanasombat, M., Banchong, Y., Tangpradit, P., Wongwaen, P., & Pankaew, Y. (2009). Development and micropropagation of *Nepenthes* sp. for commercial (chapter 2) propagation by plant tissue culture. **Kasetsart Extension Journal**, 54(3), 15-25.

ผลของความเข้มข้นและความถี่ของรำข้าวเปลือกหมักต่อการเพิ่มจำนวนของโคพีพอดธรรมชาติ

Effect of Concentration and Frequency of Feeding with Food
(Fermented Rice Bran) on Mass Culture of Natural Copepod

ดวงทิพย์ อุ้งเงิน^{1*} วรเทพ มุธุวรรณ¹ ศิริประภา ฟักระจำง¹ วิรัชชา เจริญดี¹ วิลาวรรณ พวงสันเทียะ¹
พัชริดา รัตนวัฒนาพงษ์¹ อมรรัตน์ กนกรุ่ง¹ รติมา ครุวรรณเจริญ¹ สรณัฐ โชตินิพัทธ์² ชนม์ ภูสุวรรณ² และจักรพงษ์ ศรีพนมยม³
Dountip Oungern^{1*}, Vorathep Muthuwan¹ Siraprapa Fakrajung¹ Wiracha Charoendeeand¹, Wilaiwan Phuangsanthia¹,
Patcharida Rattanawattanapong¹, Amonrat Kanokrun¹, Ratima Karuwancharoen¹, Soranot Chotnipat², Chon Poosuwan²
and Jakkrapong Sripanomyom³

Received date: 8 มี.ค. 66 Revised date: 31 ส.ค. 66 Accepted date: 9 ก.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.012>

บทคัดย่อ

การผลิตโคพีพอดธรรมชาติ โดยการให้รำข้าวเปลือกหมักเป็นอาหาร ที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ 50, 100, 150 ppm และความถี่ของการให้อาหารต่างกัน 2 ระดับ คือ ให้ครั้งเดียวและให้สองครั้ง (ในวันที่ 4) ต่อการเพิ่มจำนวนและองค์ประกอบของโคพีพอดในธรรมชาติ โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial design) ในถังพลาสติกขนาด 10 ลิตร 18 ใบ เป็นเวลา 30 วัน ผลการทดลองพบว่าโคพีพอดมีการตอบสนอง (เพิ่มและลดจำนวน) ไปในทิศทางเดียวกัน ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเพิ่มจำนวนของโคพีพอด ($p < 0.05$) โดยความหนาแน่นโคพีพอดพบสูงสุดในการทดลองที่ให้อาหารเพียงครั้งเดียวตลอดการทดลองที่ความเข้มข้น 150 ppm (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) 6.4 ± 1.4 ตัว/มล. ขณะที่การให้อาหารเพิ่มขึ้นเป็นสองครั้ง (วันที่ 4) ที่ความเข้มข้นของรำข้าวเปลือกหมักต่ำไม่มีผลต่อความหนาแน่นของโคพีพอด ($p > 0.05$) มีค่าเฉลี่ย ($\pm$ SE) สูงสุด 2.7 ± 0.4 , 2.4 ± 0.3 , 2.1 ± 0.5 ตัว/มล.ตามลำดับ สำหรับกลุ่มชนิดของโคพีพอดที่พบมากที่สุดคือ คาลานอยด์ ไฮโคลพอยด์ ฮาร์แพคติกอยด์ (ร้อยละ 64.9, 23.3, 11.8) และสัดส่วนร้อยละของระยะการเติบโตที่พบมากที่สุดคือ นอเพลียส ตัวเต็มวัย โคพีพอดิด และตัวเต็มวัยที่มีถุงไข่ (38.9 ± 2.0 , 37.0 ± 1.7 , 23.6 ± 1.4 , 0.5 ± 0.2 .) ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ว่าการให้รำข้าวเปลือกหมัก ที่ความเข้มข้นสูง 150 ppm เพียงครั้งเดียว เพียงพอสำหรับการเพิ่มจำนวนโคพีพอดธรรมชาติจำนวนมากได้

คำสำคัญ: ความเข้มข้น ความถี่ รำข้าวเปลือกหมัก โคพีพอด

Abstract

Development of natural copepod production using fermented rice bran at different concentrations and feeding frequencies was studied. The experiment followed a factorial design with two factors: rice bran concentration (50, 100, and 150 ppm) and feeding frequency (first feeding only and second feeding on day 4 after the first feeding). The experiment was conducted in 18 plastic buckets of 10-liter capacity for a duration of 30 days. The results showed that copepods responded to the increase and decrease in density in the same

¹ สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี 20131² สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร จ.เพชรบุรี 76120³ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมงและทรัพยากรทางน้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ.ชุมพร 86160¹ Institute of Marine Science, Burapha University, Chonburi 20131² Department of Fishery Science, Faculty of Animal Sciences and Agricultural Technology, Silpakorn University, Phetchaburi 76120³ Department of Fishery Science and Aquatic Resources, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumphon 86160

*Corresponding author: dountip@buu.ac.th

direction. The interaction between the two factors (rice bran concentration and feeding frequency) showed a significant influence on the copepod density ($p < 0.05$). The highest copepod densities were observed when using first feeding only at a high rice bran concentration of 150 ppm (Mean $\pm$ SE) of 6.4 ± 1.4^a ind./ ml. For the second feeding on day 4 after the first feeding, copepod densities were lower for all concentrations: (Mean $\pm$ SE) 2.7 ± 0.4 , 2.4 ± 0.3 , 2.1 ± 0.5 ind./ ml respectively. The most abundant types of copepods were from the orders Calanoid, Cyclopoid, and Harpacticoid copepod with percentages of 64.9, 23.3, 11.8 ind./ml, and the copepod stages were represented by nauplii, adult, copepodite, the adult with eggs. Their percentages were 38.9 ± 2.0 , 37.0 ± 1.7 , 23.6 ± 1.4 , 0.5 ± 0.2 ind./ml, respectively. It can be concluded that using fermented rice bran at a high concentration of 150 ppm with the approach of first feeding only is sufficient enough to increase the mass culture of natural copepods.

Keywords: concentration, frequency, fermented rice bran, copepod

คำนำ

โคฟีพอดแต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีในการสภาพแวดล้อมและชนิดของอาหารที่แตกต่างกัน เช่น การทดลองเลี้ยงโคฟีพอด *Oithona nana* ด้วยแพลงก์ตอนพืช *Nannochloropsis oceanica* เปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง ยีสต์ รำข้าว และแป้งข้าวโพด พบว่าแป้งข้าวโพดทำให้การเพิ่มจำนวนของโคฟีพอดสูงที่สุด ขณะที่รำข้าวให้สัดส่วนของระยะโคฟีโพดิดและนอเพลียสรวมถึงความคืบหน้าของไข่สูงที่สุด และโคฟีพอดที่เลี้ยงด้วยรำข้าวยังมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงมากกว่าที่เลี้ยงด้วยอาหารชนิดอื่น (Magouz et al., 2021) หรือใน *Moina macrocopa* ที่พบว่ามีการนำรำข้าวและรำมันสำปะหลังมาใช้เลี้ยงในวันแรกที่ความเข้มข้น 0.3 มล./ล. และปรับให้ในวันครั้งที่ 2 ต่างกันที่ ความเข้มข้น 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 มล./ล พบว่าการใช้รำข้าวสามารถทำให้จำนวนของ *Moina* สูงขึ้นถึง 17,975 ตัว/ล.ในวันที่ 7 มากกว่าการเลี้ยงด้วยมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าในรำหังยังมีโปรตีนและกรดอะมิโน 3.78% (wet weight) สูงกว่าในรำมันสำปะหลัง 2.57% (wet weight) (Mubarak et al., 2017) นอกจากนี้ปัจจุบันเทคโนโลยีการเลี้ยงกุ้งทะเลแบบใหม่ที่มีความยั่งยืน โดยอาศัยอิงธรรมชาติ ลดการใช้สารเคมี และใช้เทคโนโลยีชีวภาพ เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยงให้เกิดความสมดุล ที่เรียกว่า “ระบบเลี้ยงกุ้งอิงธรรมชาติ (Aquamimicry)” ที่มีการนำแบคทีเรียที่คัดเลือกสายพันธุ์แล้ว (*Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. valismortis*) (Aquamimicry, 2014) มาย่อยสลายวัตถุดิบ ได้แก่ รำละเอียด ถั่วเหลือง เพื่อให้เกิด แล้วใช้รำหัง และ/หรือถั่วหัง (Synbiotic) ในการเตรียมบ่อ ปรับปรุงคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง หรือผสมอาหาร และจากการใช้รำหังในการเตรียมบ่อ พบว่าเกิดแพลงก์ตอนสัตว์จำนวนมากขึ้นภายในบ่อในระยะเวลา 3 ถึง 5 วัน หลังจากที่มีการเติมรำหัง ในอัตราส่วนที่กำหนดลงไปบ่อ และชนิดเด่นของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบ คือ โคฟีพอด (Romano and Kumar, 2017; Chakravarty et al., 2018; de Tailly, 2019) และเนื่องจากการใช้รำข้าวหังมาใช้เป็นอาหารในการเพาะเลี้ยงโคฟีพอดธรรมชาติเป็นงานวิจัยที่มีการศึกษายังไม่มากนัก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเข้มข้นและจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถเพาะเลี้ยงโคฟีพอดโดยใช้อาหารทดแทนจากรำข้าวหังแทนการใช้แพลงก์ตอนพืชที่มีขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยากและสิ้นเปลืองทรัพยากรเป็นแนวทางในการพัฒนาการเพาะเลี้ยงโคฟีพอดต่อไป

วิธีการศึกษา

ผลของอัตราส่วนรำหังและความถี่ในการให้อาหารต่อการเพิ่มจำนวนของโคฟีพอด

ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial design) ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของรำหัง และความถี่ในการให้อาหาร แต่ละปัจจัยประกอบไปด้วยความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 50, 100, 150 ppm และความถี่ 2 ระดับ คือ ให้ครั้งเดียว และให้สองครั้ง (ในวันที่ 4 ของการทดลอง) จำนวน 3 ซ้ำ

การเตรียมภาชนะเพื่อการทดลองและน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง

ทำการทดลองในถังพลาสติกขนาดความจุ 10 ลิตร จำนวนทั้งสิ้น 18 ใบ จำนวน 2 ชุด รวม 36 ใบ (Figure 1) ในแต่ละถังมีหัวจ่ายอากาศจำนวน 1 หัว เพื่อหมุนเวียนน้ำและเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำ กรองน้ำทะเลธรรมชาติชายฝั่งอย่างน้อย 1,000 ลิตร หรือ 2,000 ลิตร (กรองผ่านผ้ากรองขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อกำจัดตัวอ่อนสัตว์น้ำรวมถึงไฮโดรซัวและไข่ผ้ากรองขนาด 32 ไมโครเมตร) จากนั้นนำโคพีพอดที่ถูกดักไว้บนผ้ากรองมาตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อจำแนกกลุ่มและระยะพัฒนาของโคพีพอดที่พบเมื่อเริ่มทดลองและนำมานับความหนาแน่นเริ่มต้นด้วย Sedgewick Rafter Counting Chamber



Figure 1 Copepod culture in plastic buckets

แหล่งของโคพีพอดเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองและวิธีการเตรียมเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง

สูบน้ำทะเลด้วยปั๊มสูบน้ำขนาดใหญ่เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดของท่ออยู่ที่ 3 นิ้ว จากชายฝั่ง ณ ชายทะเล บริเวณหน้าสถานีวิจัยย่อยชะอำ ต.บางเก่า อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี ในช่วงเวลาน้ำขึ้น กรองผ่านผ้ากรองขนาดตา 1 มิลลิเมตร เพื่อกำจัดตะกอนและตัวอ่อนสัตว์น้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร ออกจากน้ำ แพลงก์ตอนสัตว์ที่ผ่านผ้ากรองไปถูกดักไว้ด้วยผ้ากรองขนาดตา 32 ไมโครเมตร แพลงก์ตอนสัตว์ที่เป็นกลุ่มเป้าหมาย คือ โคพีพอดระยะต่างๆ คือ นอเพลียส โคพีพอดิต ตัวเต็มวัยและตัวเต็มวัยที่มีไข่ กรองน้ำทะเลจนได้ตัวอย่างของโคพีพอดเพียงพอสำหรับการทดลอง (0.5-1 ตัวต่อมิลลิลิตร) ด้วยการรวบรวมโคพีพอดที่กรองได้ ย้ายไปใส่ในภาชนะที่มีน้ำทะเลเตรียมไว้แล้วและปรับปริมาตรให้ได้ 5 ลิตร หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างน้ำที่มีโคพีพอดอยู่ นำไปนับภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยใช้ Sedgewick Rafter Counting Chamber หากจำนวนโคพีพอดเริ่มต้นไม่มากพอ เติมโคพีพอดที่กรองเพิ่มไว้ใส่ลงไปแล้วนับอีกครั้ง จนกว่าโคพีพอดที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนที่นับได้อยู่ระหว่าง 500-1,000 ตัวต่อลิตร เนื่องจากน้ำทะเลขณะที่ทำการสูบน้ำนั้นมีความเค็มเท่ากับ 34 ส่วนในพันส่วน จึงทำการปรับความเค็มของน้ำให้ลดลงด้วยน้ำจืด โดยใช้ระยะเวลาในการลดความเค็ม 1 ppt ต่อระยะเวลา 1 วัน จนได้ความเค็มที่ใช้ในการทดลองคือ 30 ppt และทำการสุ่มนับอีกครั้งเพื่อประเมินจำนวนโคพีพอดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในงานทดลอง

วิธีการเตรียมรำข้าวหมัก และการเติมรำข้าวหมักในภาชนะทดลอง



Figure 2 (a) NaHCO_3 , Rice bran and *Bacillus* sp. (b) Fermented rice bran

นำรำละเอียดมาหมักด้วยแบคทีเรียที่คัดเลือกสายพันธุ์ไว้ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งทะเลในระบบอิงธรรมชาติ (*Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus valismortis*; Total bacillus count : $>1.0 \times 10^9$ CFU/mL) ตามกรรมวิธีที่ระบุไว้โดยผู้ผลิตล่วงหน้าก่อนการทดลอง วิธีใช้ อิงตามคำแนะนำของคู่มือการใช้ผลิตภัณฑ์ของบริษัท คือ รำละเอียด 100 กก. ต่อปริมาตรน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เมตร (100 ppm หรือ 100 ก. ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร) โซเดียมไบคาร์บอเนต 20 กก. (20% ของน้ำหนักรำข้าวเปลือกละเอียด) แบคทีเรียจำนวน 1 ขวด (500 มล.) หรือ 5 มิลลิลิตรต่อรำละเอียด 1 กิโลกรัม (Figure 2 (a)) ด้วยการนำรำละเอียดมาร้อนผ่านตะแกรงร่อนขนาดตา 1 มิลลิเมตร แล้วนำเฉพาะรำข้าวละเอียดที่ผ่านการร่อนแล้วเท่านั้นไปใช้ในการหมัก โดยชั่งรำข้าวเปลือกละเอียด 100 กรัม โซเดียมไบคาร์บอเนต 20 กรัม แบคทีเรีย 0.5 มิลลิลิตร เติมน้ำทะเลที่ปรับความเค็มไว้ที่ 30 ppt ปริมาตร 10 ลิตร ทำการหมักทิ้งไว้ 24-48 ชั่วโมง โดยไม่มีการให้อากาศ (Figure 2 (b)) ก่อนนำไปใช้กรองน้ำรำข้าวเปลือกหมักผ่านผ้ากรองขนาดตา 75 ไมครอน แล้วจึงนำของเหลวที่ผ่านผ้ากรองไปใช้เป็นอาหาร ตามอัตราส่วนความเข้มข้นที่กำหนดไว้ 3 ระดับ

วิธีการสุ่มเก็บ การเก็บรักษา การนับ การจำแนกกลุ่ม ระยะของการเจริญ วิธีบันทึกภาพตัวอย่าง และการวัดขนาด

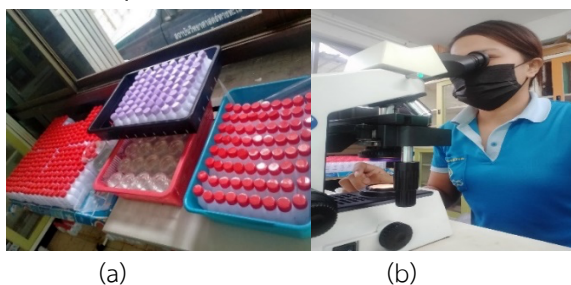


Figure 3 (a) Example of copepods (b) Classification copepods under the microscope

ทำการสุ่มตัวอย่างแพลงก์ตอนทุกวันเว้นวันจากทุกภาชนะทดลองละ 3 ตัวอย่าง ในการสุ่มตัวอย่างเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 50 มิลลิลิตร เติมน้ำยาเก็บรักษาตัวอย่าง (บัฟเฟอร์ฟอร์มาลิน) ความเข้มข้นที่ 10% จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ต่อปริมาตรน้ำ 50 มิลลิลิตร หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 1 คืน (Figure 3 (a)) เพื่อให้ตัวอย่างตกตะกอนแล้วจึงดูดน้ำใสส่วนบนออกไป และเก็บตัวอย่างส่วนล่างที่มีตะกอนไว้ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปนับจำนวน และทำการสุ่มตัวอย่างในแต่ละตู้ทดลองทุกวันเว้นวัน นำไปจำแนกกลุ่มของโคพีพอดที่พบ และนับจำนวนที่พบตลอดการทดลองในช่วงระยะเวลา 30 วัน และทำการนับความหนาแน่นโคพีพอดที่เก็บไว้ด้วย Sedgewick Rafter Counting Chamber ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ระหว่างการนับทำการจำแนกกลุ่มของไซโคลพอยด์หรือคาลานอยด์หรือฮาร์แพคติกอยด์ที่พบในน้ำตัวอย่างแยกออกจากกัน ตลอดจนนับแยกระยะการเจริญเติบโตของโคพีพอด ระยะ นอเพลียส โคพีโพดิด ตัวเต็มวัยและตัวเต็มวัยที่มีไข่ พร้อมกับบันทึกภาพ โดยเทียบตัวอย่างกับ Ocular micrometer ที่ผ่านการปรับตั้งค่ากำลังขยายกับ Stage micrometer เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ที่กำลังขยายของกล้อง 4x หรือ 10x หรือ 40x แล้วจึงนำภาพที่บันทึกไว้ไปทำการวัดขนาดด้วยโปรแกรมวัดขนาดภาพ Image J (Figure 3 (b))

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบสูงสุด และค่าเฉลี่ยของกลุ่มของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละปัจจัยและผลรวมของปัจจัยด้วยวิธีเปรียบเทียบแบบออร์ทोगอนอล (orthogonal comparison)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากผลการทดลองที่แสดงใน (Figure 4) แสดงให้เห็นว่าโคฟิพอดที่ได้รับอาหารความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ และความถี่ในการให้ที่แตกต่างกัน คือ 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง ตลอดระยะเวลาการทดลอง 30 วัน มีรูปแบบการตอบสนอง (เพิ่มและลดจำนวน) เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีการเพิ่มจำนวนขึ้นหลังจากมีการให้อาหาร และมีความหนาแน่นสูงสุดในช่วงระหว่างวันที่ 8 ถึงวันที่ 16 ของการทดลอง โดยความหนาแน่นที่พบมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) เท่ากับ 6.4 ± 0.2^a ตัวต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 14 ของการทดลอง ในชุดการทดลองที่ได้รับอาหารความเข้มข้น 150 ppm เพียงครั้งเดียว และพบว่าเมื่อให้อาหารเพิ่มขึ้นเป็นสองครั้งที่ความเข้มข้นสูงสุด (150 ppm) ความหนาแน่นของโคฟิพอดเพิ่มขึ้นสูงสุดเพียง 2.1 ± 0.5 ตัวต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 2 ของการทดลอง แต่ความหนาแน่นสูงสุดของโคฟิพอดกลับเพิ่มสูงขึ้นเมื่อให้อาหารน้อยลง คือ พบว่ามีความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 3.4 ± 0.6^{ab} และ 2.3 ± 0.1^b ตัวต่อมิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นอาหาร 100 และ 50 ppm ในวันที่ 12 และวันที่ 8 ของการทดลอง ตามลำดับ และเมื่อจำนวนของโคฟิพอดเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดในแต่ละชุดการทดลองแล้ว ความหนาแน่นของโคฟิพอดจึงเริ่มลดลงสู่จุดต่ำสุด (0.1-0.4 ตัวต่อมิลลิลิตร) ในวันที่ 18 ของการทดลอง และพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของโคฟิพอดและลดจำนวนลงอีกครั้งหนึ่งในช่วงสั้นระหว่างวันที่ 20-26 ของการทดลอง ซึ่งแพลงก์ตอนสัตว์ที่เพิ่มขึ้นนี้มักจะเกิดขึ้นภายในหนึ่งสัปดาห์หลังจากมีการเติมรำหมักลงไป และชนิดเด่นของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบ คือ โคฟิพอด (Romano and Kumar, 2017; Nisar et al., 2022) และผลการทดลองของ Magouz et al. (2021) ที่แสดงว่าสามารถใช้ ถั่วเหลือง ยีสต์ รำข้าว และแป้งข้าวโพด ในการเลี้ยงโคฟิพอด (*Oithona nana*) ได้ โดยโคฟิพอดมีอัตราการเพิ่มจำนวนสูงสุดเมื่อเลี้ยงด้วยแป้งข้าวโพด แต่โคฟิพอดที่เลี้ยงด้วยรำข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการ (MUFA, PUFA, and the lowest SFA and SFA/UFA) สูงที่สุด และมีเพียงโคฟิพอดที่เลี้ยงด้วยรำข้าวเท่านั้นที่ตรวจพบกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า 3 (Eicosapentaenoic acid (EPA); C20:5 ω 3)

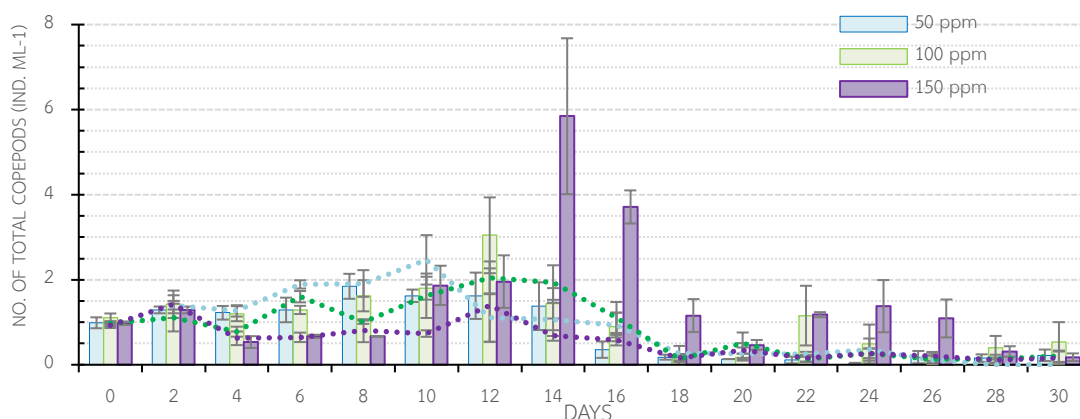


Figure 4 Number of total copepods (ind./mL) at three different concentrations, 50, 100, 150 ppm and two different frequencies, first feeding only and second feeding on day 4 after first feeding

