



# วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร

สำหรับวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปีที่ 41 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2567

ISSN 2985-0118 (Online)

ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในระยะออกดอกถึงติดผลของต้นลำไย

วินัย วิริยะอลงกรณ์ ..... 1-13

ผลของวัสดุเพาะจากเศษเหลือชีวมวลจากอ้อยและข้าวต่อการเจริญเติบโต และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ในต้นอ่อนฟ้าทะลายโจร (*Andrographis paniculata* (Burm. F) Nees)

เพ็ญภา ธาณะวิโรจน์ อัญชนา สุมจิตร์ พร้อมพงษ์ ลาหุณะ รัตติกาล เสนน้อย รัตติจา รัตนประเสริฐ และรัชณี พุทธา ..... 14-25

การตรวจสอบยีนต้านทานและการประเมินความต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งในข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในบางพื้นที่ของภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย

สำโรชา ทวาศปกรณ์ เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ สิทธิชัย ลุดเก่า และวันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ ..... 26-40

ผลของชนิดแมลงอาศัยต่อชีววิทยาของแตนเบียน *Microplitis manilae* Ashmead (Hymenoptera: Braconidae)

ณัฐริกา สีขาว เบญจคุณ แสงทองพราว และอัญชญา ทานเจริญ ..... 41-51

การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของคาร์บอนด้วยพลาสมาความดันบรรยากาศ สำหรับการแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากพริกเพื่อควบคุมไรศัตรูผึ้ง

วิรัตน์ ไชยมณี พรพิมล พาชู ประดุง สวนพุมิ จีราพัฒน์ จักรเงิน และธรรมบุญ บุญมี ..... 52-64

การใช้ฟรีโอบีโอดีทในปลานิล

อรอนงค์ ทับทิม วันอาสาฬห นนกระโทก และชนกันต์ จิตมนัส ..... 65-82

คุณสมบัติของแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากน้ำในบ่อเลี้ยงปลาเพื่อใช้เป็นโพรไบโอติกในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

สมพงษ์ สุขชาวาร์ช วราภรณ์ สีหาโมก เกศกนก พงษ์พิชิต อภิสิทธิ์ โสภาส กมลรัตน์ บุญบางขันธุ์ ..... 83-96

การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงคอง

พิชญอร ไหมสุทธิสกุล วิชฌณี ยืนยงพุทธกาล และเสาวนีย์ เอี่ยมสกุลรัตน์ ..... 97-109

คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และปริมาณกลูโคแมนแนนของผงบุกจากหัวบุกพันธุ์เนื้อทราย (*Amorphophallus muelleri*) ที่ใช้วิธีการทำแห้งและวิธีการสกัดแตกต่างกัน

ภัทราภรณ์ ศรีสมรรถการ และสุภาวดี แซ่ม ..... 110-122

ผลของสารละลายโซเดียมโบรไมด์และโซเดียมไอโอดีนต่อการเกิดสีน้ำตาลและการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุง

พรมงคล จิระกิตติคุณย์ กัลยา ศรีพงษ์ อภิรัตน์ อุทัยรัตน์กิจ และผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์ ..... 123-134

การศึกษาคุณสมบัติของน้ำโปรตีนถั่วเขียว

นิภัชราพร สภาพร และปรัชญา ชะอุ่มผล ..... 135-144

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟ

วงศ์ภาว วรศรีรัตน์ กมลพร มีหนองใหญ่ ชนิดา ประสิทธิ์กาญจน์ ณัฐริกา สักปง และสุยมพร รัตนพันธ์ ..... 145-156

การใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลเพื่อศึกษาสมบัติบางประการของดินในพื้นที่เสี่ยงการเป็นดินกรวดและดินเค็มภาคกลางของประเทศไทย

ทัศนีย์ รัตน์แก้ว ..... 157-174

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชนิดป่าของประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2561–2562 ด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศศาสตร์

วิระภาส คุณรัตน์ศิริ วิชฌณ ดำรงสังข์ศิริ นภาพร คำมิม และจุฑามาศ ศรีคงรักษ์ ..... 175-184

ประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่อถังหมักปุ๋ยครัวเรือนขนาดเล็กสำหรับขยายอินทรีย์และเศษอาหาร

ฐปน ชื่นบาล และศิริภรณ์ ชื่นบาล ..... 185-198

ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคการผลิตข้าวของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่เป็นสมาชิกและไม่ใช่สมาชิกกลุ่มเกษตรกรกรณาแปลงใหญ่ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน

อารีย์ เชื้อเมืองพาน มนตรี สิงหواره และอัครวิน ฝ่ายอำนวยวิทย์ ..... 199-209

ข้าวเหนียวเดอกริล: การพัฒนาวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ในยุคดิจิทัล

ธัญลักษณ์ เมืองโคตร บุษกร ครุจันต์ เปรมฤดี จิตรเกื้อกุล ศิรินา คำทะเนตร พัทธภรณ์ ถิ่นจันทร์ ..... 210-218

การออกแบบตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้งสำหรับวิสาหกิจชุมชน กลุ่มผู้ผลิตปลาชีวแก้วเพื่อจำหน่าย จังหวัดอุบลราชธานี

รัชดา อุทัยยังค์ และกิตติวัช บุญทวี ..... 219-235

ความพึงพอใจของผู้ประกอบการต่อบัณฑิตของสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

กฤษฎา เจริญมูล กมลมนัส วัฒนา และพัชรา บำรุง ..... 236-247

การพัฒนาโมเดลข้อบัญญัติท้องถิ่นเพื่อควบคุมกิจกรรมทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดมลพิษทางแสง

พิทักษ์ ศศิสุวรรณ ..... 248-260

AGRI RESEARCH JOURNAL

# วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร

## JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

<b>ที่ปรึกษา</b>	อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พาวิน มะโนชัย รองผู้อำนวยการสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร ฝ่ายวิจัย รองผู้อำนวยการสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร ฝ่ายบริการวิชาการ	
<b>บรรณาธิการ</b>	รองศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีเงินยวง	
<b>รองบรรณาธิการ</b>	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชญ์ภาส สังขาลี	
<b>บรรณาธิการผู้ช่วย</b>	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธีระ เหมฮัก อาจารย์ ดร. จุฑามาศ อาจนาเสียว	
<b>กองบรรณาธิการ</b>	ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.อนุรักษ์ ปัญญาวัฒน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. อาวี วิบูลย์พงศ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. ดนัย บุญเกียรติ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. สฤษดิ์ชัย จตุรสิทธา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ศาสตราจารย์ ดร. ดอกกรัก มารอด	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	ศาสตราจารย์ ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	ศาสตราจารย์ ดร.ประพนธ์ จันทร์โณทัย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล สิทธิกรกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
	ศาสตราจารย์ ดร.สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ศาสตราจารย์เฉลิมพล เข้มเพชร	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	รองศาสตราจารย์ ดร.วรทัศน์ อินทร์คัมพร	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	รองศาสตราจารย์ ดร. บุญมี ศิริ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	รองศาสตราจารย์ ดร.วันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
	รองศาสตราจารย์ ดร. จรัญธร บุญญาภาพ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
	รองศาสตราจารย์ ดร. ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ จรรยาสุภาพ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	รองศาสตราจารย์ ดร. อภินันท์ สุวรรณรักษ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	รองศาสตราจารย์อ้อมทิพย์ เมฆรักษาวิช แคมป์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	รองศาสตราจารย์ประวีตร พุทยานนท์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะนุช เนียมทรัพย์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระพงษ์ สว่างปัญญากร	มหาวิทยาลัยแม่โจ้

<b>ฝ่ายจัดทำวารสารฯ</b>	นางทิพย์สุดา ปุกมณี	นางสาวรังสิมา อัมพวัน
	นางสาวอัมภา สันทราย	นางสาวรัญญา ขยัน

**ฝ่ายประชาสัมพันธ์และเผยแพร่** นายปริญญา เพ็ชรอุตสาห์

**จัดทำโดย** กองบริหารงานบริการวิชาการ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร  
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290  
โทรศัพท์ 0-5387-3411 โทรสาร 0-5387-3418  
E-mail: Mju\_journal@gmaejo.mju.ac.th  
Web site: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index>

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร เป็นวารสารทางวิชาการของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่งานวิจัยและบทความทางวิชาการด้านการเกษตร เป็นวารสารราย 4 เดือน กำหนดออกปีละ 3 ฉบับ โดยมีการเผยแพร่ออนไลน์ (Journal Online) ในรูปวารสารทางอิเล็กทรอนิกส์ ISSN 2985-0118 (Online) สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตร

## บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร ปีที่ 41 ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม-สิงหาคม 2567) เป็นฉบับในช่วงฤดูกาลเพาะปลูกพืชหลายชนิด ในหลายพื้นที่ยังคงประสบปัญหาทั้งฝนทิ้งช่วง และน้ำท่วมจากพายุ ส่งผลให้บางพื้นที่ประสบปัญหาการเพาะปลูก และ/หรือพื้นที่การเพาะปลูกพืชถูกทำลาย การศึกษาวิจัยการผลิตและส่งเสริมวิชาการเกษตรภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาพลมฟ้าอากาศ ต้องใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมให้เหมาะสม โดยเฉพาะกิจกรรมตั้งแต่ภาคการผลิตจนถึงการแปรรูป ที่ต้องเคร่งครัด ควบคุม ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

วารสารวิจัย ฯ ฉบับนี้ มีบทความที่น่าสนใจและหลากหลายตั้งแต่ระดับต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ จำนวน 20 เรื่อง อาทิ การใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลเพื่อศึกษาสมบัติบางประการของดินในพื้นที่เสี่ยงการเป็นดินกรดและดินเค็ม ภาคกลางของประเทศไทย การศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชนิดป่าของประเทศไทยด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศศาสตร์ คุณสมบัติทางเคมีกายภาพและปริมาณกลูโคแมนแนนของผงบุกจากหัวบุกพันธุ์เนื้อทราย ที่ใช้วิธีการทำแห้งและวิธีการสกัดแตกต่างกัน คุณสมบัติของแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากน้ำในบ่อเลี้ยงปลา เพื่อใช้เป็นโปรไบโอติกในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟ การตรวจสอบยีนต้านทานและการประเมินความต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งในข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในบางพื้นที่ของภาคเหนือ เป็นต้น

กองบรรณาธิการ วารสารวิจัย ฯ หวังว่าท่านผู้อ่านจะได้รับความรู้ ได้แนวคิดในการต่อยอดศึกษาวิจัย เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านการเกษตรให้ดียิ่ง ๆ ขึ้นต่อไป แล้วพบกันใหม่ในฉบับสุดท้ายของปีครับ



รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง

บรรณาธิการวารสารวิจัยฯ

## ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในระยะออกดอกถึงติดผลของต้นลำไย

### Effect of Calcium Chloride on Physiological Change in Flowering Phase to Fruit Set of Longan Trees

วินัย วิริยะอลงกรณ์

Winai Wiriya-Alongkorn

คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

\*Corresponding author: naimiat56@gmail.com

Received: November 06, 2022

Revised: March 10, 2024

Accepted: May 09, 2024

#### Abstract

Longan (*Dimocarpus longan* Lour.) is an important economic fruit widely grown in Northern Thailand. The flowering on off-season of longan can be done by artificial flower induction by soil or foliar application of potassium chlorate. High temperatures or drought stress have negative effects on physiological changes of longan. The aim of this study was to decrease the high temperatures of longan leaves by foliar application of  $\text{CaCl}_2$ . The 'Daw' longan trees were planted in 14-inch of plastic bags under a plastic greenhouse at the Pomology farm, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, Thailand. The growing substrate was coco peat and coconut husk (1:1) with 1 liter of fertigation every day. The experiment design was a completely randomized design (CRD) with 5 treatments of  $\text{CaCl}_2$  spraying at 0, 0.5, 1, 2 and 4 mM. The result showed that  $\text{CaCl}_2$  had no significant effect on the quantum yield of PSII ( $\Phi_{\text{PSII}}$ ) and total chlorophyll (SPAD value). However, foliar spraying of  $\text{CaCl}_2$  did not make a significant difference in the maximum quantum yield of PSII (Fv/Fm) from January to March, but spraying of all  $\text{CaCl}_2$  concentrations maintained Fv/Fm efficiency and stomatal conductance better than no spraying in April. In addition, foliar treatment with 4 mM  $\text{CaCl}_2$  had a higher fruit set than other treatments.

**Keywords:** photosystem II, stomatal conductance, off season

#### บทคัดย่อ

ลำไยเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มีพื้นที่ปลูกแพร่หลายทางภาคเหนือของไทย การออกดอก

ของลำไยนอกฤดูทำได้โดยการใช้สารโพแทสเซียมคลอเรต ราบาดทางดินหรือพ่นทางใบ สภาวะอุณหภูมิสูงหรือสภาวะแห้งแล้งส่งผลกระทบต่อทางสรีรวิทยาของลำไย ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

หาวิธีลดอุณหภูมิของใบลำไยโดยการให้แคลเซียมคลอไรด์กับลำไยพันธุ์ต่อที่ปลูกในกระถางพลาสติกขนาด 14 นิ้วภายในโรงเรือนพลาสติก ณ แปลงลำไย สาขาไม้ผล คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ใช้ขุยมะพร้าวผสมกับกาบมะพร้าวเป็นวัสดุปลูก ให้สารละลายธาตุอาหารทางระบบน้ำวันละ 1 ลิตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) โดยพ่นแคลเซียมคลอไรด์ทางใบความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 2, 3, และ 4 mM พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของแสงที่สอง ( $\phi_{PSII}$ ) และค่าความเขียวของใบ (SPAD values) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่การพ่นแคลเซียมคลอไรด์ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของประสิทธิภาพของการทำงานของแสงที่สอง ( $F_v/F_m$ ) ในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม แต่การพ่นแคลเซียมคลอไรด์ทุกความเข้มข้นสามารถรักษาประสิทธิภาพของการทำงานของแสงที่สอง ( $F_v/F_m$ ) และค่าการนำไหลของปากใบได้ดีกว่าการไม่พ่นสารในเดือนเมษายน นอกจากนี้การพ่นแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 4 mM มีการติดผลมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ

**คำสำคัญ:** ประสิทธิภาพการทำงานของแสงที่สอง  
การนำไหลของปากใบ นอกฤดู

## คำนำ

ลำไย (*Dimocarpus longan* Lour.) เป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย สามารถปลูกได้เกือบทุกภาคของไทย ซึ่งพื้นที่ปลูกมากจะอยู่ทางภาคเหนือ เช่น จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และภาคตะวันออก เช่น จังหวัดจันทบุรี เป็นต้น ผลผลิตของลำไยสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศทั้งในรูปของผลสด อบแห้ง แช่แข็ง และลำไยกระป๋อง สร้างรายได้ปีละหลายพันล้านบาท (OAE, 2022) ปัจจุบันมีการส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตลำไยนอกฤดูโดยใช้สาร

โพแทสเซียมคลอไรด์ในการชักนำการออกดอกและติดผลเพื่อแก้ไขปัญหาผลผลิตลำไยล้นตลาด และเป็นกระจายผลผลิตให้ออกสู่ท้องตลาดอย่างต่อเนื่อง (Manochai *et al.*, 2005) อย่างไรก็ตามผลผลิตส่วนใหญ่ที่เก็บเกี่ยวได้ยังเป็นลำไยในฤดูมากกว่านอกฤดู ซึ่งทำให้เกษตรกรประสบปัญหาด้านราคา เนื่องจากมีผลผลิตมากกว่าความต้องการของผู้บริโภค ขณะเดียวกันพบปัญหาที่สำคัญของการผลิตลำไยนอกฤดู คือ ผลกระทบด้านการออกดอกและคุณภาพของผล ทั้งนี้เนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น สภาพอุณหภูมิสูงมาก และขาดแคลนน้ำ (Ongprasert *et al.* 2010) จากการรายงานของ Wiriya-Alongkorn *et al.* (2016) พบว่าอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเพิ่มสูงขึ้นทุก ๆ ปี ปริมาณน้ำฝนและการตกของฝนลดลงทุก ๆ ปี เช่นเดียวกัน มีผลกระทบต่อสภาพความเครียด การออกดอก และการติดผลของลำไย โดยเฉพาะอย่างยิ่งลำไยที่มีการผลิตนอกฤดู อาจเกิดสภาวะแล้งยาวนานกว่าปกติ สภาพอุณหภูมิสูงดังกล่าวก่อให้เกิดความเครียด และส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของลำไย ทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณ อากาศของลำไยที่ตกอยู่ในสภาวะเครียดจากสภาพอุณหภูมิสูงและได้รับน้ำน้อย ได้แก่ ใบไหม้บางส่วน (Toxic) การนำไหลของปากใบลดลง (การเปิดปิดของปากใบ) การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรากลดลง (Wiriya-Alongkorn, 2021) ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของรากหยุดชะงัก การออกดอกไม่สม่ำเสมอ และผลร่วงได้ในระยะเริ่มติดผล ใหม่ ๆ รวมทั้งผลแตกในระยะก่อนเก็บเกี่ยวได้

ปัจจุบันมีการใช้สารเคมีหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการช่วยลดความเครียดที่เกิดขึ้นกับพืชได้ดี ในสภาวะที่ไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ เช่น ในถั่วฝักยาว (*Vigna unguiculata* L. Walp.) มีรายงานว่า การพ่นแคลเซียมในรูปของไนเตรทความเข้มข้น 10 mM ทำให้ต้นมีน้ำหนักแห้งของยอดและรากเพิ่มสูงขึ้น และค่าประสิทธิภาพการทำงานของแสงที่สองของระบบแสงที่ 2 เพิ่มขึ้นสูงกว่าต้นควบคุม แต่ค่าการนำไหลของปากใบ

อัตราการคายน้ำ อัตราการสังเคราะห์แสงและค่าคาร์บอนไดออกไซด์ของใบ ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Bernardo *et al.*, 2006) งานทดลองในมะเขือเทศ พบว่าการให้แคลเซียมความเข้มข้น 1 mM ทำให้รักษาประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่ 2 อัตราการสังเคราะห์แสง ค่าการนำไหลของปากใบ ทำงานได้ตามปกติในสภาพเครียดจากอุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณ MDA ปริมาณอนุมูลอิสระ และการตายของเซลล์ที่ใบมะเขือเทศลดลง (Phingakan and Sakhonwasee, 2015)

แคลเซียมคลอไรด์เป็นธาตุอาหารพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชมีความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการนำมาใช้ทางการเกษตรเพื่อลดความเสียหายของพืชอันเนื่องจากความเครียดต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับพืช งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาบทบาทความสำคัญของแคลเซียมต่อการทนต่อความเครียดน้ำของลำไยที่ปลูกในกระถางที่มีการเจริญเติบโตในช่วงหน้าแล้ง ซึ่งมีอุณหภูมิของอากาศสูงเพื่อเป็นข้อมูลนำไปประยุกต์ใช้ในสภาพแปลงปลูกต่อไป

### อุปกรณ์และวิธีการ

คัดเลือกต้นลำไยพันธุ์อีดอ (กิ่งตอน) อายุ 1 ปี ที่ปลูกในกระถางพลาสติกขนาดกว้าง 14 นิ้ว โดยใช้ขุยมะพร้าวผสมกาบมะพร้าวเป็นวัสดุปลูก ให้สารละลายธาตุอาหารทางน้ำทุก ๆ 5 วัน ทำการทดลอง ณ แปลงสาขามัธยม 5 สำนักฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลป่าไผ่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ภายใต้โรงเรือนพลาสติก

กระตุ้นการออกดอกด้วยสารโพแทสเซียมคลอเรตอัตรา 0.05 กรัมต่อกระถาง และให้น้ำวันละ 1 ลิตร โดยความชื้นอยู่ระหว่าง 30-31 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก วัดจากเครื่อง IMKO's TRIME TDR-probes ผลิตจากประเทศเยอรมันนี้ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) มี 5 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ โดยให้ต้นเป็นซ้ำ ดังนี้ กรรมวิธีที่ 1) พ่นน้ำเปล่า กรรมวิธีที่ 2) พ่นสารแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 mM กรรมวิธีที่ 3) พ่นสารแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 mM กรรมวิธีที่ 4) พ่นสารแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2 mM และ กรรมวิธีที่ 5) พ่นสารแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 4 mM การพ่นสารแคลเซียมคลอไรด์จะพ่นทุก 7 วัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงแทงช่อดอกและติดผลเดือนละ 4 ครั้ง จำนวน 16 ครั้ง บันทึกข้อมูลทางสรีรวิทยาในเวลา 09.00-12.00 น. ของทุกครั้ง การวัดค่าต่าง ๆ ใช้ใบคู่ที่ 3-4 จากยอด โดยวัดค่าการนำไหลของปากใบ โดยใช้เครื่อง Leaf Porometer Model SD-1 ยี่ห้อ Decagon Devices 2365 NE Hopkins Court Pullman, WA 99163 USA ประสิทธิภาพการทำงาน ของแสงที่สอง โดยใช้เครื่อง FMS Fluorescence Monitoring System Hansatech Instruments Ltd. Narborough Road, Pentney, King's Lynn, Norfolk PE321JL, UK. ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (SPAD) โดยใช้เครื่อง Digital Chlorophyll Meter SPAD 502 plus และควบคุมความชื้นในวัสดุปลูก โดยใช้เครื่อง IMKO Precise Moisture Measurement ยี่ห้อ Material Moisture Sensor IMKO HD2-TRIME-PIC032DE จากประเทศเยอรมันนี้ บันทึกการติดผลเดือนละ 1 ครั้ง โดยมีกิจกรรมตาม Table 1

**Table 1** Dates of some activities and growth stages of longan in the experiment

Activates	Dates
Longan plantation in the plastic pot (14") by substrate culture and full irrigation all treatments and fertigation every 5 days	April 1, 2020
Application by potassium chlorate of 0.1 gram per tree	December 1, 2021
Start experiment and foliar application by CaCl <sub>2</sub> every 7 days and 1 liter per tree for irrigation everyday	December 10, 2021
Start measurement of physiological by Leaf Porometer, FMS 2+ Fluorescence Monitoring System, Digital Chlorophyll Meter SPAD 502 plus, IMKO Precise Moisture Measurement every 30 days	January 15, 2022
End of the experiment	May 15, 2022

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศในระหว่างการทดลอง พบว่า มกราคม ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2565 มีอุณหภูมิสูงและต่ำค่อนข้างแตกต่างกันมาก ซึ่งต่ำสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ โดยเฉลี่ยต่ำสุด 9 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิต่ำสุดค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ขณะเดียวกันอุณหภูมิสูงสุดยังได้เพิ่มสูงขึ้นแม้ว่าจะอยู่ในช่วงฤดูหนาว โดยเฉพาะเดือนกุมภาพันธ์ที่มีอากาศหนาวที่สุด แต่ช่วงเวลากลางวันยังมีอุณหภูมิสูงถึง 39 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นก็ยังเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะเดือนมีนาคม

และเมษายน ซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึง 41 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดยังเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เช่นเดียวกัน ด้านความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกถึงความแห้งแล้งในอากาศได้ พบว่าความชื้นในอากาศสูงสุดตลอดการทดลอง อยู่ระหว่าง 30-35 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความชื้นในอากาศต่ำสุดมีความแปรปรวนไปตามอุณหภูมิต่ำสุดที่เพิ่มขึ้นและลดลง กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิต่ำลงความชื้นในอากาศก็ลดต่ำลงเช่นกัน อย่างไรก็ตามในช่วงเดือนมีนาคม ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นแต่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศกลับลดต่ำเหลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าสภาพอากาศแห้งและร้อนมาก หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นตามลำดับ

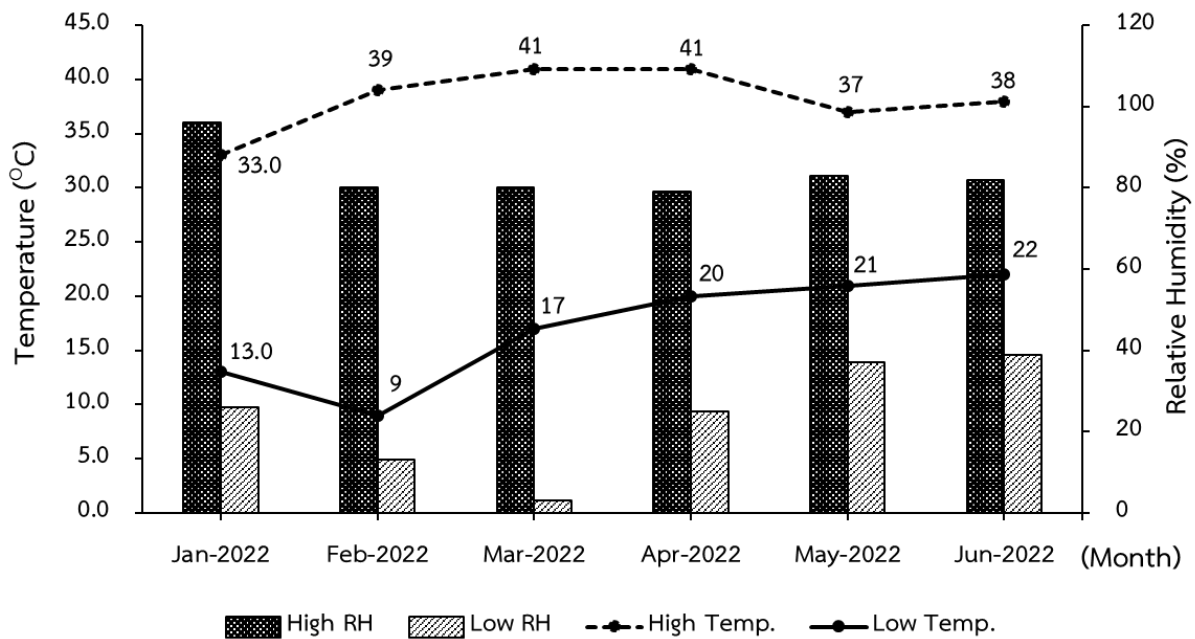


Figure 1 The impact of climatic variation between January 2022 to July 2022 in the area of the experimental