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่ทดสอบ คือ ความเข้มข้นของอาหารและจำนวนครั้งของการให้อาหารต่อการเพิ่มจำนวนของโคฟิพอด ผลการทดลองพบว่าความหนาแน่นของโคฟิพอดที่เพิ่มขึ้นสูงสุดนั้นเกิดจากอิทธิพลร่วมกันของความเข้มข้นของอาหารและจำนวนครั้งที่ให้อาหาร ($p<0.05$) (Figure 4) และเมื่อพิจารณาปัจจัยทดสอบแต่ละปัจจัยพบว่าความหนาแน่นของโคฟิพอดมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของอาหารที่ให้ (Figure 5 (a)) หรือจำนวนครั้งที่ให้อาหารเพิ่มขึ้น (Figure 5 (b)) เช่นกัน ($p<0.05$) โดยความหนาแน่นโคฟิพอดที่พบสูงสุดในการทดลองที่ให้อาหารเพียงครั้งเดียวตลอดการทดลองที่ความเข้มข้นสูง 150, 100, และ 50 ppm (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) เท่ากับ 6.4 ± 1.4^a , 3.4 ± 0.6^{ab} , 2.3 ± 0.1^b ตัวต่อมิลลิลิตร และในขณะที่เมื่อให้อาหารเพิ่มขึ้นเป็นสองครั้งใน

วันที่สี่ของการทดลอง พบว่าความเข้มข้นที่ต่างกัน 50, 100 และ 150 ppm พบว่าที่ความเข้มข้นของอาหารต่ำความหนาแน่นของโคฟีพอดกับมีค่าสูง แต่ไม่มีผล ($p>0.05$) โดยความหนาแน่นสูงสุดของโคฟีพอดค่าเท่ากับ ($\pm$ SE) 2.7 ± 0.4 , 2.4 ± 0.3 , 2.1 ± 0.5 ตัวต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่เนื่องมาจากโคฟีพอดชีวิตมีวงจรชีวิตอยู่ระหว่าง 20-30 วัน การเลี้ยงโคฟีพอดสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เมื่อจำนวนโคฟีพอดเพิ่มสูงสุดซึ่งอยู่ในช่วง 10-25 วัน (ขึ้นอยู่กับชนิด) (Santhosh et al., 2018) การเพิ่มอาหารเข้าไปในวันที่ 4 ขณะที่ความหนาแน่นของโคฟีพอดยังอยู่ในระดับต่ำ (เฉลี่ย 0.9 ตัวต่อมิลลิลิตร) ใกล้เคียงกับเมื่อเริ่มต้น (เฉลี่ย 1.0 ตัวต่อมิลลิลิตร) อาหารที่ให้จึงมากเกินไปจนความต้องการจนเกิดการเน่าเสีย ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำ และส่งผลกระทบต่อโคฟีพอด ซึ่งคุณภาพน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญและเป็นปัจจัยจำกัดของการเพาะเลี้ยงโคฟีพอด (Jepsen et al., 2018)

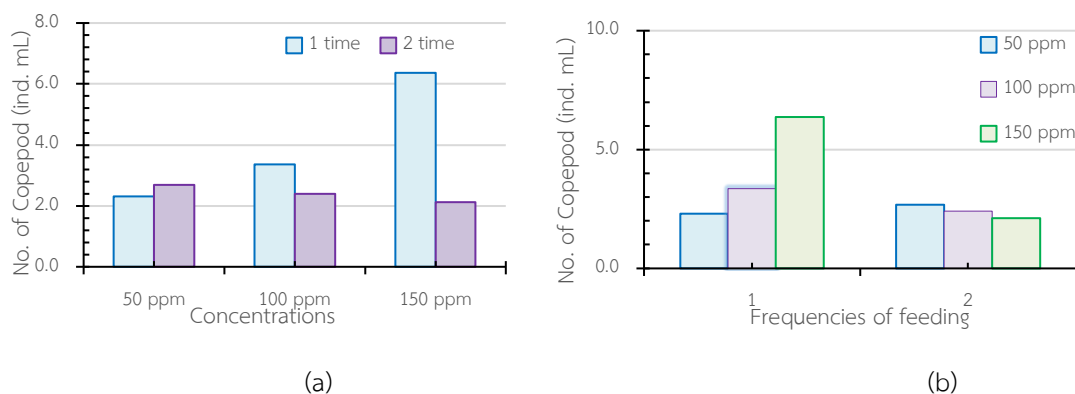


Figure 5 Effect of food (fermented rice bran) different three concentrations, two frequencies, and two frequencies, three concentrations to the higher density of copepods (ind./mL)

ประเภท ขนาด และระยะของการเจริญเติบโตของโคฟีพอดที่พบในการทดลอง

ผลการจำแนกกลุ่มของโคฟีพอดที่พบในการทดลองนี้ พบว่าประกอบไปด้วยโคฟีพอดสามกลุ่มด้วยกัน คือ ไส้โคลพอยด์ หรือคาลานอยด์หรือฮาร์แพคติกอยด์และพบระยะของการเจริญสามระยะด้วยกัน คือ ระยะนอเพลียส โคฟีโพดิด ตัวเต็มวัยและตัวเต็มวัยที่มีไข่ (Figure 6-8)



Figure 6 Calanoid copepod of stage Nauplius (left) Copepodite (mid) Adult (Right) (Note: not to scale)



Figure 7 Cyclopoid copepod of stage Nauplius (left) Copepodite (mid) Adult (Right) (Note: not to scale)



Figure 8 Harpacticoid copepod of stage Nauplius (left) Copepodite (mid) Adult (Right) (Note: not to scale)

เมื่อทำการสุ่มตัวอย่างโคพีพอดกลุ่มต่าง ๆ ที่พบในการทดลองครั้งนี้มาบันทึกภาพและวัดขนาดพบว่า ระยะนอเพเลียสของโคพีพอดที่พบมีขนาดความกว้างลำตัว (Width of cephalothorax) อยู่ในช่วง 51-102 ไมโครเมตร และมีความยาวทั้งหมด อยู่ในช่วง 71-193 ไมโครเมตร (Figure 9) ส่วนระยะโตเต็มวัยมีความลึกของลำตัว (Body depth) อยู่ในช่วง 71-132 ไมโครเมตร และมีความยาว (Total length = length of cephalothorax + length of abdomen) อยู่ในช่วง 223-469 ไมโครเมตร (Figure 10)

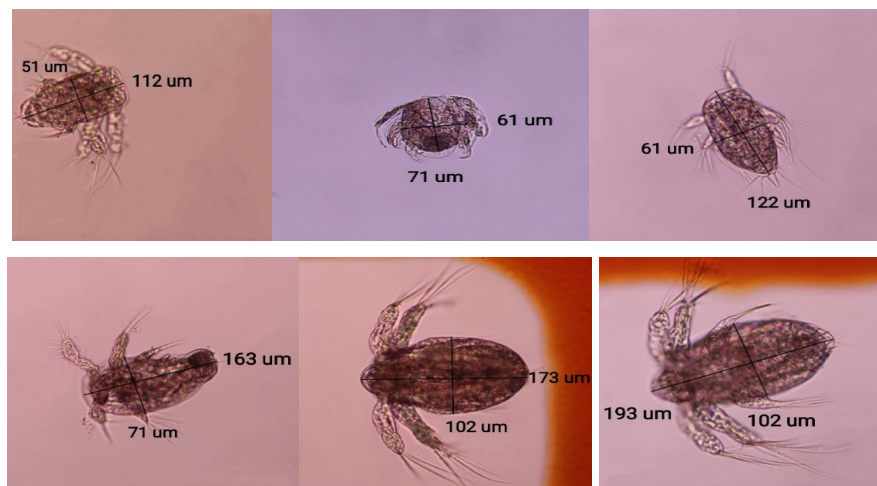


Figure 9 Copepod nauplii stage of Width of cephalothorax and Total length (micrometer)

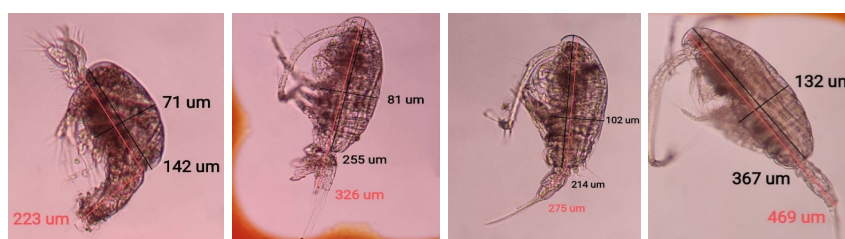


Figure 10 Copepod adult stage of Width of cephalothorax and Total length (micrometer)

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของโคพีพอดกลุ่มต่าง ๆ ที่พบเมื่อโคพีพอดเพิ่มจำนวนจนมีความหนาแน่นสูงสุดของแต่ละชุดทดลอง พบว่ากาลานอยด์โคพีพอดเป็นกลุ่มเด่นที่พบมากที่สุดในทุกชุดการทดลอง คิดเป็นร้อยละ 64.9 ของโคพีพอดที่พบรวมทั้งหมด รองลงมาคือไซโคลพอยด์โคพีพอดพบร้อยละ 23.3 และที่พบเป็นสัดส่วนน้อยที่สุด คือ ฮาร์แพคติกอยด์โคพีพอดพบเพียงร้อยละ 11.8 ของจำนวนโคพีพอดรวม (Figure 11)

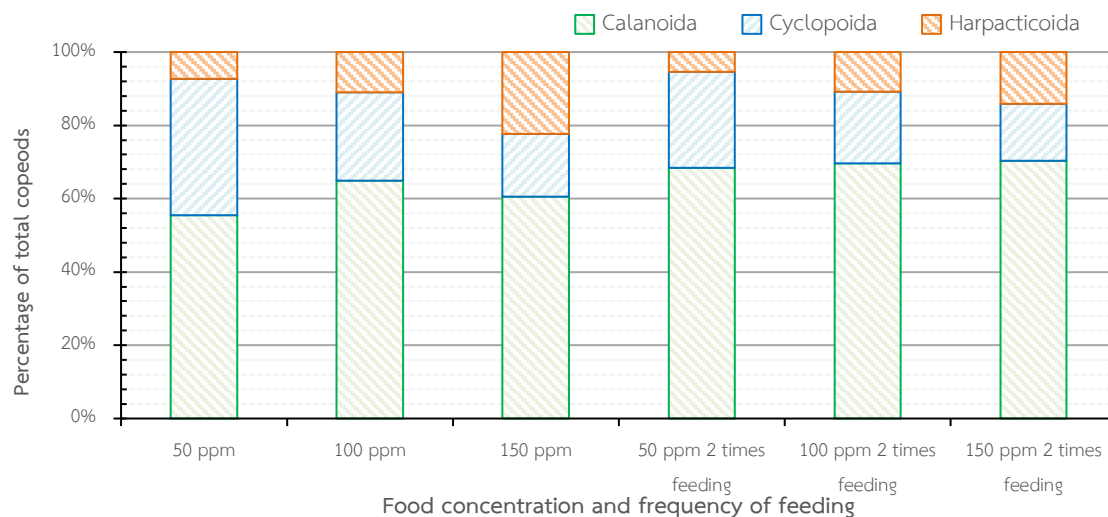


Figure 11 the percentage of all order of copepod (Calanoida, Cyclopoida, Harpacticoida)

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนร้อยละ (ค่าเฉลี่ย±SE) ของระยะการเจริญเติบโตของโคพีพอดที่พบตลอดการทดลองที่แสดง (Figure 12) พบว่า ระยะการเจริญเติบโตของโคพีพอดที่พบมากที่สุดตลอดการทดลอง คือ ตัวเต็มวัยและนอเพลียสซึ่งพบเป็นสัดส่วนมากถึงร้อยละ 38.9±2.0 และร้อยละ 37.0±1.7 ของโคพีพอดทั้งหมด รองลงมาคือโคพีพอดติดพบเป็นสัดส่วนร้อยละ 23.6±1.4 ส่วนตัวเต็มวัยที่มีไข่พบน้อยที่สุดเพียงร้อยละ 0.5±0.2

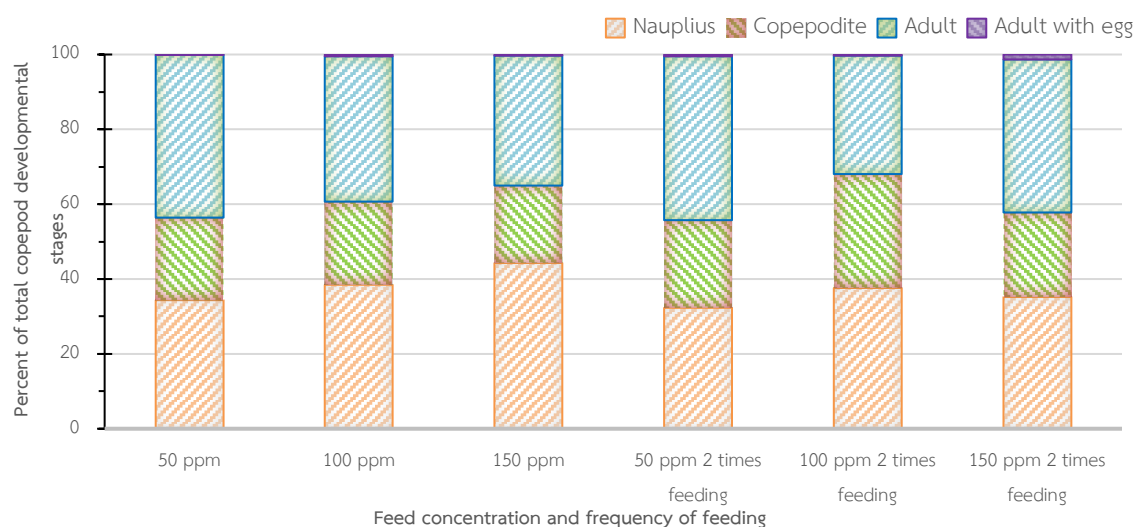


Figure 12 the percentage of all stages of copepod (Nauplius, Copepodite, Adult, Adult with egg)

สรุปผลการศึกษา

ผลการทดลองใช้รำหมักเป็นอาหารของโคพีพอดจากธรรมชาติพบว่าสามารถใช้รำหมักที่เติมลงไปเป็นอาหารได้ความหนาแน่นของโคพีพอดเริ่มเพิ่มจำนวนมากขึ้นตั้งแต่วันที่ 6 และเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงวันที่ 8-16 หลังจากการให้อาหารครั้งแรก ในขณะที่ความถี่ในการให้อาหาร 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการให้อาหารเป็น 2 ครั้ง ในวันที่ 4 ของการทดลอง ทำให้ความหนาแน่นของโคพีพอดต่ำกว่าการให้อาหารเพียงครั้งเดียว ซึ่งผลการทดลองปรากฏชัดเจนในชุดการทดลองที่ให้อาหารความเข้มข้นสูงสุด (150 ppm) ทั้งการให้อาหาร 1 และ 2 ครั้ง โดยพบว่าความหนาแน่นโคพีพอดต่ำกว่าในชุดการทดลองที่ให้อาหารความเข้มข้นต่ำกว่า (50 และ 100 ppm) สรุปได้ว่าการเพาะเลี้ยงโคพีพอดโดยใช้รำหมัก ควรให้อาหารเพียงครั้งเดียว ที่

ความเข้มข้น 150 ppm และควรเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อโคฟีพอดเพิ่มจำนวนสูงสุดในช่วง 12-14 วัน ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาปกติของการเก็บเกี่ยวผลผลิต เพราะโคฟีพอดจะเพิ่มจำนวนสูงสุดในช่วง 10-20 วัน (ขึ้นอยู่กับชนิด) และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงปริมาณความเข้มข้นของอาหาร (รำหมัก) และช่วงเวลาที่ต้องมีการให้อาหารเพิ่มอีกครั้ง เพื่อให้สัมพันธ์กับความต้องการของโคฟีพอดที่ต้องการเลี้ยงในบ่อเลี้ยงโคฟีพอดจำนวนมากจากธรรมชาติต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563 ภายใต้โครงการวิจัย เรื่อง การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์ทะเลสวยงาม กลุ่มปลาชนิดหิน (Damselfishes) ปลาตู้ (Gobies) และกุ้งมดแดง (Dancing shrimp) จากธรรมชาติสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ โดย ดร.วรเทพ มุธุวรรณ หัวหน้าโครงการวิจัย และสำเร็จได้ด้วยความร่วมมือจากหลายหน่วยงาน คือ สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ และศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำเพชรบุรี กรมประมง คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้สำเร็จตลอดระยะเวลาของโครงการวิจัยจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Aquamimicry. (2014). **Protocol for an Extensive Aqua Mimicry Aquaculture: Natural Synbiotics Management 'Extensive Culture)**. Retrieved from: <https://baxelcompany.com>
- Chakravarty, S., Kumar, S., & Prakash, S. (2018). Back to the Basics: Biomimicry in Shrimp Farming. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, 7(5), 2172-2184. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.253>.
- De, Taily. J-B. D. (2019). Study of an economical shrimp farming protocol aiming at improving control over water quality. **Skretting a Nutreco Company**. Retrieved from: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>
- Jepsen, M. P., Christina, V. T., Thibaut, Carron-Cabaret., Aleix, Pinyol-Gallermi., Søren, L. N., & Benni, W. H. (2018). Effects of salinity, commercial salts, and water type on cultivation of the Cryptophyte Microalgae *Rhodomonas salina* and the Calanoid Copepod *Acartia tonsa*. **Journal of the World Aquaculture Society**, 50(1), 104-118. <https://doi.org/10.1111/jwas.12508>
- Magouz, F. I., Essa, M. A., Matter, M., Tageldein Mansour, A., Alkafafy, M., & Ashour, M. (2021). Population Dynamics, Fecundity and Fatty Acid Composition of *Oithona nana* (Cyclopoida, Copepoda), Fed on Different Diets. **Animals an Open Access Journal from MDPI**, 11(5), 1188. <https://doi.org/10.3390/ani11051188>
- Mubarak, A. S., Jusadi, D., Junior, M. Z., & Suprayudi, M. A. (2017). The population growth and the nutritional status of *Moina macrocopa* feed with rice bran and cassava bran suspensions. **Journal Akuakultur Indonesia**, 16(2), 223-233.
- Nisar, U., Peng, D., Mu, Y., & Sun, Y. (2022). A Solution for sustainable utilization of aquaculture waste: a comprehensive review of biofloc technology and aquamimicry. **Frontiers in Nutrition**, 8, 791738. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.791738>
- Romano, N., & Kumar, V. (2017). Vegetarian shrimp: Pellet-free shrimp farming. **World Aquaculture**, 48(4), 36-39.
- Santhosh, B., Anil, M. K., Anzeer, F. M., Aneesh, K. S., Abraham, M. V., Gopakumar, G., George, R. M., Gopalakrishnan, A., & Unnikrishnan, C. K. (2018). **Culture Techniques of Marine Copepods**. ICAR-Central Marine Fisheries Research Institute, Kochi Kerala India.

การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของโพลีโอสไลเคนชนิด *Parmotrema tinctorum* (Despr. ex Nyl.) Hale

Evaluation of Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Foliose Lichen Species

Parmotrema tinctorum (Despr. ex Nyl.) Hale

อัมรินทร์ ธงจันทร์^{1,2} อารีรัตน์ ไส่สอง^{1,2} นุจรี ชำนาญทัฬห^{1,2} กฤษฎา จำปาทาสี^{1,2} และ ขวัญเรือน นาคสุวรรณกุล^{1,2*}

Ammarin Tongjan^{1,2}, Areerat Saisong^{1,2}, Nucharee Chamnantap^{1,2},

Kritsada Champatasi^{1,2} and Khwanyuruan Naksuwankul^{1,2*}

Received date: 17 ต.ค. 65 Revised date: 12 ธ.ค. 66 Accepted date: 18 ธ.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.013>

บทคัดย่อ

ไลเคนคือสิ่งมีชีวิตที่อยู่ร่วมกันระหว่างราและสาหร่าย ไลเคนสร้างสารทุติยภูมิที่มีความเฉพาะเจาะจงและแตกต่างจากสิ่งมีชีวิตอื่น ทำให้ไลเคนมีความน่าสนใจเกี่ยวกับสารสำคัญที่สะสมในทลัสไลเคน การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของโพลีโอสไลเคนชนิด *Parmotrema tinctorum* จากสารสกัดหยาบด้วยการหมักกับเมทานอล อะซิโตน และเอทิลอะซิเตทที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu phenol จากผลการทดลองพบว่าปริมาณสารสกัดหยาบด้วยตัวทำละลายเมทานอลมีร้อยละของผลผลิตมากที่สุดเท่ากับ 34.74 รองลงมาคือ อะซิโตน และเอทิลอะซิเตท ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุดคือ สารสกัดเอทิลอะซิเตท เท่ากับ 83.15 ± 12.52 mg GAE/g DW รองลงมาคือ อะซิโตน และเมทานอลเท่ากับ 754.55 ± 14.90 และ 443.94 ± 11.36 mg GAE/g DW ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าสารสกัดด้วยเมทานอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด มีค่า $IC_{50} = 4.61 \pm 0.04$ mg/mL รองลงมาคือ สารสกัดด้วยเอทิลอะซิเตท และอะซิโตน ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP พบว่าสารสกัดด้วยเมทานอลมีค่า F value เท่ากับ 2096.27 ± 9.24 mg Fe/g extract รองลงมาคือ สารสกัดด้วยอะซิโตน และเอทิลอะซิเตท ตามลำดับ

คำสำคัญ: โพลีโอสไลเคน สารประกอบฟีนอลิกรวม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

Lichens are symbiosis between fungi and algae. Lichens can produce specific secondary metabolites which are different from other organisms. Lichens are of interest due to the accumulation of secondary metabolites in their thallus. The objective of this research was to determine the antioxidant activity and total phenolic content of foliose lichen species, *Parmotrema tinctorum*. The lichen was macerated with methanol, acetone, and ethyl acetate at room temperature to obtain the crude extract. Antioxidant activity of crude extract was analyzed by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay and Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay. Phenolic content was analyzed by Folin-Ciocalteu phenol method. The result showed that the crude extract by methanol gave the highest yield at 34.74 followed by acetone ethyl acetate, respectively. The highest yield of total phenolic content was found in ethyl acetate crude extract at 83.15 ± 12.52 mg GAE/g DW, followed

¹ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จ.มหาสารคาม 44150

² หน่วยวิจัยเห็ดและไลเคนส์เพื่อการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน จ.มหาสารคาม 44150

¹ Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Maha Sarakham, 44150

² Mushroom and Lichens for Sustainable Utilization Research Unit, Mahasarakham University, Maha Sarakham, 44150

* Corresponding author: khwanruan.p@msu.ac.th

by acetone and methanolic at 754.55 ± 14.90 and 443.94 ± 11.36 mg GAE/g DW, respectively. The highest antioxidant activity was found in DPPH assay value with methanolic extract at $IC_{50} = 4.61 \pm 0.04$ mg/mL, then ethyl acetate and acetone, respectively. While FRAP assay was shown to be highest in the methanolic extract at 2096.27 ± 9.24 mg Fe/g extract, followed by acetone and ethyl acetate, respectively.

Keywords: foliose lichen, total phenolic content, antioxidant activity

คำนำ

ไลเคน (lichen) เป็นสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยระหว่างราและสาหร่าย หรือระหว่างราและไซยาโนแบคทีเรีย รูปแบบในการเจริญเติบโตของไลเคนเป็นแบบพิเศษทำให้ไลเคนสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของอากาศได้และใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย (Naksuwankul, 2015) ไลเคนประกอบด้วยราและสาหร่ายจึงสามารถสร้างสารเคมีชนิดทุติยภูมิหรือเรียกว่าสารไลเคน (Secondary metabolites) ส่วนใหญ่สร้างจากส่วนของราและสารเคมีพบเฉพาะในไลเคนไม่พบในพืชชนิดอื่นจึงสามารถใช้สารไลเคนในจำแนกชนิดได้ ไลเคนบางชนิดสร้างสารเคมีเฉพาะเจาะจงจำแนกชนิดได้ด้วยสารเคมี การใช้ประโยชน์จากไลเคนนอกจากใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางคุณภาพอากาศแล้วยังใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ได้แก่ ใช้เป็นสีย้อมผ้าขนสัตว์ ใช้เป็นส่วนผสมของพีเอชเปเปอร์ (pH paper) ใช้ผสมในน้ำหอม ใช้บอกอายุของหิน ใช้เป็นส่วนผสมในแป้งขนมปัง ใช้ในพิธีกรรมทางศาสนา มีหลักฐานการใช้ประโยชน์มาตั้งแต่สมัยอียิปโบราณ นอกจากนี้ในประเทศญี่ปุ่นและประเทศจีนมีการใช้เป็นชาหรือเครื่องดื่มบำรุงร่างกายเนื่องจากไลเคนมีสารสำคัญที่มีประโยชน์ ในประเทศยุโรปใช้ไลเคนเป็นส่วนผสมของลูกอมเพื่อช่วยย่อยหลังรับประทานอาหาร (Papong, 2012a; 2012b)

ไลเคนชนิด *P. tinctorum* (Despr. ex Nyl.) Hale จัดเป็นไลเคนแบบโฟลิโอส (foliose) (Figure 1) จำแนกอยู่ในวงศ์ Parmeliaceae ซึ่งเป็นไลเคนวงศ์ที่มีสมาชิกมากที่สุดวงศ์หนึ่ง ลักษณะที่สำคัญของไลเคนชนิดนี้เป็นlob (Lobe) ทลัสส์กว้างขนาดใหญ่ประมาณ 3-30 เซนติเมตร มีซีเลีย (Cilia) ยาวสีดำขนาด 2 มิลลิเมตร ผิวด้านบนทลัสส์สีเทา เรียบ พบลักษณะคล้ายร่างแหหรือรอยแตกขนาดเล็ก พบไอซิดีย (Isidia) ขนาดเล็กไม่แตกแขนงจนถึงแตกแขนงเล็กน้อยคล้ายปะการัง (Coralloid branched) จำนวนมาก พบบริเวณปลายขอบlob ไม่พบซอริเดีย (Soredia) ผิวด้านล่างทลัสส์สีดำ ตรงกลางทลัสส์พบไรซีน (Rhizines) ไม่แตกแขนง แอโพทีเซีย (Apothecia) รูปถ้วยพบน้อย แอสโคสปอร์ (Ascospores) รูปทรงรีจนถึงรูปทรงรีกว้าง พบสารไลเคน Atranorin, Chloroatranorin, Lecanoric acid และ Orsellinic acid เป็นไลเคนชนิดที่พบการแพร่กระจายได้ทั่วโลก (Nash et al., 2002) อนุมูลอิสระ (Free radicals) เป็นสารที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ในวงนอกของอะตอมหรือโมเลกุล อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นพบได้ทั้งจากแหล่งภายใน และภายนอกร่างกาย สิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตจะมีอนุมูลอิสระของออกซิเจนในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ของเซลล์ จากกระบวนการเผาผลาญอาหารของร่างกาย และการออกกำลังกายอย่างหนักเป็นอนุมูลอิสระที่มาจากแหล่งภายในร่างกาย ส่วนแหล่งภายนอกอาจเกิดจากปัจจัยจากสิ่งแวดล้อม เช่น รังสียูวี โอโซน ควันจากท่อไอเสียรถยนต์ และควันทนุหรี การติดเชื้อจากแบคทีเรียและไวรัส เป็นต้น อนุมูลอิสระส่วนใหญ่ไม่คงตัว และไวต่อการทำปฏิกิริยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical) ที่มีความว่องไวสูงสุด (Halliwell, 1995) อนุมูลอิสระเหล่านี้ทำให้เกิดความเสียหายต่อองค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ภายในร่างกาย แต่อย่างไรก็ตาม สิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีระบบที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้เรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) ซึ่งเป็นกลไกของร่างกายที่จะสร้างสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาประกอบด้วยสารหรือเอนไซม์ต่าง ๆ ที่สามารถช่วยชะลอ ยับยั้งหรือป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยร่างกายจะสร้างสารต้านอนุมูลอิสระให้สมดุลกับปริมาณอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น แต่ถ้าเมื่อใดเกิดภาวะไม่สมดุลเกิดขึ้นทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า Oxidative stress คือมีปริมาณอนุมูลอิสระมากเกินไปที่ระบบต้านอนุมูลอิสระจะกำจัดได้ซึ่งทำให้เกิดอนุมูลอิสระส่วนเกินหรือหลงเหลืออยู่จะไปทำลายเซลล์เป็นอันตรายต่ออวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ เป็นสาเหตุของการแก่ และอาจเรื้อรังจนนำไปสู่การเกิดโรคได้ เช่น เส้นเลือดตีบ โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคเกี่ยวกับภูมิคุ้มกัน โรคพาคินสัน โรคอัลไซเมอร์ โรคมะเร็ง เป็นต้น (Ames et al., 1993) ร่างกายเรามีกลไกในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ 2 วิธี คือ 1) ใช้เอนไซม์ต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น Catalase (CAT),

Glutathione peroxidase (GPX) และ Superoxide dismutase (SOD) และ 2) วิตามินอี (Alpha-tocopherol) เบต้าแคโรทีน (Beta-carotene) และวิตามินซี เป็นต้น ซึ่งเป็นสารช่วยควบคุมอนุมูลอิสระต่าง ๆ ให้อยู่ในระดับที่สมดุล

สารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ มี 3 ประเภท ได้แก่

- 1) สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกาย และจัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Catalase (CAT), Glutathione peroxidase (GPX), Superoxide dismutase (SOD), Glutathione reductase (GR) และ Glutathione S-transferase (GST) เป็นต้น
- 2) สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกายแต่ไม่จัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Albumin, Bilirubin, Uric acid, Glutathione, Ceruloplasmin, Transferrin, Haptoglobin, Hepopexin และ Cysteine เป็นต้น
- 3) สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในอาหาร และไม่จัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Tocopherols, Carotenoids, Ascorbic acid, Steroids, Gallic acid และ Flavonoids เป็นต้น

ดังนั้นการได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกจึงเป็นทางเลือกที่ช่วยเสริมและป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระต่าง ๆ (Department of Clinical Microscopy, 2023)

การศึกษาเกี่ยวกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากไลเคนได้รับความสนใจจากนักวิจัยเนื่องจากมีสารไลเคนที่มีความแตกต่างจากสารที่สร้างโดยพืชอื่น ๆ พบการศึกษาในไลเคนกลุ่มฟรุติโคส (Fruticose) ชนิด *Cladonia furcata* และกลุ่มโฟลิโอส (Foliose) ได้แก่ *Hypogymnia physodes*, *Lasallia pustulata*, *Parmelia caperata* และ *P. sulcata* พบว่าไลเคนกลุ่มโฟลิโอสชนิด *L. pustulata* แสดงผลการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดในสารสกัดด้วยอะซิโตน เมทานอล และน้ำ จากการทดสอบด้วยวิธี DPPH และสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ที่มีปริมาณมากในไลเคนชนิดที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดี (Kosanin et al., 2011) ไลเคนสกุล *Parmotrema* หลายชนิด เช่น *P. pseudotinctorum*, *P. stuppeum* และ *P. tinctorum* สกัดด้วยเมทานอลพบว่าชนิดที่มีร้อยละการยับยั้งสูงสุด คือ *P. pseudotinctorum* (Fernandez-Moriano et al., 2016) จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากไลเคนในประเทศต่าง ๆ และหลากหลายวิธีการใช้ เช่น ใช้ผสมในอาหาร ใช้เป็นเครื่องสำอางประเภททาให้ไลเคนมีศักยภาพที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนานำไปใช้ประโยชน์ในอนาคตได้ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของโฟลิโอสไลเคนชนิด *P. tinctorum* ที่ทำการสกัดด้วยการหมักกับเมทานอล อะซิโตน และเอทิลอะซิเตทที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu phenol เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการใช้ประโยชน์จากไลเคนกลุ่มโฟลิโอสต่อไปในอนาคต



Figure 1 Habitat of thallus lichen *P. tinctorum* growth on bark.

วิธีการศึกษา

ตัวอย่างโพลีโอสไลเคน

ตัวอย่างโพลีโอสไลเคนชนิด *P. tinctorum* ที่ใช้ในการวิจัยได้จากปารัธรรมาชาติในจังหวัดมุกดาหาร เตรียมทลัสโพลีโอสไลเคนอบให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดเป็นชิ้นขนาดเล็กนำไปชั่ง 5 กรัม จำนวน 3 ครั้ง นำตัวอย่างโอสไลเคนจำนวน 5 กรัม หมักกับเมทานอลปริมาตร 300 มิลลิลิตร ในขวดดูแลนและนำไปแช่ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นกรองส่วนสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำกากที่เหลือไปหมักด้วยเมทานอลซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วกรองสารละลายรวมกัน นำสารละลายทั้งหมดไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่อง Evaporator เก็บไว้ในขวดเก็บสารและนำไปแช่ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส จากนั้นทำให้แห้งด้วยเครื่อง Freeze dryer และเก็บสารสกัดหยาบในขวดปิดมิดชิดเพื่อนำไปทดสอบต่อไป การสกัดด้วยอะซิโตนและเอทิลอะซิเตท นำตัวอย่างโอสไลเคนอย่างละ 5 กรัม มาหมักกับสารละลายทั้ง 2 ชนิดและทำตามขั้นตอนเหมือนกับการหมักด้วยเมทานอล นำสารสกัดหยาบมาหาปริมาณร้อยละของผลผลิต (% Yield) ดังนี้

$$\text{ร้อยละของผลผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังการสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งก่อนการสกัด}} \times 100$$

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบโอสไลเคนด้วยวิธี DPPH assay

เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 mM โดยชั่ง DPPH 0.0079 กรัม ละลายในเอทานอลปริมาตร 200 มิลลิลิตร เตรียมสารละลายมาตรฐานไทโรลอกซ์เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งไทโรลอกซ์ 0.0005 กรัม ละลายในเอทานอลและปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตร นำสารละลายไทโรลอกซ์เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มาเจือจางด้วยเอทานอลให้มีความเข้มข้น 0, 5, 10, 20, 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหา % Radical scavenging activity และ คำนวณค่า IC₅₀ การสร้างกราฟมาตรฐานไทโรลอกซ์จากค่า % Radical scavenging activity ที่มีความเข้มข้น 0, 5, 10, 20, 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อคำนวณหาค่า IC₅₀ และใช้เพื่อหาค่า antioxidant capacity ตามวิธีของ Wannawet & Thiangphet (2017)

$$\% \text{ Radical scavenging activity} = \left[\frac{(\text{Control OD} - \text{Sample OD})}{\text{Control OD}} \right] \times 100$$

เมื่อ Control OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH

เมื่อ Sample OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบโอสไลเคน โดยชั่งสารสกัดหยาบตัวอย่างละ 0.1 กรัม ละลายด้วยตัวทำละลายที่ใช้สกัดและเติมน้ำให้ครบปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำมาเจือจางให้มีความเข้มข้น 0, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 7000 และ 9000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และทำตามขั้นตอนเหมือนกับการมาตรฐานไทโรลอกซ์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหา % Radical scavenging activity และ คำนวณค่า IC₅₀

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบโอสไลเคนด้วยวิธี FRAP assay

เตรียมสารละลาย FRAP reagent (Acetate buffer 300 มิลลิโมล pH 3.6 : 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) 10 มิลลิโมล : FeCl₃ 20 มิลลิโมล = 10 : 1 : 1) โดยชั่ง FeCl₃ ความเข้มข้น 20 มิลลิโมล 0.054 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ชั่ง 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมล 0.031 กรัม ละลายในกรดไฮโดรคลอริก 10 มิลลิลิตร (ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส) เตรียม Acetate buffer โดยชั่ง Sodium acetate 1.8 กรัม เติม Acetic acid 8 มิลลิลิตร ปรับด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 500 มิลลิลิตร ปรับ pH 3.6 เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมน้ำกลั่น 12 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

เตรียมสารมาตรฐาน Ferrous sulfate ปริมาตร 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่ง Ferrous sulfate 0.02 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร สร้างกราฟมาตรฐาน Ferrous sulfate นำสารมาตรฐาน Ferrous sulfate ที่เตรียมได้มาเจือ

จากในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 400, 800, 1200 และ 1600 มิลลิกรัมต่อลิตร ปีเปตมา 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติม FRAP reagent 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 4 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐาน Ferrous sulfate มาเขียนกราฟมาตรฐาน และหาความชันเพื่อใช้วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดหยาบไลเคนต่อไป (Saechen, et al. 2020; Benzie & Strain, 1996)

การเตรียมตัวอย่างสารสกัดหยาบโพลิโอสไลเคนโดยชั่งตัวอย่างละ 0.01 กรัม ละลายด้วยตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาเจือจางด้วยตัวทำละลายให้มีความเข้มข้น 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปีเปตมาปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง และทำตามขั้นตอนเหมือนกับสารมาตรฐาน Ferrous sulfate ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำไปคำนวณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ในสารสกัดหยาบไลเคนเทียบกับกราฟมาตรฐาน Ferrous sulfate

การทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดหยาบไลเคนด้วยวิธี Folin-Ciocalteu phenol method

เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร เตรียมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent เข้มข้นร้อยละ 10 โดยผสมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent ปริมาตร 10 มิลลิลิตรกับน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยชั่งกรดแกลลิก 0.0005 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตร สร้างกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกโดยนำสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, และ 18 มิลลิกรัมต่อลิตร ปีเปตสารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent เข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วเติมน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายผสมกันตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกมาเขียนกราฟมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดหยาบของไลเคนต่อไป ตามวิธีของ Rattana & Sungthong (2016)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดหยาบของไลเคน โดยเตรียมสารละลายตัวอย่างไลเคนความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยชั่งสารสกัดหยาบไลเคน 0.01 กรัม ละลายด้วยตัวทำละลายที่ใช้สกัดแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตร นำสารละลายมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปีเปตสารละลายมา 1 มิลลิลิตร ทำตามขั้นตอนเหมือนกับสารมาตรฐานกรดแกลลิกดังที่กล่าวมาข้างต้น ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วนำค่าการวัดการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดหยาบจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของข้อมูลแบบทางเดียว (One-way ANOVA) รายงานผลด้วยค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยรายคู่หรือการเปรียบเทียบเชิงพหุคูณ (Multiple comparison) ด้วยวิธีการทดสอบ Tukey-Kramer ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics เวอร์ชัน 23 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomize Design)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากผลการสกัดสารจากโพลิโอสไลเคนชนิด *P. tinctorum* พบว่าสารสกัดหยาบที่ได้ร้อยละของผลิตมากที่สุด คือ หมักด้วยตัวทำละลายเมทานอลเท่ากับร้อยละ 34.74±0.20 รองลงมาคือ อะซิโตน (ร้อยละ 30.79±0.20) และ เอทิลอะซิเตท (ร้อยละ 27.18±0.10) ตามลำดับ (Table 1) จากสารสกัดหยาบโพลิโอสไลเคนนำไปทดสอบหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกรวมโดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก จากสมการ $Y = 0.0088x + 0.009$ โดยมีค่า $R^2 = 0.9962$ (Figure 2 (a)) พบว่าสารสกัดที่หมักด้วยอะซิโตนมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกรวมมากที่สุดเท่ากับ 83.15±12.52 mg GAE/g DW รองลงมาคือ สารสกัดที่หมักด้วยเอทิลอะซิเตท (75.45±14.90 mg GAE/g DW) และเมทานอล (44.39±11.36 mg GAE/g DW) ตามลำดับ (Table 2) ซึ่งพบว่าสารสกัดที่หมักด้วยอะซิโตนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักกรัมแห้งของตัวอย่าง เนื่องจากเป็น การวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากสารสกัดที่เข้มข้นที่ผ่านขบวนการหมัก และระเหยตัวทำละลายพร้อมทั้งทำให้แห้งเป็นผง แล้วจึงมีความเข้มข้นสูงและมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกสูงด้วยเช่นกัน

Table 1 Percentage of yield from foliose lichen *P. tinctorum* crude extract with tree differences solvent

Solvent	Color and character	% Yield
Methanol	Power and light green	34.74±0.20 ^a
Acetone	Power and white	30.79±0.20 ^b
Ethyl acetate	Power and yellow	27.18±0.10 ^a

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

ส่วนการวิเคราะห์ความสามารถของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบโพลิโอสไลเคนชนิด *P. tinctorum* ด้วยวิธี DPPH assay พบว่า สารสกัดหยาบที่สกัดด้วยเมทานอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 4612.15±44.92 mg/L รองลงมาคือสารสกัดด้วยเอทิลอะซิเตทและอะซิโตนมีค่า IC_{50} ใกล้เคียงกัน (Table 2) โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโทรลอคซ์ (Figure 2 (b)) มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.02±0 การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay โดยเทียบกับสารมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟต จากสมการ $Y = 0.0005x + 0.0516$ โดยมีค่า $R^2 = 0.9994$ (Figure 2 (c)) พบว่าสารสกัดด้วยเมทานอลมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 2096.27±9.24 mg Fe/g extract อะซิโตนเท่ากับ 1982.93±12.86 mg Fe/g extract และเอทิลอะซิเตทน้อยที่สุดเท่ากับ 990.13±27.30 mg Fe/g extract (Table 2)

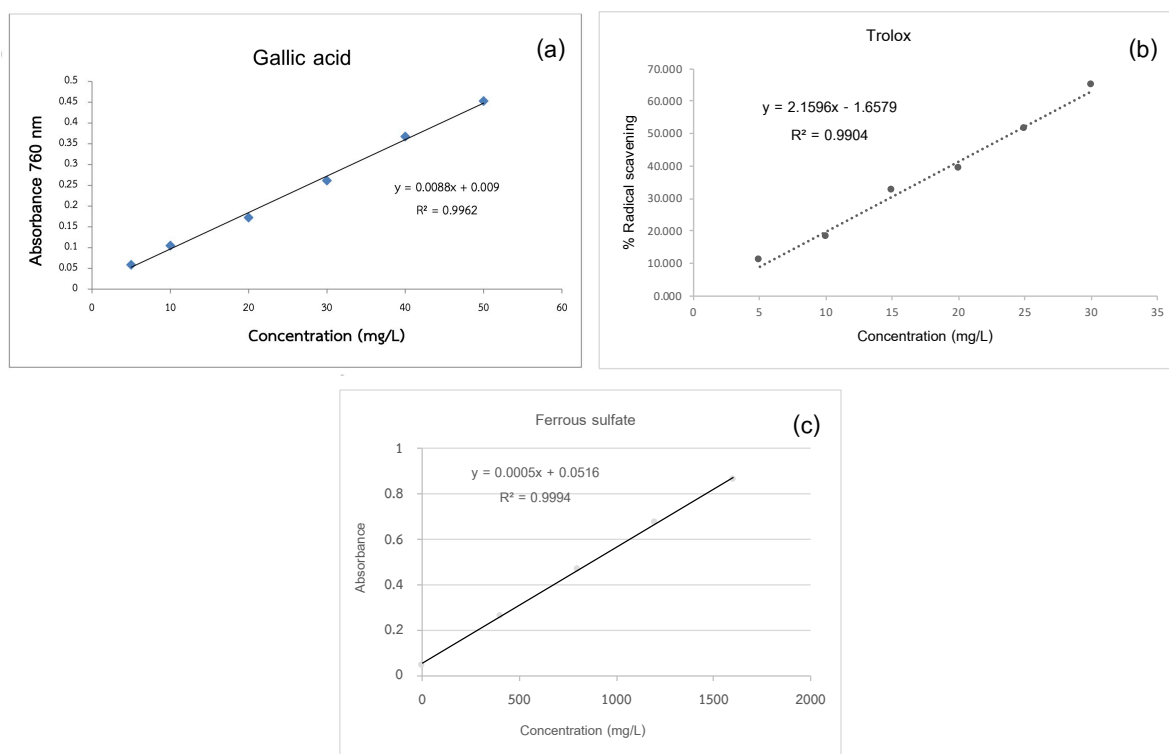


Figure 2 Standard graph for comparison with *P. tinctorum* crude extract. Standard graph of gallic acid for phenolic compound (a), Standard graph of trolox for % radical scavenging in DPPH assay (b), Standard graph of ferrous sulfate for ferrous sulfate in FRAP assay (c).

Table 2 Total phenolic content and antioxidant activities of *P. tinctorum* crude extract from three differences solvent

Solvents	Total phenolic	Antioxidant activities	
	content (mg GAE/g DW)	DPPH (IC ₅₀ mg/L)	FRAP (mg Fe/g extract)
Methanol	44.39±11.36 ^c	4612.15±44.92 ^c	2096.27±9.24 ^a
Acetone	83.15±12.52 ^a	7882.08±67.69 ^a	1982.93±12.8 ^b
Ethyl acetate	75.45±14.90 ^b	7528.44±129.41 ^b	990.13±27.30 ^c
Trolox	-	0.02±0	-
F-test	2861.29	1241.50	3346.43

F-test Significant at 0.001 probability levels.