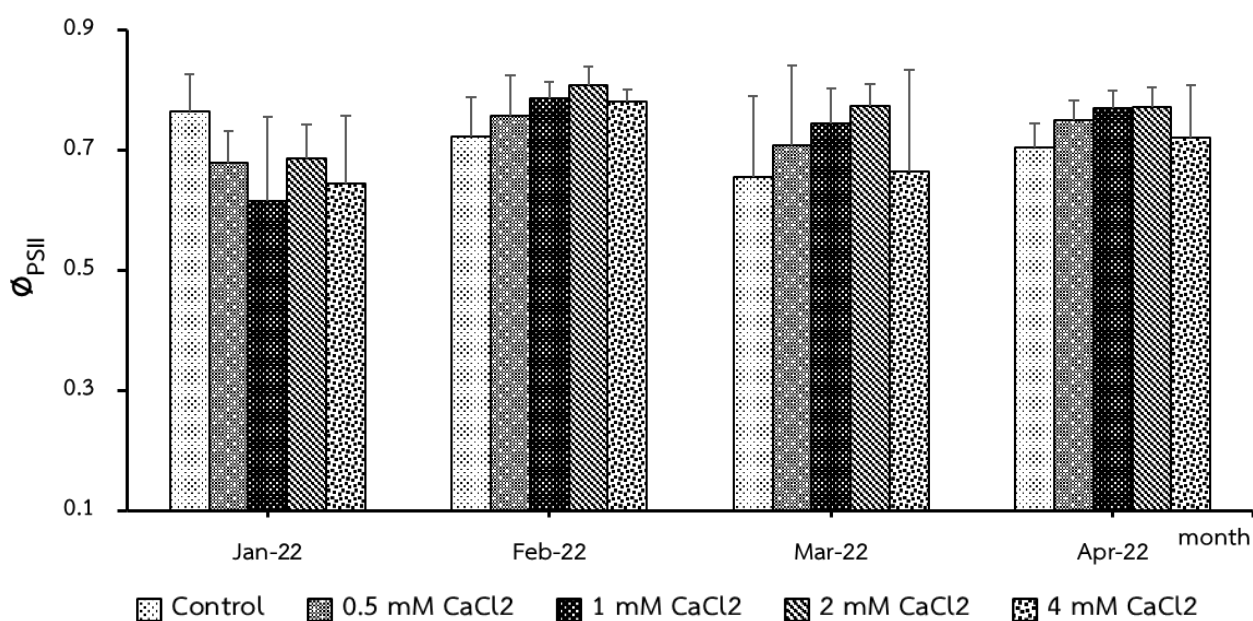
**ประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์แสงของระบบแสงที่สอง**

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ส่วนใหญ่มีระบบแสง 2 ระบบ คือ ระบบแสง I (Photosystem I; PSI) และระบบแสง II (Photosystem II; PSII) ระบบทั้งสองจะทำหน้าที่ร่วมกันเพื่อให้สามารถเกิดการส่งพลังงานในการสร้าง ATP และ NADPH กระบวนการเหล่านี้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนต่าง ๆ ที่สมบูรณ์ในสถานะที่พืชอยู่ในสภาพปกติ (ไม่เครียด) ระบบแสงที่สองถือว่าเป็นส่วนประกอบหลักของปฏิกิริยาแสง ดังนั้นการประเมินประสิทธิภาพ และความเสียหายของระบบแสงที่สองในสถานะเครียดสามารถทำได้โดยการวัดดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Baker, 2008) ซึ่งค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของระบบแสงที่สอง ( $\phi_{PSII}$ ) เป็นตัวกำหนดการสังเคราะห์แสงในระบบ PSII ในการขนถ่ายอิเล็กตรอนซึ่งหากค่านี้แสดงค่ามากหมายถึง

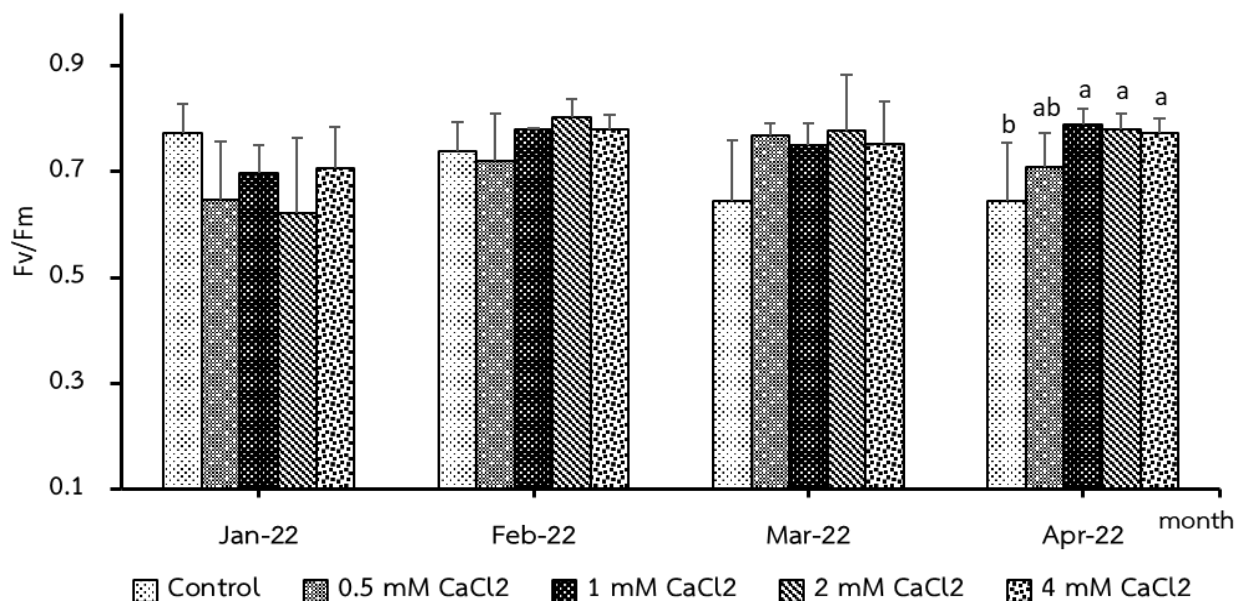
พืชนั้น ๆ มีความสามารถในการรับพลังงานแสงและเปลี่ยนเป็นพลังเคมีเพื่อขนถ่ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ดี ส่วนค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสูงสุดของระบบแสงที่สอง ( $F_v/F_m$ ) เป็นค่าที่ใช้วิเคราะห์ความเครียดของพืชโดยวัดจากค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ในระบบ Photosystem II ซึ่งพืชส่วนใหญ่เมื่ออยู่ในสภาวะปกติจะมีค่า  $F_v/F_m$  อยู่ที่ 0.83 หรือในช่วง 0.79-0.85 และหากว่ามีค่าต่ำกว่า 0.79 แสดงว่าพืชเริ่มเข้าสู่สภาวะเครียด เนื่องจากมีกระบวนการยับยั้งการสังเคราะห์แสง (Photoinhibition) เกิดขึ้น (Maxwell and Johnson, 2000) หลังการฉีดพ่นลำไยด้วยแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่าง ๆ กับลำไยของแต่ละเดือนที่มีอุณหภูมิสูงและมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ (Figure 1) ขณะที่มีการจำกัดการให้น้ำเพียงต้นละ 1 ลิตรต่อวันเท่านั้น พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของแสงที่สอง ( $\phi_{PSII}$ ) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อย่างไรก็ตามเป็นที่สังเกตว่าหลังการได้รับแคลเซียมคลอไรด์แล้ว 1 เดือน ประสิทธิภาพการทำงานของแสงที่สองทำงานได้มากกว่าต้นที่ไม่ได้พ่น (Figure 2) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการทำงานของแสงที่สอง ( $F_v/F_m$ ) พบว่าการพ่นแคลเซียมคลอไรด์ทำให้รักษาค่า  $F_v/F_m$  ไว้ได้ โดยเฉพาะในช่วงเดือนเมษายนซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงสุดและสะสมความร้อนมาตั้งแต่เดือนมีนาคม (Figure 3) ซึ่งการพ่นแคลเซียมคลอไรด์ทุกความเข้มข้นมีค่า  $F_v/F_m$  เท่ากับ 0.7096-0.7728 ขณะที่ต้นควบคุมมีค่า  $F_v/F_m$  เท่ากับ 0.6438 โดยมีความแตกต่าง

กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับต้นควบคุม อาจเป็นไปได้ว่าแคลเซียมคลอไรด์สามารถช่วยลดความเครียดได้ และส่งผลดีต่อการสังเคราะห์แสงได้ตามปกติ ซึ่งมีรายงานในการใช้แคลเซียมคลอไรด์กับมะเขือเทศ พบว่าสามารถรักษาประสิทธิภาพการทำงานของแสงที่สองไว้ได้ (Phingksan and Sakhonwasee, 2015) และการใช้แคลเซียมซิลิเกตยังสามารถช่วยให้ต้นมะเขือเทศมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงในส่วนหนึ่งของระบบแสงที่สองดีขึ้นในสภาวะเครียดเกลือ (Areerak and Sakhonwasee, 2020)



**Figure 2** Effect of CaCl<sub>2</sub> on the quantum yield of PSII ( $\Phi_{PSII}$ ) in longan trees during drought stress for 4 month; Each value is the mean of 5 samples (n=5). Error bars are the standard deviation (STD) of mean.

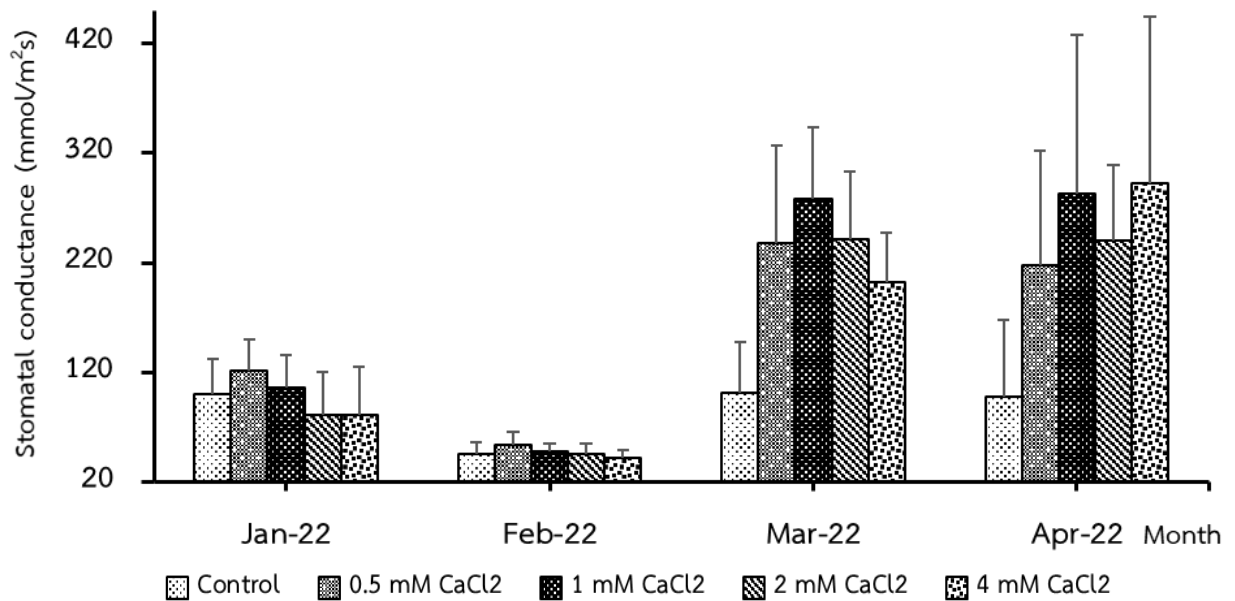


**Figure 3** Effect of CaCl<sub>2</sub> on the maximum quantum yield of PSII (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) in longan trees during drought stress for 4 month; Each value is the mean of 5 samples (n=5). Error bars are the standard deviation (STD) of mean.

**การนำไหลของปากใบลำไย (Stomatal conductance)**

การเปิดปิดของปากใบพืชเป็นการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใบพืชเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จากการพ่นแคลเซียมคลอไรด์กับลำไยที่อยู่ในสภาพจำกัดความชื้นและมีอุณหภูมิสูง พบว่าระยะแรกของการทดลอง (มกราคม ถึง กุมภาพันธ์) เป็นช่วงที่อุณหภูมิต่ำมาก (Figure 1) และลำไยถูกควบคุมการให้น้ำเพียงต้นละ 1 ลิตร มีค่าการนำไหลของปากใบอยู่ระหว่าง 42.40-121.88 mmol/m<sup>2</sup>s ถือว่าเป็นช่วงที่ทำให้เกิดภาวะเครียด แต่ทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4) ซึ่งสอดคล้องกับ Sritontip *et al.* (2010) รายงานว่าการให้สารโพแทสเซียมคลอไรด์มีผลให้การหายใจและการเปิดปิดของปากใบลำไยลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำ ในระยะต่อมาที่ลำไยได้รับแคลเซียมคลอไรด์มาระยะหนึ่งทำให้สามารถรักษาค่าการนำไหลของปากใบไว้ได้ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิที่สูงถึง 41°C. (Figure 1) การพ่นแคลเซียมคลอไรด์ทุกความเข้มข้น

สามารถรักษาอัตราการนำไหลของปากใบลำไยไว้ได้โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 217.34-291.86 mmol/m<sup>2</sup>s (Figure 4) ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับต้นควบคุมที่มีค่าการนำไหลปากใบเพียง 58.06-101.12 mmol/m<sup>2</sup>s แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมคลอไรด์สามารถรักษาค่าการนำไหลของปากใบไว้ได้ สอดคล้องกับ Phingkan and Sakhonwasee (2015) กล่าวว่า การพ่นแคลเซียมคลอไรด์กับมะเขือเทศมีผลช่วยการเพิ่มเสถียรภาพของเอนไซม์ Ribulose 1,5 bis-phosphate carboxylase หรือ Rubisco ซึ่งเป็นเอนไซม์ขนาดใหญ่มีมวลโมเลกุล 550 KD (Terashima *et al.*, 2011) และองค์ประกอบของระบบแสงที่สอง รวมไปถึงการช่วยให้ปากใบเปิด ซึ่งส่งผลให้การระบายความร้อน ออกจากใบและการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้จากงานทดลองของ Wiriya-Alongkom *et al.*, (2013) พบว่าลำไยที่อยู่ในสภาวะปกติจะมีค่าการนำไหลของปากใบไม่ต่ำกว่า 100 mmol/m<sup>2</sup>s

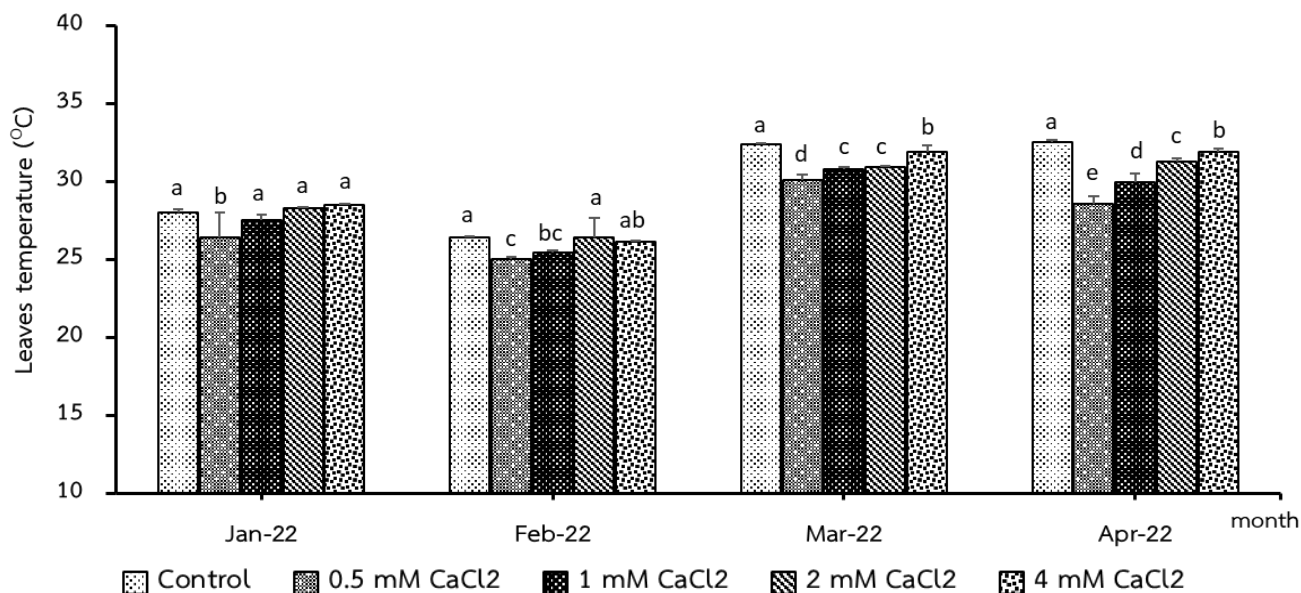


**Figure 4** Effect of CaCl<sub>2</sub> on the stomatal conductance in longan trees during drought stress for 4 month; Each value is the mean of 5 samples (n=5). Error bars are the standard deviation (STD) of mean.

### อุณหภูมิใบลำไย

ใบของพืชจัดเป็นอวัยวะที่มีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในสภาพปกติที่พืชได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมอุณหภูมิใบจะไม่สูงมากนัก ขณะที่ภายใต้สภาวะผิดปกติ เช่น การขาดน้ำ อาหาร หรือมีอุณหภูมิอากาศสูง การคายน้ำของพืชจะลดลงและปากใบจะปิดลง ขณะเดียวกันอุณหภูมิใบจะสูงขึ้นด้วย (Wiriya-Alongkorn *et al.*, 2013) ผลการพ่นแคลเซียม

คลอไรด์กับลำไยที่ได้รับน้ำน้อยและอุณหภูมิสูง โดยเฉพาะในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน ที่มีอุณหภูมิสูงถึง 41°C. (Figure 1) พบว่าแคลเซียมคลอไรด์สามารถรักษาอุณหภูมิใบไว้ได้ดีกว่าต้นควบคุม (Figure 5) แต่การใช้แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นที่สูงขึ้นมีผลต่ออุณหภูมิใบที่สูงขึ้น อาจจะต้องระมัดระวังในการใช้เพราะอาจจะมีผลต่อการเปิดของปากใบได้ ส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเช่นกัน

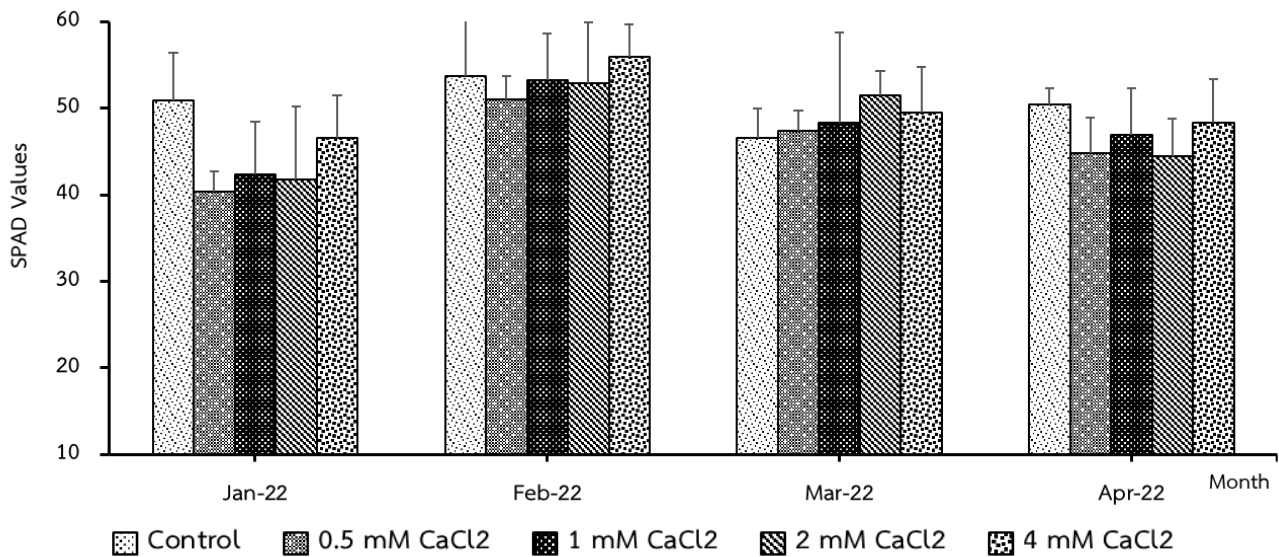


**Figure 5** Effect of CaCl<sub>2</sub> on the leaves temperature in longan trees during drought stress for 4 month; Each value is the mean of 5 samples (n=5). Error bars are the standard deviation (STD) of mean.

**ค่าความเขียวของใบ (SPAD values)**

จากการที่พ่นแคลเซียมคลอไรด์กับต้นลำไยที่อยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงและได้รับน้ำจำกัด พบว่าไม่มีผลต่อค่าความเขียวของใบแต่อย่างใด ทั้งต้นที่ได้รับและไม่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ตลอดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อคลอโรฟิลล์ในใบของลำไย (Figure 6) อย่างไรก็ตามแคลเซียมคลอไรด์อาจจะมีส่วนต่อการลดความเครียดของพืชทำให้ลำไยสามารถสร้างคลอโรฟิลล์ขึ้นมาได้ตามปกติ ซึ่งมีรายงานการใช้

แคลเซียมซิลิเกต (CaSiO<sub>3</sub>) ความเข้มข้น 1.25 mM กับมะเขือเทศที่อยู่ในสภาวะเครียดเกลือ สามารถชักนำให้ผลิตปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่าต้นควบคุม (Areerak and Sakhonwasee, 2020) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า CaSiO<sub>3</sub> ความเข้มข้น 1.0 กรัมต่อลิตร กับกล้วย Macã (Silk) ในอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในสภาพปกติ ส่งผลให้กล้วยมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่าต้นที่ไม่ได้รับ CaSiO<sub>3</sub> (Asmar *et al.*, 2013)

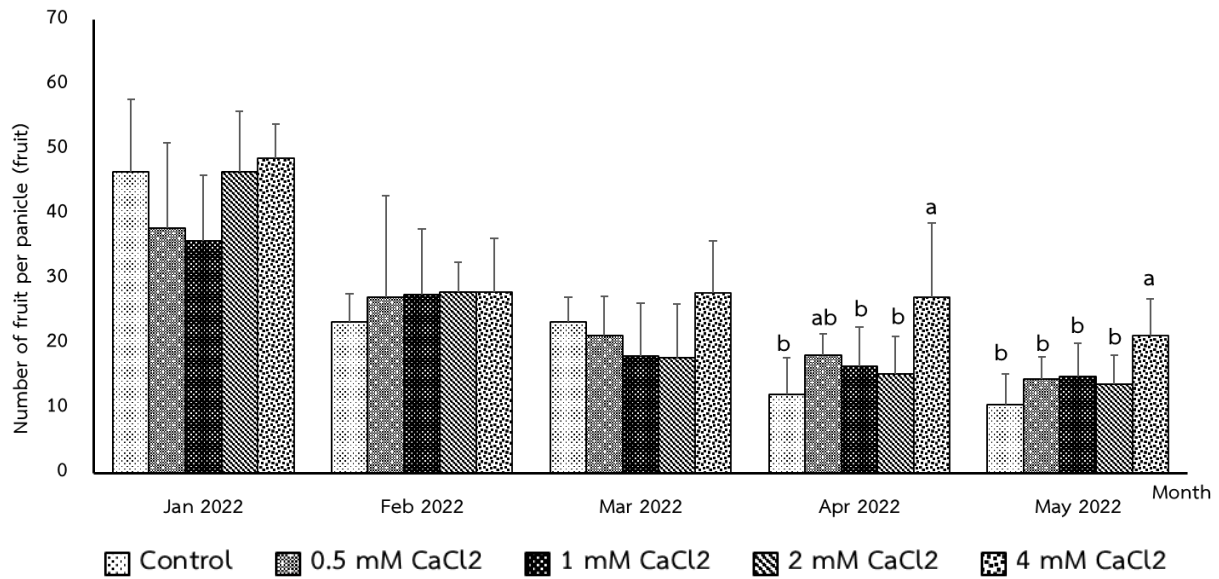


**Figure 6** Effect of CaCl<sub>2</sub> on the SPAD values in longan trees during drought stress for 4 month; Each value is the mean of 5 samples (n=5). Error bars are the standard deviation (STD) of mean

### การติดผล

ภายหลังการพ่นแคลเซียมคลอไรด์ในระยะทางช่อดอก พบว่าการติดผลครั้งแรกมีจำนวนผลอยู่ระหว่าง 35-48 ผลต่อช่อ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากนั้นมีการร่วงของผลเรื่อย ๆ แต่เป็นที่สังเกตว่าการได้รับแคลเซียมคลอไรด์ในความเข้มข้น 4 mM สามารถชะลอหรือลดการร่วงของผลลงได้มากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นควบคุม โดยผลที่เหลืออยู่ต่อช่อมากที่สุดถึง 21 ผล ขณะที่ต้นควบคุมเหลือเพียง 10 ผลต่อช่อ (Figure 7) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีรายงานว่าแคลเซียมเป็นธาตุอาหารที่มีความเสถียรและคงตัวอยู่ในระดับเซลล์จึงรักษาความสมดุล ในขณะที่เซลล์กำลังแบ่งเซลล์ และช่วยป้องกันการอาการขาดแคลเซียมได้ดี (Saure, 2005) ซึ่งในการทดลองนี้ระยะทางช่อดอกเป็นระยะที่เซลล์พืช

กำลังแบ่งตัวและขยายขนาดของเซลล์ดังนั้นการพ่นแคลเซียมเข้าไปโดยตรงจึงมีส่วนช่วยพัฒนาช่อดอกและความแข็งแรงของเซลล์ได้ ผลจึงมีการร่วงน้อยกว่าต้นควบคุม นอกจากนี้มีการใช้แคลเซียมคลอไรด์กับมะเขือเทศความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ส่งผลให้มะเขือเทศมีจำนวนใบดก จำนวนผลต่อต้น และน้ำหนักผลต่อต้นมากกว่าความเข้มข้นอื่น ๆ (Ayyub *et al.*, 2012) ในทานตะวันที่อยู่ในภาวะเครียดเมื่อได้รับแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 10 mM ส่งผลให้มีผลผลิตดีกว่าต้นที่ควบคุม (Ibrahim *et al.*, 2016) ขณะเดียวกัน Manochai *et al.*, (2003) แนะนำว่า สำหรับลำไยควรพ่นแคลเซียม โบรอน ซึ่งสอดคล้องกับ Sirtontip (2013) รายงานว่า ช่วงที่ลำไยติดผลมากแคลเซียมและธาตุอาหารอื่น ๆ ในใบลดต่ำกว่าต้นที่ติดผลน้อย ซึ่งการพ่นแคลเซียมร่วมกับโบรอนทำให้มีการติดผลต่อช่อของลำไยมากที่สุดเช่นกัน



**Figure 7** Effect of CaCl<sub>2</sub> on the number of fruit per panicle in longan trees during drought stress for 5 month; Each value is the mean of 5 samples (n=5). Error bars are the standard deviation (STD) of mean.