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

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากไลเคนในครั้งนี้ดำเนินการด้วย 2 วิธีคือ DPPH assay และวิธี FRAP assay พบว่าสารสกัดด้วยเมทานอลมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดทั้ง 2 วิธีสอดคล้องกัน และสอดคล้องกับรายงานของ Sharma & Kalikotay (2012) วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay ของไลเคนชนิด *P. reticulatum* และสกัดด้วยเมทานอลมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 4.39 µg/ml ส่วนสารสกัดด้วยเอทานอลมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 4.023 µg/ml ซึ่ง

เห็นว่าการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เช่นเดียวกับวิธี FRAP assay สารสกัดด้วย เมทานอลของไลเคนชนิดนี้ก็มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไลเคนชนิดนี้ที่สกัดด้วย เมทานอลเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแทนนิก เท่ากับ $151 \pm 0.577 \mu\text{g Tannic acid equivalent/mg}$ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าสารสกัดด้วยเอทานอล (Sharma & Kalikotay, 2012) ส่วนรายงานการเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดไลเคนชนิด *P. tinctorum* ด้วยลำดับของสารสกัดเพิ่มขึ้นตามการมีขั้วของสารละลาย ได้แก่ ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) เอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate) อะซิโตน (Acetone) เมทานอล (Methanol) และน้ำ (Water) วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH assay โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดคือ สารสกัดด้วยอะซิโตน รองลงมาคือ เมทานอลและปีโตรเลียมอีเทอร์ตามลำดับ (Ganesan et al., 2015) รวมทั้งไลเคนชนิดอื่นก็ยังมีผลการศึกษาสอดคล้องกัน เช่น ไลเคนชนิด *Cetraria aculeata* ที่สกัดด้วยเมทานอลมีรายงานว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสกัดด้วยเอทิลอะซิเตทเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH assay เช่นเดียวกับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกรวมมีปริมาณมากกว่า (Tomovic et al., 2015)

Table 3 Percentage radical scavenging of *P. tinctorum* crude extract from differences concentration in DPPH assay

Concentration (mg/L)	% Radical scavenging			
	Methanol	Acetone	Ethyl acetate	F-test
1000	18.62±0.87 ^a	7.07±0.50 ^b	8.42±0.13 ^b	351.90
3000	37.15±1.38 ^a	17.47±0.69 ^c	21.91±0.48 ^b	1319.19
5000	52.79±0.45 ^a	30.44±0.35 ^c	31.46±0.38 ^b	3060.32
7000	ND	44.54±0.44 ^b	47.46±1.29 ^a	3422.52
9000	ND	57.90±1.14 ^a	59.49±0.32 ^a	7394.83

ND = No data

F-test Significant at 0.001 probability levels.

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

Table 4 Antioxidant activities of *P. tinctorum* crude extract from differences concentration in FRAP assay

Concentration (mg/L)	Mg Fe/g Extract			
	Methanol	Acetone	Ethyl acetate	F-test
100	1848.00±72.11 ^a	2034.67±120.55 ^a	1047.33±20.82 ^b	122.78
200	1907.33±30.55 ^b	2244.00±30.00 ^a	1048.67±32.53 ^c	1182.43
300	2271.55±20.37 ^a	2007.11±73.44 ^b	926.89±51.24 ^c	541.59
400	2202.00±27.84 ^a	2123.67±11.55 ^b	979.33±34.49 ^c	2009.53

F-test Significant at 0.001 probability levels.

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

จากข้อมูลร้อยละของการกำจัดอนุมูลอิสระ (% Radical scavenging) จากสารสกัดไลเคนที่มีความเข้มข้นของสารแตกต่างกันทั้ง 3 ตัวทำละลายด้วยวิธี DPPH assay (Table 3) พบว่าแนวโน้มการกำจัดอนุมูลอิสระมีมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้น

ของสารสกัดมากขึ้นในทั้ง 3 ตัวทำละลาย โดยเฉพาะสารสกัดด้วยอะซิโตน และเอทิลอะซิเตทมีค่าใกล้เคียงกันตามลำดับความเข้มข้นของสาร ส่วนสารสกัดด้วยเมทานอลแสดงค่าการกำจัดอนุมูลอิสระได้ดีกว่าในสารสกัดด้วยอะซิโตน และเอทิลอะซิเตทเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นที่เท่ากัน ส่วนการทดสอบการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay สารสกัดด้วยเมทานอลมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดในความเข้มข้นเท่ากับ 300 mg/L (Table 4) แต่จะลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดขึ้นเป็น 400 mg/L และสารสกัดด้วยอะซิโตนมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นถึง 200 mg/L และประสิทธิภาพจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นถึง 300 - 400 mg/L เช่นเดียวกับสารสกัดด้วยเอทิลอะซิเตทมีค่าเพิ่มขึ้นในความเข้มข้น 100 - 200 mg/L และจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดขึ้นเป็น 300 - 400 mg/L แสดงว่าประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเมื่อทดสอบด้วยวิธี FRAP assay จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับตัวทำละลายของสารสกัดนั้น ๆ

สรุปผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณของฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดหยาบโพลีโอสไลเคนชนิด *P. tinctorum* จากตัวทำละลาย 3 ชนิด ที่แตกต่างกันคือ เมทานอล อะซิโตนและเอทิลอะซิเตท ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีคือสารสกัดด้วยเมทานอลทั้ง 2 วิธีสอดคล้องกันคือ DPPH assay และ FRAP assay แต่ในทางตรงข้ามกันปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกรวมที่มีปริมาณมากที่สุดคือ สารสกัดด้วยเอทิลอะซิเตท ส่วนสารสกัดด้วยเมทานอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมน้อยที่สุด แสดงว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในสารสกัดหยาบโอสไลเคนแม้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมน้อยก็มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้หรืออาจเป็นสารอื่นนอกเหนือจากสารประกอบฟีนอลิกรวมที่แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดหยาบโอสไลเคน เช่น สารประกอบฟลาโวนอยด์ สารประกอบแทนนิน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- Ames, B. N., Shigenaga, M. K., & Hagen, T. M. (1993). Oxidants, antioxidants and degenerative diseases of aging. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 90, 7915-22.
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power" The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, 239, 70-76.
- Department of Clinical Microscopy, Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn University. (2005). **Free Radicals and Antioxidants**. Retrieved from: <http://www.microscopy.ahs.chula.ac.th/Micros/NEWS/antioxidant.htm>
- Fernandez-Moriano, C., Gomez-Serranillos, M. P., & Crespo, A. (2016). Antioxidant potential of lichen species and their secondary metabolites: A systematic review. **Pharmaceutical Biology**, 54(1), 1-17.
- Ganesan, A., Thangapandian, M., Ponnusamy, P., Sundararaj, J. P., & Nayaka, S. (2015). Antioxidant and antibacterial activity of parmelioid lichens from Shevaroy hills of Eastern Ghats, India. **International Journal of Pharm Tech Research**, 8(9), 13-23.
- Halliwell, B. (1995). How to characterize an antioxidant: an update. **Biochemical Society Symposium**, 61, 85-91.
- Kosanic, M, Rankovic, B., & Vukojevic, J. (2011). Antioxidant properties of some lichen species. **Journal Food Science and Technology**, 48(5), 584-590.
- Naksuwankul, K. (2015). **Lichen Taxonomy**. 1st ed. Siripun (1954) Co.,Ltd.
- Nash, T. H., Ryan, B. D., Gries, C., & Bungartz, F. (2002). **Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region**. 1st ed. Lichen Herbarium.
- Papong, K. (2012a). Lichen: Bioindicator for Air Pollution. **KKU Science Journal**, 40(1), 13-23.
- Papong, K. (2012b). Lichen for Traditional Medicine. **Thai Journal of Botany**, 4(1), 1-13.

- Rattana, S., & Sungthong, B. (2016). Antioxidant activities and total phenolic contents of methanolic extract from five fragrant flowers. In **Proceedings of the 12th Mahasarakham University Research Conference**, pp. 1-5. Mahasarakham University.
- Saechen, D., Rinkam, Ch., Lankaew, J., Wisutthithada, W., & Sriyam, S. (2020). Total phenolic compounds and antioxidant activity in Wampee (*Clausena lansium* (Lour.) Skeels). **Journal of Innovative Technology Research**, 4(2), 12-21.
- Sharma, B. C. & Kalikotay, S. (2012). Screening of antioxidant activity of lichens *Parmotrema reticulatum* and *Usnea* sp. from Darjeeling hills, India. **International Organization of Scientific Research Journal of Pharmacy**, 2(6), 54-60.
- Tomovic, J., Rancic, A., Vsiljevic, P., Maskovic, P., Zivanovic S., Manojlovic, N., & Sovrljic, M. (2015). Antioxidant activity of lichen *Cetraria aculeata*. **Praxis Medica**, 44(1), 107-113.
- Wannawet, R., & Thiangphet, P. (2017). Determination antioxidant activity and total phenolic compounds of Bean sprouts. In **Proceeding of National conference 4th Research Institute, Ratchapat Kamphangphet University**, pp. 1035-1040. Ratchapat Kamphangphet University.

มูลค่าทางเศรษฐกิจของเนื้อไม้ ในพื้นที่พระตำหนักเมืองนคร

อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช

Economic Valuation of Timber in Phratamnak Muang Nakhon Area,
Phrom Khiri District, Nakhon Si Thammarat Provinceบวรพจน์ เทพรัตน์¹ และ วัฒนณรงค์ มากพันธ์^{1*}Bawonphod Theprat¹ and Wattananarong Markphan^{1*}

Received date: 28 ก.ค. 65 Revised date: 28 พ.ย. 66 Accepted date: 7 ธ.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.014>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความหลากหลายของชนิดพรรณไม้และประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของเนื้อไม้ในพื้นที่พระตำหนักเมืองนคร โดยใช้การวางแปลงตัวอย่าง 20 X 50 เมตร จำนวน 5 แปลง สำหรับสำรวจชนิดพรรณไม้และจำนวนต้นของพรรณไม้ ประเมินมูลค่าเนื้อไม้ ต้นทุนการทำไม้ รวมถึงมูลค่าสุทธิ ผลการศึกษาพบว่า พระตำหนักเมืองนครมีพื้นที่ทั้งหมด 52 ไร่ มีจำนวนต้นไม้มากที่สุด 3,777 ต้น ใน 16 ชนิด 12 วงศ์ สำรวจพบจำปาทอง มากที่สุด รองลงมา คือ ประ มังคุด เนียง ก่อลองกอง สะตอ ทุเรียน มะไฟ กระท้อน มะฮอกกานี เงาะ ลำไย ยางนา เทียม และมะไฟกา ตามลำดับ คิดเป็นปริมาตรไม้ทั้งหมด 3,399.28 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจของไม้ทั้งป่าเท่ากับ 22,211,384.51 บาท โดยมีต้นทุนในการทำไม้เท่ากับ 2,726,322.93 บาท และมีมูลค่าสุทธิเท่ากับ 19,485,061.59 บาท

คำสำคัญ: การประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจ, เนื้อไม้, พระตำหนักเมืองนคร

Abstract

This research aimed to explore the diversity of tree species and evaluate the economic value of wood in the area of Phratamnak Muang Nakhon. A sample plot of 20 x 50 meters with a total of 5 plots was designed for surveying plant species and number of plants. The value of wood, logging costs including net worth were evaluated. The results showed that Phratamnak Muang Nakhon had a total area of 52 rai with 3,777 trees of 16 species and 12 families. Champathongs was found to be the most abundance followed by Mangosteen, Niang, Longkong, Sato, durian, Ma Fai Krathon, Mahogany, Rambutan, Langsat, Yang Na, Artificial, and Mafaika, respectively. The total forest volume was 3,399.28 cubic meters, which is an economic value. The total forest timber cost was 2,726,322.93 baht, with a logging cost of 2,726,322.93 baht and a net worth of 19,506,477.72 baht.

Keywords: economic valuation, wood, Phratamnak Muang Nakhon

¹ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช นครศรีธรรมราช 80280

¹ Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajaphat University, Nakhon Si Thammarat 80280

*Corresponding author, Email: Wattananarong@gmail.com

คำนำ

ทรัพยากรป่าไม้ (forest resources) หมายถึง ทรัพยากรต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสังคมของป่าทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นสิ่งมีชีวิตหรือสิ่งไม่มีชีวิต ทรัพยากรป่าไม้จึงหมายถึงรวมถึงทรัพยากรอื่น ๆ มีผลสืบเนื่องมาจาก ป่าไม้ อันได้แก่ต้นไม้ สัตว์ป่า ของป่า ที่ดิน ต้นน้ำ ลำธาร และสภาพแวดล้อมทั่วไปของป่า ฯลฯ ทรัพยากร ป่าไม้เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งทางตรง และทางอ้อม ไม่ว่าจะเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า ยารักษาโรค เป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร ตลอดจนการรักษาสมดุลด้านนิเวศและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นทรัพยากรป่าไม้จึงนับว่าเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญและมีคุณค่ายิ่งที่ควรอนุรักษ์และฟื้นฟูบูรณะทรัพยากรป่าไม้ให้มีความสมบูรณ์ (Protected Area Rehabilitation and Development Office, 2017)

ประเทศไทยประสบปัญหาพื้นที่ป่าไม้ลดลงอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าจะมีการดูแลจากหน่วยงานภาครัฐ พิจารณาข้อมูลพื้นที่ป่าไม้ตั้งแต่อดีตจนถึงปี พ.ศ. 2565 พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไม้อยู่ทั้งสิ้น 102,135,974.96 ไร่ พิจารณาการแบ่งพื้นที่ป่าไม้ตามภูมิภาคพบว่า ภาคใต้ครอบคลุมพื้นที่ 14 จังหวัด มีพื้นที่ทั้งหมด 46,154,901.40 ไร่ พบพื้นที่ป่าไม้ 11,224,484.95 ไร่ ของพื้นที่ทั้งหมดในภาคใต้ จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นจังหวัดหนึ่งของภาคใต้ มีพื้นที่ป่าไม้ทั้งสิ้น 1,136,471.20 ไร่ หรือร้อยละ 18.40 ของพื้นที่จังหวัด ในปัจจุบันพบว่าพื้นที่ป่าไม้ในจังหวัดนครศรีธรรมราชลดลงอย่างต่อเนื่อง (Royal Forest Department, 2023) สาเหตุการลดลงของทรัพยากรป่าไม้ ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการตัดไม้ทำลายป่า การยึดครองพื้นที่ป่าเพื่อที่อยู่อาศัยหรือการเกษตร การบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร สภาพเศรษฐกิจปัจจุบัน สาเหตุของปัญหาเหล่านี้อาจเป็นเพราะพื้นที่ป่ามีลักษณะที่คล้ายคลึงกับสินค้าสาธารณะ การใช้พื้นที่ป่าไม้สามารถกีดกันผู้อื่นจากการใช้พื้นที่ป่านั้นได้และผู้บริโภคได้รับประโยชน์จากการคงอยู่ ของพื้นที่ป่านั้นได้ในเวลาเดียวกันเช่น การได้รับประโยชน์จากสภาพอากาศที่ดี ดินโคลนไม่ถล่ม ฯลฯ (Department of Environmental Quality Promotion, 2017)

มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ทั้งหมดของทรัพยากรป่าไม้ (total economic value of forest resource) เป็นมูลค่าที่สะท้อนถึงความพอใจของประชาชนในสังคมที่เกิดจากการใช้ประโยชน์และไม่ได้ใช้ประโยชน์จากทรัพยากรป่าไม้ นักเศรษฐศาสตร์ได้แบ่งมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ทั้งหมดของทรัพยากรป่าไม้ออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ มูลค่าการใช้ประโยชน์ (use value) และมูลค่าไม่ได้ใช้ประโยชน์ (non-use value) จากทรัพยากรป่าไม้ (Suksard, 2009) ในพื้นที่พระตำหนักเมืองนครที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นที่ประทับทรงงานของพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตรและพระบรมวงศานุวงศ์ในคราวที่เสด็จฯ มาทรงงาน ณ เมืองนครศรีธรรมราช โดยตั้งอยู่ในสวนผลไม้เก่าแก่ของตระกูลทองสมัคร ผู้สร้างเรือนรับรองถวายในนามของชาวเมืองนครศรีธรรมราชและสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา เจ้าฟ้ามหาจักรีสิรินธร รัฐสีมาคุณากรปิยชาติ สยามบรมราชกุมารี ได้เสด็จมาเปิดเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2541 ซึ่งเป็นที่ป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์ขนาดพื้นที่ 52 ไร่ มีต้นไม้ พรรณไม้หลายหลายชนิด แต่ยังขาดข้อมูลทางวิชาการด้านความหลากหลายของชนิดพรรณไม้ มูลค่าไม้ในพื้นที่ ที่รวบรวมไว้อย่างเป็นระบบ อยากให้มีการศึกษารวบรวม เพื่อใช้เป็นข้อมูลให้กับผู้ที่เดิมทางมาเยี่ยมชมพระตำหนักเมืองนครในลำดับต่อไป (Tongsamak, 2021)

จากข้อมูลกล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษา มูลค่าด้านเศรษฐกิจของเนื้อไม้ในพื้นที่พระตำหนักเมืองนคร ตำบลบ้านเกาะ อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวเหล่านี้มาใช้เป็นแนวทางในการวางแผนหรือกำหนดนโยบายให้กับบริเวณพื้นที่พระตำหนักเมืองนครนำไปใช้ได้ในอนาคตต่อไป

วิธีการศึกษา

พื้นที่ทำการศึกษา

ดำเนินการในพื้นที่บริเวณพระตำหนักเมืองนคร อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช มีพื้นที่ประมาณ 52 ไร่ (Figure 1)



Figure 1 Location of Phratamnak Muang Nakhon.

Source: Google. (n.d.)

การกำหนดพื้นที่เก็บข้อมูล

สำรวจสภาพพื้นที่โดยรวมจากนั้นทำการสุ่มวางแปลง ขนาด 20 เมตร X 50 เมตร จำนวน 5 แปลงหรือไม่ต่ำกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้รูปแบบของ (Ployninpet, 2012) ในการวางแปลงบริเวณที่ไม่ลาดชัน ไม่ปกคลุมด้วยเถาวัลย์ รายละเอียด ดังนี้ (Figure 2)

แปลงที่ 1 มีค่าพิกัดในระบบ UTM E592098 และ N944852

แปลงที่ 2 มีค่าพิกัดในระบบ UTM E592060 และ N944841

แปลงที่ 3 มีค่าพิกัดในระบบ UTM E592034 และ N944809

แปลงที่ 4 มีค่าพิกัดในระบบ UTM E591991 และ N944801

แปลงที่ 5 มีค่าพิกัดในระบบ UTM E591943 และ N944778

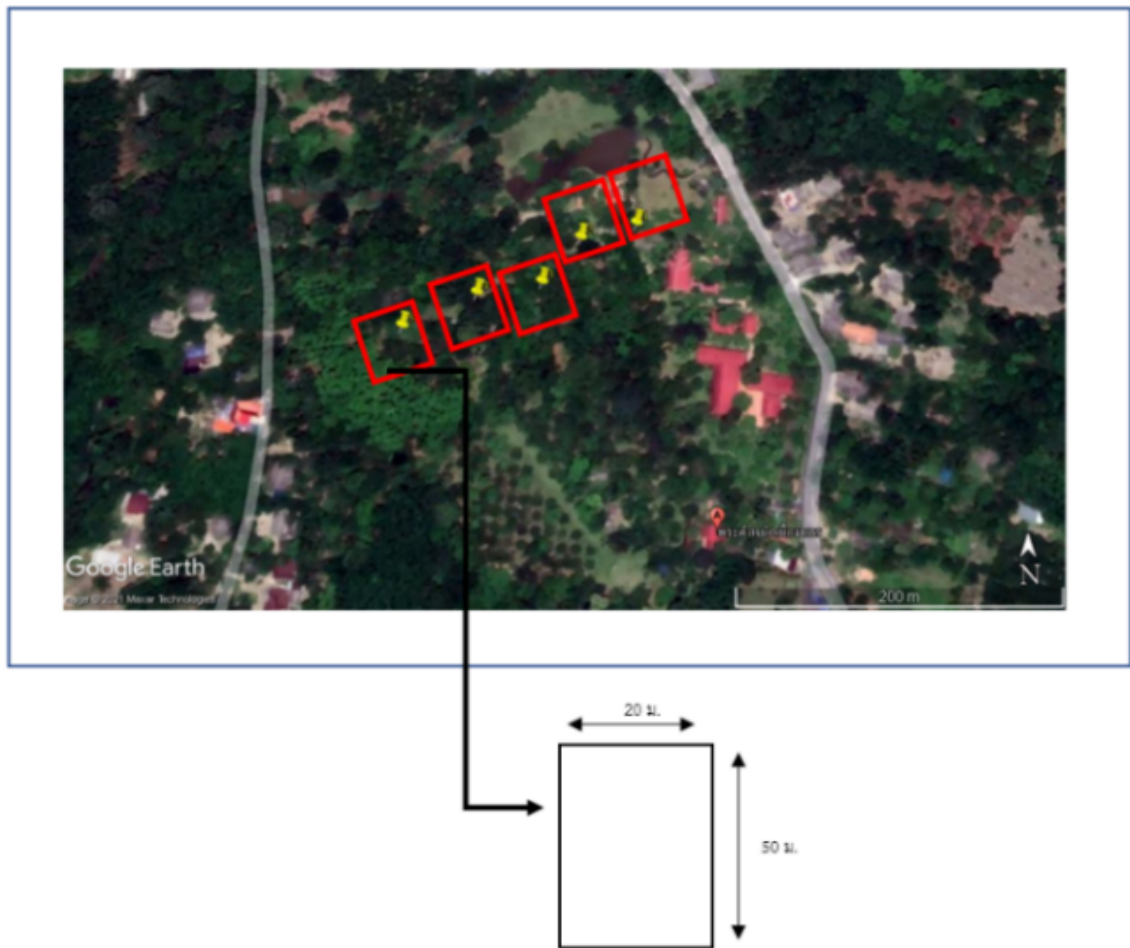


Figure 2 A sample plot of the evergreen forest in the Phratamnak Muang Nakhon area.

Source: Google. (n.d.)

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจ

1. สายวัด เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดขนาดเส้นรอบวงของต้นไม้ มีหน่วยเป็นเซนติเมตรที่มีความยาว 150 เซนติเมตรและทำการวัดขนาดความโตของต้นไม้ที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร
2. อุปกรณ์เครื่องเขียน ใช้สำหรับขีดเขียนหรือจดบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ในการลงแบบบันทึกข้อมูลต้นไม้ ซึ่งเก็บข้อมูลเกี่ยวกับขนาดเส้นรอบวงและชื่อของต้นไม้
3. ท่อพีวีซี ขนาด 4 นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร ใช้ในการวางแปลงปักหัวแปลง
4. เชือกฟาง ใช้ในวัดระยะห่างจากโคนต้นไม้ไปยังตัวผู้วัด ระยะ 10 เมตร
5. ปากกาเคมี สำหรับการเขียนกำหนดแปลง
6. แบบบันทึกข้อมูล ใช้จดบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ทำเป็นตารางบันทึกผล ประกอบด้วย หมายเลขแปลง ชื่อพันธุ์ไม้ที่สำรวจ ขนาดของเส้นรอบวงที่ขนาดความสูงเพียงอก ความสูงของต้นไม้ ซึ่งลงพื้นที่ในการเก็บข้อมูลแล้วจดบันทึก
7. แผ่นรองเขียน ใช้สำหรับใส่เอกสารขนาด A4 เพื่อรองเขียนหรือจดบันทึกต่าง ๆ ไม่ทำให้เอกสารยับหรือร่วงหล่น
8. กล้องบันทึกภาพจากโทรศัพท์มือถือ ใช้บันทึกภาพต่าง ๆ
9. ฟิวเจอร์บอร์ด ใช้ในการเขียนเป็นป้ายกำกับแปลงแต่ละแปลง
10. ไคลโนมิเตอร์ (clinometer) ใช้สำหรับวัดมุมเพื่อหาความสูงของต้นไม้ มีเส้นโค้งวงกลมที่มีขีดแบ่งช่ององศาตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา

ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1. สำรวจและวางแผนพื้นที่ศึกษาตามรูปแบบของ Ployninpet (2012) ได้วางแผนศึกษาคิดเป็นร้อยละ 1 ของพื้นที่ศึกษา แต่ในงานวิจัยนี้ คิดเป็นร้อยละ 6 ของพื้นที่ศึกษา

2. ดำเนินการวัดเส้นรอบวงที่ระดับความสูงเพียงอก และใช้โคลิโนมิเตอร์วัดมุมหาความสูงของต้นไม้ทุกต้นในแปลงตัวอย่าง

3. เมื่อเก็บข้อมูลเสร็จแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไป

การคำนวณปริมาตรไม้

1. การคำนวณปริมาตรไม้

แยกกลุ่มชนิดพรรณไม้ สำหรับการคำนวณปริมาตรไม้ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่ม	ลักษณะ
สมอ	ไม้ที่มีรูปทรงเปลาตรง สูงปานกลาง มีความเรียวยาว
ยาง	ไม้ที่มีรูปทรงเปลาตรง ความเรียวน้อย
อื่น	นอกเหนือจากกลุ่มสมอและกลุ่มยาง

คำนวณหาปริมาตรไม้ของ Muksombat & Na Nakorn (1995) ซึ่งในการศึกษาได้แบ่งกลุ่มการคำนวณปริมาตรไม้ ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1) ไม้กลุ่มสมอและสกุลสมอ

$$\ln(V) = \ln(1.921016) + 2.074999 \ln(\text{dbh}) \quad \text{-----}(1)$$

2) ไม้กลุ่มยางและสกุลยาง

$$\ln(V) = \ln(2.177401) + 2.305478 \ln(\text{dbh}) \quad \text{-----}(2)$$

3) ไม้อื่นๆ

$$\ln(V) = \ln(2.110246) + 2.266056 \ln(\text{dbh}) \quad \text{-----}(3)$$

โดยที่ v คือ ปริมาตร

dbh คือ เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก

2. ความหนาแน่นของไม้

การคำนวณหาความหนาแน่นของชนิดต้นไม้แต่ละต้น เพื่อนำความหนาแน่น มาหาปริมาณจำนวนต้นไม้ทั้งป่าเพื่อใช้ประเมินมูลค่าปริมาตรไม้ ค่าความหนาแน่น ดังสมการที่ 4

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{จำนวนของพืชชนิดนั้นทั้งหมด}}{\text{พื้นที่แปลงตัวอย่างทั้งหมดที่ทำกรวางแผน}} \quad \text{-----}(4)$$

วิธีการประเมินมูลค่าปริมาตรไม้ มีรายละเอียดต่อไปนี้

1. การประเมินมูลค่าไม้

การคำนวณมูลค่าไม้ คำนวณจากปริมาตรไม้คูณด้วยราคา (ราคาในงานวิจัยนี้ใช้จาก 2 ส่วน คือ Thai Customs (2021) และ Thai Customs (2020), cited in Royal Forest Department (2020) ดังสมการที่ 5

$$\text{มูลค่าไม้} = \text{ปริมาตรไม้} \times \text{ราคา} \quad \text{-----}(5)$$

2. การคำนวณต้นทุนการทำไม้

การคำนวณต้นทุนการทำไม้ใช้สูตรของ Roongtawanreongsri (2006) โดยการนำปริมาตรไม้ทั้งหมดในป่าคูณด้วยค่าต้นทุนการทำไม้ ดังสมการที่ 6

$$\text{ต้นทุนการทำไม้} = \text{ปริมาตรไม้ทั้งป่า} \times \text{ราคาต้นทุนการทำไม้} \quad \text{-----}(6)$$

3. การคำนวณมูลค่าสุทธิของปริมาตรไม้

การคำนวณมูลค่าสุทธิของปริมาตรไม้ คำนวณได้จากมูลค่าปริมาตรไม้ทั้งหมด หักลบด้วยต้นทุนการใช้ประโยชน์จากไม้ทั้งหมด ดังสมการที่ 7

$$\text{มูลค่าสุทธิ} = \text{มูลค่าไม้ทั้งหมด} - \text{ต้นทุนการทำไม้} \quad \text{-----}(7)$$

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ชนิดพรรณไม้ในพื้นที่ศึกษา

ชนิดพรรณไม้ที่พบในบริเวณพระตำหนักเมืองนคร มีความหลากหลายของพรรณไม้ที่พบในแปลงตัวอย่างทั้งหมด 16 ชนิด 12 วงศ์

Table 1 Name and the number of trees

common names	scientific name	family	the number of plants
Pra (tree)	<i>Elateriospermum tapos</i> Bl.	Euphorbiaceae	45
Orange Champaka	<i>Michelia champaca</i> L.	Magnoliaceae	107
Mangosteen	<i>Garcinia mangostana</i> L.	Guttiferae	23
Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i> Linn.	Sapindaceae	2
Durian	<i>Durio zibethinus</i> Murray	Bombacaceae	4
Santol	<i>Sandoricum koetjape</i> (Burm. f.) Merr.	Meliaceae	3
Longkong	<i>Aglaia dookkoo</i> Griff.	Meliaceae	7
Langsat	<i>Lansium parasiticum</i> (Osbeck) K.C.Sahni & Bennet	Meliaceae	2
Niang (tree)	<i>Archidendron jiringa</i> (Jack) I.C.Nielsen	Leguminosae – Mimosoideae	9
Pakria	<i>Parkia speciosa</i> Hassk.	Fabaceae (Leguminosae- Mimosoideae)	7
Gor (Tree)	<i>Castanopsis</i> spp.	Fagaceae	8
Yang (Tree)	<i>Dipterocarpus alatus</i> Roxb.	Dipterocarpaceae	1
Mahogany	<i>Swietenia mahogany</i> (L.) Jacq.	Meliaceae	4
Shorea	<i>Azardirachta excelsa</i> (Jack) Jacobs	Meliaceae	1
Wild Rambai	<i>Baccaurea parviflora</i>	Euphorbiaceae	1
Burmese Grape	<i>Baccaurea ramiflora</i> Lour.	Phyllanthaceae	3

พรรณไม้ที่พบมากที่สุด คือ จำปาทอง 107 ต้น รองลงมา คือ ประ 45 ต้น มังคุด 23 ต้น เนียง 9 ต้น ก่อ 8 ต้น ลองกอง 7 ต้น สะตอ 7 ต้น ทุเรียน 4 ต้น มะอิกานี 4 ต้น มะไฟ 3 ต้น กระท้อน 3 ต้น เงาะ 2 ต้น ลิ้นสาด 2 ต้น และพบน้อยที่สุด คือ ยางนา เทียม และมะไฟกา จำนวน 1 ต้น

จำนวนต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา

ต้นไม้ที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร โดยเส้นรอบวงที่ระดับความสูงเพียงอกตั้งแต่ 15 เซนติเมตรขึ้นไปที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษาของแปลงที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งในแต่ละแปลงพบว่าจำนวนต้นไม้แตกต่างกันออกไป ดัง Table 2 และจำนวนพรรณไม้แต่ละชนิดในแต่ละแปลง

Table 2 The number of plants in plots

plots	the number of plants
1 (E592098 N944852)	26
2 (E592060 N944841)	35
3 (E592034 N944809)	32
4 (E591991 N944801)	50
5 (E591943 N944778)	84
total	227

พื้นที่บริเวณพระตำหนักเมืองนคร พบจำนวนต้นไม้ที่ศึกษาจำนวนทั้งหมด 227 ต้น ทำการสุ่มพื้นที่ทั้งหมด 5 แปลงคือแปลงที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งบริเวณแปลงที่ 5 พบจำนวนต้นไม้มากที่สุด 84 ต้น รองลงมาคือ แปลงที่ 4, 2, 3 และ 1 พบ 50, 35, 32 และ 26 ต้น ตามลำดับ (Table 3)

Table 3 The number of plants in each plot

plants	plot/ the number of plants				
	1	2	3	4	5
Pra (tree)	19	9	13	4	-
Orange Champaka	-	-	-	35	72
Mangosteen	2	6	1	4	10
Rambutan	-	2	-	-	-
Durian	-	2	-	2	-
Santol	1	-	2	-	-
Longkong	-	6	1	-	-
Langsat	-	-	-	2	-
Niang (tree)	3	3	2	-	1
Pakria	1	6	-	-	-
Gor (Tree)	-	-	6	2	-
Yang (Tree)	-	-	-	1	-
Mahogany	-	-	4	-	-
Shorea	-	-	-	-	1
Wild Rambai	-	-	1	-	-
Burmese Grape	-	1	2	-	-
total	26	35	32	50	84

ปริมาตรและมูลค่าของเนื้อไม้

ปริมาตรไม้ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาตรไม้ในพื้นที่พระตำหนักเมืองนครทั้งหมดเท่ากับ 3,399.28 ลูกบาศก์เมตร จากการสำรวจพบพรรณไม้ 16 ชนิด (Table 4)

Table 4 Plants, volumes of timber (the whole forest), volumes of timber, density and total of tree in the whole forest

plants	volumes of timber (the whole forest) (cubic meters)	volumes of timber (cubic metres per percent)	density (per plant per rai)	total of plants in the whole forest
Pra (tree)	893.80	17.19	14.40	749
Orange Champaka	1,358.33	26.12	34.24	1,780
Mangosteen	316.12	6.08	7.36	383
Rambutan	18.96	0.36	0.64	33
Durian	76.19	1.47	1.28	67
Santol	49.52	0.95	0.96	50
Longkong	87.36	1.68	2.24	116
Langsat	14.18	0.27	0.64	33
Niang (tree)	253.96	4.88	2.88	150
Pakria	123.72	2.38	2.24	116
Gor (Tree)	110.64	2.13	2.56	133
Yang (Tree)	21.83	0.42	0.32	17
Mahogany	30.26	0.58	1.28	67
Shorea	4.55	0.08	0.32	17
Wild Rambai	7.95	0.15	0.32	17
Burmese Grape	31.90	0.61	0.96	50
total	3,399.28	65.37	72.64	3,777

จากการสำรวจประเภทไม้แบ่งออกเป็น 16 ชนิด ในพื้นที่พระตำหนักเมืองนคร โดยพรรณไม้ที่พบจำนวนต้นมากที่สุดในการสำรวจได้แก่ จำปาทองจำนวน 1,780 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 34.24 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 1,358.33 ลูกบาศก์เมตร หรือ 26.12 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ พรรณไม้ที่พบรองลงมา ได้แก่ ประจักษ์จำนวน 749 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 14.40 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 893.80 ลูกบาศก์เมตร หรือ 17.19 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ มังคุด 383 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 7.36 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 316.12 ลูกบาศก์เมตร หรือ 6.08 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ เนียง 150 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 2.88 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 253.96 ลูกบาศก์เมตร หรือ 4.88 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ ก่อจำนวน 133 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 2.56 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 110.64 ลูกบาศก์เมตร หรือ 2.13 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ สะตอจำนวน 116 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 2.24 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 123.72 ลูกบาศก์เมตร หรือ 2.38 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ ลองกองจำนวน 116 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 2.24 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 87.36 ลูกบาศก์เมตร หรือ 1.68 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ ทุเรียนจำนวน 67 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 1.28 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 76.19 ลูกบาศก์เมตร หรือ 1.47 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ กระท้อนจำนวน 50 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 0.96 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 49.52 ลูกบาศก์เมตร หรือ 0.95 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ มะไฟจำนวน 50 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 0.96 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 31.90 ลูกบาศก์เมตร หรือ 0.61 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ มะฮอกกานีจำนวน 67 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 1.28 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 30.26 ลูกบาศก์เมตร หรือ 0.58 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ เงาะจำนวน 33 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 0.64 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 18.96 ลูกบาศก์เมตร หรือ 0.36 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ ลิ้นสาดจำนวน 33 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 0.64 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 14.18 ลูกบาศก์เมตร หรือ 0.27 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ ยางนาจำนวน 17 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 0.32 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 21.83 ลูกบาศก์เมตร หรือ 0.42 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ เทียมจำนวน 17 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 0.32 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 4.55 ลูกบาศก์เมตร หรือ 0.08 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ และมะไฟกา

จำนวน 17 ต้น ความหนาแน่นเท่ากับ 0.32 ต้นต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งป่า 7.95 ลูกบาศก์เมตร หรือ 0.15 ลูกบาศก์เมตรต่อร้อยละที่พบ

มูลค่าไม้ทำการประเมินมูลค่าโดยเปรียบเทียบกับราคาของ Thai Customs (2021) สำหรับไม้ซุงเป็นเกณฑ์ประเมิน ดัง Table 5 และราคาไม้ประเภทอื่น ๆ ของ The Customs Department (2020), cited in Royal Forest Department (2020) ดัง Table 6 และมูลค่าไม้รวมในพื้นที่พระตำหนักเมืองนคร ดัง Table 7 และ Table 8

Table 5 Assessment of prices of wood for export duty

plants	assessment of prices of timber for export duty
	(THB per cubic)
Orange Champaka	11,560.00
Santol	8,677.00
Yang (Tree)	8,677.00

Source: The Customs Department (2020), cited in Royal Forest Department (2020)

Table 6 The local market price

plants	prices of wood (THB per cubic)
Pakria	2,990.44
Gor (Tree)	2,990.44
Mahogany	2,990.44
Shorea	2,990.44
Wild Rambai	2,990.44
Burmese Grape	2,990.44
Pra (tree)	2,990.44
Mangosteen	2,990.44
Rambutan	2,990.44
Durian	2,990.44
Longkong	2,990.44
Langsat	2,990.44
Niang (tree)	2,990.44

Source: The Customs Department (2020), cited in Royal Forest Department (2020).

Table 7 Value of assessment of prices of timber for export duty at Phratamnak Muang Nakhon

plants	volumes of timber (the whole forest) (cubic meters)	assessment of prices of timber for export duty (THB per cubic)	total value (THB)
Orange Champaka	1,358.33	11,560.00	15,702,296.67
Santol	49.52	8,677.00	429,694.15
Yang (Tree)	21.83	8,677.00	189,439.96
total			16,321,430.78

Table 8 Value of timber at Phratamnak Muang Nakhon (the local market price)

plants	volumes of timber (the whole forest) (cubic meters)	the local market price (THB per cubic)	total value (THB)
Pra (tree)	893.80	2,990.44	2,672,842.43
Mangosteen	316.12	2,990.44	945,352.69
Rambutan	18.96	2,990.44	56,701.41
Durian	76.19	2,990.44	227,854.28
Longkong	87.36	2,990.44	261,239.17
Langsat	14.18	2,990.44	42,408.61
Niang (tree)	253.96	2,990.44	759,442.52
Pakria	123.72	2,990.44	369,972.82
Gor (Tree)	110.64	2,990.44	330,864.85
Mahogany	30.26	2,990.44	90,486.39
Shorea	4.55	2,990.44	13,612.55
Wild Rambai	7.95	2,990.44	23,778.15
Burmese Grape	31.90	2,990.44	95,397.86
total			5,889,953.73

จากการสำรวจในพื้นที่พระตำหนักเมืองนคร มีจำนวนปริมาตรทั้งหมดในป่าเท่ากับ **3,399.28** ลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณมูลค่าไม้ทั้งป่าเท่ากับ **22,211,384.51** บาท

ต้นทุนการทำไม้ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยกำหนดต้นทุนตามงานวิจัยของ Roongtawanreongsri (2006) โดยมีรายละเอียด ดัง Table 9

Table 9 Costs of logging

item	the cost per cubic meter (THB per cubic)	total cost per cubic meter (THB per cubic)
cut down trees	93.57	318,070.63
uproot the stumps	267.34	908,763.52
haul it back by the vehicle	267.34	908,763.52
tax ID	133.67	454,381.76
supervise	40.10	136,311.13
total	802.03	2,726,290.55

Source: Roongtawanreongsri (2006)

มูลค่าไม้ทั้งหมดของพระตำหนักเมืองนครเท่ากับ 22,211,384.51 บาท เมื่อหักลบต้นทุน ในการทำไม้เท่ากับ 2,726,290.55 บาท เพราะฉะนั้นมูลค่าไม้สุทธิของพระตำหนักเมืองนครเท่ากับ **19,485,061.59** บาท ดัง Table 10

Table 10 Net worth of timber

total value (THB)	costs of logging (THB)	net worth (THB)
22,211,384.51	2,726,322.93	19,485,061.59

ในพื้นที่พระตำหนักเมืองนครมีความหลากหลายของชนิดพรรณไม้ทั้งหมดในป่า 16 ชนิด ซึ่งน้อยกว่างานวิจัยของ Gumpoo (2002) ที่ป่ากรด จังหวัดสงขลา ซึ่งมีความหลากหลายชนิดพรรณไม้ทั้งหมดเท่ากับ 241 ชนิด และงานวิจัยของ Ployninpet (2012) บนเขาคอหงส์ อำเภอนาทม จังหวัดสงขลา ซึ่งมีความหลากหลายชนิดพรรณไม้ทั้งหมดเท่ากับ 222 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่พระตำหนักเมืองนครมีพื้นที่ทั้งหมดซึ่งเท่ากับ 52 ไร่ กับพื้นที่ว่างแปลง 3.125 ไร่ ทำให้พรรณไม้บางชนิดที่มีอยู่จริง แต่ไม่อยู่ในแปลงสำรวจ จึงทำให้ความหลากหลายของชนิดพรรณไม้มีจำนวนน้อย การพบชนิดของพรรณไม้จำนวนน้อยเนื่องจากในพื้นที่พระตำหนักเมืองนครเป็นป่าทดแทน จึงทำให้พบจำนวนพรรณไม้จำนวนน้อย เมื่อเทียบกับพื้นที่ป่ากรดจังหวัดสงขลาและบนเขาคอหงส์ อำเภอนาทม จังหวัดสงขลาที่เป็นป่าดั้งเดิมทำให้พบพรรณไม้จำนวนมาก

การคำนวณปริมาตรไม้ ในพื้นที่พระตำหนักเมืองนครมีปริมาตรไม้เนื้อไม้ 3,399.28 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับ 65.371 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ซึ่งน้อยกว่างานวิจัยของ Ployninpet (2012) บนเขาคอหงส์ อำเภอนาทม จังหวัดสงขลา ซึ่งมีปริมาตรเนื้อไม้เท่ากับ 58,526.71 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับ 13.38 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ งานวิจัยของ Gumpoo (2002) ที่ป่ากรด จังหวัดสงขลา ซึ่งมีปริมาตรเนื้อไม้เท่ากับ 80,601.06 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับ 31.30 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ เนื่องจากป่ากรดมีการห้ามเข้าไปตัดไม้ ส่งผลให้ขนาดของไม้ใหญ่กว่าพื้นที่พระตำหนักเมืองนคร และงานวิจัยของ Roongtawanreongsri (2006) ที่ป่าชุมชนเขาหัวช้าง จังหวัดพัทลุง มีปริมาตรเนื้อไม้เท่ากับ 123,663.79 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับ 61.83 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ เนื่องจากพื้นที่ป่าชุมชนเขาหัวช้างอยู่ในเขตป่าสงวน ซึ่งห้ามเข้าไปใช้ประโยชน์นอกจากเก็บหาของป่า ทำให้ความสมบูรณ์ของไม้มีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่พระตำหนักเมืองนคร

การประเมินมูลค่าของเนื้อไม้ในครั้งนี้ มีปัจจัยสำคัญหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ราคาไม้แต่ละชนิดและลักษณะของไม้ในแต่ละพื้นที่ที่นำมาคำนวณ ซึ่งงานวิจัยนี้ไม่สามารถหาราคาไม้แต่ละชนิดได้ ผู้วิจัยจึงนำราคาสำหรับสินค้าไม้เป็นเกณฑ์ประเมินเงินอากรขาออกและราคาจากการกำหนดของกรมป่าไม้มาคำนวณมูลค่าเนื้อไม้เท่ากับ 22,211,384.51 บาท และเมื่อหักต้นทุนในการทำไม้แล้วจะมีมูลค่าไม้สุทธิเท่ากับ 19,485,061.59 บาท หรือเท่ากับ 374,712.72 บาทต่อไร่ ซึ่งมากกว่างานวิจัยของ Gumpoo (2002) ที่ป่ากรด จังหวัดสงขลา ซึ่งมูลค่าเนื้อไม้สุทธิเท่ากับ 111,339.17 บาทต่อไร่ แต่น้อยกว่างานวิจัยของ Roongtawanreongsri (2006) ที่ป่าชุมชนเขาหัวช้าง จังหวัดพัทลุง ซึ่งมูลค่าไม้สุทธิเท่ากับ 569,163.27 บาทต่อไร่ เนื่องจากราคาที่ใช้ในการคำนวณมูลค่าไม้และชนิดของป่าชุมชนเขาหัวช้าง มีราคาสูงกว่า

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพบต้นไม้ทั้งป่าจำนวน 3,777 ต้น มากที่สุด คือ จำปาทอง 1,780 ต้น รองลงมา คือ ประ 749 ต้น มังคุด 383 ต้น เนียง 150 ต้น ก่อ 133 ต้น ลองกอง 116 ต้น สะตอ 116 ต้น ทุเรียน 67 ต้น มะไฟ 50 ต้น กระท้อน 50ต้น มะฮอกกานี 67 ต้น เงาะ 33 ต้น ลิ้นสาด 33 ต้น และพบน้อยที่สุด คือ ยางนาเตียม และมะไฟกาจำนวน 17 ต้น ชนิดพรรณไม้ ในพื้นที่พระตำหนักเมืองนคร จำนวนพรรณไม้ทั้งหมด 16 ชนิด จำปาทอง ประ มังคุด เนียง ก่อ ลองกอง สะตอ ทุเรียน มะฮอกกานี มะไฟ กระท้อน เงาะ ลิ้นสาด ยางนา เตียม และมะไฟกา หนาแน่นเฉลี่ย 73.00 ต้นต่อไร่ คิดเป็นปริมาตรทั้งหมดเท่ากับ 3,399.28 ลูกบาศก์เมตร หรือ 65.37 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ คิดเป็นมูลค่าไม้เท่ากับ 22,211,384.51 บาท หรือ 427,142.01 บาทต่อไร่ ต้นทุนการทำไม้เท่ากับ 2,726,322.93 บาท หรือ 52,429.29 บาทต่อไร่ และคิดเป็นมูลค่าสุทธิเท่ากับ 19,485,061.59 บาท หรือ 374,712.72 บาทต่อไร่

เอกสารอ้างอิง

- Department of Environmental Quality Promotion. (2017). **Utilization of Timber**. Retrieved from: <http://inventory.dnp.go.th/web/Document/PDF/Inventory>. (in Thai).
- Google. (n.d.). **Phratamnak Muang Nakhon**. Retrieved from: <https://earth.google.com/web/search/Muang+Nakhon+Reception+House>.
- Gumpoo, P. (2002). **Economic Valuation of Some Components of Tropical Rain Forest: A Case Study of Pa Krad, Amphoe Nathawi, Changwat Songkhla**. Master of Science Thesis in Environmental Management. Prince of Songkla University. (in Thai).
- Muksombat, S., & Na Nakorn, T. (1995). **Using Spiegel Relaskop to Create Wood Volume in Mae Haeng Sector Demonstration Forest, Ngao District, Lampang Province**. Forest Research and Development Office. Royal Forest Department. (in Thai).
- Ployninpet, N. (2012). **Economic Valuation of Timber, Poles, Saplings and Seedlings on Kho Hong Hill, Hat Yai District, Songkhla Province**. Master of Science in Environmental Management. Prince of Songkla University. (in Thai).
- Protected Area Rehabilitation and Development Office. (2017). **Forest Resources**. Retrieved from: <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi2/forest/forestn.htm>. (in Thai).
- Roongtawanreongsri, S. (2006). **Economic Valuation of Community Forest in the South: A Case Study Of Khao-Hua-Chang Community Forest Tambon Tamot, Amphoe Tamot, Changwat Phatthalung**. Research Report. The Thailand Research Fund. (in Thai).
- Royal Forest Department. (2023). **Statistics of Forest Area**. Retrieved from: <https://www.forest.go.th/land/>. (in Thai).
- Royal Forest Department. (2020). **Forestry Statistics Data 2020**. Royal Forest Department. (in Thai).
- Suksard, S. (2009). The Economic Valuation of Forest Resources. **Journal of Forest Management**, 3(6), 122-133. (in Thai).
- Thai Customs. (2021). **Customs Announce Prices for Wood Products**. Retrieved from: <https://th.customs.go.th>. (in Thai).
- Tongsamak, S. (2021). **Phratamnak Muang Nakhon**. Interview, 10 August.