### สรุปผลการทดลอง

จากการพ่นแคลเซียมคลอไรด์กับต้นลำไยในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงหรืออากาศร้อนนั้น สามารถทำได้ โดยการพ่นแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งส่งผลดีต่อการรักษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สอง และไม่มีผลต่อค่าความเขียวของใบ การนำไหลของปากใบ อุณหภูมิใบ และการติดผลของลำไย ขณะที่แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 4 mM ยังช่วยชะลอการร่วงของผลได้ สรุปได้ว่าการผลิตลำไยในประเทศไทยโดยเฉพาะช่วงนอกฤดูที่มีอากาศร้อน หรือในฤดูที่ตรงช่วงระยะเวลาที่มีอากาศร้อน ควรพ่นด้วยแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 4 mM เพื่อลดความเสียหายของผลผลิตอันเนื่องมาจากสภาพอากาศร้อนที่เกิดขึ้นได้

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาไม้ผล คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนและอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย และเครื่องมือที่ใช้ศึกษาทางสรีรวิทยาในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

- Areerak, S. and S. Sakhonwasee. 2020. Physiological and gene expression analysis of calcium silicate supplemented-tomato under salt stress. **Journal of Agricultural Research and Extension** 37(2): 12-24. [in Thai]
- Asmar, S.A., E.M. Castro, M. Pasqual, F.J. Pereira and J.D.R. Soares. 2013. Changes in leaf anatomy and photosynthesis of micropropagated banana plantlets under different silicon sources. **Scientia Horticulturae** 161: 328-332.
- Ayyub, C.M., M.A. Pervez, M.R. Shaheen M.I. Ashraf, M.W. Haider, S. Hussain and N. Mahmood. 2012. Assessment of various growth and yield attributes of tomato in response to preharvest applications of calcium chloride. **Pakistan Journal of Life and Social Sciences** 10(2): 102-105.
- Baker Neil, R. 2008. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis *In Vivo*. **The Annual Review of Plant Biology** 59: 89-113.
- Bernardo, M.A., H.G. Jones, C. Kayac, R.L. Aguilar, J.L. Garcia-Hernandez, E. Troyo-Diequez, N.Y.A. Vila-Serrano and E. Rueda-Puente. 2006. Effects of foliar application of calcium nitrate on growth and physiological attributes of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) grown under salt stress. **Environmental and Experimental Botany** 58: 11102-11109.
- Ibrahim, M.F.M., A. Faisal and S.A. Shehata. 2016. Calcium chloride alleviates water stress in sunflower plants through modifying some physio-biochemical parameters American Eurasian. **Journal of Agriculture and Environmental Sciences** 16(4): 677-693.
- Manochai, P., Y. Kaosuman, C. Sritontip and S. Chanjaraja. 2003. **Longan Production and Technology**. Bangkok: Kehakaset Magazine Press. 125 p. [in Thai]
- Manochai, P., P. Sruamsiri, W. Wiriya-Alongkone, D. Naphrom, M. Hegele and F. Bangerth. 2005. Year around off season flower induction in longan (*Dimocarpus longan* Lour) trees by KClO<sub>3</sub> applications: potentials and problems. **Scientia Horticulturae** 104(4): 379-390.
- Maxwell, K. and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **Environmental and Experimental Botany** 51(343): 659-668.
- Office of Agricultural Economics. 2022. **Agricultural economic data: Longan**. [Online]. Available <https://www.oae.go.th/view/1/%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B9%81%E0%B8%A3%E0%B8%81/TH-TH> (October 9, 2022).
- Ongprasert, S., W. Wiriya-Alongkorn and W. Spreer. 2010. The factors affecting longan flower induction by chlorate. **Acta Horticulturae** 863: 375-366.

- Phingkan, W. and S. Sakhonwasee. 2015. Induction of Heat Tolerance in Tomato Seedling by Foliar Application of Vitamin C and Calcium Chloride. pp. 49-57. **In The proceedings of 53<sup>rd</sup> Kasetsart University Annual Conference.** Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]
- Sritontip, C., P. Tiyaon, D. Naphrom, P. Sruamsiri, P. Manochai, M. Hegele and J.N. Wünsche. 2010. Effects of temperature and potassium chlorate on leaf photosynthesis and flowering in longan. **Acta Horticulturae** 863: 323-328.
- Sritontip, C. 2013. **Off-season Longan Production.** Lampang: Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna (Lampang Campus). 124 p. [in Thai]
- Saure, M.C. 2005. Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. **Scientia Horticulturae** 105: 65-89.
- Terashima, I., Y.T. Hanba, D. Tholen and U. Niinemets. 2011. Leaf functional anatomy in relation to photosynthesis. **Plant Physiology** 155(1): 108-116.
- Wiriya-Alongkorn, W., W. Spreer, S. Ongprasert, K. Spohrer, T. Pankasemsuk and J. Muller. 2013. Detecting drought stress in longan tree using thermal imaging, Maejo Int. **Journal of Science and Technology** 7(1): 166-180.
- Wiriya-Alongkorn, W., C. Sananan, W. Spreer and C. Kanchanprachot. 2016. **The Impact of Climatic Variation on Phenological Change, Yield and Fruit Quality of Longan (*Dimocarpus Longan* Lour.) CV. 'Daw' in Northern Thailand.** 103 p. *In* Research Report. Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]
- Wiriya-Alongkorn, W. 2021. The effects of potassium chlorate on CO<sub>2</sub> concentration in the root zone, stomata conductance and fruit quality of longan. **Journal of Agricultural Research and Extension** 38(1): 12-27. [in Thai]

ผลของวัสดุเพาะจากเศษเหลือชีวมวลจากอ้อยและข้าวต่อการเจริญเติบโต  
และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ในต้นอ่อนฟ้าทะลายโจร  
(*Andrographis paniculata* (Burm. F) Nees)

Effect of Sowing Media from Residual Biomass of Sugarcane and Rice  
on Growth and Andrographolide Content of Fa Thalai Chon  
(*Andrographis paniculata* (Burm. F) Nees) Sprouts

เพ็ญนภา ธานะวิโรจน์<sup>1</sup> ธันยธรณ์ สุมาจิตร<sup>1</sup> พร้อมพงษ์ ลาหุณะ<sup>1</sup> รัตติกาล เสนน้อย<sup>2</sup>  
รัตนจิรา รัตนประเสริฐ<sup>3</sup> และรัชณี พุทธา<sup>1\*</sup>

Pennapa Tanawirote<sup>1</sup>, Tunyatorn Sumachit<sup>1</sup>, Prompong Lahuna<sup>1</sup>, Rattikarn Sennoi<sup>2</sup>  
Ruttanachira Ruttanaprasert<sup>3</sup> and Ratchanee Puttha<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

<sup>2</sup>สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

<sup>3</sup>สาขาพืชศาสตร์ สิ่งทอ และการออกแบบ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สุรินทร์ 32000

<sup>1</sup>Program in Agronomy, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

<sup>2</sup>Department of Plant Production Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources  
Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi, Thailand 20110

<sup>3</sup>Department of Plant Science, Textile and Design, Faculty of Agriculture and Technology  
Rajamangala University of Technology Isan, Surin, Thailand 32000

\*Corresponding author: ratchanee\_pt@mju.ac.th

## Abstract

Received: September 20, 2023

Revised: March 09, 2024

Accepted: April 10, 2024

Thailand has a huge amount of residue biomass from sugar cane and rice. Finding the utilization is important. For example, they can be used as a part of planting material for Fa Thalai Chon sprouts to obtain better growth and higher andrographolide content within the shorter production period than normal planting method. The objective of this research was to investigate the effect of sowing media from residual biomass of sugarcane and rice on growth and andrographolide content of Fa Thalai Chon sprouts. The experiment was laid out in a completely randomized design (CRD) with four replications. Three formulas of sowing media were; 1) peat moss, 2) peat moss : residue biomass (50:50) and 3) peat moss : residue biomass (75:25). Residue biomass was a composite material made from sugarcane leaf : rice straw : rice bran: water (1:5:3:1). The results showed that Fa Thalai Chon sprout planted in peat moss : residue biomass (50:50) showed the highest stem length (7.25 cm), and andrographolide content (3.180 mg/g sample) followed by Fa Thalai Chon sprout planted in peat moss : residue biomass (75:25),

which had the stem length of 6.20 cm, and andrographolide content of 2.733 mg/g sample. Plant seedlings in peat moss had the highest stem and root fresh weight at 29.98 and 17.28 mg, respectively. This study concluded that residue biomass from sugar cane and rice promoted growth, and andrographolide content in Fa Thalai Chon sprouts. Peat moss mixed with residue biomass ratio 50:50 was the suitable growing media for better growth and higher andrographolide content of Fa Thalai Chon sprouts.

**Keywords:** agricultural biomass residue, growing media, kalmegh, diterpene lactone

### บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีเศษเหลือชีวมวลจากอ้อยและข้าว จำนวนมหาศาล การหาวิธีการใช้ประโยชน์จึงมีความสำคัญ เช่น การนำมาเป็นวัสดุเพาะต้นอ่อนฟ้าทะลายโจร เพื่อให้ได้ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์สูง และใช้เวลาการผลิตสั้นกว่าการปลูกปกติ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวัสดุเพาะจากเศษเหลือชีวมวลจากอ้อยและข้าวต่อการเจริญเติบโต และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ในต้นอ่อนฟ้าทะลายโจร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ วัสดุเพาะ 3 สูตร ได้แก่ 1) พีทมอส 2) พีทมอส : วัสดุเพาะจากเศษเหลือชีวมวล (50:50) และ 3) พีทมอส: วัสดุเพาะจากเศษเหลือชีวมวล (75:25) โดยวัสดุเพาะจากเศษเหลือชีวมวล คือ วัสดุเพาะผสมจากใบอ้อย: ฟางข้าว: รำข้าว: น้ำ (1:5:3:1) พบว่าต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่เพาะในวัสดุเพาะพีทมอสผสมวัสดุเพาะจากเศษเหลือชีวมวล (50:50) มีความยาวลำต้น (7.25 ซม.) และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ (3.180 มก./กรัมตัวอย่าง) สูงที่สุด รองลงมาคือ ต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่เพาะในวัสดุเพาะผสมพีทมอส : วัสดุเพาะจากเศษเหลือชีวมวล (25:75) มีความยาวลำต้น 6.20 ซม. และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ 2.733 มก./กรัมตัวอย่าง และต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่เพาะในพีทมอส ทำให้น้ำหนักสดต้นและรากมากที่สุด มีค่า 29.98 และ 17.28 มก./ต้น ตามลำดับ จากการทดลองนี้สรุปได้ว่าการใช้เศษเหลือชีวมวลจากอ้อยและข้าวช่วยส่งเสริมการ

เจริญเติบโต และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ในต้นอ่อนฟ้าทะลายโจร และวัสดุเพาะจากพีทมอสผสมวัสดุเพาะจากเศษเหลือชีวมวล อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร มีศักยภาพในการเพาะต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรให้มีปริมาณแอนโดรกราโฟไลด์สูงได้

**คำสำคัญ:** ชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร วัสดุปลูก ฟ้าทะลายโจร ไตเทอร์ปีนแลคโตน

### คำนำ

ฟ้าทะลายโจร (Fa Thalai Chon) ชื่อภาษาอังกฤษคือ King of bitter หรือ Green chiretta อินเดียเรียกว่า Kalmegh ส่วนจีนเรียกว่า Chuan-Xin-Lian และมาเลเซียเรียกว่า Hemptedu bumi ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Andrographis paniculata* (Burm. F) Nees (Intharuksa *et al.*, 2022) จัดอยู่ในยาสมุนไพร ในบัญชียาหลักแห่งชาติฉบับ พ.ศ. 2561 และจากการศึกษาผู้มารับบริการในร้านขายยาแผนปัจจุบัน จังหวัดอุดรธานี 630 คน พบว่าฟ้าทะลายโจรมีความต้องการจากผู้มารับบริการมากที่สุดอันดับแรก (125 รายการ หรือร้อยละ 19.8) (Soongkhang *et al.*, 2023) ฟ้าทะลายโจรเป็นพืชสมุนไพรพื้นบ้านของไทยที่นำมาใช้ในการรักษาโรคมาอย่างยาวนาน และมีความต้องการเพื่อช่วยในการป้องกันและรักษามากขึ้นในช่วงการระบาดของโรคโควิด-19 (COVID-19) เนื่องจากต้นฟ้าทะลายโจรมีสารสำคัญในกลุ่ม

ไดเทอร์ปีนแลคโตน (Diterpene lactone) ประกอบด้วย แอนโดรกราโฟไลด์ (Andrographolide) นีโอแอนโดรกราโฟไลด์ (Neo-Andrographolide) 14-ดีออกซีแอนโดรกราโฟไลด์ (14-deoxy-andrographolide) และ 14-ดีออกซีไดดีไฮโดรแอนโดรกราโฟไลด์ (14-deoxy-11,12-didehydroandrographolide) (Adiguna *et al.*, 2023) มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเพิ่มจำนวนของไวรัส (ไม่ใช่ฆ่าเชื้อไวรัส) ลดการอักเสบ ซึ่งมีผลในการลดอาการไข้ ลดอาการหวัด บรรเทาอาการไอ และเจ็บคอ และเพิ่มสารคุ้มกันบางชนิดในร่างกาย ทำให้สามารถใช้รักษาผู้ป่วยโควิดที่ไม่มีอาการหรือมีอาการน้อยในระยะเริ่มต้นได้

นอกจากนี้ฟ้าทะลายโจรยังมีข้อดีในการรักษาโรคโควิด-19 ในกรณีที่ใช้โควิด-19 กลายพันธุ์หรือเปลี่ยนสายพันธุ์ไปเรื่อย ๆ เนื่องจากมีฤทธิ์การรักษาคิดเชื้อไวรัสแบบวงกว้าง ไม่ได้เจาะจงเฉพาะตัวใดตัวหนึ่ง (Bureau of Information Office of The Permanent Secretary of MOPH, 2022) และที่สำคัญการใช้ฟ้าทะลายโจรยังช่วย ลดค่าใช้จ่ายในการรักษาโรคโควิด-19 ได้ มีการวิจัยในผู้ป่วยโควิด-19 ที่มีอาการรุนแรงน้อย ที่ได้รับยาฟ้าทะลายโจร ในขนาดที่มีแอนโดรกราโฟไลด์ 180 มิลลิกรัมต่อวัน จำนวน 309 คน พบว่ามีการเปลี่ยนของอาการที่รุนแรงขึ้นเพียง 3 ราย หรือคิดเป็น 0.97 เปอร์เซ็นต์ แต่ผู้ป่วยโควิด-19 ที่ไม่ได้รับยาฟ้าทะลายโจร จำนวน 529 คน พบว่าการเปลี่ยนของอาการที่รุนแรงขึ้น (ภาวะปอดอักเสบหรือใส่ท่อช่วยหายใจ) 77 ราย หรือคิดเป็น 14.64 เปอร์เซ็นต์ และมีการเปรียบเทียบมูลค่าในการรักษาต่อคน ระหว่างการใช้ยาฟ้าทะลายโจร 180 บาท และยาฟาวิพิราเวียร์ (Favipiravir) 4,800 บาท (Benjaponpithak *et al.*, 2021)

การผลิตฟ้าทะลายโจรในแปลงต้องมีการปลูกดูแลรักษา การจัดการศัตรูพืช การให้น้ำ แรงงานในการเก็บเกี่ยว ทำให้มีต้นทุนสูงในการผลิต และต้องคำนึงถึงปริมาณของสารแอนโดรกราโฟไลด์ที่แปรปรวนตามส่วนของต้น และระยะเวลาการเจริญเติบโต เช่น ต้นแก่ (ขณะออกดอก) ในส่วนใบ และส่วนเหนือดินจะมีปริมาณสารแอนโดร

กราโฟไลด์มากกว่าต้นอ่อน (ก่อนออกดอก) (Bunsoong *et al.*, 2023) ดังนั้นหากสามารถผลิตต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรได้ จะช่วยลดต้นทุนการผลิตและระยะเวลาในการผลิตลง นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ได้ ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการเพาะต้นอ่อนให้มีการเจริญเติบโตดี ให้ผลผลิตสูง และคุณภาพดี คือ วัสดุเพาะที่ดี ซึ่งมีลักษณะในการช่วยยึดเหนี่ยวหรือค้ำยันต้นกล้าให้ตั้งตัวได้ดี เป็นแหล่งกักเก็บสารอาหารและน้ำ มีความโปร่ง ช่วยให้ออกซิเจนแพร่กระจายไปยังราก และสามารถแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างรากและบรรยากาศภายนอกพื้นผิวของรากได้ดี ปราศจากโรค น้ำหนักเบา เพื่อช่วยในการเคลื่อนย้าย ราคาถูก และมีธาตุอาหารที่เพียงพอและเหมาะสมต่อต้นกล้า (Buragohain *et al.*, 2022) ผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนาวัสดุเพาะจากเศษชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งมีข้อดี คือ มีปริมาณมาก ราคาถูก และมีธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าหรือต้นอ่อน และช่วยเพิ่มสารพฤษเคมีที่สำคัญ โดยพบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับผลของวัสดุเพาะต่อการเจริญเติบโต และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ของฟ้าทะลายโจรเฉพาะในระยะเก็บเกี่ยว (Isa *et al.*, 2021; Suhaini *et al.*, 2020)

ใบอ้อย และฟางข้าวเป็นชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตซึ่งมีจำนวนมาก และเกษตรกรมักกำจัดด้วยการเผา ก่อให้เกิดปัญหาฝุ่น PM 2.5 ดังนั้นการนำใบอ้อยและฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ และลดปัญหาการเผาในแปลงอ้อยและข้าว จึงมีความสำคัญ มีรายงานองค์ประกอบด้านธาตุอาหารหลักของเศษชีวมวลเหลือทิ้งจากอ้อยมีไนโตรเจน 1.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.23 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 0.55 เปอร์เซ็นต์ (Liu *et al.*, 2023) และข้าวมีไนโตรเจน 0.7 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.23 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 1.75 เปอร์เซ็นต์ (Goswami *et al.*, 2019) พบมีธาตุอาหารที่มากกว่าพีทมอสซึ่งเป็นวัสดุเพาะทางการค้า ซึ่งมีไนโตรเจน 0.12 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.07 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 0.32 เปอร์เซ็นต์ (จากการ

วิเคราะห์ในการทดลองนี้) นอกจากนี้การเจริญเติบโตของต้นอ่อนใช้ระยะเวลาไม่นาน จึงไม่ต้องการใช้ปริมาณธาตุอาหารที่สูงมาก จึงเหมาะต่อการใช้เป็นวัสดุเพาะต้นอ่อนได้ อย่างไรก็ตามการศึกษาวัสดุเพาะจากเศษชีวมวลทางการเกษตรที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ของฟ้าทะลายโจรในระยะต้นอ่อนยังไม่พบการรายงานมาก่อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวัสดุเพาะจากเศษเหลือชีวมวลจากอ้อยและข้าวต่อการเติบโต และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ในต้นอ่อนฟ้าทะลายโจร ข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นทางเลือกหนึ่งที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาการผลิตฟ้าทะลายโจรเพื่อความมั่นคงทางยาสมุนไพรของชาติต่อไป

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### การเตรียมวัสดุเพาะ

เตรียมวัสดุเพาะเศษเหลือชีวมวล นำไปอ้อยและฟางข้าวบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นย่อยไปไม้ จากนั้นนำไปอ้อยบด ฟางข้าวบด รำข้าว และน้ำ ตวงด้วยปิกเกอร์ และผสมตามอัตราส่วน 1:5:3:1 โดยปริมาตร และคนให้เข้ากัน จากนั้นนำพีทมอส ยี่ห้อคลาสแมน แบบ Pot Ground H ผสมกับเศษเหลือชีวมวล และผสมวัสดุเพาะตามสูตร 1) พีทมอส (ตัวแปรควบคุม เนื่องจากเป็นวัสดุเพาะที่นิยมใช้เพาะกล้าต้นอ่อน) 2) พีทมอส : วัสดุเพาะเศษเหลือชีวมวล (50:50) และ 3) พีทมอส : วัสดุเพาะเศษเหลือชีวมวล (25:75) ทำการศึกษาในตะกร้าเพาะภายใต้สภาพโรงเรือน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ แบ่งวัสดุเพาะทั้ง 3 สูตร เป็น 2 ส่วน เพื่อใช้ในการเพาะ และเพื่อใช้วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ 1) ความเป็นกรดด่าง (pH) ด้วย pH meter อัตราส่วนวัสดุเพาะ : น้ำ 1:5 2) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) สกัดด้วยน้ำอัตรา 1:5 วัดค่าด้วยเครื่อง EC metter 3) อินทรีย์วัตถุ (OM) ใช้วิธี Walkley and Black 4) C/N ratio 5) ปริมาณไนโตรเจน

ด้วยวิธีการกลั่น (Kjeldahl method) 6) ปริมาณฟอสฟอรัส วิเคราะห์ด้วย Yellow method และ 7) ปริมาณโพแทสเซียม โดยย่อยตัวอย่างด้วย Yellow method และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

#### การบ่มเมล็ด การเพาะ และการดูแลปฏิบัติ

ซังเมล็ดฟ้าทะลายโจรน้ำหนัก 1 กรัมต่อทริตเมนต์ต่อซ้ำ จากนั้นแช่เมล็ดฟ้าทะลายโจรในน้ำที่อุณหภูมิ 50°C. (น้ำเดือด 1 ส่วน และน้ำอุณหภูมิปกติ 2 ส่วน) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดที่ผ่านการแช่แล้ว ห่อด้วยผ้าขนหนู นำไปบ่มในภาชนะที่มีฝาปิดเป็นเวลา 12 ชั่วโมง สังเกตว่ามีส่วนของรากโผล่ออกมาเล็กน้อยจากเมล็ดให้นำเมล็ดงอกย้ายลงตะกร้าพลาสติกแบบโปร่ง ขนาด 9x17x6 (กว้างxยาวxสูง) ซม. โดยโรยบนวัสดุเพาะที่เตรียมไว้ 500 มล./ตะกร้า ใช้ถ้วยวัดเล็กน้อย และกลบด้วยวัสดุเพาะด้านบนอีกครั้ง ให้น้ำปริมาณ 500 หรือ 1,000 มล. เท่ากันตลอดการทดลอง ขึ้นอยู่กับความแห้งของวัสดุเพาะ จากนั้นนำไปวางไว้ในโรงเรือนที่มีตาข่ายพรางแสงคลุมป้องกันแสงในช่วงกลางวัน

#### การบันทึกข้อมูลการเติบโต

บันทึกข้อมูลการเติบโตของต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรเมื่ออายุ 21 วันหลังเพาะเมล็ด ดังนี้ 1) จำนวนต้นอ่อนโดยการนับจำนวนต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่งอกทั้งหมดในตะกร้าเพาะ จากนั้นนำตะกร้าเพาะที่มีต้นอ่อนไปล้างวัสดุเพาะออกจนสะอาด และทำสุ่มตัวอย่างต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรจำนวน 10 ต้น/ซ้ำ เพื่อนำมาบันทึกข้อมูล 2) ความยาวลำต้น วัดจากโคนต้นถึงใต้ใบเลี้ยง หน่วยวัดเป็นเซนติเมตร และ 3) ความยาวราก วัดจากโคนต้นจนถึงปลายราก หน่วยวัดเป็นเซนติเมตร และนำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นตัดแยกต้นและรากของต้นอ่อนทั้งหมด เพื่อนำมาบันทึกข้อมูล 4) น้ำหนักสดต้น และ 5) น้ำหนักสดราก โดยนำไปชั่งน้ำหนักสดด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม จากนั้นนำต้นสด

ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C. และนำรากสดไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C. เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือนานกว่าน้ำหนักแห้งคงที่ เพื่อนำมาบั่นทึกข้อมูล 6) น้ำหนักแห้งต้น และ 7) น้ำหนักแห้งราก โดยนำมาชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม ข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นและราก นำมาคำนวณให้เป็นน้ำหนักต่อต้น โดยคำนวณจากสูตรน้ำหนักสดหรือน้ำหนักแห้งของต้นหรือราก/จำนวนต้นอ่อน

### การสกัด การวิเคราะห์และการคำนวณปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์

นำต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่อบแห้งแล้วมาบดให้ได้ตัวอย่างบดแห้งจำนวน 10 กรัม เพื่อนำไปสกัดและวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ ด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ดัดแปลงวิธีการของ Champati *et al.* (2022) ขั้นตอนการสกัดตัวอย่าง ดังนี้ 1) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม เติม Acetonitrile 10 มล. (1:10, w/v) ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex เป็นเวลา 2 นาที นำไป Sonicare 20 นาที อุณหภูมิ 50°C. 2) นำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 2,000 xg เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C และนำสารสกัดชั้นบน (Supernatant) แยกออกมา และ

3) นำสารสกัดไปกรองผ่านตัวกรองชนิดไนลอน (Nylon membrane) ขนาดรู 0.45 µm ใส่ในขวดใส่ตัวอย่าง ขั้นตอนการวิเคราะห์แอนโดรกราโฟไลด์ด้วยเครื่อง HPLC ยี่ห้อ Shimadzu (Shimadzu, Kyoto, Japan) รุ่น 20 ทำการวิเคราะห์ในระบบ Gradient eluent ด้วยคอลัมน์ชนิด C-18 (InertSustain® C-18 (4.6×250 mm, 5 µm) ต่อเข้ากับการคอลลัมน์ (InertSustain® C-18; 4.6×10 mm, 5 µm) โมบายเฟสมี 2 ชนิด คือ โมบายเฟส A ประกอบไปด้วยกรดฟอสฟอริกในน้ำ DI pH 2.5 และชนิด B คือ Acetonitrile ซึ่งอัตราการใช้ของโมบายเฟสคงที่ 1 มิลลิตร/นาที การไล่ระดับ โมบายเฟส B เริ่มต้น 0-20 นาที/20 เปอร์เซ็นต์ (v/v) ตามมาด้วย 20-30 นาที/20-50 เปอร์เซ็นต์ (v/v) นาทีที่ 30-60/50-20 เปอร์เซ็นต์ (v/v) อุณหภูมิคอลัมน์ 40°C. ปริมาณที่ฉีด 20 ไมโครลิตร ทำการตรวจวัดด้วยดีเทคเตอร์ชนิดไดโอดแอเรย์ (Photodiode array detector) ความยาวคลื่น 223 นาโนเมตร จากนั้นวิเคราะห์ชนิดของแอนโดรกราโฟไลด์ โดยเปรียบเทียบกับ Retention time ของแอนโดรกราโฟไลด์มาตรฐาน (Figure 1) และคำนวณหาปริมาณแอนโดรกราโฟไลด์จากกราฟมาตรฐานของแอนโดรกราโฟไลด์ ผลที่ได้แสดงในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง (mg/g sample)

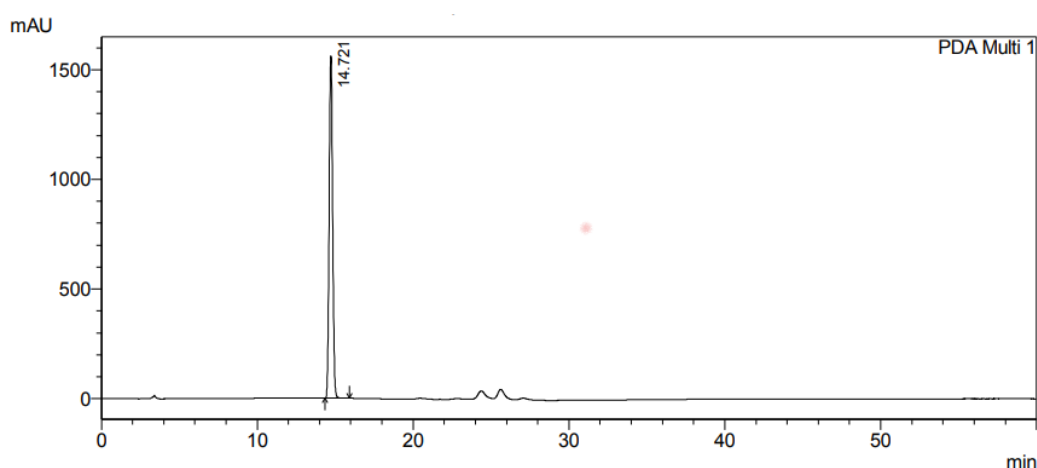


Figure 1 Chromatogram of the reference standard of andrographolide observed using HPLC

### การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลลักษณะการเติบโต และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ของต้นอ่อนฟ้าทะลายโจร วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Different (LSD) ด้วยโปรแกรม Statistix 10 (Statistix 10 Analytical Software, 1985)

### ผลการวิจัย

#### สมบัติทางเคมีของวัสดุเพาะ

พีทมอส มีความเป็นกรดปานกลาง ค่าพีเอช (pH) 5.65 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) 2.14 dS/m ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) 70.89 เปอร์เซ็นต์ ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน 39.24 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.12

เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.07 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 0.318 เปอร์เซ็นต์ พีทมอส : วัสดุเพาะเศษเหลือชีวมวล (50:50) พบว่ามีค่าความเป็นกรดสูง พีเอช (pH) 5.35 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 3.31 dS/m ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) 70.99 เปอร์เซ็นต์ ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน 31.87 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.51 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.18 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 0.66 เปอร์เซ็นต์ และพีทมอส : วัสดุเพาะเศษเหลือชีวมวล (25:5) พบว่ามีค่าความเป็นกรดปานกลาง พีเอช (pH) 5.66 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) 3.17 dS/m ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) 91.83 เปอร์เซ็นต์ ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน 24.10 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.97 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.23 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 0.84 เปอร์เซ็นต์ (Table 1)

**Table 1** Chemical characteristics of the three sowing media in the experiment

Sowing media	pH (1:5 H <sub>2</sub> O)	EC (1:5 H <sub>2</sub> O) (dS/m)	Organic matter, OM (%)	C/N ratio	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)
Peat moss	5.65	2.14	70.89	39.24	0.12	0.07	0.32
Peat moss : residue biomass (50:50)	5.35	3.31	70.99	31.87	1.51	0.18	0.66
Peat moss : residue biomass (25:75)	5.66	3.17	91.83	24.10	1.97	0.23	0.84

**จำนวนต้นอ่อน ความยาวต้น และความยาวราก**

วัสดุเพาะที่แตกต่างกันไม่ทำให้จำนวนและความยาวรากของต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยพบว่าการเพาะเมล็ดฟ้าทะลายโจรในพีทมอส พีทมอสผสมวัสดุเพาะเศษเหลือชีวมวล อัตราส่วน 50:50 และอัตราส่วน 25:75 ทำให้มีจำนวนต้นอ่อน 247, 283 และ 275 ต้น และมีความยาวราก 2.57, 2.91 และ 2.81 ซม. ตามลำดับ แต่อย่างไร

ก็ตามวัสดุเพาะที่แตกต่างกันส่งผลต่อความยาวต้นของต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.01$ ) (Table 2) ซึ่งต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่เพาะในพีทมอสผสมวัสดุเพาะเศษเหลือชีวมวล อัตราส่วน 50:50 มีความยาวต้นมากที่สุด 7.25 ซม. รองลงมาคือต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่เพาะในพีทมอส และพีทมอสผสมวัสดุเพาะเศษเหลือชีวมวล อัตราส่วน 25:75 มีความยาวต้น 6.37 และ 6.20 ซม. ตามลำดับ (Table 2)

**Table 2** Number of spouts, shoot length, and root length of Fa Thalai Chon sprouts planted in three sowing media

Sowing media	Number of spouts /planting unit (plant)	Shoot length (cm)	Root length (cm)
Peat moss	247±18.08 <sup>1/</sup>	6.37±0.20 <sup>b</sup>	2.57±0.12
Peat moss : residue biomass (50:50)	283±5.19	7.25±0.25 <sup>a</sup>	2.91±0.08
Peat moss : residue biomass (25:75)	275±2.72	6.20±0.10 <sup>b</sup>	2.81±0.07
<b>F-test</b>	<b>ns</b>	<b>**</b>	<b>ns</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>8.18</b>	<b>5.86</b>	<b>6.57</b>

<sup>1/</sup>Data are presented as mean±SE (n=4), Values with different letters within the same column are significantly different at  $P<0.05$  probability level by LSD. <sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> not significant and significant at  $P<0.01$  probability level

**น้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก**

วัสดุเพาะที่แตกต่างกันไม่ทำให้น้ำหนักแห้งต้นและรากของต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่ทำให้น้ำหนักสดต้นและรากของต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) (Table 3) ต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่เพาะในพีทมอสมีน้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักสดราก

และน้ำหนักแห้งรากมากที่สุด 29.98, 2.63, 17.28 และ 0.75 มก. ตามลำดับ ส่วนต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่เพาะในพีทมอสผสมวัสดุเพาะเศษเหลือชีวมวล อัตราส่วน 25:75 และพีทมอสผสมวัสดุเพาะเศษเหลือชีวมวล อัตราส่วน 50:50 จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันรองจากพีทมอส โดยมีน้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก 23.58, 2.30, 7.25 และ 0.58 มก. และ 17.58, 2.01, 6.53 และ 0.59 มก. ตามลำดับ (Table 3)

**Table 3** Stem fresh weight, stem dry weight root fresh weight, and root dry weight of Fa Thalai Chon sprouts planted in three sowing media

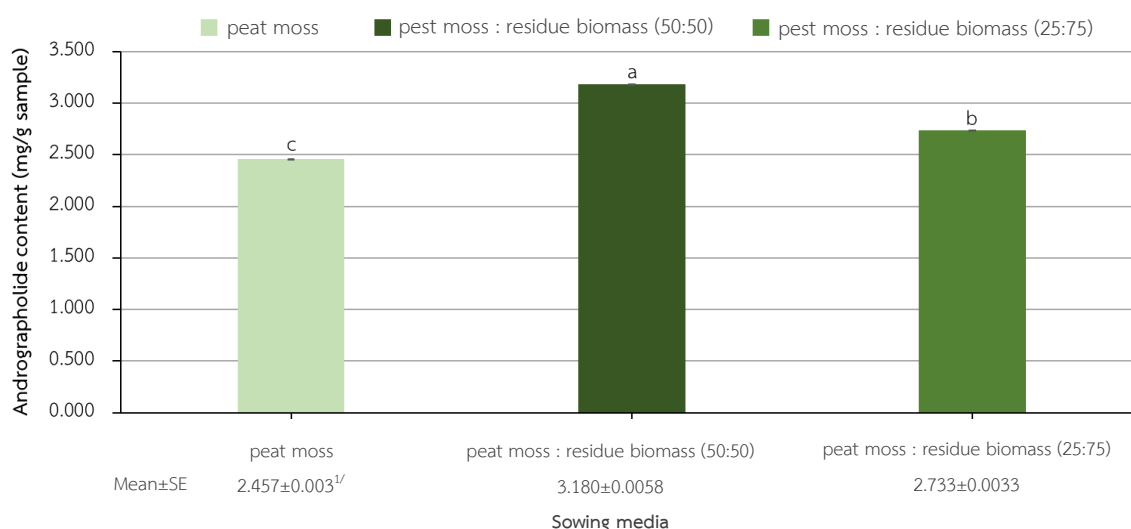
Sowing media	Stem fresh weight (mg/plant)	Stem dry weight (mg/plant)	Root fresh weight (mg/plant)	Root dry weight (mg/plant)
Peat moss	29.98±4.43 <sup>a</sup>	2.63±0.32	17.28±2.42 <sup>a</sup>	0.75±0.07
Peat moss : residue biomass (50:50)	17.58±0.82 <sup>b</sup>	2.01±0.15	6.53±0.31 <sup>b</sup>	0.59±0.05
Peat moss : residue biomass (25:75)	23.58±2.66 <sup>ab</sup>	2.30±0.29	7.25±0.89 <sup>b</sup>	0.58±0.07
<b>F-test</b>	<b>*</b>	<b>ns</b>	<b>**</b>	<b>ns</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>25.47</b>	<b>22.8</b>	<b>28.96</b>	<b>19.95</b>

<sup>1/</sup>Data are presented as mean±SE (n=4). Values with different letters within the same column are significantly different at P<0.05 probability level by LSD. ns, \*, \*\* not significant and significant at P<0.05 and P<0.01 probability level

### ปริมาณแอนโดรกราโฟไลด์

วัสดุเพาะที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณแอนโดรกราโฟไลด์ของต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) (Figure 2) ต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่เพาะในพีทมอสผสมวัสดุเพาะเศษเหลือชีวมวล อัตราส่วน 50:50 มีปริมาณแอนโดรกราโฟไลด์

มากที่สุด 3.180 มก./กรัมตัวอย่าง รองลงมาคือ ต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่เพาะในพีทมอสผสมวัสดุเพาะเศษเหลือชีวมวล อัตราส่วน 25:75 มีปริมาณแอนโดรกราโฟไลด์ 2.733 มก./กรัมตัวอย่าง และต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่เพาะในพีทมอส มีปริมาณแอนโดรกราโฟไลด์ 2.457 มก./กรัมตัวอย่าง (Figure 2)



**Figure 2** Andrographolide content of Fa Thalai Chon sprouts planted in three sowing media

<sup>1/</sup>Data are presented as mean±SE (n=3). Values with different letters are significantly different at P<0.05 probability level by LSD.

## วิจารณ์ผลการวิจัย

วัสดุเพาะแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารที่แตกต่างกัน และส่งผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ของฟ้าทะลายโจรที่แตกต่างกัน ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ดินปลูกฟ้าทะลายโจรควรมีค่าพีเอช (pH) ระหว่าง 5.5-6.5 และมีอินทรีย์วัตถุมากกว่า 3.5 เปอร์เซ็นต์ (Department of Agriculture, 2021) จากข้อมูลของการทดลองนี้พบว่า วัสดุปลูกทั้ง 3 สูตร มีค่าพีเอชที่ใกล้เคียงกัน (5.35-5.66) และอยู่ในช่วงที่สามารถปลูกฟ้าทะลายโจรได้ และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากเพียงพอ ส่วนค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของวัสดุเพาะสูตรที่ 2 มีค่ามากกว่าพีทมอส (3.17-3.31 dS/m) แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าฟ้าทะลายโจรสามารถเจริญเติบโตได้ในสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าจนถึง 12 dS/m (Sasithorn *et al.*, 2019) และจากการศึกษาครั้งนี้วัสดุเพาะสูตรที่ 2 และ 3 ซึ่งมีเศษเหลือชีวมวลจากอ้อยและข้าวเป็นองค์ประกอบ ทำให้มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดสูงกว่าพีทมอส และส่งผลดีต่อการเติบโต และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ของต้นอ่อนฟ้าทะลายโจร สอดคล้องกับการศึกษาธาตุอาหารจากปุ๋ยที่ใส่ในการปลูกฟ้าทะลายโจร พบว่าธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ในต้นฟ้าทะลายโจร (Sasithorn *et al.*, 2019; Sanjutha *et al.*, 2008)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Champati *et al.* (2022) ที่กล่าวว่าอิทธิพลของสภาพแวดล้อม และธาตุอาหารในดินส่งผลต่อปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ในต้นฟ้าทะลายโจร โดยจากการสร้างโมเดลที่เกิดจากใส่ค่าปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม และธาตุอาหารที่ส่งผลต่อปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ พบว่าปริมาณแอนโดรกราโฟไลด์สามารถเพิ่มได้โดยการจัดการธาตุอาหารหลักในดิน (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) โดยการเพิ่ม/ลดระดับ โดยการแทนที่ในสมการพบว่าสามารถเพิ่ม

ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์จาก 3.38 เป็น 4.90 เปอร์เซ็นต์ได้ เมื่อมีการลดปริมาณไนโตรเจน (59.94 เหลือ 34.34 กก./เฮกตาร์) แต่เพิ่มปริมาณฟอสฟอรัส (35.98 เพิ่มเป็น 41.02 กก./เฮกตาร์) และโพแทสเซียม (409.06 เพิ่มเป็น 600.11 กก./เฮกตาร์) โดยทั่วไปจะพบว่าไนโตรเจนมักส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ในส่วนของไนโตรเจนที่ต้องการลดลงอาจเกี่ยวข้องกับสมมติฐานความสมดุลระหว่างคาร์บอน/สารอาหาร (Carbon/nutrient balanced hypothesis) ที่กล่าวว่า การที่ไนโตรเจนในดินมีเพิ่มขึ้นจากการผลิตแอมโมเนียมไอออนส่วนเกิน ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชถูกจำกัด และอัตราการสังเคราะห์ลดลง ส่วนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโต ปริมาณและคุณภาพของผลผลิต และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ และจากการศึกษาของ Dhanush *et al.* (2018) ได้กล่าวว่าโพแทสเซียมช่วยปรับสมดุลศักย์ไฟฟ้าและสร้างโมเลกุลที่ให้พลังงาน เช่น ATP และ NADPH ในคลอโรพลาสต์ ซึ่งอาจมีส่วนทำให้การผลิตแอนโดรกราโฟไลด์เพิ่มขึ้น ดังนั้นการมีอัตราส่วนระหว่างธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เหมาะสมในวัสดุเพาะหรือในดิน น่าจะมีผลต่อปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ที่สูงขึ้นได้ ดังเช่นในการทดลองนี้วัสดุเพาะทั้ง 2 สูตร มีธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงกว่าพีทมอสมาก แม้ว่าวัสดุเพาะสูตรที่ 3 จะมีธาตุอาหารมากกว่าสูตรที่ 2 แต่ธาตุอาหารทั้ง 3 ธาตุ อาจจะไม่อยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสม จึงทำให้การใช้วัสดุเพาะสูตรที่ 2 หรือพีทมอสผสมวัสดุเพาะเศษเหลือชีวมวลอัตรา 50:50 โดยปริมาตร เพาะต้นอ่อนฟ้าทะลายโจร ให้มีปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ที่สูงกว่า

วัสดุเพาะเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเพาะต้นอ่อน ส่งผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ การศึกษาครั้งนี้พบว่าการใช้วัสดุเพาะที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเจริญเติบโต และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ของต้นอ่อนฟ้าทะลายโจร สอดคล้องกับการศึกษาวัสดุปลูกที่แตกต่างกันส่งผลต่อมวลชีวภาพของใบฟ้าทะลายโจร อายุ 115 วันหลังย้ายปลูก โดยวัสดุ

ปลูกผสมปุ๋ยหมัก ดินชั้นบน และทราย อัตราส่วน 3:2:1 ทำให้ฟ้าทะลายโจรมีมวลชีวภาพของใบสูง (Isa *et al.*, 2021) และการศึกษาผลของวัสดุเพาะ 2 ชนิด ได้แก่ 1) ขุยมะพร้าว (Coco peat) 70 เปอร์เซ็นต์ ผสมขี้เถ้าแกลบ (Rice-hull ash, RHA) 30 เปอร์เซ็นต์ และ 2) ขุยมะพร้าว 100 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม (10, 50 และ 70 ppm Mg) ในระบบการปลูกพืชไร่ดิน โดยเก็บข้อมูลในระยะออกดอก พบว่าวัสดุเพาะและปริมาณปุ๋ยแมกนีเซียมที่แตกต่างกันส่งผลต่อลักษณะความสูง จำนวนกิ่งต่อต้น จำนวนใบต่อต้น ผลผลิตน้ำหนักแห้ง และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ โดยพบว่าวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการปลูกฟ้าทะลายโจร คือ วัสดุปลูกที่ผสม ขุยมะพร้าว (Coco peat) 70 เปอร์เซ็นต์ ผสมขี้เถ้าแกลบ (Rice-hull ash, RHA) 30 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม 50 ppm Mg ทำให้ฟ้าทะลายโจรมีปริมาณแอนโดรกราโฟไลด์ 0.7 µg/mL (Suhaini *et al.*, 2020)

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ของฟ้าทะลายโจร มีความแปรปรวนได้ตามสภาพการปลูก โดยการผลิตต้นอ่อนฟ้าทะลายโจรที่มีปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์สูง จะช่วยลดต้นทุนในการใช้แรงงานในการปลูกดูแล สามารถปลูกได้ในพื้นที่จำกัด ใช้ระยะเวลาในการผลิตสั้น เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตในแปลง ไม่ต้องใช้สารเคมี ในการกำจัดโรคแมลง และสามารถควบคุมปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ เนื่องจากเก็บต้นอ่อนทั้งต้นได้ในระยะเวลาเดียวกัน

### สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองใช้เศษเหลือชีวมวลจากอ้อยและข้าวเป็นส่วนผสมของวัสดุเพาะต้นอ่อนฟ้าทะลายโจร พบว่าควรแนะนำให้ใช้พีทมอสผสมวัสดุเพาะจากเศษเหลือชีวมวล (ใบอ้อย : ฟางข้าว : ไร่ข้าว : น้ำ อัตราส่วน

1:5:3:1) ในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร เป็นวัสดุการเพาะต้นอ่อนฟ้าทะลายโจร ช่วยส่งเสริมปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ (3.180 มก./กรัมตัวอย่าง) ในต้นอ่อนฟ้าทะลายโจร

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนภายใต้โครงการพัฒนาและผลิตกำลังคนของประเทศเพื่อรองรับนโยบาย Thailand 4.0 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย สถานที่ และอุปกรณ์เครื่องมือในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- Adiguna, S.P., J.A. Panggabean, R.T. Swasono, S.I. Rahmawati, F. Izzati, A. Bayu, M.Y. Putra, C. Formisano and C. Giuseppina. 2023. Evaluations of andrographolide-rich fractions of *Andrographis paniculata* with enhanced potential antioxidant, anticancer, antihypertensive, and anti-inflammatory activities. **Plants** 12: 1220. DOI: 10.3390/plants12061220
- Benjaponpithak, A., K. Visithanon, T. Sawaengtham, T. Thaneerat and K. Wanaratna. 2021. Short communication on use of andrographis herb (FA THALAI CHON) for the treatment of COVID-19 patients. **Journal of Thai Traditional and Alternative Medicine** 19(1): 229-233. [in Thai]

- Bunsoong, T., S. Chaiyodsilp, S. Chaiyodsilp, K. Sarankawin and S. Kaewklin. 2023. The study of andrographolide contents in different parts of *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees at different harvesting periods from Muak Lek, Saraburi. **Journal of Thai Traditional & Alternative Medicine** 20(1): 141-149. [in Thai]
- Buragohain, N., S. Gogoi, U. Kotoky, D.B. Phookan, P.K. Barua and P. Kalita. 2022. Effect of sowing media and variety on seedling root growth and field performance of early cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis). **Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology** 40(12): 245-253.
- Bureau of Information Office of the Permanent Secretary of MOPH. 2022. **Andrographis paniculata: medicine security is confident it can handle Covid. Say goodbye to the old year and welcome the new year.** [Online]. Available <https://pr.moph.go.th/?url=pr/detail/2/02/183192/> (July 31, 2023). [in Thai]
- Champati, B.B., B.M. Padhiari, A. Ray, T. Halder S. Jena, A. Sahoo, B. Kar, P.K. Kamila, P.C. Panda, B. Ghosh and S. Nayak. 2022. Application of a multilayer perceptron Artificial neural network for the prediction and optimization of the andrographolide content in *Andrographis paniculata*. **Molecules** 27(9): 2765.
- Department of Agriculture. 2021. **Planting Andrographis paniculata.** [Online]. Available <https://www.doa.go.th/oard2/wpcontent/uploads/2021/08/ฟ้าทะลายโจร.pdf> (July 31, 2023). [in Thai]
- Dhanush, S.L., G.A.P. Mallikarjuna, A.J. Kademani, S. Anilkumar and G.C. Reddy. 2018. Effect of nutrient levels on growth, yield, quality and economics of second ratoon crop in Kalmegh (*Andrographis paniculata* Nees.). **International Journal of Pure & Applied Bioscience** 6: 721-725.
- Goswami, S.B., R. Mondal and S.K. Man. 2019. Crop residue management options in rice-rice system: a review. **Archives of Agronomy and Soil Science** 66(9): 1218-1234.
- Intharuksa, A., W. Arunotayanun, W. Yooiin and P. Sirisa-Ard. 2022. A comprehensive review of *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees and its constituents as potential lead compounds for COVID-19 drug discovery 2022. **Molecules** 27(14): 4479. DOI:10.3390/molecules27144479
- Isa, M.M., K.F. Kasim, M.F.A. Muttalib and M.N. Jaafar. 2021. Effect of different growing media and media water status on leaf biomass of *Andrographis paniculate*. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** 765(1): 012051. DOI:10.1088/1755-1315/765/1/012051