กลวิธีการสร้างธนาคารต้นไม้เพื่อสิ่งแวดล้อมชุมชนและเศรษฐกิจครัวเรือนในประเทศไทย

Tactics for Creating Tree Bank for Community Environment and Household Economy in Thailand

ทศพร สอนบุตร^{1*} สุวารี ศรีบุญ¹ ผม่อม เชิดโกทา¹ ประภาพร ชูลี¹
บุญวานิช บุญวานิชานันท์¹ ธนัยการ คำวงศ์¹ ประเสริฐ เหล่าบุศณันต์¹
Thotsaporn Sonboot¹, Suwaree Sriboon^{1*}, Pomhom Cherdkotha¹, Prapaporn Chulilung¹,
Boonvanich Boonvarichanana¹, Tanyakorn Khumwong¹, Prasert Laobusnanant¹

Received date: 21 พ.ย. 66 Revised date: 22 ธ.ค. 66 Accepted date: 12 ม.ค. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.015>

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งเสนอกลวิธีการสร้างธนาคารต้นไม้ กิจกรรมในแปลงธนาคารต้นไม้เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมชุมชนให้ยั่งยืน และยกระดับเศรษฐกิจครัวเรือนตามโมเดลเศรษฐกิจใหม่ พื้นที่วิจัยเป็นชุมชนที่จัดการธนาคารต้นไม้ประสบผลสำเร็จและได้รับยกย่องให้เป็นต้นแบบ ใน 3 ภาค รวม 3 แห่ง ได้แก่ ธนาคารต้นไม้บ้านถ้ำเสือ จังหวัดเพชรบุรี ธนาคารต้นไม้วนเกษตรเขากรรจ จังหวัดสระแก้ว และ ธนาคารต้นไม้บ้านคลองเรือ จังหวัดชุมพร เก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์เชิงลึก การสัมภาษณ์กลุ่ม และวางแผนสำรวจต้นไม้ในภาคสนาม กลุ่มตัวอย่าง เป็นคณะกรรมการ สมาชิกธนาคารต้นไม้และตัวแทนธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (ธ.ก.ส.) ทั้ง 3 แห่งๆ ละ 11 คน รวมเป็น 33 คน เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ใช้การวิเคราะห์เนื้อหาและวิเคราะห์ค่าความหลากหลายพันธุ์ไม้ ด้วยสูตร Menhinick (1964) ผลการวิจัยพบว่า กลวิธีการสร้างธนาคารต้นไม้ได้ใช้การจัดตั้งกลุ่มสมาชิกเป็นครัวเรือนที่มีที่ดินของตนเองโดยปลูกต้นไม้ในแปลงแบบวนเกษตร มุ่งให้ได้เนื้อไม้เป็นสินทรัพย์และใช้ต้นไม้เป็นหลักทรัพย์เพื่อค้ำประกันเงินกู้จากสถาบันการเงินที่รัฐรับรอง ด้านการจัดกิจกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อมใช้การเพาะกล้าไม้ ปลูกไม้ยืนต้นอย่างน้อย 25 ต้นต่อไร่ เลือกปลูกพันธุ์ไม้ได้ตามที่ ธ.ก.ส. กำหนดไว้ 58 ชนิด (Rasarin, 2020) บำรุงดินด้วยปุ๋ยหมักที่ทำจากเศษใบไม้และกิ่งไม้ ผลการวิเคราะห์ค่าความหลากหลาย (R_2) ของชนิดพันธุ์ไม้ในแปลงมีค่าอยู่ในระดับมาก ($R_2 = 2.5-4.5$) ด้านการยกระดับเศรษฐกิจครัวเรือน ได้จัดกิจกรรมโดยนำผลผลิตจากต้นไม้ใช้ทำฟืนและ เผาถ่าน ทำน้ำส้มควันไม้ แปรรูปเนื้อไม้เพื่อใช้สร้างบ้านและสิ่งของเครื่องใช้ เผยแพร่ความรู้ธนาคารต้นไม้โดยจัดเป็นศูนย์เรียนรู้และการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ สร้างเครือข่ายความร่วมมือกับหน่วยงานและสถาบันการศึกษาเพื่อใช้ธนาคารต้นไม้ในการพัฒนาสู่ความยั่งยืน

สำคัญ : ธนาคารต้นไม้ กลวิธี สิ่งแวดล้อมชุมชน เศรษฐกิจครัวเรือน

Abstract

This article aimed to present strategies for creating a tree bank. Activities in tree bank plots for sustainable community environmental management and raising the household economy according to the new economic model were studied. The research area is a community that has successfully managed a tree bank and has been praised as a model in 3 regions, including 3 locations: Ban Tham Suea tree bank in Phetchaburi province, Khao Chakan agroforestry tree bank in Sa Kaeo province and Ban Khlong Ruea tree bank in Chumphon province. Data were collected through in-depth interviews. Group interviews were conducted and tree survey plots in the field were prepared. Committee members of the Tree Bank and representatives of the 3 Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives (BAAC), 11 people each, totaling 33 people were purposive sampling. Content analysis and the abundance of plant species were analyzed using the Menhinick (1964). The research results showed that the strategy for creating a tree bank involved group forming of household members with their own land by planting trees in agroforestry plots. The group acquire wood as an asset and use trees as

¹ สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180

¹ Department of Environmental Studies, College of Innovative Management, Valaya Alongkorn Rajabhat University, Pathum Thani 13180

*Corresponding author: suwaree@vru.ac.th

collateral to guarantee loans from financial institutions that are guaranteed by the state. Environmental activities were organized by planting trees of at least 25 perennial trees per rai. 58 plant species as specified by the BAAC were chosen. Nourish the soil with compost made from scraps of leaves and branches. The richness index (R_2) analysis showed that the abundance of tree species in all plots was at a high level ($R_2 = 2.5-4.5$). In terms of upgrading the household economy, knowledge of the production of firewood and burn charcoal, wood vinegar from trees, wood processing for house construction and furniture products was disseminated by the tree bank by organizing learning center and eco-tourism. Collaborative networks with organizations and educational institutions were built in order to use the tree bank for sustainable development.

Keywords: tree bank, tactics, community environment, household economy

คำนำ

สิ่งแวดล้อมเกิดปัญหารุนแรงขึ้นทั้งระดับโลกและระดับท้องถิ่น การเกิดภาวะโลกร้อนเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและการได้รับผลกระทบจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Lertwuthirak, 2022) ปัญหาน้ำท่วม ป่าไม้เสื่อมโทรม ดินมีสารเคมีตกค้าง อุณหภูมิสูงขึ้น น้ำเสีย อากาศเป็นพิษ มีสาเหตุมาจากการบริโภคของมนุษย์มากเกินไปจนขีดจำกัด มนุษย์จึงต้องช่วยกันคืนสภาพธรรมชาติสู่สมดุล (Sripona, 2023) และเมื่อโลกเกิดปัญหาโรคระบาด โควิด-19 ปี ในปี 2562 ส่งผลต่อสุขภาพและเศรษฐกิจของทั้งคนเมืองและคนชนบท โดยพบว่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของผู้ใช้แรงงานมีรายได้ลดลง และร้อยละ 33 มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ร้อยละ 14 มีหนี้สินในระบบเพิ่มขึ้น ร้อยละ 14.50 ตกงานและถูกเลิกจ้าง ร้อยละ 69.70 ผู้ประกอบการรายเล็กได้รับผลกระทบโดยยอดขายลดลงร้อยละ 21.80 และต้องปิดกิจการ ร้อยละ 12.60 ถูกพักงานหรือเลิกจ้าง ร้อยละ 12.90 (International Health Policy Program, 2021) ในด้านสิ่งแวดล้อมได้ส่งผลให้มีการบุกรุกพื้นที่ป่าใช้ทำอาชีพเกษตรกรรมเพื่อความอยู่รอดมากขึ้น จากการสำรวจใน พ.ศ. 2565 ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไม้ร้อยละ 31.57 ของพื้นที่ทั้งประเทศ หรือคิดเป็น 102,135,974.96 ไร่ โดยลดลงจาก พ.ศ. 2564 คิดเป็นร้อยละ 0.02 หรือ 76,459.41 ไร่ ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายของนโยบายป่าไม้แห่งชาติ พ.ศ.2562 ที่กำหนดไว้ให้มีพื้นที่ป่าไม้ร้อยละ 40 ของพื้นที่ประเทศ แบ่งเป็นพื้นที่ป่าอนุรักษ์ร้อยละ 25 พื้นที่ป่าเศรษฐกิจและป่าชุมชนร้อยละ 15 ขณะที่ในยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) ได้กำหนดไว้ให้เพิ่มพื้นที่สีเขียวทุกประเภทเป็นร้อยละ 55 ของพื้นที่ประเทศภายใน พ.ศ.2580 นอกจากนี้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ.2566-2570) ได้กำหนดให้มีพื้นที่ป่าเศรษฐกิจเพื่อการใช้ประโยชน์ร้อยละ 12 ของพื้นที่ประเทศ ภายในปี พ.ศ. 2570 แต่ในปัจจุบันพื้นที่ป่าเศรษฐกิจและป่าชุมชนมีเพียงร้อยละ 9 (Seub Naksathien Foundation, 2022) จึงควรให้ประชาชนที่อยู่นอกพื้นที่อนุรักษ์ที่มีความพร้อมและมีศักยภาพในการใช้พื้นที่ปลูกป่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีแนวทางดำเนินการหลายรูปแบบ

การปลูกป่าตามโครงการธนาคารต้นไม้ เป็นรูปแบบหนึ่งที่ใช้การปลูกป่าแบบวนเกษตรเลียนแบบธรรมชาติ เพื่อฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมและพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากซึ่งสอดคล้องกับวิถีชีวิตชุมชนไทย นับเป็นทางเลือกในการเพิ่มพื้นที่สีเขียวด้วยการปลูกต้นไม้ควบคู่กับการแก้ปัญหาเศรษฐกิจโดยมุ่งการปลูกต้นไม้เพื่อใช้หนี้ด้วย โครงการนี้ได้เริ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 9 ธันวาคม พ.ศ.2549 (Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives, 2015) โครงการธนาคารต้นไม้มีรากฐานมาจาก 2 แนวคิด คือ แนวคิดที่ให้ภาคีภาคประชาชนขับเคลื่อนดำเนินการเพื่อให้ธนาคารต้นไม้เป็นนวัตกรรมด้านสิ่งแวดล้อม โดยมุ่งเพิ่มปริมาณป่าไม้ในพื้นที่ส่วนบุคคลและใช้ต้นไม้เป็นทุนในการออมเพิ่มรายได้โดยไม่ต้องตัดต้นไม้ขายและใช้หลักการสร้างเครือข่ายพึ่งพาตนเองจากครอบครัวสู่ชุมชนจนถึงระดับประเทศ (TV Burapha Company Limited, 2017) ส่วนอีกแนวคิดหนึ่งมาจากธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (ธ.ก.ส.) ที่ริเริ่มร่วมกับคณะกรรมการผู้นำชุมชนแห่งชาติ มุ่งแก้ปัญหาเศรษฐกิจโดยส่งเสริมโครงการธนาคารต้นไม้ ให้ประชาชนปลูกต้นไม้ในที่ดินของตนเองและชุมชนเพื่อใช้หนี้แก้ไขปัญหาความยากจน โดยให้ต้นไม้เป็นสินทรัพย์อย่างหนึ่งที่มีราคาสามารถถือครองได้ เน้นการปลูกต้นไม้ตามแนวพระราชดำริ ปลูกป่า 3 อย่าง เพื่อประโยชน์ 4 อย่าง ใช้การประเมินมูลค่าต้นไม้ให้เป็นเงินออม หลักทรัพย์และหลักประกันกับภาครัฐและสถาบันการเงินที่รัฐกำหนด ให้ผู้ปลูกต้นไม้ในชุมชนเดียวกันหรือชุมชนใกล้เคียงกันรวมกลุ่มจัดตั้งเป็นธนาคารต้นไม้ เพื่อสร้างความพอเพียง มั่งคั่ง ยั่งยืน พึ่งพาตนเองได้และเชื่อมโยงเป็นเครือข่ายทั่วประเทศ (Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives, 2015) แม้ตอนเริ่มต้นจัดตั้งธนาคารต้นไม้ในแต่ละชุมชนเกิดขึ้นจากฐานคิดที่ต่างกัน แต่ภายหลังส่วนใหญ่ได้เชื่อมโยงทั้งสองแนวคิดเข้ามาดำเนินการ ธนาคารต้นไม้แห่งแรกเกิดขึ้นเมื่อ พ.ศ.2550 ในภาคใต้ ที่ธนาคารต้นไม้บ้านคลองเรือ ตำบลปากทรง อำเภอพะโต๊ะ จังหวัดชุมพร หลังจากนั้นได้เป็นที่ยอมรับได้ขยายไปสู่ภูมิภาคอื่นจนปัจจุบันประเทศไทยมีธนาคารต้นไม้ในชุมชน จำนวน 6,838 แห่ง มีสมาชิก 123,424 คนอยู่ทั่วประเทศ (Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives, 2022) แต่ละแห่งวิธีดำเนินการธนาคารต้นไม้ด้วยเป้าหมาย

และความพร้อมที่ต่างกัน ซึ่งส่วนใหญ่ยังไม่สามารถดำเนินการด้วยธนาคารต้นไม้ใช้สร้างความมั่งคั่ง ปลอดภัยหนี้สินและพึ่งพาตนเองทางเศรษฐกิจได้ หากกลุ่มธนาคารต้นไม้ในชุมชนดำเนินการได้ตามเป้าหมายอย่างเต็มรูปแบบและมีประสิทธิภาพ ย่อมเป็นรูปแบบของนวัตกรรมทางสิ่งแวดล้อมที่ควบคู่กับการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมที่สอดคล้องกับเป้าหมายของการพัฒนาอย่างยั่งยืน(SDGs) และการพัฒนาเศรษฐกิจแนวใหม่ (BCG Model) ที่เป็นเป้าหมายตามยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศได้จริง

อย่างไรก็ตามได้มีชุมชนที่ดำเนินโครงการธนาคารต้นไม้ที่ประสบความสำเร็จโดยมีกิจกรรมที่หลากหลายแบบครบวงจรตามหลักการพัฒนาเศรษฐกิจแนวใหม่และการพัฒนาอย่างยั่งยืนโดยมีกลวิธีที่สามารถฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม ยกระดับเศรษฐกิจและขับเคลื่อนโดยสังคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จนเป็นที่ยอมรับให้เป็นต้นแบบในการเรียนรู้และขยายผลของผู้สนใจมากที่สุด ใน 3 ภูมิภาคของไทย ได้แก่ ภาคใต้ ที่ธนาคารต้นไม้บ้านคลองเรือ ตำบลปากทรง อำเภอพะโต๊ะ จังหวัดชุมพร ภาคกลาง ที่ธนาคารต้นไม้บ้านลำเสือ ตำบลแก่งกระจาน อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี และภาคตะวันออก ที่ธนาคารต้นไม้วนเกษตรเขาฉกรรจ์ อำเภอเขาฉกรรจ์ จังหวัดสระแก้ว โดยทั้ง 3 แห่งนับเป็นตัวอย่างความสำเร็จที่มีคณะบุคคลจากชุมชนและหน่วยงานต่างๆเข้าไปศึกษาดูงาน เรียนรู้อบรมจากทั่วประเทศอย่างต่อเนื่องจำนวนมาปีละ 1,000-1,500 คน และนำไปขยายผลในพื้นที่อื่นอย่างได้ผล จึงได้ทำวิจัยถอดบทเรียนตัวอย่างความสำเร็จทั้ง 3 แห่ง เพื่อให้ได้องค์ความรู้ด้านกลวิธีในการสร้างธนาคารต้นไม้ที่มีประสิทธิภาพและนำไปปรับใช้ได้ต่อไป

วิธีการศึกษา

รูปแบบการวิจัย การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ ใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพและวางแผนสำรวจภาคสนาม (Plot) เพื่อหาค่าความหลากหลายของต้นไม้ในแปลง

พื้นที่วิจัย เป็นชุมชนต้นแบบที่ประสบความสำเร็จในการดำเนินการธนาคารต้นไม้ ใน ภาค 3 ได้แก่ 1) ภาคกลาง ที่ธนาคารต้นไม้บ้านลำเสือ อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี 2) ภาคตะวันออก ที่ธนาคารต้นไม้วนเกษตรเขาฉกรรจ์ อำเภอเขาฉกรรจ์ จังหวัดสระแก้ว และ 3) ภาคใต้ ที่ธนาคารต้นไม้บ้านคลองเรือ อำเภอพะโต๊ะ จังหวัดชุมพร แสดงที่ตั้ง (Figure 1)



ประชากร ที่ใช้ในการวิจัย เป็นคณะกรรมการ สมาชิกธนาคารต้นไม้และตัวแทนธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (ธ.ก.ส.) ในธนาคารต้นไม้ที่เป็นพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่ง

กลุ่มตัวอย่าง เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เป็นคณะกรรมการ สมาชิกธนาคารต้นไม้และตัวแทนธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (ธ.ก.ส.) ที่ร่วมมือในการบริหารจัดการธนาคารต้นไม้ ที่ร่วมกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เป็นผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key informant) ของพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่งๆ ละ 11 คน ประกอบด้วย ประธานธนาคารต้นไม้ 1 คน ตัวแทนคณะกรรมการธนาคารต้นไม้ 3 คน ตัวแทนสมาชิกธนาคารต้นไม้ 5 คน ตัวแทนธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (ธ.ก.ส.) 2 คน รวม 3 แห่ง จำนวน 33 คน

เครื่องมือ ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ แบบสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้าง (Unstructured Interview) ประเด็นคำถามในการสัมภาษณ์กลุ่มและแบบบันทึกการสำรวจความหลากหลายพันธุ์ไม้

การเก็บข้อมูล ใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกรายบุคคล (In-depth Interview) การสัมภาษณ์กลุ่ม (Group Interview) เกี่ยวกับวิธีการสร้างธนาคารต้นไม้ และการสำรวจความหลากหลายของพันธุ์ไม้ในแปลงตัวอย่าง โดยวางแผนสำรวจต้นไม้ในภาคสนามในแปลงวนเกษตรของสมาชิกธนาคารต้นไม้ที่คณะกรรมการต้นไม้เลือกให้เป็นแปลงตัวอย่าง ด้วยการวาง Plot ขนาดพื้นที่ 40 X 40 เมตร หรือ 1,600 ตารางเมตร หรือ 1 ไร่ ในพื้นที่ศึกษา 3 แห่งๆ 1 แปลง รวม 3 แปลง

การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้การวิเคราะห์เนื้อหาและวิเคราะห์ค่าความหลากหลายพันธุ์ไม้ (Richness index: R_2) ของ Menhinick (1964) ด้วยสูตร Menhinick index: $R_2 = S / \sqrt{n}$ เมื่อ S คือจำนวนชนิดทั้งหมดในแปลง และ n คือ จำนวนต้นไม้ทั้งหมดที่สำรวจพบในแปลง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

กลวิธีการสร้างธนาคารต้นไม้

การสร้างธนาคารต้นไม้ เป็นหลักการดำเนินงานโดยกลุ่มคนในชุมชนที่ปลูกไม้ยืนต้นในพื้นที่ส่วนบุคคลในรูปแบบวนเกษตร สมาชิกกลุ่มได้ใช้ต้นไม้ที่ปลูกและผลผลิตจากต้นไม้ให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจโดยจัดการให้ต้นไม้เป็นทุนหรือสินทรัพย์ เป็นการออมโดยใช้ต้นไม้เป็นหลักทรัพย์และหลักประกันที่ใช้กับภาครัฐและสถาบันการเงินที่รัฐกำหนด และจัดกิจกรรมในแปลงปลูกต้นไม้เพื่อเพิ่มรายได้โดยไม่ตัดต้นไม้ ซึ่งเกิดผลดีต่อครัวเรือนของสมาชิกกลุ่มทั้งด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมควบคู่กัน ธนาคารต้นไม้ในประเทศไทยได้เริ่มดำเนินการใน พ.ศ. 2549 จนปัจจุบันพบว่ามีกลุ่มที่จัดการธนาคารต้นไม้จนประสบความสำเร็จเป็นที่ยอมรับให้เป็นต้นแบบที่ใช้เป็นแหล่งเรียนรู้ศึกษาดูงานเพื่อขยายผลสู่ชุมชนอื่นใน 3 ภูมิภาคของประเทศไทย ได้แก่ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ ซึ่งแต่ละแห่งมีกลวิธีการสร้างธนาคารต้นไม้ที่เหมือนกันและแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่ สิ่งแวดล้อมและตามภูมิสังคม ดังนี้

ธนาคารต้นไม้บ้านถ้ำเสือ ตั้งอยู่ที่ตำบลแก่งกระเจาน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดเพชรบุรี ในภาคกลาง ที่มีสภาพป่าธรรมชาติเป็นป่าดิบเขาและป่าเต็งรัง ก่อน พ.ศ. 2549 พื้นที่นี้มีการลักลอบตัดไม้จนป่าเสื่อมโทรม คนในชุมชนมีอาชีพทำการเกษตรเชิงเดี่ยวและเกษตรเคมี จนเกิดปัญหานี้สิน พ.ศ. 2550 ได้เริ่มดำเนินการธนาคารต้นไม้ โดยการนำของนายสุเทพ พิมพ์ศิริ ที่ผ่านการอบรมเรื่องธนาคารต้นไม้ จากนายพงศา ชูเนม และ ว่าที่ ร.ต.ไสว แสงสว่าง วิทยากรจากจังหวัดชุมพร ได้ใช้กลวิธีดำเนินการสร้างธนาคารต้นไม้ โดยนำแนวความคิดธนาคารต้นไม้ภาคประชาชน ได้ใช้หลักการจ่ายค่าตอบแทนในการปลูกต้นไม้ตามแบบกรมป่าไม้ ให้ได้รับผลตอบแทนต้นละ 100 บาท ต่อต้น ต่อปี ประชาชนในหมู่บ้านสนใจจึงจัดตั้งกลุ่มธนาคารต้นไม้ถ้ำเสือ มีสมาชิก 70 ราย ต่อมาสมาชิกเกรงว่ากลุ่มอาจไม่มีเงินจ่ายผลตอบแทนการปลูกต้นไม้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน จึงกลับไปทำเกษตรเชิงเดี่ยวต่อมา พ.ศ. 2553 ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (ธ.ก.ส.) จึงเข้ามาส่งเสริมธนาคารต้นไม้บ้านถ้ำเสือ โดยใช้หลักการปลูกไม้ อย่าง 3 เพื่อประโยชน์ 4 อย่าง และหลักการลงทุนร่วมระยะยาว โดยให้ปลูกต้นไม้ปรับปรุงโครงสร้างหนี้และใช้ต้นไม้เป็นหลักประกัน จัดระบบการบริหารจัดการธนาคารต้นไม้บ้านถ้ำเสือ โดยสมาชิก 70 คน ได้เลือกตั้งคณะกรรมการบริหารงานกลุ่ม จำนวน 15 คน ให้นายสุเทพ พิมพ์ศิริ เป็นประธาน ให้สมาชิกเลือกปลูกต้นไม้สายพันธุ์เดิมที่เคยปลูก ในพื้นที่ส่วนบุคคลและที่สาธารณะ อย่างน้อยคนละ 9 ต้น พันธุ์ไม้ที่สมาชิกเลือกปลูก เช่น สัก ตะเคียนทอง พยุง ยางนา มะค่าโมง ประดู่ กระพี้ เป็นต้น ต้นไม้ที่นำมาประเมินมูลค่าได้ต้องมีอายุ 4-5 ปีขึ้นไป และไม้ที่จะขึ้นทะเบียนเป็นไม้ประกันการกู้ยืมเงินได้ ต้องเป็นไม้ที่สูงอย่างน้อย 1.30 เมตร ขึ้นไป เส้นรอบวงตั้งแต่ 3 เซนติเมตร ขึ้นไป (Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives & Kasetsart University, 2019) ให้บันทึกขึ้นทะเบียนเป็นต้นไม้ในธนาคารต้นไม้ได้แต่นับว่ายังไม่มีมูลค่า ซึ่งมีข้อบังคับของกลุ่มว่าห้ามตัดไม้ยืนต้นทุกชนิด ห้ามล่าสัตว์ป่าทุกชนิด ห้ามจุดไฟเผาป่าทลึงโทะผู้ฝ่าฝืน ครั้งที่ 1 ให้ว่ากล่าวตักเตือน ครั้งที่ 2 ให้ปรับเงินและส่งดำเนินคดีตามกฎหมาย การจัดกิจกรรมของกลุ่มธนาคารต้นไม้ ให้จัดตั้งเป็นวิสาหกิจชุมชน ทำกิจกรรมเพาะพันธุ์ไม้ ผักหวานและพันธุ์ไม้อื่น ทำเตาเผาถ่านได้ถ่านและน้ำส้มควันไม้เพื่อใช้เป็นสมุนไพรป้องกันกำจัดแมลงและศัตรูพืช ทำปุ๋ยหมัก จัดโฮมสเตย์บ้านถ้ำเสือ จัดท่องเที่ยวสวน ให้ชิมผลไม้และเรียนรู้วิถีการอนุรักษ์ธรรมชาติกับชาวบ้านถ้ำเสือ การท่องเที่ยวชมสัมผัสธรรมชาติริมแม่น้ำเพชรบุรี การชมทะเลหมอกเที่ยวชมธรรมชาติรอบแก่งกระเจานบนเขาพะเนินทุ่ง จัดการเรียนรู้การอนุรักษ์ป่าเพื่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตามหลักการธนาคารต้นไม้โดยความร่วมมือของชาวบ้าน กลุ่มธนาคารต้นไม้บ้านถ้ำเสือได้รับความร่วมมือสนับสนุนจากภาคีเครือข่าย ได้แก่ ธกส. กศน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สหกรณ์บริการการเกษตรอินทรีย์ เครือข่ายธนาคารต้นไม้ต้นน้ำเพชร รวม 14 ชุมชน พ.ศ. 2565 องค์การบริหารการพัฒนาพื้นที่พิเศษเพื่อการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน (อพท.) ได้ส่งเสริมและพัฒนาแบบการท่องเที่ยวโดยชุมชน (CBT Thailand) ให้ได้มาตรฐานเพื่อเป็นแหล่งท่องเที่ยว ตามเกณฑ์การท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนโลก (Global Sustainable Tourism Criteria หรือ GSTC) (Katchwattana, 2022) รูปแบบการปลูกต้นไม้ของกลุ่ม ใช้การปลูกป่า 3 อย่าง คือไม้กินได้ ไม้ใช้สอย ไม้เศรษฐกิจ เพื่อประโยชน์ 4 อย่าง คืออาหารและยา ใช้สอยและพลังงาน เศรษฐกิจทั้งชายและอ้อม ระบบนิเวศ เน้นพืช 7 กลุ่ม คือ 1.พืชน้ำ 2.พืชใต้ดิน 3.พืชริ้วดิน 4. พืช ขึ้นล่าง 5.

พืชชั้นกลาง 6.พืชชั้นบน 7.พืชเกาะเกี่ยว(พืชเถา) โดยปลูกพืชทั้ง 7 กลุ่มแบบผสมผสาน แบบเกษตรประณีต อาศัยเกื้อกูลกันเป็นชั้นๆ เหมือนคอนโด จึงมีความหลากหลายทางชีวภาพ ปัจจุบันมีต้นไม้ที่ขึ้นทะเบียนไว้เพื่อประมาณราคา จำนวนกว่า 20,000 ต้น เมื่อทำการสำรวจต้นไม้ยืนต้นในแปลงโดยวาง plot ขนาดพื้นที่ 40 X40 เมตร หรือ 1,600 ตารางเมตร หรือ 1 ไร่ พบว่า มีค่าความหลากหลายอยู่ในระดับมาก $R_2 = 3.33$

ธนาคารต้นไม้วนเกษตรเขาฉกรรจ์ ตั้งอยู่ที่ตำบลเขาฉกรรจ์ อำเภอเขาฉกรรจ์ จังหวัดสระแก้ว ภาคตะวันออก แต่ก่อนสภาพเดิมเป็นพื้นที่ป่ามันสำปะหลังและปาล์วย ในพื้นที่ประมาณ 50 ไร่ ของครอบครัว ดร.เกริก มีมุงกิจ ซึ่งได้เข้ามาเป็นผู้จัดมรดกของพี่น้องทั้งหมด 8 คน หลังจากที่พ่อแม่เสียชีวิต ได้เข้ามาแบ่งที่ดินให้น้องทั้ง 8 คน กลวิธีการสร้างธนาคารต้นไม้ของกลุ่มจึงเริ่มมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 โดยผู้นำสำคัญ คือ ดร.เกริก มีมุงกิจ ได้ขอเช่าที่ดินของครอบครัว จำนวน 35 ไร่ ในการปลูกต้นไม้ นำหลักการปลูกป่า 3 อย่างประโยชน์ 4 อย่าง โดยปลูกแบบผสมผสาน ซึ่งปลูกไม้ยืนต้น มากกว่า 470 ชนิดหรือหลายสายพันธุ์ มีไม้ทุกภูมิภาค ซึ่งปัจจุบัน มีต้นไม้ที่ในแปลงจำนวนมากกว่า 15,000 ต้น ในพื้นที่กว่า 35 ไร่ รูปแบบการปลูก 2 คูณ 2 ในแปลงจำนวน 1 ไร่ จะปลูก จำนวน 400 ต้น โดยมีแนวทางการปลูกต้นไม้คือไม่ให้น้ำต้นไม้ชนิดเดียวกันอยู่ติดกัน เพราะต้นไม้มันไม่กินใบของมันเอง ต่อมาในช่วง พ.ศ. 2553-2551 มีแนวทางโดยไม่ใช้ยาฆ่าหญ้า เนื่องจากหญ้ามีจำนวนมากจึงตัดมาหมักทำเป็นปุ๋ย โดยกองรวมกันเป็นแถวตามร่องของต้นไม้ เมื่อเวลาผ่านไป 30 วันก็จะกลายเป็นดิน ระหว่างนั้นต้นไม้ข้างๆ ก็ได้ดูดซับเป็นปุ๋ยไปด้วย พร้อมทั้งสร้างรายได้ในพื้นที่ โดยนำดินที่ได้บรรจุขายเป็นดินปลูกต้นไม้ ขายถุงละ 20 บาท รายได้ 100,000 ต่อเดือน ส่วนต้นไม้มีกิ่งก้านมาก ก็ตัดทำเชื้อเพลิง เผาถ่าน ถ่านน้ำส้มควันไม้ ต้นไม้ยืนต้นตัดเดือนละ 5-10 ต้นต่อสมาชิก 1 คน รวมกลุ่มกันทำไม้แปรรูป ทำเฟอร์นิเจอร์ จำหน่าย ซึ่งปัจจุบัน ก็มีการตัดต้นไม้ โดยเฉพาะต้นกระถินเทพา หรือ อะคาเซีย ในการนำมาแปรรูป ทำสิ่งก่อสร้างโดยเฉพาะที่อยู่อาศัย ซึ่งเมื่อดูในแปลงที่ปลูกก็จะมีรอยการตัดต้นไม้ ซึ่งต่อมากองจัดการธนาคารต้นไม้วนเกษตรเขาฉกรรจ์ โดยในช่วง ปี พ.ศ.2558 เริ่มมี โครงการคนกล้าคืนถิ่น ต่อมาได้เปลี่ยนเป็น การฝึกอบรม 3 ข (ขั้น ชัม ช้น)โดยมีทั้งหมด 50 รุ่น และได้ปิดหลักสูตรลง เมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2564 จากนั้น ได้ต่อยอดขยายองค์ความรู้ไปตามภูมิภาคต่าง อาทิ เช่น วนเกษตรบ้านโอม จังหวัดกาฬสินธุ์ วนเกษตรคนรักป่า จังหวัดสระแก้ว วนเกษตรไพรลัดดา จังหวัดนครสวรรค์ เป็นต้น ซึ่งต่อมาได้มีการศึกษาของนักศึกษา ของมหาวิทยาลัยชีวิต โดยมีกิจกรรมในหลักสูตรประกอบด้วยการทำปุ๋ยจากใบไม้ การตัดแต่งกิ่งไม้ นำมาเผาถ่าน ได้น้ำส้มควันไม้ การเพาะกล้าพันธุ์ไม้ รวมถึงการจัดการไม้ เมื่อทำการสำรวจต้นไม้ยืนต้นในแปลงโดยวาง plot ขนาดพื้นที่ 40 X40 เมตร หรือ 1,600 ตารางเมตร หรือ 1 ไร่ พบว่า มีค่าความหลากหลายอยู่ในระดับมาก $R_2 = 2.5$

ธนาคารต้นไม้บ้านคลองเรือ ตั้งอยู่ที่ ตำบลปากทรง อำเภอพะโต๊ะ จังหวัดชุมพร ภาคใต้ สภาพดั้งเดิม เป็นป่าดิบชื้น ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพ ซึ่งทำให้ชุมชนมีความมั่นคงทางอาหารจากป่าสูง พบว่าชุมชนมีการเก็บหาผักป่า ยาสมุนไพร ผลไม้ป่า หน่อไม้ หน่อไม้ เห็ด และ ไข่ซึ่งใช้ประโยชน์ในการสร้างและซ่อมแซมบ้านเรือนตลอดจนนำมาใช้ในการเกษตร ต่อมา เมื่อปี พ.ศ. 2536 รัฐบาลมีนโยบายให้อพยพคนออกจากพื้นที่ป่าโดยหน่วยอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำพะโต๊ะ ก็ได้รับมอบหมายจากทางภาครัฐให้เข้ามาขับไล่โยกย้ายคนออกจากพื้นที่ป่า ซึ่งนายพงศา ชูเนม ซึ่งปฏิบัติหน้าที่อยู่ในขณะนั้น และได้รับหน้าที่ดังกล่าวเพื่ออพยพชาวบ้านออกจากพื้นที่ ได้ใช้กลวิธีการสร้างธนาคารต้นไม้ของกลุ่มได้เริ่มจากการทำความเข้าใจกับชาวบ้านโดยการเดินเท้าเข้าไปเพื่อทำความเข้าใจ และให้หยุดถางป่า ย้ายคนที่บุกรุกขึ้นไปอยู่ที่สูงให้ลงมาอยู่ในที่ราบลุ่มของคลองเรือ จัดสรรที่ทำกินให้โดยต้องปฏิบัติตามกฎกติกาของชุมชนที่ได้ตกลงร่วมกับชาวบ้าน เมื่อ พ.ศ. 2537 ได้เกิด “โครงการคนอยู่-ป่ายัง” โดยหน่วยอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำพะโต๊ะ ภายใต้การนำของนายพงศา ชูเนม ซึ่งได้เข้าพูดคุยทำความเข้าใจกับชาวบ้าน เพราะเห็นว่ามีกรบุกรุกทำลายป่าต้นน้ำกันมากขึ้น และหากทิ้งไว้โดยไม่ดำเนินการใดๆ ป่าคลองเรือคงหมดในที่สุด จึงเข้าไปทำการสำรวจข้อมูล เลือกตั้งคณะกรรมการโครงการคนอยู่-ป่ายัง และร่วมกันตั้งกติกาการอยู่ร่วมกันการวางกฎระเบียบชุมชน โดยให้คณะกรรมการเป็นผู้ร่างเพื่อกำหนดใช้กันในชุมชนเอง การดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของโครงการคนอยู่-ป่ายัง จะต้องผ่านคณะกรรมการโครงการคนอยู่-ป่ายัง ทุกครั้ง ทุกกรณี และทุกวันที่ 15 ของเดือน จัดการประชุมเวทีชาวบ้านคลองเรือ เพื่อให้กฎกติกาที่ร่างกันขึ้นมาใช้จัดการชุมชนและทรัพยากร ดิน น้ำ ป่าไม้ ให้คนอยู่ร่วมกับป่าได้อย่างสมดุล” และต่อมากองบุกรุกแผ้วถางบ้านคลองเรือได้หยุดลงอย่างเด็ดขาด ชุมชนเข้าใจในวัตถุประสงค์ของโครงการคนอยู่-ป่ายัง ให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมด้วยดี มีการจัดพื้นที่ทำกินกับเขตป่าอนุรักษ์อย่างชัดเจน และได้ซื้อว่านหมูป่านรักษาป่ายอดเยี่ยม จนได้รับคัดเลือกให้รับพระราชทานธงพิทักษ์ป่าเพื่อรักษาชีวิต จากสมเด็จพระนางเจ้าพระบรมราชินีนาถ เมื่อวันที่ 29 กันยายน 2541 ณ ตำนกทักษิณราชินีนาถ จังหวัดนครศรีธรรมราช หลังจากได้รับพระราชทานธงพิทักษ์ป่าเพื่อรักษาชีวิต ชุมชนได้รักษาภูมิตามชุมชนอย่างเคร่งครัด ชุมชนมีการส่งข่าวผู้ลักลอบล่าสัตว์ป่าในเขตหมูป่านจากคนภายนอก ร่วมกันพัฒนาหมูป่านให้ยั่งยืนนำเงินที่เป็นรายได้จากกองทุนข่าวสารพระราชทานมาร่วมพัฒนาโรงเรียนของหมู่บ้าน และมีการจัดตั้งกลุ่มการท่องเที่ยวเชิงนิเวศและใน พ.ศ.2550 จึงได้ตั้งกลุ่มธนาคารต้นไม้สาขาแรกของประเทศ โดยกำหนดให้ปลูกไม้ยืนต้น อย่างน้อย 25 ต้น ต่อ 1 ไร่ ทำให้ในพื้นที่การเกษตรของชาวคลองเรือเริ่มมีไม้ป่าเกิดขึ้น มีการสร้างพื้นที่

เกษตรที่คล้ายกับป่า มีทั้งพืชอาหาร พืชพลังงาน และไม้ใช้สอย มีการทำแปลงเพาะชำกล้าไม้ ผักป่า และแจกจ่ายให้กับสมาชิกในชุมชนนำไปปลูกในพื้นที่ของตนเอง ได้ความรู้ในการขยายพันธุ์พืชป่า มีการสร้างเครือข่ายกับชุมชนภายนอก ได้สังคมมีเครือข่ายกับชุมชนและจังหวัดอื่น ๆ มีคณะบุคคลจากภายนอกเข้ามาศึกษาดูงานมากขึ้น มีโครงการ 84 ตำบล รักษาป่า สร้างคน สุวิถีเศรษฐกิจพอเพียง มีกิจกรรมร่วมกันในชุมชนและชุมชนอื่น ๆ มากขึ้นเป็นลำดับ จนกลายเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีทรัพยากรอันอุดมสมบูรณ์ และเป็นแหล่งศึกษาดูงานที่สำคัญอันดับต้นๆ ของประเทศ ในด้านการจัดการป่าและการจัดการชุมชน รวมถึง ในธนาคารต้นไม้ มีแปลงเกษตร 4 ชั้น ชั้นที่ 1 ชั้นที่ 1 คัดเลือกและปลูกเสริมด้วยพันธุ์ไม้(พืชเศรษฐกิจ)ที่จัดอยู่ชั้นสูงสุด คือชั้นบน ตามลักษณะการเติบโตเร็ว เช่น สะตอ หนามทุเรียนบ้าน ไม้ใช้สอยประเภท สะเดา ตะเคียนทอง ชั้นที่ 2 คัดเลือกและปลูกเสริมด้วยพันธุ์ไม้เศรษฐกิจ ที่จัดอยู่ในความสูงชั้นกลาง เช่น มังคุด ลองกอง ชั้นที่ 3 คัดเลือกพันธุ์ไม้เศรษฐกิจที่อยู่ในระดับล่าง เช่น จำพวกถั่วเขียวหรือหลายถั่ว เช่น พริก มะเขือ ผักเหลียง ผักป่า ผักกินใบ เป็นต้น และ ชั้นที่ 4 คัดเลือกและปลูกพันธุ์พืชที่มีหัวขึ้นใต้ดิน เช่น ข่า ขมิ้น กลอยเพื่อเปลี่ยนวัชพืช ให้เป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้ จึงมีความหลากหลายในแปลงธนาคารต้นไม้บ้านคลองเรือ เมื่อทำการสำรวจต้นไม้ยืนต้นในแปลงโดยวาง plot ขนาดพื้นที่ 40 X40 เมตร หรือ 1,600 ตารางเมตร หรือ 1 ไร่ พบว่า มีค่าความหลากหลาย (R_2) อยู่ในระดับมาก โดยมีค่า $R_2 = 4.5$

ธนาคารต้นไม้ทั้ง 3 แห่ง มีกลวิธีการสร้างธนาคารต้นไม้ในแนวทางเดียวกัน โดยยึดหลักการปลูกป่า 3 อย่าง เพื่อประโยชน์ 4 อย่าง เป็นการเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่แปลง โดยมีการรวมกลุ่มกันเพื่อสร้างเครือข่ายในการจัดการธนาคารต้นไม้ร่วมกัน โดยเริ่มที่ตัวเอง ขยายออกเป็นชุมชน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sripoona et al. (2021) ที่พบว่า การฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะการเพิ่มพื้นที่ป่าไม้และความหลากหลายทางชีวภาพให้เป็นฐานของการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคมและสุขภาพ โดยร่วมมือกันทั้งภาครัฐและเอกชน จึงควรดำเนินการอย่างจริงจัง ซึ่งต่อมาก็มี ธ.ก.ส.เข้ามาส่งเสริมทำให้มีความเข้มแข็งมากยิ่งขึ้น มีการประเมินมูลค่าต้นไม้ โดยยึดหลักการที่สำคัญของธนาคารต้นไม้คือต้นไม้จะต้องมีมูลค่าในขณะที่ยืนต้นอยู่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเกี่ยวกับธนาคารต้นไม้ ของ Starfinger (2021) ซึ่งพบว่า หลักประกันเกี่ยวกับต้นไม้และธนาคารต้นไม้จึงเกิดขึ้นในประเทศไทยใช้ต้นไม้เป็นหลักประกันทางธุรกิจสำหรับเงินกู้ ระบบธนาคารต้นไม้แห่งชาติที่เป็นนวัตกรรมใหม่ของประเทศไทย โดยเป็นสาเหตุซึ่งนำไปสู่หลักประกันต้นไม้รวมถึงการรวมกลุ่มของเกษตรกรรายย่อย อีกทั้งซึ่งมีความสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Chambers & Leach (1989) โดยพบว่า ต้นไม้มีความสำคัญและศักยภาพมากขึ้นในการออมและความปลอดภัยสำหรับคนยากจน และเพื่อใช้ในการตอบสนองสถานการณ์ฉุกเฉินสำหรับการออมและความปลอดภัย

กิจกรรมในแปลงธนาคารต้นไม้ของสมาชิกกลุ่มเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมชุมชนให้ยั่งยืน

ธนาคารต้นไม้บ้านถ้ำเสือ ตำบลแก่งกระจาน อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี มีกิจกรรมในแปลงธนาคารต้นไม้เป็นการจัดการเก็บรักษาทรัพยากร สิ่งแวดล้อม ทั้งในมิติของดิน น้ำ ป่า เป็นการจัดการพื้นที่ให้สอดคล้องเนื่องจากพื้นที่มีแม่น้ำเพชรบุรี มีการเก็บเมล็ดพันธุ์ แล้วนำเมล็ดพันธุ์ มาทำเป็นกระสุนเมล็ดพันธุ์ และในส่วนของพื้นที่ฟื้นฟูและพัฒนา โดยการปรับเปลี่ยนจากพืชเชิงเดี่ยว การทำสวนผลไม้เพียงอย่างเดียว เปลี่ยนการใช้สารเคมี มาเป็นการทำเกษตรอินทรีย์ นำแนวความคิดปลูกป่า 3 อย่าง ประโยชน์ 4 อย่าง ทำให้ดินอุดมสมบูรณ์ และมีความชุ่มชื้น พร้อมกับฟื้นฟูป่าที่สูญหายไปด้วยการปลูกไม้ยืนต้นในลักษณะวนเกษตร รวมทั้งการนำทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมในธนาคารต้นไม้ไปใช้ประโยชน์มาทำเป็นสิ่งก่อสร้าง และการนำแนวทางการดำเนินการของธนาคารต้นไม้มาขยายต่อยอดจากในหมู่บ้าน บ้านถ้ำเสือ ไปสู่ในตำบลแก่งกระจาน อำเภอแก่งกระจานและขยายไปสู่ทั่วทั้งจังหวัดเพชรบุรี