- Liu, Y., Y. Tan, D. Liang, C. Pei and Z. Zhang. 2023. Effects of sugarcane leaf return and fertilizer reduction on maize growth yield and soil properties in red soil. **Plants** 12(5): 1029. DOI:10.3390/plants12051029
- Sanjutha, S., S. Subramanian, C. Indu Rani and J. Maheswari. 2008. Integrated nutrient management in *Andrographis paniculate*. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences** 4(2): 141-145.
- Sasithorn, K., P. Pongwichian and B. Po-oon. 2019. **Effect of organic fertilizer on growth and active ingredient of some species of herb in inland saline soil**. [Online]. Available <https://webapp.ldd.go.th/LDDCon65/data/09/9-4.pdf> (July 31, 2023). [in Thai]
- Soongkhang, T., T. Kanjanarach, P. Daosaodsai and S. Chanabun. 2023. Availability of herbal medicines in the National List of Essential Medicines in drugstores for modern medicines located in Udonthani. **Thai Journal of Pharmacy Practice** 15(3): 625-635. [in Thai]
- Statistix 10 Analytical Software. 1985. **Statistix 10 data analysis software for researchers**. [Online]. Available <http://statistix.com> (November 11, 2023).
- Suhaini, A.M., M.H. Hawaji, S.H. Man, N. Baharulrazi and N.A. Yunus. 2020. Characterisation of andrographolide in *Andrographis Paniculata* under different cultivation conditions. **Chemical Engineering Transactions** 78: 17-132. DOI:10.3303/CET2078022

การตรวจสอบยีนต้านทานและการประเมินความต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง  
ในข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในบางพื้นที่ของภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย  
Detection and Evaluation of Resistance against Bacterial Blight Disease  
in Thai Local Rice Varieties Grown in Some Areas of Lower Northern Thailand

สรโรชา ทวาทศปกรณ<sup>1</sup> เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ<sup>2</sup> สิทธิชัย อุดก่ำ<sup>3</sup> และวันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ<sup>4\*</sup>  
Sarocha Thawathotsapakorn<sup>1</sup>, Det Wattanachaiyingcharoen<sup>2</sup>, Sittichai Urtgam<sup>3</sup>  
and Wandee Wattanachaiyingcharoen<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

<sup>2</sup>ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

<sup>3</sup>สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

<sup>4</sup>ภาควิชาชีววิทยาและสถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านความหลากหลายทางชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

<sup>1</sup>Biological Sciences Program, Department of Biology, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand 65000

<sup>2</sup>Department of Agricultural Sciences, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment  
Naresuan University, Phitsanulok, Thailand 65000

<sup>3</sup>Biology Program, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, Thailand 65000

<sup>4</sup>Department of Biology and Center of Excellence in Biodiversity, Faculty of Science  
Naresuan University Phitsanulok, Thailand 65000

\*Corresponding author: wandeew@nu.ac.th

## Abstract

Received: September 14, 2023

Revised: February 08, 2024

Accepted: February 22, 2024

Local rice varieties possess a wide range of genetic diversities, can adapt to their environment, and exhibit resistance to severe diseases such as bacterial blight. Rice crop production in Thailand is affected by this disease caused by the bacterial pathogen *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (*Xoo*). This study aimed to use particular primers (*xa5*, *Xa21*, *Xa33* (RMWR 7.1), and *Xa33* (RMWR 7.6) to detect bacterial blight resistance genes in 20 local rice varieties growing in lower northern Thailand. Additionally, the level of resistance to this disease was evaluated. The findings revealed that, with the exception of Phichit rice, 19 local rice types possessed the *xa5* bacterial blight resistance gene. The resistance to *Xoo* across all tested local rice types ranged from highly resistant (HR) to moderately sensitive (MS). Moreover, results for genes *Xa21*, *Xa33*(RMWR 7.1), and *Xa33*(RMWR 7.6) were comparable since each rice variety displayed a distinct degree of resistance regardless of whether it had

a resistance gene or not. Whilst the Khat Na Pho variety demonstrated high level of resistance to the bacterial blight disease, Hom Khrua, Lon Khrok, Thong Yoi, Phut Tam, and Phuang Kradat also demonstrated resistance levels (R). These six local rice varieties could be employed as germplasm in a future breeding program for rice.

**Keywords:** bacterial blight, local rice varieties, DNA markers, bacterial blight resistance genes

### บทคัดย่อ

ข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมรวมทั้งทนทานต่อโรคที่สำคัญได้ดี โรคขอบใบแห้ง (Bacterial blight disease) เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Xoo) และส่งผลกระทบต่อการผลิตข้าวในประเทศไทย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบยีนต้านทานโรคขอบใบแห้งในข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในบางพื้นที่ของภาคเหนือตอนล่าง จำนวน 20 สายพันธุ์ โดยใช้ไพรเมอร์จำเพาะ (*xa5*, *Xa21*, *Xa33*(RMWR 7.1) และ *Xa33*(RMWR 7.6)) และประเมินระดับความต้านทานต่อเชื้อสาเหตุ Xoo ผลการศึกษาพบว่าข้าวสายพันธุ์พื้นเมือง จำนวน 19 สายพันธุ์ มียีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง *xa5* ยกเว้นข้าวพิจิตร และเมื่อประเมินระดับความต้านทานต่อเชื้อ Xoo พบว่าข้าวมีระดับความต้านทานตั้งแต่ต้านทานสูง (HR) ไปจนถึงอ่อนแอปานกลาง (MS) ส่วนผลการตรวจสอบยีน *Xa21*, *Xa33*(RMWR 7.1) และ *Xa33*(RMWR 7.6) ให้ผลไปในลักษณะเดียวกัน คือ ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งในระดับที่แตกต่างกัน และพบว่าข้าวคัดนาโพธิ์ มีความสามารถในการต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งในระดับสูง (HR) ส่วนข้าวหอมกราว ข้าวล้นครก ข้าวทองย้อย ข้าวพุดดำ และข้าวพวงกระดาศ มีความต้านทาน (R) ซึ่งข้าวสายพันธุ์เหล่านี้สามารถนำไปเป็นแหล่งเชื้อพันธุ์เพื่อการปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่ต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง

**คำสำคัญ:** โรคขอบใบแห้ง ข้าวสายพันธุ์พื้นเมือง เครื่องหมายดีเอ็นเอ ยีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง

### คำนำ

โรคขอบใบแห้ง (Bacterial blight disease) สาเหตุเกิดจาก เชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* หรือที่เรียกว่า Xoo โรคนี้เป็นปัญหาสำคัญที่พบในพื้นที่ปลูกข้าวทั่วโลกรวมทั้งในประเทศไทย สร้างความเสียหายให้กับผลผลิตข้าวสูงถึง 81% เชื้อแบคทีเรียนี้สามารถเข้าทำลายได้ทุกระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยจะเกิดบาดแผลบริเวณด้านปลายและขอบของใบข้าว (Yasmin *et al.*, 2017) วิธีการหนึ่งในการป้องกันความเสียหายที่เกิดจากโรคนี้นี้ คือ การปลูกข้าวสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย *X. oryzae* pv. *oryzae* อย่างไรก็ตามสายพันธุ์ข้าวที่ต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งยังมีไม่มากนัก ดังนั้นจึงมีความพยายามค้นหาแหล่งพันธุกรรมของข้าวสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคขอบใบแห้งโดยเฉพาะในข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองของไทยซึ่งเป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง (Kawicha and Thanyasiriwat, 2020)

ข้าวสายพันธุ์พื้นเมือง (Local rice varieties) ถือว่าเป็นแหล่งความหลากหลายทางพันธุกรรมที่สำคัญของประเทศไทยมีคุณสมบัติเฉพาะตัว ได้แก่ ความทนทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช และสภาพเครียดต่าง ๆ เนื่องจาก

ข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองมีความแปรผันทางพันธุกรรมภายในประชากรสูง ประกอบด้วยแหล่งยีนที่ต้านทานต่อโรคหลาย ๆ ยีนรวมกันอยู่ ซึ่งเกิดขึ้นจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติและการคัดเลือกโดยเกษตรกรในท้องถิ่นต่าง ๆ ทำให้ข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองมีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม และมีความสามารถในการต้านทานโรคและแมลงได้เป็นอย่างดี (Pusadee *et al.*, 2014) ปัจจุบันเกษตรกรนิยมปลูกข้าวสายพันธุ์ที่เป็นการค้าตามความต้องการของท้องตลาด เนื่องจากให้ผลผลิตสูง เมล็ดมีคุณภาพ ทำให้การปลูกข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองลดน้อยลงซึ่งส่งผลต่อแหล่งพันธุกรรมที่ดี เช่น แหล่งของยีนต้านทานโรคและแมลงต่าง ๆ ที่มีคุณค่าต่อการนำมาใช้ปรับปรุงพันธุ์ข้าวสูญหายไป (Funta *et al.*, 2019)

ปัจจุบันมีการค้นพบยีนต้านทานโรคขอบใบแห้งไม่น้อยกว่า 40 ยีน มีรายงานความสำเร็จของการโคลนยีนต้านทานโรคขอบใบแห้งเพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องหมายในการช่วยคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่ต้านทานโรคขอบใบแห้งจำนวน 11 ยีน ได้แก่ *Xa1*, *Xa3*, *Xa4*, *xa5*, *Xa10*, *xa13*, *Xa21*, *Xa23*, *xa25*, *Xa27* และ *Xa41* ประเทศไทยมีการรายงานการนำเครื่องหมายดีเอ็นเอที่มีความสัมพันธ์กับยีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง *Xa4*, *xa5*, *Xa7*, *xa13* หรือ *Xa21* สำหรับใช้ในการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าว ยีนต้านทานเหล่านี้ทำหน้าที่กำหนดการสร้างโปรตีน R ที่แตกต่างกันและมีกลไกการตอบสนองต่อไอโซเลทของเชื้อก่อโรคขอบใบแห้งอย่างจำเพาะ (Kumar *et al.*, 2020) เช่นยีน *xa5* เป็นยีนหลักที่ควบคุมลักษณะต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรคขอบใบแห้งที่พบในหลายประเทศ ในแถบเอเชียมีโครงสร้างโปรตีนแบบ gamma subunit of transcription factor IIA (TFIIA $\gamma$ ) ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนชนิดวาเลอีนและกรดกลูตามิกระหว่างสายพันธุ์ต้านทานและสายพันธุ์อ่อนแอ (Carpenter *et al.*, 2020) ยีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง *Xa21* เป็นยีนต้านทานแบบกว้าง (Broad spectrum

resistance) พบในสายพันธุ์ข้าวป่า (*Oryza longistaminata*) มีโครงสร้างโปรตีนแบบ Leucine-rich repeat receptor-like protein kinase (LRR-RLK) ซึ่งมีการพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุล PCR-based STS marker และ pTA248 จากยีนต้านทาน *Xa21* เพื่อใช้ในการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่มีลักษณะต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง (Nguyen *et al.*, 2018)

นอกจากนี้ Korinsak *et al.* (2009) มีการใช้เครื่องหมาย Simple Sequence Repeat (SSR) ในการตรวจสอบพบว่าในข้าว *Ba7* และ *O. nivara* มียีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง *Xa33(t)* อยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 7 สามารถต้านทานต่อเชื้อ *Xoo* สายพันธุ์ไทย TXO16 ในประเทศไทยมีรายงานการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 1 กับพันธุ์ที่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง คือ พันธุ์ปีนเกษตร 1 (PK1-BB-PY) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ต้านทานโรคขอบใบแห้งที่มียีน *xa5*, *Xa21* และ *Xa33* เพื่อให้พันธุ์ลูกผสมที่ได้มีความสามารถในการต้านทานโรคขอบใบแห้ง (Dangthaisong *et al.*, 2014) อย่างไรก็ตามการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวโดยการใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ จึงมีการนำมาใช้ร่วมกับการคัดเลือกโดยการประเมินระดับความต้านทานต่อโรค เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่ต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง งานวิจัยครั้งนี้ทำการตรวจสอบยีนต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งในข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองไทยที่ปลูกในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างโดยการใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอที่มีความจำเพาะต่อยีน *xa5*, *Xa21*, *Xa33*(RMWR 7.1) และ *Xa33*(RMWR 7.6) ร่วมกับการประเมินระดับความต้านทานของข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองต่อเชื้อ *X. oryzae* pv. *oryzae* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคขอบใบแห้ง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการเป็นแหล่งเชื้อพันธุ์ข้าวสำหรับใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งในประเทศไทย รวมถึงเพื่อการส่งเสริมและอนุรักษ์พันธุ์ข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองของไทยต่อไป

### วิธีดำเนินการวิจัย

นำตัวอย่างข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองจากจังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย ตาก และพิจิตร จำนวน 20 สายพันธุ์ที่ได้รับคำแนะนำจากศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก และข้าวสายพันธุ์มาตรฐานจำนวน 2 สายพันธุ์ คือ ข้าวชัยนาท 1 และข้าวหอมมะลิ 105 (Table 1) มาแช่ในน้ำเป็นเวลา 1 คืน แล้วนำมาปลูกลงดินในสภาพพลาสติกสำหรับปลูก เมื่อข้าวมีอายุ

ประมาณ 2-3 สัปดาห์ จะอยู่ในระยะที่มีใบอ่อน นำใบอ่อนของข้าวประมาณ 50-80 มิลลิกรัม มาสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธี Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) ที่ดัดแปลงมาจาก Doyle and Doyle (1987) และนำดีเอ็นเอที่ได้มาตรวจสอบคุณภาพด้วยกระแสไฟฟ้าใน 1% Agarose gel ในสารละลาย 1X TBE ร่วมกับ 1X SYBR® Safe DNA gel stain (Invitrogen, USA) ตรวจสอบภายใต้เครื่อง Gel documentation (Bio-Rad, USA) และเก็บดีเอ็นเอที่ได้อีกที่  $-20^{\circ}\text{C}$ .

**Table 1** Twenty local rice and two standard rice varieties used in this experiment

No.	Varieties name	Source	No.	Varieties name	Source
1	Hom Khrua	Phitsanulok	12	Lueang Luang	Tak
2	Lon Khrok	Phitsanulok	13	Phuang Dokmali	Tak
3	Khao Namkhang	Phitsanulok	14	Phuang Kradat	Tak
4	Saibua	Phitsanulok	15	Sanpa Tong Luang	Tak
5	Kula Lut Ni	Sukhothai	16	Kluai Pi	Tak
6	Ta Khaek	Sukhothai	17	Chet Ruang	Phichit
7	Khat Na Pho	Sukhothai	18	Ko Diao Nak	Phichit
8	Thong Yoi	Sukhothai	19	Lueang Kaset	Phichit
9	Phut Tam	Sukhothai	20	Khao Chalo	Phichit
10	Hom Dong	Sukhothai	21	Chainat 1 (recommended susceptible variety)	
11	Phichit	Tak	22	Hom Mali 105 (recommended resistance variety)	-

### การตรวจสอบยีนต้านทานโรคขอบใบแห้งโดยใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอจำเพาะ

นำตัวอย่างดีเอ็นเอของข้าวสายพันธุ์พื้นเมือง 20 สายพันธุ์ ๆ ละ 20 ng และข้าวสายพันธุ์มาตรฐาน จำนวน 2 สายพันธุ์ ทำการเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมด้วยกระบวนการลูกโซ่พอลิเมอเรส (Polymerase Chain Reaction: PCR) (Mullis *et al.*, 1992) ในปริมาตรรวม 25  $\mu\text{l}$  ซึ่งประกอบด้วย 50 mM  $\text{MgCl}_2$ , 10 mM dNTPs, 1X *Taq* DNA polymerase (Invitrogen, USA) และ 10  $\mu\text{M}$  Forward และ Reverse primers ที่มีความจำเพาะต่อยีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง จำนวน 4 คู่ (Table 2)

และใช้สภาวะที่เหมาะสม ดังนี้ Pre-denaturation ที่อุณหภูมิ  $95^{\circ}\text{C}$ . เป็นเวลา 5 นาที ตามด้วย Denaturation ที่อุณหภูมิ  $94^{\circ}\text{C}$ . เป็นเวลา 2 นาที จำนวน 35 รอบ และ Annealing ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมของแต่ละยีน (ยีน *x<sub>a5</sub>* และ *X<sub>a21</sub>* ที่  $59^{\circ}\text{C}$ . และ *X<sub>a33</sub>*(RMWR 7.1) และ *X<sub>a33</sub>*(RMWR 7.6) ที่  $57^{\circ}\text{C}$ .) เป็นเวลา 45 วินาที Extension ที่อุณหภูมิ  $72^{\circ}\text{C}$ . เป็นเวลา 1 นาที และ Final-extension ที่อุณหภูมิ  $72^{\circ}\text{C}$ . เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นนำผลผลิตพีซีอาร์ที่ได้มาตรวจสอบใน 2% TBE agarose gel และเครื่อง Gel documentation (Bio-Rad)

**Table 2** Nucleotide sequences of four specific primers used in this study

Genes	Nucleotide sequences (5'-3')	Reference
<i>xa5</i>	F; GAGTCGATGTAATGTCATCAGTGC R; GAAGGAGGTATCGCTTTGTTGGAC	Blair and McCouch (1997)
<i>Xa21</i>	F; ATAGACGCGGAAGGGTGGTTC R; ATAGACGCGGTAATCGAAAAGATG	Korinsak <i>et al.</i> (2009)
<i>Xa33</i> (RMWR 7.1)	F; TTTTATCCCCTTCTTCCTTC R; CGTGTTTTGTGTGCTTTTTG	Podishetty (2014)
<i>Xa33</i> (RMWR 7.6)	F; CAACAAACACCTCCATGGTC R; GGAATGAGCAAAAATTGG	Podishetty (2014)

### การประเมินระดับความต้านทานของข้าวสายพันธุ์ พื้นเมืองต่อโรคขอบใบแห้ง

ทำการทดสอบความต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งในข้าวสายพันธุ์พื้นเมือง จำนวน 20 สายพันธุ์ และสายพันธุ์มาตรฐาน จำนวน 2 สายพันธุ์ (Table 1) โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *X. oryzae* pv. *oryzae* ที่เป็นเชื้อสาเหตุของโรคขอบใบแห้ง จำนวน 2 ไอโซเลท ได้แก่ BB-6436 และ BB-6442 ซึ่งเป็นไอโซเลทที่คัดแยกได้จากข้าวที่เป็นโรคขอบใบแห้งในพื้นที่โดยศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก มาเลี้ยงบนอาหาร Nutrient agar (NA) บ่มที่อุณหภูมิ 25-28°C. เป็นเวลา 48-72 ชั่วโมง จากนั้นเตรียมสารแขวนลอยเชื้อแบคทีเรียให้ได้ปริมาณเซลล์ เท่ากับ  $1 \times 10^6$  Colony-forming units (CFU)/มิลลิลิตร หลังจากปลูกข้าวสายพันธุ์ที่ต้องการทดลองในกระถางขนาดเล็ก วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ เมื่อต้นข้าวมีอายุ 3 สัปดาห์ ทำการปลูกเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ไอโซเลทด้วยวิธี Leaf-clipping method (Jennings, 1979) โดยใช้กรรไกรจุ่มสารแขวนลอยเชื้อแบคทีเรียที่เตรียมไว้ นำกรรไกรมาตัดปลายใบข้าวในบริเวณที่ต่ำกว่าปลายใบข้าวลงมาประมาณ 1 เซนติเมตร บันทึกข้อมูลโดยการวัดความยาวของแผลหลังปลูกเชื้อเป็นเวลา 7 และ 14 วัน

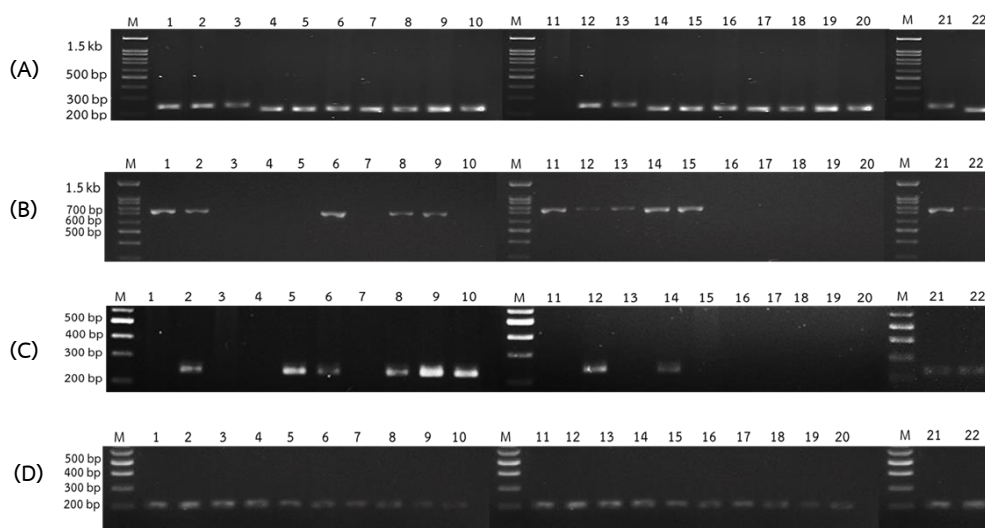
ให้คะแนนระดับความต้านทานของข้าวตามเกณฑ์ของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI, 2013) ดังนี้  
คะแนน 0 แสดงระดับต้านทานสูง (HR)  
= รอยแผลบริเวณใบมีความยาวน้อยกว่า 1 เซนติเมตร  
คะแนน 1 แสดงระดับความต้านทาน (R)  
= รอยแผลบริเวณใบมีความยาว 1-5 เซนติเมตร  
คะแนน 3 แสดงระดับความต้านทานปานกลาง (MR)  
= รอยแผลบริเวณใบมีความยาว 5-10 เซนติเมตร  
คะแนน 5 แสดงระดับอ่อนแอปานกลาง (MS)  
= รอยแผลบริเวณใบมีความยาว 10-15 เซนติเมตร  
คะแนน 7 แสดงระดับอ่อนแอ (S)  
= รอยแผลบริเวณใบมีความยาว 15-20 เซนติเมตร  
คะแนน 9 แสดงระดับอ่อนแอมาก (HS)  
= รอยแผลบริเวณใบมีความยาวมากกว่า 20 เซนติเมตร

### ผลการวิจัย

จากการตรวจสอบยีนต้านทานโรคขอบใบแห้งในข้าวสายพันธุ์พื้นเมือง จำนวน 20 สายพันธุ์ โดยใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอจำเพาะ (*xa5*, *Xa21*, *Xa33*(RMWR 7.1) และ *Xa33*(RMWR 7.6) พบยีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง *xa5* ที่มีขนาดของผลผลิตพีซีอาร์ประมาณ

227-240 bp (Figure 1) ในข้าวสายพันธุ์พื้นเมือง จำนวน 19 สายพันธุ์ ยกเว้นข้าวสายพันธุ์พิจิตร คิดเป็น 95% ของสายพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่นำมาทดสอบ และจากการตรวจสอบครั้งนี้ พบยีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง *Xa21* ที่มีขนาดประมาณ 700 bp ในข้าวสายพันธุ์พื้นเมือง จำนวน 10 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวหอมศรีวิชัย ข้าวลิ้นครก ข้าวตาแขก ข้าวทองย้อย ข้าวพุดดำ ข้าวพิจิตร ข้าวเหลืองหลวง ข้าวพวงดอกมะลิ ข้าวพวงกระดาศ และข้าวสันป่าตอง คิดเป็น 50% ของสายพันธุ์ข้าวที่นำมาทดสอบ ยีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง *Xa33*(RMWR 7.1) พบในข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 8 สายพันธุ์ (ข้าวลิ้นครก ข้าวกุลาหลุดหนี ข้าวตาแขก ข้าวทองย้อย ข้าวพุดดำ ข้าวหอมดง

ข้าวเหลืองหลวง และข้าวพวงกระดาศ) คิดเป็น 40% โดยมีขนาดของผลผลิตพีซีอาร์ประมาณ 210 bp และยีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง *Xa33*(RMWR 7.6) พบในข้าวทั้ง 20 สายพันธุ์ มีขนาดประมาณ 200 bp นอกจากนี้จากการตรวจสอบยีนต้านทานโรคขอบใบแห้งในข้าวสายพันธุ์มาตรฐาน จำนวน 2 สายพันธุ์ คือ ข้าวชัยนาท 1 เป็นพันธุ์อ่อนแอต่อโรคขอบใบแห้ง และข้าวสายพันธุ์ต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง คือ ข้าวหอมมะลิ 105 พบมียีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง *xa5* และปรากฏขนาดของอัลลีลอ่อนแอของยีน *Xa21*, *Xa33*(RMWR 7.1) และ *Xa33*(RMWR 7.6)



**Figure 1** The PCR products of four specific primers for bacterial blight resistance genes; (A) *xa5* gene (with PCR products ranging from 227 to 240 bp); (B) *Xa21* gene (produced PCR products with an approximate size of 700 bp); (C) *Xa33* (RMWR 7.1) gene (with PCR products with an approximate size of 210 bp); and (D) *Xa33* (RMWR 7.6) gene (with PCR products with an approximate size of 210 bp.); (M) = 100 bp DNA ladder (1) Hom Khrua, (2) Lon Khrok, (3) Khao Namkhang, (4) Saibua, (5) Kula Lut Ni, (6) Ta Khaek, (7) Khat Na Pho, (8) Thong Yoi, (9) Phut Tam, (10) Hom Dong, (11) Phichit, (12) Lueang Luang, (13) Phuang Dokmali, (14) Phuang Kradat, (15) Sanpa Tong Luang, (16) Klulai Pi, (17) Chet Ruang, (18) Ko Diao Nak, (19) Lueang Kaset, (20) Khao Chalo, (21) Chainat 1 and (22) Hom Mali 105