ธนาคารต้นไม้วนเกษตรเขาฉกรรจ์ ตำบลเขาฉกรรจ์ อำเภอเขาฉกรรจ์ จังหวัดสระแก้ว มีกิจกรรมในแปลงธนาคารต้นไม้เป็นการกักเก็บรักษาทรัพยากร สิ่งแวดล้อม ทั้งในมิติของดิน น้ำ ป่า มีการกำหนดเขตพื้นที่ ในการใช้ประโยชน์รวมถึงเก็บเมล็ดพันธุ์ แล้วนำมาขยายพันธุ์ และในส่วนของพื้นที่ฟื้นฟูและพัฒนา โดยการปรับเปลี่ยนจากพืชเชิงเดี่ยว ปลูกอ้อย มันสำปะหลัง มาเป็นการปลูกป่า 3 อย่าง ประโยชน์ 4 อย่าง ทำให้ดินอุดมสมบูรณ์ และมีความชุ่มชื้น มีแหล่งน้ำในการฟื้นฟูปรับเปลี่ยนจากพืชเชิงเดี่ยวเป็นเกษตรอินทรีย์หรือเกษตรไร้สารพิษ รวมถึงการฟื้นฟูป่าที่สูญหายไปด้วยการปลูกป่าการนำใบไม้ที่ร่วงหล่นมาที่พื้นในป่า มาทำเป็นดินใบไม้ การนำทรัพยากรสิ่งแวดล้อมในธนาคารต้นไม้ มาไปใช้ประโยชน์ ทำเป็นสิ่งก่อสร้าง ปลูกต้นไม้ทดแทน และได้ขยายแนวทางการดำเนินการของธนาคารต้นไม้ จากในหมู่บ้านสู่ในตำบลเขาฉกรรจ์ อำเภอเขาฉกรรจ์ และไปสู่ทั้งจังหวัดสระแก้ว และเป็นสถานที่ฝึกอบรม 3 ข (ชั้น เข้ม ช้น) ในวนเกษตรเขาฉกรรจ์ ที่ประชาชนทั่วทั้งประเทศมาอบรม ปัจจุบันมีทั้งหมด 50 รุ่น

ธนาคารต้นไม้บ้านคลองเรือ ตำบลปากทรง อำเภอพะโต๊ะ จังหวัดชุมพร มีกิจกรรมในแปลงธนาคารต้นไม้เป็นการจัดการเก็บรักษาทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ทั้งในมิติของดิน น้ำ ป่า ในการทำแปลงเกษตร 4 ชั้น การใช้ประโยชน์ จากต้นไม้ที่เกิดขึ้นในแปลง รวมถึงเก็บเมล็ดพันธุ์ แล้วนำเมล็ดพันธุ์ มาขยายพันธุ์ และในส่วนของพื้นที่ฟื้นฟูและพัฒนา โดยการปรับเปลี่ยนจากพืชเชิงเดี่ยว ปลูกกาแฟเพียงอย่างเดียว พร้อมใช้แนวความคิดปลูกป่า 3 อย่าง ประโยชน์ 4 อย่าง ทำให้ดินอุดมสมบูรณ์ และมีความชุ่มชื้น ในการ

ฟื้นฟูปรับเปลี่ยนจากการใช้สารเคมีมาเป็นเกษตรอินทรีย์หรือเกษตรไร้สารพิษ รวมถึงการฟื้นฟูป่าที่สูญหายไปด้วยการปลูกป่า รวมทั้งการนำทรัพยากรสิ่งแวดล้อมในธนาคารต้นไม้ไปใช้ประโยชน์ โดยการนำทรัพยากรภายในป่า ไม่ว่าจะเป็นไม้ที่ร่วงหล่น กิ่งก้าน และลำต้นของต้นไม้ที่สามารถไปใช้ประโยชน์มาทำเป็นสิ่งก่อสร้าง เพิ่มป่าทดแทนที่นำออกไป นำแนวคิดจากธนาคารต้นไม้ ในหมู่บ้าน ออกไปสู่ในตำบลปากทรง อำเภอพะโต๊ะไปสู่ทั้งจังหวัดชุมพร

ธนาคารต้นไม้ทั้ง 3 แห่งมีกิจกรรมในแปลงธนาคารต้นไม้ของสมาชิกกลุ่มเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมชุมชนให้ยั่งยืนในลักษณะเดียวกัน โดยการยึดหลักการของการอนุรักษ์ อันได้แก่ การจัดการเก็บรักษาทรัพยากรสิ่งแวดล้อมในมิติของดิน น้ำ ป่า รวมถึงการใช้ประโยชน์จากต้นไม้ที่เกิดขึ้นในแปลงอีกทั้งเก็บเมล็ดพันธุ์ แล้วนำมาขยายพันธุ์ ตลอดจนการฟื้นฟูและพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยการปรับเปลี่ยนจากการปลูกพืชเชิงเดี่ยวที่ใช้สารเคมีมาเป็นการปลูกพืชผสมผสานเกษตรอินทรีย์หรือเกษตรไร้สารพิษ ทำให้ดินอุดมสมบูรณ์และมีความชุ่มชื้น รวมถึงการฟื้นฟูป่าที่สูญหายไปด้วยการปลูกป่าพร้อมทั้งการนำทรัพยากรที่เกิดขึ้นในแปลงธนาคารต้นไม้ไปใช้ประโยชน์ โดยการนำไปไม้ที่ร่วงหล่นในแปลงมาทำเป็นดินใบไม้ การนำต้นไม้ที่สามารถไปใช้ประโยชน์มาทำเป็นสิ่งก่อสร้าง เพิ่มป่าทดแทนที่นำออกไป ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Sarawadi et al. (2020) ซึ่งพบว่าดินและอากาศชุ่มชื้น สิ่งแวดล้อมดีขึ้น เพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพกลายเป็นแหล่งอาหารตามธรรมชาติที่สำคัญ ซึ่งผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการปลูกต้นไม้เพื่อฟื้นฟูระบบนิเวศ ในภาคชนบทจะสำเร็จได้ต้องสอดคล้องกับบริบท ชุมชน ตรงกับปัญหา ความต้องการของชาวบ้าน มีหน่วยงานสนับสนุนที่เหมาะสมและดำเนินการได้ต่อเนื่อง อีกทั้งเป็นไปในแนวทางผลการศึกษาของ Suwan et al. (2020) ซึ่งพบว่า โครงการธนาคารต้นไม้เป็นโครงการที่สนับสนุนให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่เกษตรเดิมที่เสื่อมโทรม เป็นการอนุรักษ์ป่าไม้ ดิน และน้ำ การศึกษาต่อไปจึงต้องคำนึงถึงผลประโยชน์ด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรความหลากหลายทางชีวภาพ อีกทั้งยังสอดคล้องจากงานวิจัยของของ Poudyal et al. (2015) ที่ชี้ให้เห็นว่า เครดิตคาร์บอนชดเชย การตลาดที่เกิดจากโครงการป่าในเมืองสามารถช่วยให้เมืองและรัฐบาลท้องถิ่นบรรลุเป้าหมายทางการเงินที่พึ่งตนเองได้และความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม

กิจกรรมในแปลงของสมาชิกกลุ่มธนาคารต้นไม้ ที่เป็นการจัดการให้เกิดความยั่งยืนในด้านสิ่งแวดล้อม ในทั้ง 3 แห่ง เป็นการนำหลักการของการอนุรักษ์ที่ลักษณะเดียวกัน อันได้แก่ การจัดการเก็บรักษาทรัพยากร โดยนำเมล็ดพันธุ์ มาขยายพันธุ์ เพาะกล้าพันธุ์ไม้ การฟื้นฟูและพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม โดยการปรับเปลี่ยนจากพืชเชิงเดี่ยว มาเป็นการปลูกป่า 3 อย่าง ประโยชน์ 4 อย่าง ทำให้ดินอุดมสมบูรณ์ ให้มีความชุ่มชื้น และการนำทรัพยากรที่มีอยู่ในธนาคารต้นไม้ไปใช้ประโยชน์ มาทำเป็นสิ่งก่อสร้าง เพิ่มป่าทดแทนที่นำออกไป และนำแนวคิดจากธนาคารต้นไม้ ในหมู่บ้าน ออกไปสู่ในระดับตำบล อำเภอและจังหวัดต่อไป

กิจกรรมในแปลงธนาคารต้นไม้ของสมาชิกกลุ่ม เพื่อยกระดับเศรษฐกิจครัวเรือนตามหลักการพัฒนาเศรษฐกิจแนวใหม่ (BCG Economy)

ธนาคารต้นไม้บ้านถ้ำเสือ จังหวัดเพชรบุรี มีกิจกรรมเพาะกล้าพันธุ์ไม้และคาร์บอนเครดิต (Bio Economy) ทำดินใบไม้ เฝ้าถ่าน และเก็บน้ำส้มควันไม้ (Circular Economy) และ การเปิดศูนย์การเรียนรู้ โฮมสเตย์ (Homestay) และ แหล่งท่องเที่ยว (Green Economy)

ธนาคารต้นไม้วนเกษตรเขาฉกรรจ์ จังหวัดสระแก้ว มีกิจกรรมเพาะกล้าพันธุ์ไม้จำหน่าย (Bio Economy) การทำดินใบไม้ เฝ้าถ่านและเก็บน้ำส้มควันไม้ (Circular Economy) เปิดศูนย์อบรมเรียนรู้ 3 ข (ขึ้น เข้ม ขึ้น) เปิดโรงแปรรูปไม้ เปิดห้องเรียนรู้ เป็นมหาวิทยาลัยชีวิต (Green Economy)

ธนาคารต้นไม้บ้านคลองเรือ จังหวัดชุมพร มีกิจกรรมเพาะกล้าพันธุ์ไม้และ คาร์บอนเครดิต (Bio Economy) ทำดินใบไม้ เฝ้าถ่าน และเก็บน้ำส้มควันไม้ (Circular Economy) และ การเปิดศูนย์การเรียนรู้ โฮมสเตย์ (Homestay) และ แหล่งท่องเที่ยว (Green Economy)

ทั้ง 3 แห่งมีกิจกรรมในแปลงธนาคารต้นไม้ของสมาชิกกลุ่ม เพื่อยกระดับเศรษฐกิจครัวเรือนสู่ความยั่งยืนตามหลักการพัฒนาเศรษฐกิจแนวใหม่ (BCG Economy) ตามภาพใน Figer 2 และ กิจกรรมใน Table 1



Figur 2 Burning charcoal to make wood vinegar Planting tree seedlings Training tourist attraction Homestay accommodation.

Table 1 Summary of tree bank activity plans for environmental management and household economic development of three model tree banks in 3 regions.

Operation	Tree bank creation activity		
	Khao Chakan Agroforestry Tree Bank, Khao Chakan, Sa Kaeo	Ban Khlong Ruea Tree Bank, Phato ,Chumphon	Ban Tham Suea Tree Bank ,Kaeng Krachan, Phetchaburi
Operate a tree bank. (years)	Starting from 2008 to present, total 14 years.	Starting from 2007 to present, total 15 years.	Starting from 2007 to present, total 15 years.
Sustainable community environmental management.	- Storage and preservation Restoration and development of resources and the environment. -Utilizing resources and the environment in the tree bank.	- Storage and preservation Restoration and development of resources and the environment. -Utilizing resources and the environment in the tree bank.	- Storage and preservation Restoration and development of resources and the environment. -Utilizing resources and the environment in the tree bank.
Upgrading the household economy towards sustainability according to new economic development principles. (BCG Economy)	- Bio economy Planting tree seedlings for sale - Circular economy Make leaf soil, burn charcoal and collect wood vinegar. - Green economy Open a learning training center (3 B), open a wood processing plant, open a learning room of the Institute for the People. (University of Life)	- Bio economy Planting tree seedlings , carbon credits - Circular economy Make leaf soil, burn charcoal and collect wood vinegar. - Green economy It is a learning center, homestay, tourist attraction.	- Bio economy Planting tree seedlings , carbon credits - Circular economy Make leaf soil, burn charcoal and collect wood vinegar. - Green economy It is a learning center, homestay, tourist attraction.
Sustainable development goals. (SDGs)	Goal 1: Eliminate poverty Goal 2: End hunger and promote sustainable agriculture. Goal 3: Ensure people live healthy lives. Goal 13: Solve global warming problems Goal 15: Restore and support the sustainable use of terrestrial ecosystems.	Goal 1: Eliminate poverty Goal 2: End hunger and promote sustainable agriculture. Goal 3: Ensure people live healthy lives. Goal 13: Solve global warming problems Goal 15: Restore and support the sustainable use of terrestrial ecosystems.	Goal 1: Eliminate poverty Goal 2: End hunger and promote sustainable agriculture. Goal 3: Ensure people live healthy lives. Goal 13: Solve global warming problems Goal 15: Restore and support the sustainable use of terrestrial ecosystems.
The abundance of perennial plants in the tree bank plot. ($R_2=s/\sqrt{n}$)	$R_2 = (50 / \sqrt{400}) = 2.5$ -Number of species(s) (s) : 50 species -Number of standing trees (n) : 400 -Multiple value (R_2) : 2.5	$R_2 = (45 / \sqrt{100}) = 4.5$ -Number of species (s) : 45 species - Number of standing trees (n) : 100 -Value of multiplicity(R_2) : 4.5	$R_2 = (40 / \sqrt{144}) = 3.33$ -Number of species (s) : 40 species - Number of standing trees (n) : 144 -Value of multiplicity (R_2) : 3.33
Expanding the area of tree bank operations.	From the tree bank in the village, go out into Khao Chakan Subdistrict, Khao Chakan District. Going to the whole Sa Kaeo province And it is a place for training 3B (intensive level) where people from all over the country, 77 provinces come to train, a total of 50 batches.	From the tree bank in the village, going out into Pak Song Subdistrict. Phato District to the whole of Chumphon Province.	From the tree bank in Ban Tham Suea village, it goes into Kaeng Krachan Subdistrict, Kaeng Krachan District, and into the entire Phetchaburi Province.

มิติของการจัดการที่เกี่ยวกับเศรษฐกิจในครัวเรือน โดยมีลักษณะเดียวกัน คือ การเผาถ่าน เก็บน้ำส้มควันไม้ เพาะกล้าพันธุ์ไม้ ทำดินใบไม้ ส่วนที่มีความแตกต่างกันไปนั้นคือ การทำโฮมสเตย์ การคิดคำนวณคาร์บอนเครดิต รวมถึงการทำศูนย์ปฏิบัติการเรียนรู้ เป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ การรวมสมาชิกเป็นวิสาหกิจชุมชน โดยสามารถสร้างรายได้ให้ครัวเรือนในชุมชนที่มีธนาคารต้นไม้ ส่งผลให้เกิดกิจกรรมอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและยกระดับเศรษฐกิจชุมชน ตามหลัก BCG Model อย่างเป็นรูปธรรม และส่งเสริมการเรียนรู้การจัดการธนาคารต้นไม้ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGs) ที่สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติสรุปไว้ โดยสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ (UN) อย่างน้อย 5 เป้าหมาย ได้แก่ เป้าหมายที่ 1 ขจัดความยากจน เป้าหมายที่ 2 ยุติความหิวโหยและส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 3 สร้างหลักประกันให้คนมีชีวิตที่มีสุขภาพดี เป้าหมายที่ 13 แก้ปัญหาโลกร้อน เป้าหมายที่ 15 พินิจและสนับสนุนการใช้ระบบนิเวศบนบกอย่างยั่งยืน (Office of the National Economic and Social Development Board, 2017) และสอดคล้องกับการวิจัย ของ Suwan et al. (2020) ผลการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทาง เศรษฐศาสตร์ของโครงการธนาคารต้นไม้บ้านถ้ำเสือและได้ทำการคิดมูลค่าคาร์บอนที่กักเก็บในเนื้อไม้ โดยได้รับเงินสนับสนุนจาก ธ.ก.ส. ภายใต้โครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก ตลอดจนการรวมกลุ่มของสมาชิกในโครงการธนาคารต้นไม้ ก่อตั้งโฮมสเตย์ เกิดรายได้ และสร้างอาชีพ ให้สมาชิก และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vincentet et al. (2002) ซึ่งพบว่าผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นอันเป็นผลมาจากการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงนิเวศของชุมชน อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Salam et al. (2000) ซึ่งพบว่าการปรับปรุงพื้นที่ป่าที่อยู่อาศัย และการจัดการป่าไม้ที่อยู่อาศัยอย่างเหมาะสมสามารถบรรเทาความยากจนของชาวชนบทโดยการเพิ่มรายได้โดยรวมของครัวเรือน รวมถึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Asaah et al. (2011) พบว่าการปลูกต้นไม้เป็นการสร้างโอกาสในการสร้างรายได้จากเรือนเพาะชำต้นไม้ในหมู่บ้าน

สรุปผลการศึกษา

ธนาคารต้นไม้ทั้ง 3 แห่ง ที่เกิดขึ้นในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ได้ฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมในชุมชนโดยยึดหลัก วนเกษตร และการปลูกป่า 3 อย่าง เพื่อประโยชน์ 4 อย่าง ทำให้แปลงธนาคารต้นไม้มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง เกิดระบบนิเวศที่สมบูรณ์ ดิน น้ำ ป่า สิ่งมีชีวิตและมนุษย์ได้อยู่ร่วมกันอย่างเกื้อกูล ช่วยยกระดับเศรษฐกิจครัวเรือนที่ดีขึ้นด้วยการใช้กลวิธีและยึดหลักการให้คุณค่าและมูลค่าของต้นไม้ ให้ต้นไม้คงยืนต้นอยู่และสามารถใช้เป็นหลักประกันกู้เงินจากสถาบันการเงินต่างๆ ธ.ก.ส. เป็นสถาบันการเงินแห่งแรกที่สนับสนุนธนาคารต้นไม้อย่างเป็นระบบ ส่งผลให้เกิดกิจกรรมอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและยกระดับเศรษฐกิจชุมชน ตามหลัก BCG Model อย่างเป็นรูปธรรม และส่งเสริมการเรียนรู้การจัดการธนาคารต้นไม้ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGs) อย่างน้อย 5 เป้าหมาย ได้แก่เป้าหมายที่ 1 2 3 13 และ 15 โดยมีมุ่งขจัดความยากจน ยุติความหิวโหยและส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน สร้างหลักประกันให้คนมีชีวิตที่มีสุขภาพดี แก้ปัญหาโลกร้อน และพินิจและสนับสนุนการใช้ระบบนิเวศบนบกอย่างยั่งยืน ตามลำดับ รัฐบาลจึงควรได้กำหนดเป็นนโยบายระดับชาติในการส่งเสริมการสร้างธนาคารต้นไม้ในชุมชนทั่วประเทศอย่างเป็นระบบให้สำเร็จภายในระยะเวลา 5 ปี เพื่อให้เกิดผลต่อการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ประธานและคณะกรรมการ ที่เป็นต้นแบบ ทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ ธนาคารต้นไม้วนเกษตรเขาฉกรรจ์ ตำบลเขาฉกรรจ์ อำเภอเขาฉกรรจ์ จังหวัดสระแก้ว ธนาคารต้นไม้บ้านถ้ำเสือ ตำบลแก่งกระจาน อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี และ ธนาคารต้นไม้บ้านคลองเรือ ตำบลปากทรง อำเภอพะโต๊ะ จังหวัดชุมพร ที่ให้ข้อมูลในการวิจัยเกี่ยวกับธนาคารต้นไม้และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ที่สนับสนุนให้งานวิจัยประสบผลสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Asaah, E. K., Tchoundjeu, Z., Leakey, R. R., Takouasting, B., Njong, J., & Edang, I. (2011). Trees, agroforestry and multifunctional agriculture in Cameroon. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9(1), 110-119.
- Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives. (2015). *Sufficient, Prosperous, Sustainable Tree Bank*. Retrieved from: <https://www.baac.or.th/treebank/baac-tree-bank-2015.pdf>. (in Thai).
- Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives. (2022). *BAAC Joins in Planting Forests in Honor of His Majesty the King Her*

- Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn Support Increasing Green Areas, Reducing Global Warming and Generating Income from Carbon Credit, News No. 42/2565, 16 June 2022.** Retrieved from: https://media.thaigov.go.th/uploads/document/142/2022/06/pdf/Doc_20220616160858000000.pdf. (in Thai).
- Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives & Kasetsart University. (2019). **Wood Valuation Manual**. Retrieved from: <https://anyflip.com/monex/vxan> (in Thai).
- Chambers, R., & Leach, M. (1989). Trees as savings and security for the rural poor. **World Development**, 17(3), 329-342.
- International Health Policy Program. (2021). **Review Report Economic and Social Impacts of the COVID-19 Outbreak at the Global Level and in Thailand**. Noncommunicable Diseases Division, Department of Disease Control. (in Thai).
- Katchwattana, P. (2022). **Extending the Success of Ban Tham Suea 'Bank of Trees' Turns into a Low-Carbon Community Tourist Destination Prototype BCG Model of Thailand**. Retrieved from: <https://www.salika.co/2022/09/08/tree-bank-to-community-tourism-model-at-tamsua/>. (in Thai).
- Lertwuthirak, S. (2022). Private Sector Participation Model in Tree Planting for Reduce global warming. **Journal of Social Sciences for Local Development, Rajabhat Mahasarakham University**, 6(2), 57-64. (in Thai).
- Menhinick, E. F. (1964). A Comparison of Some Species-Individuals Diversity Indices Applied to Samples of Field Insects. **Ecology**, 45, 859-861.
- Office of the National Economic and Social Development Board. (2017). Thailand route towards sustainable development goals. **Economic and Social Journal**, 54(4), 1-11. (in Thai).
- Poudyal, N. C., Bowker, J. M., & Siry, J. P. (2015). Factors influencing buyers' willingness to offer price premiums for carbon credits sourced from urban forests. **International Journal of Sustainable Society**, 7(3), 205-220.
- Rasarin, R. (2020). **58 Types of Trees that can be used as Collateral for Loans**. Retrieved from: <https://www.lumpsum.in.th/knowledge/read/58-species-of-trees>. (in Thai).
- Salam, M. A., Noguchi, T., & Koike, M. (2000). Understanding why farmers plant trees in the homestead agroforestry in Bangladesh. **Agroforestry Systems**, 50(1), 77-93.
- Sarawadi, D., Simaraks, S., & Laohasiriwong, S. (2020). Communal Tree Bank of Thalee Village: Its Contribution to Socioeconomic and Environmental Benefits. **Mekong Chi Mun Art and Culture Journal**, 6(2), 211-242. (in Thai).
- Sripoona, S., Laobusnanant, P., Chamchoy, N., & Boonvarichchananan, B. (2021). The Community Network Collaboration of Utilization Management on Non hin phueng Community Forest to Sustainability of Prachinburi, Thailand. **Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry (TOJQI)**, 12(7), 9595-7603. (in Thai).
- Sripoona, S. (2023). **Environmental Studies and Sustainable Development**. Document Teaching Doctor of Philosophy Curriculum Department of Environmental Studies, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the royal patronage Pathum Thani Province. (in Thai).
- Starfinger, M. (2021). **Financing Smallholder Tree Planting: Tree collateral & Thai 'Tree Banks'-Collateral 2.0?**. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837721004889>
- Suwan, A., Vijiitsrikamol, K., & Diloksumpun, S. (2020). Value Analysis Economics of Tham Sua Tree Bank Project, Phetchaburi Province. **Journal of Agricultural Research and Extension**, 37(3), 118-130. (in Thai).
- Seub Naksathien Foundation. (2022). **Forest Situation 2022**. Retrieved from: <https://www.seub.or.th/document/2023-235>. (in Thai).
- TV Burapha Company Limited. (2017). **Tree Bank Guide according to the Pilot Project for Planting and Evaluating Trees**. First Offset (1993) Company Limited. (in Thai).
- Vincent, V. C., & Thompson, W. (2002). Assessing community support and sustainability for ecotourism development. **Journal of Travel Research**, 41(2), 153-160.