### การประเมินระดับความต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง

จากการประเมินระดับความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อ *X. oryzae* pv. *oryzae* จำนวน 2 ไอโซเลท คือ BB-6436 และ BB-6442 ในข้าวสายพันธุ์พื้นเมือง จำนวน 20 สายพันธุ์ และข้าวสายพันธุ์มาตรฐาน จำนวน 2 สายพันธุ์ ด้วยวิธี Leaf clipping technique และประเมินผลหลังปลูกเชื้อ 7 และ 14 วัน พบว่าหลังปลูกเชื้อ 7 วัน ข้าวทุกสายพันธุ์ยังไม่พบบาดแผลบริเวณใบข้าวที่ทำการปลูกเชื้อทั้ง 2 ไอโซเลท (BB-6436 และ BB-6442) และเมื่อทำการประเมินผลหลัง 14 วัน พบว่าข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่นำมาทดสอบตอบสนองต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคขอบใบแห้งทั้ง 2 ไอโซเลท ในทิศทางเดียวกัน (Table 3, Figure 2-3) โดยแบ่งระดับความต้านทานของข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองได้ 5 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1) ข้าวที่มีความต้านทานในระดับสูง (HR) (คะแนน 0) มี 1 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวคัด นาโพธิ์ โดยมีความยาวของแผลหลังจากปลูกเชื้อไอโซเลท BB-6436 และ BB-6442 เท่ากับ  $0.50 \pm 0.00$  และ  $0.40 \pm 0.17$  เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 3) กลุ่มที่ 2) ข้าวที่มีความต้านทาน (R) (คะแนน 1) มีจำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวล้นครก ข้าวหอมศรีวัด ข้าวทองน้อย ข้าวพุดดำ และข้าวพวงกระดาศ โดยมีความยาวของแผลเฉลี่ยหลังจากปลูกเชื้อไอโซเลท BB-6436 และ BB-6442 เท่ากับ  $2.63 \pm 0.73$  และ  $2.76 \pm 0.61$  เซนติเมตร ตามลำดับ กลุ่มที่ 3) ข้าวที่มีความต้านทานอยู่ที่ระดับปานกลาง (MR) (คะแนน 3) จำนวน 10 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวน้ำค้าง ข้าวกุลาหลุดหนึ่ ข้าวตาแขก ข้าวหอมดง ข้าวพวงดอกมะลิ ข้าวสันป่าตองหลวง ข้าวกล้วยปี ข้าวเจ็ดรวง ข้าวเหลืองเกษตร และข้าวขาวชโล มีความยาวแผลเฉลี่ยหลังปลูกเชื้อไอโซเลท BB-6436 เท่ากับ  $7.16 \pm 1.73$  เซนติเมตร และไอโซเลท BB-6442 เท่ากับ  $7.78 \pm 0.81$  เซนติเมตร กลุ่มที่ 4) ข้าวที่มีความอ่อนแอในระดับปานกลาง (MS) (คะแนน 5) จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวสายบัว ข้าวเหลืองหลวง และข้าวขาวกอดีวนหนัก มีความยาวแผลเฉลี่ยหลังปลูกเชื้อไอโซเลท BB-6436 เท่ากับ  $13.86 \pm 2.26$  เซนติเมตร และไอโซเลท

BB-6442 เท่ากับ  $12.86 \pm 0.42$  เซนติเมตร และกลุ่มที่ 5) ข้าวที่มีความอ่อนแอ (S) (คะแนน 7) ต่อเชื้อสาเหตุโรคขอบใบแห้ง จำนวน 1 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพิจิตร มีความยาวแผลหลังปลูกเชื้อไอโซเลท BB-6436 เท่ากับ  $16.93 \pm 1.01$  เซนติเมตร และไอโซเลท BB-6442 เท่ากับ  $17.33 \pm 0.76$  เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวชัยนาท 1 ซึ่งเป็นข้าวสายพันธุ์มาตรฐานอ่อนแอต่อโรคขอบใบแห้ง มีความยาวของแผลหลังปลูกเชื้อไอโซเลท BB-6436 และ BB-6442 เท่ากับ  $24.33 \pm 4.04$  และ  $27.00 \pm 1.73$  เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความอ่อนแอต่อเชื้อสาเหตุของโรคขอบใบแห้งในระดับอ่อนแอมาก (HS) (คะแนน 9) ส่วนข้าวหอมมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวสายพันธุ์ต้านทานมาตรฐาน มีความยาวแผลหลังปลูกเชื้อทั้ง 2 ไอโซเลท (BB-6436 และ BB-6442) เท่ากับ  $0.40 \pm 0.17$  เซนติเมตร ซึ่งอยู่ในระดับความต้านทานสูง (HR) (คะแนน 0)

นอกจากนี้ ในการศึกษาครั้งนี้เมื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างยีนต้านทานและระดับความต้านทานโรคขอบใบแห้ง พบว่าข้าวคัดนาโพธิ์ ที่มีระดับความต้านทานสูง (HR) มียีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง 2 ยีน คือ *xa5* และ *Xa33*(RMWR 7.6) ส่วนข้าวที่มีระดับความต้านทานอยู่ที่ระดับ R มีจำนวน 5 สายพันธุ์ โดยข้าว 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวล้นครก ข้าวทองน้อย ข้าวพุดดำ และข้าวพวงกระดาศ พบว่ามียีนต้านทานโรคขอบใบแห้งทั้ง 4 ยีน (*xa5*, *Xa21*, *Xa33*(RMWR 7.1) และ *Xa33*(RMWR 7.6)) เช่นเดียวกันพบว่าข้าวหอมมะลิ 105 ที่มีความต้านทานระดับ R และพบยีนต้านทานครบทั้ง 4 ยีน แต่ข้าวหอมศรีวัดซึ่งมีความต้านทานอยู่ในระดับเดียวกัน พบยีนต้านทาน 3 ยีน ได้แก่ *xa5*, *Xa21* และ *Xa33*(RMWR 7.6) ส่วนในข้าวสายพันธุ์ที่มีความต้านทานระดับปานกลาง (MR) มีจำนวน 10 สายพันธุ์ (ข้าวขาวน้ำค้าง ข้าวกุลาหลุดหนึ่ ข้าวตาแขก ข้าวหอมดง ข้าวพวงดอกมะลิ ข้าวสันป่าตองหลวง ข้าวกล้วยปี ข้าวเจ็ดรวง ข้าวเหลืองเกษตร และข้าวขาวชโล) แต่พบว่าสายพันธุ์ข้าวเหล่านี้มียีนต้านทานที่แตกต่างกัน ดังนี้ ข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองที่มียีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง 2 ยีน (*xa5* และ

*Xa33*(RMWR 7.6)) ได้แก่ ข้าวขาวน้ำค้าง ข้าวกล้วยปี ข้าวเจ็ดรวง ข้าวเหลืองเกษตร และข้าวขาวชโล ข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองที่มียืนต้านทานโรคขอบใบแห้ง 3 ยีน ได้แก่ ข้าวกุลาหลุดหน้ และข้าวหอมตง พบยืน *xa5*, *Xa33* (RMWR 7.1) และ *Xa33*(RMWR 7.6) ข้าวพวงดอกมะลิ และข้าวสันป่าตองหลวง พบยืน 3 ยีน แต่แตกต่างกัน คือ ยืน *xa5*, *Xa21* และ *Xa33*(RMWR 7.6) และข้าวตาแขก พบยืนต้านทานทั้ง 4 ยีน (*xa5*, *Xa21*, *Xa33*(RMWR 7.1) และ *Xa33*(RMWR 7.6)) ข้าวที่มีระดับความอ่อนแอ

ปานกลาง (MS) มีจำนวน 3 สายพันธุ์ โดยข้าวสายบัว และข้าวขาวกอเดี่ยวหนัก พบยืนต้านทาน 2 ยีน คือ *xa5* และ *Xa33*(RMWR 7.6) ส่วนข้าวเหลืองหลวง พบยืนต้านทานทั้ง 4 ยีน คือ *xa5*, *Xa21*, *Xa33*(RMWR 7.1) และ *Xa33*(RMWR 7.6) ในขณะที่ข้าวพิจิตร ซึ่งมีความอ่อนแอต่อโรค (S) พบยืนต้านทาน 2 ยีน คือ *Xa21* และ *Xa33*(RMWR 7.6) ส่วนข้าวชัยนาท 1 ที่มีความอ่อนแอต่อโรคมก (HS) พบยืนต้านทานโรคขอบใบแห้งทั้ง 4 ยีน

**Table 3** The disease incidences of bacterial blight resistance genes and the resistance level of twenty local rice and standard varieties evaluated at 14 days after inoculation

No.	Rice Varieties	Bacterial blight resistance genes				Level of resistance to bacterial blight <sup>a</sup>			
		<i>xa5</i>	<i>Xa21</i>	<i>Xa33</i>	<i>Xa33</i>	BB-6436 isolate		BB-6442 isolate	
				(RMWR7.1)	(RMWR7.6)	Lesion length (cm) (mean±SD)	Resistance level	Lesion length (cm) (mean±SD)	Resistance level
1	Hom Khrua	✓	✓		✓	2.00±0.87	R	2.17±0.76	R
2	Lon Khrok	✓	✓	✓	✓	4.67±0.58	R	4.50±0.50	R
3	Khao Namkhang	✓			✓	8.73±1.08	MR	8.33±1.26	MR
4	Saibua	✓			✓	12.60±0.53	MS	12.43±0.40	MS
5	Kula Lut Ni	✓		✓	✓	5.67±0.58	MR	6.00±0.50	MR
6	Ta Khaek	✓	✓	✓	✓	5.00±0.00	MR	5.50±0.50	MR
7	Khat Na Pho	✓			✓	0.50±0.00	HR	0.40±0.17	HR
8	Thong Yoi	✓	✓	✓	✓	2.67±0.58	R	3.00±0.50	R
9	Phut Tam	✓	✓	✓	✓	2.50±1.32	R	3.00±1.00	R
10	Hom Dong	✓		✓	✓	9.33±1.15	MR	9.67±1.04	MR
11	Phichit		✓		✓	16.93±1.01	S	17.33±0.76	S
12	Lueang Luang	✓	✓	✓	✓	15.00±1.73	MS	11.83±0.29	MS
13	Phuang Dokmali	✓	✓		✓	5.97±0.87	MR	7.50±0.50	MR
14	Phuang Kradat	✓	✓	✓	✓	1.33±0.29	R	1.17±0.29	R
15	Sanpa Tong Luang	✓	✓		✓	8.40±1.97	MR	9.50±1.00	MR
16	Kluai Pi	✓			✓	6.77±0.93	MR	7.50±0.50	MR

**Table 3** (Continued)

No.	Rice Varieties	Bacterial blight resistance genes				Level of resistance to bacterial blight <sup>a</sup>			
		<i>xa5</i>	<i>Xa21</i>	<i>Xa33</i>	<i>Xa33</i>	BB-6436 isolate		BB-6442 isolate	
				(RMWR7.1)	(RMWR7.6)	Lesion length (cm) (mean±SD)	Resistance level	Lesion length (cm) (mean±SD)	Resistance level
17	Chet Ruang	✓			✓	6.87±0.98	MR	7.17±0.76	MR
18	Ko Diao Nak	✓			✓	14.00±0.00	MS	14.33±0.58	MS
19	Lueang Kaset	✓			✓	7.67±1.26	MR	9.00±0.50	MR
20	Khao Chalo	✓			✓	7.27±1.55	MR	7.67±1.53	MR
21	Chainat 1	✓	✓	✓	✓	24.33±4.04	HS	27.00±1.73	HS
22	Hom Mali 105	✓	✓	✓	✓	0.40±0.17	HR	0.40±0.17	HR

<sup>a</sup>The average lesion length from three replicates; Resistance level; HR = Highly resistant, less than 1 cm; R = Resistant, 1-5 cm; MR = Moderately resistant, 5-10 cm; MS = Moderately susceptible, 10-15 cm; S = Susceptible, more than 15 cm; HS = Highly susceptible, more than 20 cm



**Figure 2** Symptom characteristics at each resistance level after inoculating with *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* bacterium isolate BB-6436 on rice leaves 14 days after inoculation; HR = Highly resistant, >1 cm; R = Resistant, >1-5 cm; MR = Moderately resistant, >5-10 cm; MS = Moderately susceptible, >10-15 cm; S = Susceptible, >15 cm; HS = Highly susceptible, >20 cm; scale bar = 5 mm



**Figure 3** Symptom characteristics at each resistance level after inoculating with *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* bacterium isolate BB-6442 on rice leaves for 14 days after inoculation; HR = Highly resistant, >1 cm; R = Resistant, >1-5 cm; MR = Moderately resistant, >5-10 cm; MS = Moderately susceptible, >10-15 cm; S = Susceptible, >15 cm; HS = Highly susceptible, >20 cm; scale bar = 5 mm

### วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการประเมินระดับความต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งในข้าวสายพันธุ์พื้นเมือง 20 สายพันธุ์ และมีกลุ่มควบคุมโดยใช้ข้าวชัยนาท 1 (Chainat 1) เป็นตัวแทนของข้าวอ่อนแอต่อโรคขอบใบแห้ง และข้าวหอมมะลิ 105 (Hom Mali 105) เป็นตัวแทนของข้าวต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง เมื่อพิจารณาจากการตรวจสอบยีนต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งทั้ง 4 ยีน พบว่ายีนต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งตำแหน่ง *xa5* ซึ่งมีลักษณะเป็นยีนด้อย (Recessive resistance gene) (Blair and McCouch, 1997) พบในข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองถึงร้อยละ 95 โดยมีขนาดของผลผลิตพีซีอาร์ที่สอดคล้องกับยีน *xa5* ที่ในข้าวสายพันธุ์สายพันธุ์ต้านทานโรคขอบใบแห้ง Zhongzu14 (227 bp) (Ji *et al.*, 2016) เช่นเดียวกับผลการประเมินระดับความต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งในข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองทั้ง 20 สายพันธุ์ในการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่าข้าว 16 สายพันธุ์ (80%) มีความต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง จึงสามารถ

กล่าวได้ว่ายีนต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งตำแหน่ง *xa5* เป็นยีนที่มีความสำคัญในกลไกป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรคขอบใบแห้ง เช่นเดียวกับการปรับปรุงข้าว Manawthukha โดยใช้ยีนต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งตำแหน่ง *xa5* เป็นหนึ่งในยีนหลักที่ให้ผลการต้านทานสูง (Win *et al.*, 2013) ส่วนการพบยีนนี้ในข้าวชัยนาท 1 ที่เป็นข้าวสายพันธุ์อ่อนแอ (HS) แต่พบว่ามีขนาดของผลผลิตพีซีอาร์ใหญ่กว่าในตัวอย่างข้าวอื่น ๆ ซึ่งอาจเกิดการกลายพันธุ์ขึ้นในยีน *xa5* ของข้าวชัยนาท 1 จึงไม่สามารถแสดงคุณสมบัติในการต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งได้

ยีนต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งตำแหน่ง *Xa21* พบได้เพียงร้อยละ 50 ของข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองที่นำมาทดสอบ ซึ่งข้าวที่พบยีนนี้มีผลการประเมินระดับความต้านทานสอดคล้องกันถึง 8 จาก 10 สายพันธุ์ (80%) โดยมีความต้านทานตั้งแต่ในระดับต้านทานปานกลาง (MR) ไปจนถึงระดับต้านทาน (R) แสดงให้เห็นว่าการมียีน *Xa21* สามารถส่งเสริมกลไกการต้านทานต่อโรคขอบใบ

แห่ง ซึ่งโปรตีนของยีน *Xa21* มีโครงสร้างโปรตีนแบบ Leucine-rich repeat receptor-like protein kinase (LRR-RLK) เป็นกลุ่มยีนต้านทานของพืชที่แสดงออกเป็น Pattern Recognition Receptor (PRR) ทำหน้าที่ในการเป็นตัวรับสัญญาณระบบภูมิคุ้มกันของข้าวเพื่อตรวจจับสารกลุ่มซัลเฟต (RaxX) ที่ผลิตจากแบคทีเรียแกรมลบ *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. นับเป็นปราการด่านแรกของระบบภูมิคุ้มกันในข้าว (Ercoli *et al.*, 2022) โดยเกี่ยวข้องในกระบวนการตรวจสอบ Pathogen-Associated Molecular Patterns (PAMPs) จากภายนอกเซลล์พืชเพื่อกระตุ้นความต้านทานแบบ PAMP-triggered immunity (PTI) ต่อไป ส่งผลให้เกิดการป้องกันการบุกรุกของเชื้อ โดยชักนำการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับกลไกการต้านทานโรค (Jones and Dangl, 2006; Dodds and Rathjen, 2010) อย่างไรก็ตามในข้าวพิจิตรและข้าวเหลืองหลวง รวมถึงข้าวชัยนาท 1 ที่พบยีน *Xa21* เช่นกัน แต่แสดงความอ่อนแอต่อโรคขอบใบแห้ง เมื่อพิจารณาจากขนาดของผลผลิตพีซีอาร์ที่ได้มีขนาดเพียง 700 bp แตกต่างจากยีน pTA248 (*Xa21*) ในข้าวที่มีความต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง ที่มีผลผลิตพีซีอาร์ขนาดประมาณ 1,000 bp (Mishra *et al.*, 2018) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์โปรตีนมีขนาดเล็กลงถึง 100 อะมิโน อาจทำให้ตัวรับสัญญาณระบบภูมิคุ้มกันต่อสาร RaxX ไม่สมบูรณ์ และส่งผลต่อประสิทธิภาพในการรับสัญญาณได้ (Ercoli *et al.*, 2022)

ส่วนยีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง *Xa33*(RMWR 7.1) ที่ตรวจพบในข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ทดสอบมีขนาดของผลผลิตพีซีอาร์มีขนาดต่างจากอัลลีลต้านทานในข้าว *O. nivara* (IRGC105710) (Kumar *et al.*, 2012) แต่มีขนาดใกล้เคียงกับอัลลีลอ่อนแอต่อโรคขอบใบแห้งที่พบในข้าว Taichung Native 1 เช่นเดียวกับ *Xa33*(RMWR 7.6) ที่ตรวจพบก็มีขนาดใกล้เคียงกับอัลลีลอ่อนแอต่อโรคขอบใบแห้ง (Podishetty, 2014) ดังนั้นยีน *Xa33*(RMWR 7.1) และ *Xa33*(RMWR 7.6) ที่พบในข้าวสายพันธุ์

พื้นเมืองที่นำมาทดสอบในครั้งนี้จึงไม่ส่งผลต่อความสามารถในการต้านทานโรคขอบใบแห้ง

แต่หากพิจารณาความสอดคล้องของการปรากฏของยีนต้านทานโรคขอบใบแห้งต่อความสามารถในการต้านทานโรคขอบใบแห้ง จากการศึกษาครั้งนี้พบยีนที่ต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง จะเห็นได้ว่าข้าวบางสายพันธุ์ในการศึกษานี้ที่ตรวจพบยีนมีระดับความต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งที่ไม่สอดคล้องกับการมีอยู่ของยีนต้านทาน เนื่องจากการมีอัลลีลอ่อนแอต่อโรคขอบใบแห้งอาจมีผลต่อการยับยั้งการแสดงออกของยีนอีกคู่หนึ่ง ทำให้ลักษณะทางฟีโนไทป์สามารถข่มการแสดงออกของยีนอีกตำแหน่งหนึ่งได้ และส่งผลต่อการสร้างโปรตีน R ที่แตกต่างกัน และมีกลไกการตอบสนองต่อไอโซเลทของเชื้อก่อโรคขอบใบแห้งอย่างจำเพาะ (Tian *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2020) นอกจากนี้กลไกการทำงานในการต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งอาจจะอาศัยการทำงานร่วมกันของยีนต้านทานโรคขอบใบแห้งหลายยีน เพื่อกระตุ้นกลไกการป้องกันตัวของพืช (Jones and Dangl, 2006; Dodds and Rathjen, 2010) ในปัจจุบันมีการรายงานยีนต้านทานโรคขอบใบแห้งไม่น้อยกว่า 40 ยีน และบางยีนถูกนำมาใช้เป็นเครื่องหมายดีเอ็นเอสำหรับการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่ต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง เช่น ยีนต้านทาน *Xa4*, *xa5*, *Xa7* และ *xa13* สำหรับคัดเลือกข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองของไทย (Sombunjitt *et al.*, 2017) นอกจากนี้ยังมีการผสมพันธุ์ข้าวให้มียีนต้านทานโรคขอบใบแห้งหลายตำแหน่ง เช่น ยีน *Xa4* กับ *Xa21* หรือ ยีน *xa5*, *Xa21* กับ *Xa33* เพื่อให้ได้ลูกผสมที่มีความสามารถในการต้านทานโรคขอบใบแห้ง (Dangthaisong *et al.*, 2014; Yaodam *et al.*, 2017)

การศึกษานี้จึงชี้ให้เห็นว่าข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองเป็นแหล่งของยีนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง โดยการปรากฏของยีนต้านทานโรคขอบใบแห้งที่เป็นอัลลีลต้านทาน ช่วยให้ข้าวมีความสามารถในการต้านทานต่อการเข้าทำลายของ

เชื้อ Xoo ได้ดียิ่งขึ้น ข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองที่สามารถตรวจสอบพบยีนได้หลาย ๆ ตำแหน่งจึงเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการนำไปใช้ปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความสามารถในการต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษายีนต้านทานโรคขอบใบแห้งในตำแหน่งอื่น ๆ รวมไปถึงลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนในข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองให้มากยิ่งขึ้น เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการเลือกนำไปใช้เป็นต้นพันธุ์สำหรับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวต่อไป

### สรุปผลการวิจัย

การตรวจสอบยีนต้านทานโรคขอบใบแห้งในข้าวสายพันธุ์พื้นเมือง โดยใช้เครื่องหมายที่มีความจำเพาะจำนวน 4 ยีน (*xa5*, *Xa21*, *Xa33*(RMWR 7.1) และ *Xa33*(RMWR 7.1)) พบว่าข้าวทุกสายพันธุ์ที่นำมาทดสอบมียีนต้านทานโรคขอบใบแห้ง *xa5* คิดเป็น 90% ส่วนยีนต้านทาน *xa21*, *Xa33*(RMWR 7.1) และ *Xa33*(RMWR 7.6) จะพบในข้าวบางสายพันธุ์เท่านั้น และเมื่อทดสอบความต้านทานโรคขอบใบแห้งด้วยเชื้อ *X. oryzae* pv. *oryzae* ไอโซเลท BB-6436 และ BB-6442 พบว่าข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองแสดงความต้านทานต่อเชื้อในระดับที่แตกต่างกัน และจากการศึกษาความสัมพันธ์ของการปรากฏของยีนต้านทานและระดับความต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง พบว่าข้าวที่มีระดับความต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรคขอบใบแห้งอยู่ที่ R จนถึง MS จะมียีนต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง *xa5* ในขณะที่ข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองที่ไม่พบยีนต้านทาน *xa5* คือ ข้าวสายพันธุ์พิจิตรมีความอ่อนแอ (S) ต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคขอบใบแห้ง ส่วนยีน *Xa21* ที่พบในการศึกษานี้เป็นอัลลีลที่อ่อนแอต่อโรคขอบใบแห้ง ซึ่งพบในสายพันธุ์ข้าวประมาณ 50% ที่ทำการทดสอบ (10 สายพันธุ์) ผลการตรวจสอบยีน *Xa33*(RMWR 7.1) ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับยีน *Xa21* และ *Xa33*(RMWR 7.6) ซึ่งการ

ปรากฏของยีนต้านทานโรคขอบใบแห้งทั้ง 4 ยีนนี้ยังไม่สอดคล้องกับระดับความต้านทานของโรคขอบใบแห้งที่ประเมินได้ในการศึกษานี้

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้พบว่าข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองที่มีความสามารถต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง โดยเป็นข้าวที่มีความต้านทานสูง (HR) 1 สายพันธุ์ คือ ข้าวคันทนาโพธิ์ และข้าวที่มีระดับความต้านทานอยู่ที่ต้านทาน (R) จำนวน 5 สายพันธุ์ คือ ข้าวหอมศรีวิชัย ข้าวลั่นครก ข้าวทองย้อย ข้าวพุดดำ และข้าวพวงกระดาศ ดังนั้นข้าวพื้นเมืองทั้ง 6 สายพันธุ์นี้ จึงเป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีศักยภาพสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งเชื้อพันธุ์สำหรับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองและเชื้อสาเหตุโรคขอบใบแห้งเพื่อใช้ในการทดสอบครั้งนี้ ขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และสาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- Blair, M.W. and S.R. McCouch. 1997. Microsatellite and sequence-tagged site markers diagnostic for the rice bacterial leaf blight resistance gene *xa-5*. *Theoretical and Applied Genetics* 95: 174-184.

- Carpenter, S.C., P. Mishra, C. Ghoshal, P.K. Dash, L. Wang, S. Midha, G.S. Laha, J.S. Lore, W. Kositratana, N.K. Singh and K. Singh. 2020. An *xa5* resistance gene-breaking Indian strain of the rice bacterial blight pathogen *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* is nearly identical to a Thai strain. **Frontiers in Microbiology** 11: 579504.
- Dangthaisong, P., R. Kaewcheenchai and A.W. Sattayachiti. 2014. Pathumthani 1 Rice Improvement for Submergence Tolerance, Bacterial Blight and Brown Planthopper Resistance by Marker-Assisted Selection. pp. 116-134. **In Proceedings of Winter Rice and Cereals Academic Conference.** Bangkok: Division of Rice Research and Development. [in Thai]
- Dodds, P.N. and J.P. Rathjen. 2010. Plant immunity: towards an integrated view of plant-pathogen interactions. **Nature Reviews Genetics** 11(8): 539-548.
- Doyle, J.J. and J.L. Doyle. 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. **Phytochemical Bulletin** 19(1): 11-15.
- Ercoli, M.F., D.D. Luu, E.Y. Rim, A. Shigenaga, A.T. de Araujo Jr, M. Chern, R. Jain, R. Ruan, A. Joe, V. Valley Stewart and P. Ronald. 2022. Plant immunity: rice XA21-mediated resistance to bacterial infection. **PNAS** 119(8): e2121568119.
- Funta, S., U. Rakmak and A. Wongtamee. 2019. Variation of seed morphology in local rice varieties from the lower North of Thailand. **Naresuan Agriculture Journal** 16(2): 55-62. [in Thai]
- IRRI (International Rice Research Institute). 2013. **Standard Evaluation System for Rice.** Manila (Philippines): International Rice Research Institute. 56 p.
- Jennings, P.R. 1979. **Rice Improvement.** Los Banos, The Philippines: International Rice Research Institute. 189 p.
- Ji, Z.J., S.D. Yang, Y.X. Zeng, Y. Liang, C.D. Yang and Q. Qian. 2016. Pyramiding blast, bacterial blight and brown planthopper resistance genes in rice restorer lines. **Journal of Integrative Agriculture** 15(7): 1432-1440.
- Jones J.D.G and J.L. Dangl. 2006. The plant immune system. **Nature** 444: 323-329.
- Kawicha, P. and T. Thanyasiriwat. 2020. Screening of local rice varieties for gene resistance to bacterial leaf blight using DNA markers. **Songklanakarin Journal of Plant Science** 7(1): 17-34. [in Thai]
- Korinsak, S., S. Sriprakhon, P. Sirithanya, J. Jairin, S. Korinsak, A. Vanavichit and T. Toojinda. 2009. Identification of microsatellite markers (SSR) linked to a new bacterial blight resistance gene *xa33* (t) in rice cultivar 'Ba7'. **Maejo International Journal of Science and Technology** 3(2): 235-247.

- Kumar, P.N., K. Sujatha, G.S. Laha, K.S. Rao, B. Mishra, B.C. Viraktamath, Y. Hari, C.S. Reddy, S.M. Balachandran, T. Ram, and M.S. Madhav. 2012. Identification and fine-mapping of *Xa33*, a novel gene for resistance to *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. **Phytopathology** 102(2): 222-228.
- Kumar, A., R. Kumar, D. Sengupta, S.N. Das, M.K. Pandey, A. Bohra, N.K. Sharma, P. Sinha, H. Sk, I.A. Ghazi, and G.S. Laha. 2020. Deployment of genetic and genomic tools toward gaining a better understanding of rice-*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* interactions for development of durable bacterial blight resistant rice. **Frontiers in Plant Science** 2020(11): 1152. DOI: 10.3389/fpls.2020.01152
- Mullis, K., F. Faloona, S. Scharf, R. Saiki, G. Horn, and H. Erlich. 1992. Specific enzymatic amplification of DNA *In Vitro*: the polymerase chain reaction. **Biotechnology Series** 1992(24): 17-27.
- Mishra, S.K., N. Kumar, P. Chand, M. Kumar, D. Singh and R. Kumar. 2018. Expression of *Xa21* allele resistant to bacterial blight under artificial epiphytic condition in Indian Basmati rice (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 7(6): 747-755.
- Nguyen, H.T., Q.H. Vu and L. Van Vu. 2018. Marker-assisted selection of *Xa21* conferring resistance to bacterial leaf blight in indica rice cultivar LT2. **Rice Science** 25(1): 52-56.
- Podishetty, N.K. 2014. **Bacterial Leaf Blight Resistance Gene, *Xa33* in Rice: Identification and Genetic Characterization of New Bacterial Leaf Blight (BLB) Resistance Gene in Rice.** California: University of California. 238 p.
- Pusadee, T., P. Oupkaew, B. Rerkasem, S. Jamjod and B.A. Schaal. 2014. Natural and human-mediated selection in a landrace of Thai rice (*Oryza sativa*). **Annals of Applied Biology** 165(2): 280-292.
- Sombunjitt, S., T. Sriwongchai, C. Kuleung and V. Hongtrakul. 2017. Searching for and analysis of bacterial blight resistance genes from Thailand rice germplasm. **Agriculture and Natural Resources** 51(5): 365-375. [in Thai]
- Tian, D., J. Wang and Z. Yin. 2014. The rice TAL effector-dependent resistance protein *XA10* triggers cell death and calcium depletion in the endoplasmic reticulum. **The Plant Cell** 26(1): 497-515.
- Win, K.M., S. Korinsak, P. Sirithunya, J. Lanceras-Siangliw, W. Jamboonsri, T. Da, S. Patarapuwadol and T. Toojinda. 2013. Marker assisted introgression of multiple genes for bacterial blight resistance into aromatic Myanmar rice MK-75. **Field Crops Research** 154: 164-171.

Yaodam, K., P. Sripichitt, T. Sriwongchai and S. Junbuathong. 2017. Development of rice lines for bacterial leaf blight resistance using backcross method and marker-assisted selection. **KKU Science Journal** 45(3): 595-604. [in Thai]

Yasmin, S., F.Y. Hafeez and M.S. Mirza. 2017. Biocontrol of bacterial leaf blight of rice and profiling of secondary metabolites produced by Rhizospheric *Pseudomonas aeruginosa* BRp3. **Biocontrol Science Technology** 24: 1227-1242.

ผลของชนิดแมลงอาศัยต่อชีววิทยาของแตนเบียน *Microplitis manilae* Ashmead  
(Hymenoptera: Braconidae)

Effect of Host Species on Biology of Parasitoid, *Microplitis manilae* Ashmead  
(Hymenoptera: Braconidae)

นัตริกา สีขาว\* เบญจคุณ แสงทองพราว และอัญชนา ท่านเจริญ

Nattrika Seekhow\*, Benjakhun Sangtongpraow and Anchana Thancharoen

ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, Thailand 10900

\*Corresponding author: nattrika.se@ku.th

Received: September 15, 2023

Revised: March 14, 2024

Accepted: April 10, 2024

### Abstract

*Microplitis manilae* is an endoparasitoid that parasitizes larvae in the genus *Spodoptera*. In Thailand, three species of spodoptera, namely the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*), common cutworm (*S. litura*) and beet armyworm (*S. exigua*), are found in high numbers. The biological control method using parasitoids is an alternative method for reducing insecticide applications. This research investigated the biological aspects of *M. manilae*, focusing on its developmental period, percentage parasitism, sex ratio of offspring, longevity and fecundity when parasitizing three hosts (fall armyworm, common cutworm, and beet armyworm). Our findings revealed a significant influence of the host species on *M. manilae* is biology. *S. exigua* caused the highest percentage parasitism (41.66%), a higher female to male ratio (1:0.9) and the most fecundity rate (16.70 eggs per female). While *S. exigua* emerged as the most suitable host for mass rearing *M. manilae* for augmentative biological control and followed by *S. frugiperda* and *S. litura* proved to be unsuitable.

**Keywords:** biological control, parasitization, fall armyworm, insect natural enemy

## บทคัดย่อ

แตนเบียน *Microplitis manilae* เป็นแตนเบียนภายใน (Endoparasitoid) ที่เบียนหนอนในสกุล *Spodoptera* ในประเทศไทยพบหนอนกระทู้ 3 ชนิดจำนวนมาก คือ หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด (*Spodoptera frugiperda*) หนอนกระทู้ผัก (*S. litura*) และหนอนกระทู้หอม (*S. exigua*) การควบคุมโดยชีววิธีด้วยการใช้แตนเบียนเป็นทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้กำจัดแมลงโดยชีววิธีเพื่อลดการใช้สารเคมี งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชีววิทยาของแตนเบียน *Microplitis manilae* ซึ่งประกอบด้วย ระยะเวลาที่ใช้ในการพัฒนา เปอร์เซ็นต์การเบียน อัตราส่วนเพศ อายุขัยและความตกของไข่ ในแมลงอาศัย 3 ชนิด ได้แก่ หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* หนอนกระทู้ผัก *S. litura* และหนอนกระทู้หอม *S. exigua* ผลการศึกษาพบว่า ชนิดของแมลงอาศัยมีผลต่อชีววิทยาของแตนเบียน *M. manilae* โดย *S. exigua* มีผลให้แตนเบียนมีเปอร์เซ็นต์การเบียนสูง (41.66 เปอร์เซ็นต์) อัตราส่วนเพศเมียมากกว่าเพศผู้ (1:0.9) และมีความตกของไข่สูงสุด (16.70 ฟองต่อเพศเมีย 1 ตัว) เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นแมลงอาศัยในการเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณในงานการควบคุมแมลงศัตรูพืชโดยชีววิธีแบบเพิ่มพูนแผ่ขยายรองลงมาคือ *S. frugiperda* ส่วน *S. litura* ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นแมลงอาศัยในการเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณแตนเบียนชนิดนี้

**คำสำคัญ:** การควบคุมโดยชีววิธี การเบียน หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด แมลงศัตรูธรรมชาติ

## คำนำ

หนอนกระทู้ในสกุล *Spodoptera* (Lepidoptera: Noctuidae) เป็นศัตรูพืชที่สำคัญทำให้เกิดความเสียหายกับพืชเศรษฐกิจหลายชนิดในประเทศ

ไทย ชนิดที่ทำความเสียหายกับข้าวโพด ได้แก่ หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด (*S. frugiperda*) นอกจากทำลายข้าวโพดแล้วยังสามารถทำลายพืชได้อีกมากกว่า 350 ชนิด พบระบาดในประเทศไทยในช่วงปลายปี พ.ศ. 2561 เข้าทำลายข้าวโพดได้ตั้งแต่ระยะต้นกล้าไปจนถึงติดฝัก กัดกินใบ เจาะโคนต้น และเจาะฝัก และด้วยสภาพแวดล้อม สภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ จึงสามารถตั้งถิ่นฐานและระบาดเป็นวงกว้างจนกลายเป็นศัตรูพืชประจำถิ่น (Rwomushana, 2019) นอกจากนี้มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับผลกระทบจากการระบาดของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดในทวีปแอฟริกา พบว่าปริมาณผลผลิตข้าวโพดมีปริมาณลดลงถึง 8.3-20.6 ล้านตันต่อปี (Day et al., 2017) และงานวิจัยของ Baudron et al. (2019) รายงานว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ถูกหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดเข้าทำลายคิดเป็น 26.4 ถึง 55.9 เปอร์เซ็นต์ และส่งผลกระทบต่อผลผลิต 11.57 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีหนอนกระทู้ผัก (*S. litura*) ซึ่งเป็นแมลงศัตรูพืชที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของเอเชีย มีการแพร่กระจายในประเทศเขตร้อนและเขตอบอุ่น มีพืชอาหารมากกว่า 120 ชนิด เช่น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าว ถั่วเหลือง และพืชผักหลายชนิด เป็นต้น สามารถเข้าทำลายได้ตั้งแต่ระยะกล้า ออกดอก และติดผล (Maes, 2014) และหนอนกระทู้หอม (*S. exigua*) เป็นแมลงศัตรูพืชที่กินพืชอาหารได้หลากหลาย ไม่น้อยกว่า 100 ชนิด เช่น ข้าวโพด กะหล่ำปลี กะหล่ำดอก เป็นต้น สามารถเข้าทำลายพืชได้ทุกระยะการเจริญเติบโต มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และมีการระบาดในประเทศไทย (Capinera, 2020; Qiu et al., 2013) มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับผลกระทบทางเศรษฐกิจของหนอนกระทู้หอมในสหรัฐอเมริกา พบว่าในการปลูกมะเขือเทศหากพบการระบาดของหนอนในช่วงต้นของการเจริญเติบโตจะสร้างความเสียหายอย่างมาก และหนอน 1 ตัวต่อมะเขือเทศ 20 ต้น ก็สามารถทำให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจได้ (Taylor and Riley, 2008)

แนวทางการควบคุมหนอนกระทู้ในสกุล *Spodoptera* โดยชีววิธี โดยการใช้แตนเบียนซึ่งเป็นแมลงที่มีความเฉพาะเจาะจงกับแมลงอาศัย มีการนำมาใช้ควบคุมแมลงศัตรูพืช แตนเบียนหนอน *Microplitis manilae* (Hymenoptera: Braconidae) เป็นแตนเบียนที่มีการแพร่กระจายอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ไทย และเวียดนาม ถูกนำมาใช้ในการควบคุมหนอนกระทู้ *Spodoptera* ในประเทศจีน (Qiu *et al.*, 2012; Sun and Huang, 2010) นอกจากนี้ยังมีการนำเข้าแตนเบียนชนิดนี้จากประเทศไทยเพื่อควบคุมหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดในฟลอริดา แต่ไม่สามารถตั้งรกรากได้ เนื่องจากปัจจัยอุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม แตนเบียน *M. manilae* มีรายงานว่าเป็นแมลงที่ตั้งรกรากอยู่ในประเทศไทย พื้นที่ที่มีการแพร่ระบาดของหนอนกระทู้ทั้ง 3 ชนิด และมีรายงานว่าแตนเบียนชนิดนี้สามารถเบียนหนอนกระทู้ได้ทั้ง 3 ชนิด (Qiu *et al.*, 2012; Rajapakse *et al.*, 1985) หากนำแตนเบียนชนิดนี้มาเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณเพื่อใช้ในการควบคุมหนอนกระทู้ในประเทศไทย จำเป็นต้องมีข้อมูลชีววิทยาของแตนเบียนในสภาพแวดล้อมของประเทศไทยซึ่งยังมีข้อมูลจำกัด รวมถึงชนิดของหนอนกระทู้ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณในการควบคุมแมลงศัตรูพืชโดยชีววิธีแบบเพิ่มพูนแผ่ขยาย (Augmentative biological control) จึงเป็นที่มาของงานวิจัยเรื่องนี้ เพื่อศึกษาชีววิทยาของแตนเบียน *M. manilae* ประกอบด้วยระยะเวลาที่ใช้พัฒนา เพอร์เซ็นต์การเบียน อัตราส่วนเพศอายุขัยของตัวเต็มวัย และความอดทนของไข่ โดยเปรียบเทียบการเบียนในหนอนกระทู้ทั้ง 3 ชนิด คือ หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด หนอนกระทู้ฝัก และหนอนกระทู้หอม ผลที่ได้จากงานวิจัยจะเป็นข้อมูลเพื่อนำไปเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณ และนำไปปล่อยในพื้นที่ที่มีการระบาดของหนอนกระทู้ต่อไป

## วิธีดำเนินการวิจัย

### การเพาะเลี้ยงหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* หนอนกระทู้ฝัก *S. litura* และหนอนกระทู้หอม *S. exigua*

หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดถูกสุ่มเก็บตัวอย่างในแปลงปลูกข้าวโพด จังหวัดกาญจนบุรี ส่วนหนอนกระทู้ฝักและหนอนกระทู้หอมได้รับการอนุเคราะห์มาจากกรมส่งเสริมการเกษตร นำหนอนทั้ง 3 ชนิดมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการของภาคกีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยมีการตัดแปลงขั้นตอนการเลี้ยงดังนี้ (Qiu *et al.*, 2012) นำหนอนแต่ละชนิดมาเลี้ยงในถ้วยพลาสติกขนาด 1 ออนซ์ (หนอน 1 ตัวต่อ 1 ถ้วย) เพื่อหลีกเลี่ยงหนอนกินกันเอง ให้อาหารเทียมที่พัฒนาสูตรจากศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม ขนาด 1x1x1 ซม. ปิดด้วยผ้าที่เจาะรู เปลี่ยนอาหารเทียมทุก 2 วัน เลี้ยงที่อุณหภูมิ 27±3°ซ. ความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์ จนหนอนเข้าสู่ระยะดักแด้ให้นำดักแด้วางไว้ในถ้วยพลาสติก รองด้วยกระดาษทิชชู หลังจากนั้น 2 วัน นำเข้ากรงตาข่ายสำหรับเลี้ยงผีเสื้อขนาด 30x30x30 ซม. ภายในกรงมีกระดาษทิชชูตัดเป็นแผ่นยาวขนาด 1x8 ซม. เพื่อให้ผีเสื้อวางไข่ พร้อมเตรียมสารละลายน้ำผึ้ง 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ชุบกกับสำลีวางไว้ในกรง จากนั้นสำรวจการวางไข่ของผีเสื้อเพศเมียทุก 2 วัน แล้วนำไข่ออกมาเลี้ยงขยายต่อเป็นรุ่นต่อไป

### การเพาะเลี้ยงแตนเบียน *M. manilae*

แตนเบียน *M. manilae* นำมาจากการเก็บดักแด้ (ลักษณะดักแด้รูปรูสีน้ำตาลครีม) จากใบข้าวโพด จังหวัดกาญจนบุรี โดยมีการตัดแปลงขั้นตอนการเลี้ยงดังนี้ (Qiu *et al.*, 2012) นำดักแด้แตนเบียนใส่หลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 มม. สูง 150 มม. เมื่อตัวเต็มวัย

ฟักออกจากดักแด้ ให้สารละลายน้ำผึ้ง 10 เปอร์เซ็นต์ ชุบกับสำลีก้านให้เป็นอาหาร เมื่อตัวเต็มวัยเพศเมียได้รับการผสมแล้วจากนั้น 2 วัน นำแตนเบียนตัวเต็มวัยเพศเมียที่ได้รับการผสมแล้ว 1 ตัว ใส่ในหลอดทดลองที่มีหนอนกระทู้หอมวัยที่ 2 หลอดละ 15 ตัว เป็นระยะเวลา 24 ชม. จากนั้นนำหนอนกระทู้ที่ถูกเบียนแยกเลี้ยงในถ้วยพลาสติกขนาด 1 ออนซ์ ถ้วยละ 1 ตัว ให้อาหารเทียมเป็นอาหาร จนกระทั่งตัวอ่อนแตนเบียนเข้าดักแด้ เก็บดักแด้แตนเบียนใส่หลอดทดลอง สำหรับเพื่อเลี้ยงขยายต่อเป็นรุ่นต่อไป

### การศึกษาชีววิทยาของแตนเบียน *M. manilae* เมื่อเลี้ยงด้วยชนิดหนอนกระทู้ที่แตกต่างกัน

ศึกษาชีววิทยาของแตนเบียนโดยทดสอบกับหนอนกระทู้ทั้ง 3 ชนิด ดัดแปลงจากวิธีการของ Qiu *et al.* (2013) มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) นำหนอนกระทู้วัยที่ 2 ชนิดละ 30 ตัว ใส่ในหลอดทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มม. สูง 200 มม. หลอดละชนิด ใส่อาหารเทียมเพื่อเป็นอาหารแก่ตัวหนอน จากนั้นใส่แตนเบียน *M. manilae* เพศเมียอายุไม่เกิน 2 วัน และได้รับการผสมพันธุ์แล้วจำนวน 2 ตัวต่อหลอด ให้สารละลายน้ำผึ้ง 10 เปอร์เซ็นต์ ชุบสำลีก้านเพื่อเป็นอาหารแก่แตนเบียน ทำการทดลองกับหนอนกระทู้ทั้ง 3 ชนิด ชนิดละ 10 ซ้ำ ในช่วงเวลาเดียวกันเพื่อลดผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 24 ชม. นำหนอนกระทู้ในแต่ละหลอดแยกเลี้ยงในถ้วยพลาสติกขนาด 1 ออนซ์ ถ้วยละ 1 ตัว ให้อาหารเทียมเป็นอาหาร จนกระทั่งตัวอ่อนของแตนเบียนเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย บันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญเติบโตของแตนเบียนในแต่ละระยะ ตั้งแต่ระยะไข่จนเป็นตัวเต็มวัยเมื่อเลี้ยงด้วยหนอนกระทู้แต่ละชนิด บันทึกอัตราส่วนเพศของแตนเบียน *M. manilae* ที่ออกจาก

หนอนกระทู้แต่ละชนิด และคำนวณเปอร์เซ็นต์การเบียนในหนอนกระทู้แต่ละชนิดโดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเบียน} = \frac{\text{จำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมา (ตัว)} \times 100}{\text{จำนวนหนอนกระทู้แต่ละชนิด (ตัว)}}$$

นำแตนเบียนตัวเต็มวัยที่เลี้ยงด้วยหนอนกระทู้แต่ละชนิดมาศึกษาอายุขัยต่อ โดยแยกแตนเบียนเพศผู้และเพศเมียที่ได้จากการเบียนด้วยหนอนกระทู้แต่ละชนิดแยกใส่ในหลอดทดลอง หลอดละ 1 ตัว ทำ 10 ซ้ำ ให้สารละลายน้ำผึ้ง 10 เปอร์เซ็นต์ ชุบสำลีก้านเพื่อเป็นอาหารแก่แตนเบียน เปลี่ยนอาหารทุกวัน บันทึกจำนวนวันที่แตนเบียนแต่ละตัวมีชีวิตอยู่

นำแตนเบียนตัวเต็มวัยที่เลี้ยงด้วยหนอนกระทู้แต่ละชนิดมาศึกษาความดกของไข่ โดยนำแตนเบียนเพศเมียที่ได้รับการผสมพันธุ์แล้วที่ได้จากการเบียนด้วยหนอนกระทู้แต่ละชนิด แยกใส่ในหลอดทดลองหลอดละ 1 ตัว ทำ 10 ซ้ำ ให้หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่พบการเบียนสูงสุดในการทดลองครั้งนี้ จำนวน 15 ตัว เป็นระยะเวลา 24 ชม. จากนั้นนำหนอนกระทู้ที่แยกเลี้ยงต่อในถ้วยพลาสติกขนาด 1 ออนซ์ ถ้วยละ 1 ตัว ให้อาหารเทียมเป็นอาหาร และนำหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดชุดใหม่อีก 15 ตัว ใส่ในหลอดทดลองเป็นระยะเวลา 24 ชม. ทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งแตนเบียนเพศเมียตาย จดบันทึกจำนวนลูกแตนเบียนทั้งหมดที่ได้จากแม่แตนเบียน 1 ตัว

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของระยะเวลาในการพัฒนา เปอร์เซ็นต์การเบียน อายุขัย และความดกของไข่ของแตนเบียนโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Ver.23) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Tukey's HSD ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P < 0.05$ )

## ผลการวิจัย

**ระยะเวลาในการพัฒนา อัตราส่วนเพศ และเปอร์เซ็นต์การเบียนของแตนเบียน *M. manilae* ที่เลี้ยงด้วยหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* หนอนกระทู้ฝัก *S. litura* และหนอนกระทู้หอม *S. exigua***

ระยะเวลาในการพัฒนาของแตนเบียน *M. manilae* จากไข่เป็นตัวเต็มวัยเมื่อให้เบียนด้วยหนอนกระทู้ต่างชนิดกัน พบว่าชนิดของหนอนกระทู้มีผลต่อระยะเวลาในการพัฒนาของแตนเบียน โดยจากระยะไข่จนถึงระยะตัวอ่อน แตนเบียนที่เบียนหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* ใช้เวลาสั้นที่สุด  $6.84 \pm 0.08$  วัน แตกต่างจากหนอนกระทู้หอม *S. exigua* ที่ใช้เวลา  $7.21 \pm 0.07$  วัน ( $F=5.45$   $df=233$ ,  $P<0.05$ ) สอดคล้องกับระยะดักแด้ หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* ทำให้แตนเบียนมีระยะดักแด้สั้นที่สุด  $4.91 \pm 0.11$  วัน แตกต่างจากหนอนกระทู้ฝัก *S. litura* และหนอนกระทู้หอม *S. exigua* ที่ใช้เวลา  $5.88 \pm 0.04$  วัน และ  $6.06 \pm 0.11$  วัน ตามลำดับ ( $F=41.90$   $df=134$ ,  $P<0.05$ ) ระยะเวลาในการพัฒนาตั้งแต่ระยะไข่จนเป็นตัวเต็มวัยของแตนเบียนที่เบียนด้วยหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* พบว่าใช้เวลาสั้นที่สุดเท่ากับ  $12.46 \pm 0.10$  วัน แตกต่างจากหนอนกระทู้ฝัก *S. litura* และหนอนกระทู้หอม *S. exigua* ( $F=26.50$   $df=134$ ,  $P<0.05$ ) (Table 1) อัตราส่วนเพศเมียต่อเพศผู้ของแตนเบียนที่เลี้ยงด้วยหนอนกระทู้ฝัก *S. litura* และหนอนกระทู้หอม *S. exigua* พบว่าแตนเบียนเพศเมียมากกว่าเพศผู้เท่ากับ 1.2:0.8 และ 1:0.9 ตามลำดับ ไม่แตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่แตกต่างจากหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* ที่มีอัตราส่วนเพศเมียน้อยกว่าเพศผู้เท่ากับ 0.7:1.3 (Table 1) เปอร์เซ็นต์การเบียนของแตนเบียน *M. manilae* เมื่อเบียนหนอนกระทู้ชนิดที่แตกต่างกัน พบว่าชนิดของหนอนกระทู้มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเบียนของแตนเบียน โดยหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* และหนอนกระทู้หอม *S. exigua* ทำให้แตนเบียนมีเปอร์เซ็นต์การเบียนสูงสุดเท่ากับ 45.66 และ 41.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่แตกต่างจากหนอนกระทู้ฝัก *S. litura* ที่มีเปอร์เซ็นต์การเบียนต่ำสุดเท่ากับ 26.00 ( $F=14.18$   $df=899$ ,  $P<0.05$ ) โดย (Figure 1)

## **อายุขัยและความตกของไข่แตนเบียน *M. manilae***

แตนเบียนเพศผู้ที่ออกมาจากการเบียนด้วยหนอนกระทู้ฝัก *S. litura* มีอายุขัยสูงสุดเท่ากับ  $14.70 \pm 0.36$  วัน ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* ที่ทำให้แตนเบียนเพศผู้มีอายุขัย  $13.80 \pm 0.69$  วัน แต่แตกต่างจากหนอนกระทู้หอม *S. exigua* ที่ทำให้แตนเบียนเพศผู้มีอายุขัยต่ำสุด  $12.50 \pm 0.61$  วัน ( $F=3.66$   $df=29$ ,  $P<0.05$ ) ส่วนในแตนเบียนเพศเมียให้ผลไปในทางเดียวกัน คือ หนอนกระทู้ฝัก *S. litura* ทำให้แตนเบียนเพศเมียมีอายุขัยสูงสุด  $17.60 \pm 0.83$  วัน ไม่แตกต่างจากหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* ที่ทำให้แตนเบียนเพศเมียมีอายุขัย  $16.40 \pm 0.79$  วัน แต่แตกต่างจากหนอนกระทู้หอม *S. exigua* ที่ทำให้แตนเบียนเพศเมียมีอายุขัยต่ำสุด  $14.40 \pm 0.88$  วัน ( $F=3.73$   $df=29$ ,  $P<0.05$ ) (Table 2)

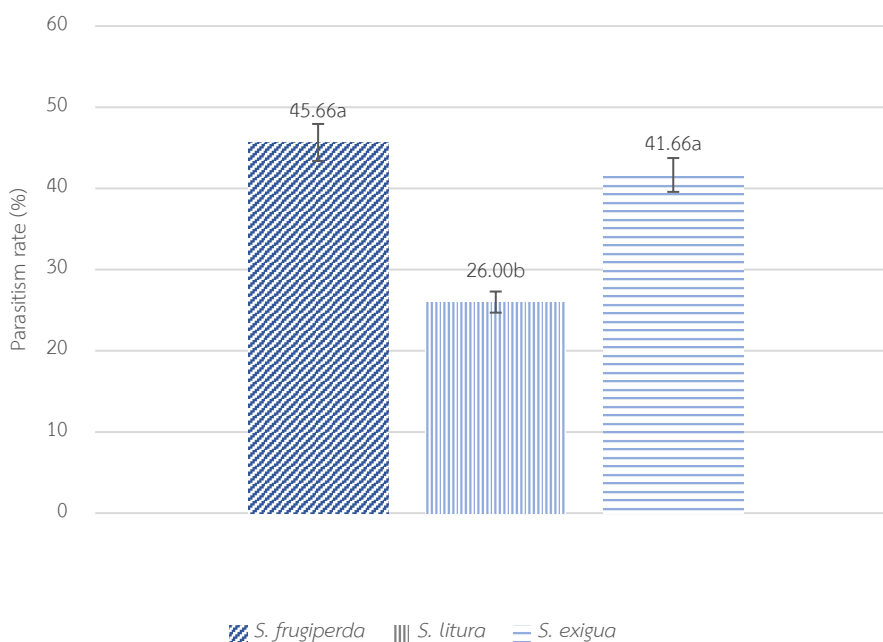
**Table 1** Effect of developmental period and sex ratio of *Microplitis manilae* host species on 2<sup>nd</sup> instar of *Spodoptera frugiperda*, *S. litura* and *S. exigua*

Hosts	Developmental period (days) <sup>1/</sup>			Sex ratio <sup>3/</sup> (Female : Male)
	Egg-larva	Pupa	Egg-adult <sup>2/</sup>	
<i>S. frugiperda</i>	6.84±0.08b	4.91±0.11b	12.46±0.10c	0.7 : 1.3
<i>S. litura</i>	7.00±0.07ab	5.88±0.04a	13.13±0.06b	1.2 : 0.8
<i>S. exigua</i>	7.21±0.07a	6.06±0.11a	13.82±0.18a	1.0 : 0.9

<sup>1/</sup>Mean±SE and mean within the same column followed by the different letter are significantly different at  $P < 0.05$  level according to the Tukey's HSD test.

<sup>2/</sup>Egg-Adult refers to the developmental period of *M. manilae* from egg until adult emergence.

<sup>3/</sup>Sex ratio refers to the number of male or female divided by the number of all emerged adults.



**Figure 1** Parasitism rate of *Microplitis manilae* on larvae of *Spodoptera frugiperda*, *S. litura* and *S. exigua*. Bars indicate mean±SE. Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) between host species (Tukey's HSD).

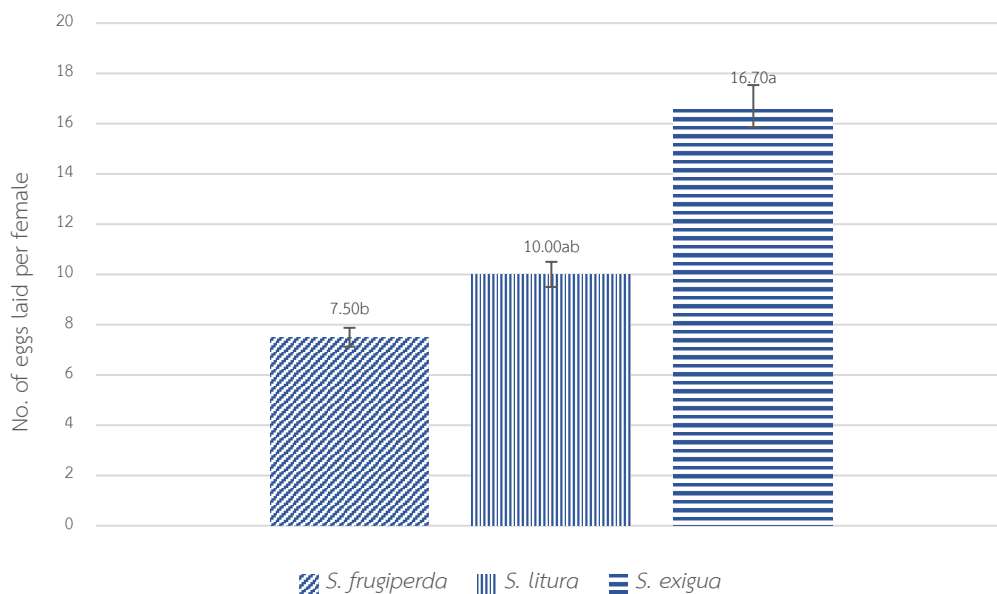
ความดกของไข่แตนเบียน *M. manilae* ที่ออกมาจากการเบียนด้วยหนอนกระทู้ชนิดที่ต่างกัน พบว่าชนิดของหนอนกระทู้มีผลต่อความดกของไข่แตนเบียน โดยแตนเบียนที่เบียนหนอนกระทู้หอม *S. exigua* มีความดกของไข่สูงสุด  $16.70 \pm 2.71$  ฟองต่อเพศเมีย 1 ตัว ซึ่งมี

ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* และหนอนกระทู้ฝัก *S. litura* ที่ทำให้แตนเบียนมีความดกของไข่ต่ำ  $7.50 \pm 1.24$  และ  $10.00 \pm 1.67$  ฟองต่อเพศเมีย 1 ตัว ตามลำดับ ( $F=5.78$   $df=29$ ,  $P<0.05$ ) (Figure 2)

**Table 2** Effects of host species on the longevity of *Microplitis manilae* adults

Hosts	Longevity of adult (days)*	
	Male	Female
<i>Spodoptera frugiperda</i>	$13.80 \pm 0.69$ ab	$16.40 \pm 0.79$ ab
<i>S. litura</i>	$14.70 \pm 0.36$ a	$17.60 \pm 0.83$ a
<i>S. exigua</i>	$12.50 \pm 0.61$ b	$14.40 \pm 0.88$ b

\*Mean±SE. Means within the same column followed by the different letter are significantly different at  $P<0.05$  level according to the Tukey’s HSD test.



**Figure 2** Effect of host species on the offspring of *Microplitis manilae*. Bars indicate mean±SE.

Different letters indicate significant differences ( $P<0.05$ ) between host species (Tukey’s HSD).

## วิจารณ์ผลการวิจัย

ระยะเวลาในการพัฒนาและอัตราส่วนเพศมีผลอย่างมากต่อการควบคุมแมลงศัตรูพืชอย่างมีประสิทธิภาพ ในสภาพธรรมชาติการที่แตนเบียนมีระยะเวลาในการพัฒนานานอาจช่วยลดการแข่งขันภายในชนิดเดียวกันในการผสมพันธุ์และการหาแมลงอาศัย (Häckermann *et al.*, 2007) แต่การเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณเพื่อใช้ในการควบคุมแมลงโดยชีววิธี แตนเบียนที่มีระยะเวลาในการพัฒนาสั้นจะง่ายต่อการดูแล จากการศึกษาระยะเวลาในการพัฒนาของแตนเบียน *M. manilae* ในครั้งนี้ สอดคล้องกับรายงานของ Rajapakse *et al.* (1985) ซึ่งพบว่าแตนเบียน *M. manilae* ที่เลี้ยงบนหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* ใช้ระยะเวลาในการพัฒนาจากไข่เป็นตัวเต็มวัยอยู่ 13-18 วัน (อุณหภูมิ 23-27°C. และความชื้นสัมพัทธ์ 50-70 เปอร์เซ็นต์) ส่วน Qiu *et al.* (2012) ได้ทำการศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของแตนเบียน *M. manilae* เมื่อเบียนหนอนกระทู้หอม *S. exigua* พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ระยะเวลาในการพัฒนาของแตนเบียนสั้นลง โดยที่อุณหภูมิ 26°C. แตนเบียนมีระยะเวลาในการพัฒนาอยู่ที่ 13.0±0.01 วัน มีความใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้นี้

ในการศึกษาของ Qiu *et al.* (2012) ที่อุณหภูมิ 26°C. พบว่าสัดส่วนของแตนเบียนเพศเมียเท่ากับ 1.05 ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้นี้ ปัจจัยที่ทำให้สัดส่วนเพศของแตนเบียนเป็นเพศผู้มากกว่าหรือเพศเมียมากกว่ามาจาก 1) การวางไข่ของเพศเมียที่มีการสืบพันธุ์แบบ Arrhenotoky ซึ่งแตนเบียนเพศเมียสามารถควบคุมการวางไข่ที่ไม่ได้รับการปฏิสนธิ ไข่จะพัฒนาเป็นลูกเพศผู้ และไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิจะพัฒนาเป็นลูกเพศเมีย (King, 1987) หรือ 2) ความสัมพันธ์ระหว่างการกำหนดเพศกับอัตราการอยู่รอดของตัวอ่อน ไข่ของแตนเบียนที่จะพัฒนาไปเป็นลูกเพศเมียจะถูกวางในแมลงอาศัยที่มีขนาดใหญ่กว่า (คุณภาพสูงกว่า) เนื่องจากแตนเบียนเพศเมีย

มีขนาดใหญ่ (King, 1993) มีจำนวนไข่มากและมีอายุขัยที่ยืนกว่า (Bertschy *et al.*, 2000; Srivastava and Singh, 1995) ส่วนไข่ของแตนเบียนที่จะพัฒนาไปเป็นลูกเพศผู้จะถูกวางในแมลงอาศัยที่มีขนาดเล็กกว่า (คุณภาพต่ำกว่า) (Godfray, 1994)

แตนเบียน *M. manilae* สามารถเบียนหนอนกระทู้ในสกุล *Spodoptera* (Rajapakse *et al.*, 1985) และถูกนำมาใช้ในการควบคุมหนอนกระทู้หอม *S. exigua* (Qiu *et al.*, 2012; Sun and Huang, 2010) หนอนกระทู้ผัก *S. litura* และหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* (Qiu *et al.*, 2013; Rajapakse *et al.* 1985) จากการศึกษาของ Xing *et al.* (2022) พบว่าเปอร์เซ็นต์การเบียนหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* ของแตนเบียนในสภาพแปลงอยู่ที่ 5.66-19.10 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพธรรมชาติแตนเบียนจะยอมรับหรือปฏิเสธการวางไข่ในแมลงอาศัยโดยประเมินจากคุณภาพของแมลงอาศัยเป็นหลัก (Strand and Pech, 1995)

จากการศึกษาของ Rajapakse *et al.* (1985) พบว่าแตนเบียน *M. manilae* ที่เบียนด้วยหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* ประมาณ 6 วัน ที่อุณหภูมิ 26±1°C. ซึ่งสั้นกว่าในการศึกษาครั้งนี้ อาจเป็นเพราะความแตกต่างของสารละลายที่ใช้เป็นอาหารของแตนเบียนและปัจจัยอุณหภูมิ จากรายงานของ Xing *et al.* (2022) พบว่าที่อุณหภูมิ 27.5°C. แตนเบียนที่เลี้ยงด้วยซูโครส 10 เปอร์เซ็นต์ และเบียนหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* มีอายุขัย 18.09 วัน และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 30°C. แตนเบียนมีอายุขัยสั้นลงเป็น 12.26 วัน และ Qiu *et al.* (2012) พบว่าที่อุณหภูมิ 29°C. แตนเบียนเพศเมียที่เบียนหนอนกระทู้หอม *S. exigua* มีอายุขัย 15.40 วัน ส่วนเพศผู้มีอายุขัย 10.40 วัน สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้นี้ที่อุณหภูมิอยู่ในช่วง 27±3°C. แตนเบียนมีอายุขัยอยู่ในช่วง 12-17 วัน ส่วนความอดทนของไข่แตนเบียน *M. manilae* ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าจำนวนไข่ต่อแตนเบียนเพศเมีย 1 ตัวต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Qiu *et al.* (2012) ซึ่ง

รายงานว่าแตนเบียนที่เบียนหนอนกระทู้หอม *S. exigua* มีความดกของไข่ถึง 243.0 ฟองต่อแตนเบียนเพศเมีย 1 ตัว อาจเป็นเพราะภาชนะที่ใช้ระหว่างการเบียนไม่เหมาะสม ทำให้แตนเบียนมีภาวะเครียด

### สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาระยะเวลาในการพัฒนาเปอร์เซ็นต์การเบียน อัตราส่วนเพศ อายุขัย และความดกของไข่แตนเบียน *M. manilae* โดยหนอนกระทู้ชนิดต่าง ๆ เป็นแมลงอาศัยมีผลต่อชีววิทยาของแตนเบียน โดยหนอนกระทู้หอม *S. exigua* ทำให้แตนเบียนมีเปอร์เซ็นต์การเบียนสูงถึง 41.66 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนเพศเมียมากกว่าเพศผู้ (1:0.9) ความดกของไข่สูงสุดเท่ากับ 16.70 ฟองต่อเพศเมีย 1 ตัว แต่มีอายุขัยสั้นที่สุดเท่ากับ  $12.50 \pm 0.61$  วันในเพศเมีย และ  $12.50 \pm 0.61$  วันในเพศผู้ ซึ่งยังมีผลที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแมลงอาศัยในการเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณในห้องปฏิบัติการ รองมาคือ หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *S. frugiperda* ส่วนหนอนกระทู้ฝัก *S. litura* ไม่เหมาะในการเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณแตนเบียน *M. manilae*

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เบญจคุณ แสงทองพราว และรองศาสตราจารย์ ดร. อัญชญา ท่านเจริญ ที่ให้คำแนะนำข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอด ขอขอบคุณกรมส่งเสริมการเกษตรที่ให้ความอนุเคราะห์ หนอนกระทู้ฝักและหนอนกระทู้หอม ขอขอบคุณ นักศึกษาปริญญาตรีสาขาการจัดการศัตรูพืชและสัตว์ ที่ช่วยเก็บตัวอย่างแมลง และขอขอบคุณภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์ ห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ในการทดลอง งานวิจัยนี้ เสร็จสมบูรณ์

### เอกสารอ้างอิง

- Baudron, F., M.A. Zaman-Allah, I. Chaipa, N. Chari and P. Chinwada. 2019. Understanding the factors influencing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) damage in African smallholder maize fields and quantifying its impact on yield. A case study in Eastern Zimbabwe. **Crop Protection** 120: 141-150.
- Bertschy, C., T.C.J. Turlings, A. Bellotti and S. Dorn. 2000. Host stage preference and sex allocation in *Aenasius vexans*, an encyrtid parasitoid of the cassava mealybug. **Entomologia Experimentalis et Applicata**. 95(3): 283-291.
- Capinera, J.L. 2020. **Common name: beet armyworm scientific name: *Spodoptera exigua* (Hübner) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae).** [Online]. Available [https://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/leaf/beet\\_armyworm.htm](https://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/leaf/beet_armyworm.htm) (January 25, 2022).
- Day, R., P. Abrahams, M. Bateman, T. Beale, V. Clottey, M. Cock, Y. Colmenarez, N. Corniani, R. Early, J. Godwin, J. Gomez, P.G. Moreno, S.T. Murphy, B. Oppong-Mensah, N. Phiri, C. Pratt, S. Silvestri and A. Witt. 2017. Fall Armyworm: Impacts and Implications for Africa. **Outlooks on Pest Management** 28(5): 196-201.

- Godfray, H.C.J. 1994. **Parasitoids: Behavioral and Evolutionary Ecology**. Princeton: Princeton University Press. 473 p.
- Häckermann, J., A.S. Rott and S. Dorn. 2007. How two different host species influence the performance of a gregarious parasitoid: host size is not equal to host quality. **Journal of Animal Ecology** 76(2): 376-383.
- King, B.H. 1987. Offspring sex-ratios in parasitoid wasps. **Quarterly Review of Biology** 62(4): 367-396.
- \_\_\_\_\_. 1993. Sex Ratio Manipulation by Parasitoid Wasps. pp. 418-441. *In* Wrench, D.L. and M.A. Ebbert (eds.). **Evolution and Diversity of Sex Ratio in Insects and Mites**. New York: Chapman and Hall.
- Maes, K. 2014. ***Spodoptera litura* (taro caterpillar): invasive species compendium**. [Online]. Available <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.44520> (January 25, 2022).
- Qiu, B., Z.S. Zhou, S.P. Luo and Z.F. Xu. 2012. Effect of temperature on development, survival, and fecundity of *Microplitis manilae* (Hymenoptera: Braconidae). **Environmental Entomology** 41(3): 657-664.
- Qiu, B., Z. Zhou and Z. Xu. 2013. Age preference and fitness of *Microplitis manilae* (Hymenoptera: Braconidae) reared on *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). **Florida Entomologist** 96(2): 602-609.
- Rajakpase, Rohan H.S., T.R. Ashley and V.H. Waddill. 1985. Biology and host acceptance of *Microplitis manilae* (Hymenoptera: Braconidae) raised on fall armyworm larvae *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Florida Entomologist** 68(4): 653-657.
- Rwomushana, I. 2019. ***Spodoptera frugiperda* (fall armyworm): invasive species compendium**. [Online]. Available <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.29810> (January 25, 2022).
- Srivastava, M.J. and R. Singh. 1995. Sex ratio adjustment by a koino-biotic parasitoid *Lysiphlebus delhiensis* (Subba Rao & Sharma) (Hymenoptera: Aphidiidae) in response to host size. **Biological Agriculture and Horticulture** 12(1): 15-28.
- Strand, M.R. and L.L. Pech. 1995. Immunological basis for compatibility in parasitoid-host relationships. **Annual Review of Entomology** 40: 31-56.

- Sun, J.S. and S.S. Huang. 2010. Evaluation of potential control ability of *Snellenius manilae* (Ashmead) against *Spodoptera exigua* (Hübner). **Acta Ecologica Sinica** 30: 1494-1499.
- Taylor, J.E. and D.G. Riley. 2008. Artificial infestations of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae), used to estimate an economic injury level in tomato. **Crop Protection** 27: 268-274.
- Xing, B., L. Yang, A. Gulinuer, F. Li and S. Wu. 2022. Effect of pupal cold storage on reproductive performance of *Microplitis manilae* (Hymenoptera: Braconidae), a larval parasitoid of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) **Insects** 449(13): 1-13.

การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของคาร์บอนด้วยพลาสมาความดันบรรยากาศ  
สำหรับการแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยกานพลูเพื่อควบคุมไรศัตรูผึ้ง  
Surface Modification of Carbon by Atmospheric-pressure Plasma  
for Impregnation with Clove Essential Oil to Control Honeybee Mites

วีรนนท์ ไชยมณี<sup>1\*</sup> พรพิมล พาชู<sup>1</sup> ประดุง สวนพุดิ<sup>2</sup> อีราพัฒน์ จักรเงิน<sup>3</sup> และธรรมบุญ บุญมี<sup>1</sup>

Veeranan Chaimanee<sup>1\*</sup>, Phonpimon Pasoo<sup>1</sup>, Pradoong Suanpoot<sup>2</sup>

Theerapat Jakngern<sup>3</sup> and Thummanoon Boonmee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

<sup>2</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

<sup>3</sup>สาขาวิชาการบัญชี มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

<sup>1</sup>Department of Agro-Industrial Biotechnology, Maejo University Phrae Campus, Phrae, Thailand 54140

<sup>2</sup>Department of Forest Industry Technology, Maejo University Phrae Campus, Phrae, Thailand 54140

<sup>3</sup>Department of Accounting, Maejo University Phrae Campus, Phrae, Thailand 54140

\*Corresponding author: chveeranan@gmail.com

## Abstract

Received: July 19, 2022

Revised: January 01, 2024

Accepted: January 23, 2024

*Tropilaelaps* spp. are ectoparasitic mites of honeybees. Mite parasitism can cause brood mortality and colony decline. In this study, the surface modification of carbon was performed using atmospheric of argon plasma jet with a 4.758 kV input voltage and a 829.901 kHz frequency to enhance material properties for mite control, absorption, evaporation and release rate of the clove (*Syzygium aromaticum*) essential oil. The results demonstrated that the absorption capacity was highest after plasma treatment at an argon flow rate of 1 L/min for 60 seconds ( $0.0080 \pm 0.0003$   $\mu\text{l}$  of oil/mg of dry material). The plasma-treated carbon showed a higher release rate of clove oil at 4 and 8 h of incubation. The clove oil was released, at  $17.127 \pm 2.212$  to  $21.513 \pm 2.330$   $\mu\text{l/ml}$ , after 72 h of incubation. The evaporation rate of essential oil was highest at 2 h of incubation in all treatments. The evaporation rate of plasma-untreated carbon ( $0.2442 \pm 0.0807$   $\mu\text{l/g}\cdot\text{hr}$ ) was higher than that of plasma-treated carbon. However, there was no significant difference among treatment groups. Thus, parameters related to the atmospheric pressure plasma should be further optimized to improve the material surfaces for use with essential oils to control honeybee mites.

**Keywords:** *Tropilaelaps*, honeybees, carbon, atmospheric-pressure plasma, clove essential oil

## บทคัดย่อ

*Tropilaelaps* เป็นไรศัตรูผึ้งที่มีการแพร่ระบาดในอุตสาหกรรมการเลี้ยงผึ้ง โดยไรชนิดนี้สามารถทำลายตัวอ่อนผึ้ง ทำให้ตัวอ่อนผึ้งตายและอาจส่งผลให้รังผึ้งล่มสลายในที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของพลาสมาความดันบรรยากาศชนิดเจ็ทโดยแก๊สอาร์กอนด้วยแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย 4.758 กิโลโวลต์ และความถี่ 829.901 กิโลเฮิร์ต ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการดูดซับ การระเหย และการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยกานพลูของคาร์บอน พบว่าคาร์บอนที่ผ่านการฉายพลาสมาที่อัตราไหลของแก๊สอาร์กอนเท่ากับ 1 ลิตร/นาที่นาน 60 วินาที มีค่าการดูดซับน้ำมันหอมระเหยกานพลูได้สูงสุดเท่ากับ  $0.0080 \pm 0.0003$  ไมโครลิตรต่อมิลลิกรัม น้ำหนักแห้งของวัสดุ น้ำมันหอมระเหยมีการปลดปล่อยสูงขึ้นในช่วงเวลาที่ 4-8 หลังผ่านพลาสมา และในช่วงเวลาที่ 72 คาร์บอนมีการปลดปล่อยอยู่ในช่วง  $17.127 \pm 2.212$  ถึง  $21.513 \pm 2.330$  ไมโครลิตรต่อมิลลิกรัม นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการระเหยของน้ำมันกานพลูบนวัสดุคาร์บอนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาที่ 2 ของการทดลอง ซึ่งคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านพลาสมามีอัตราการระเหยสูงสุด เท่ากับ  $0.2442 \pm 0.0807$  ไมโครลิตรต่อกรัมต่อชั่วโมง แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง จากผลการวิจัยในครั้งนี้จะใช้เป็นแนวทางในการหาสภาวะที่เหมาะสมของพลาสมาในการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางในการดูดซับและปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยเพื่อใช้ในการควบคุมไรผึ้งได้

**คำสำคัญ:** *Tropilaelaps* ผึ้ง คาร์บอน เทคโนโลยี

พลาสมาความดันบรรยากาศ

น้ำมันหอมระเหยกานพลู

## คำนำ

*Tropilaelaps* เป็นไรศัตรูผึ้งที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงผึ้งพันธุ์ (*Apis mellifera*) เป็นอย่างมากทั้งในประเทศไทยและเอเชีย ไรจะดูดกินของเหลวภายในตัวอ่อนของผึ้ง ซึ่งอาจทำให้ตัวอ่อนผึ้งตายก่อนเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย ไรชนิดนี้สามารถแพร่ขยายพันธุ์ได้เร็วกว่าไร *Varroa* (Burgett *et al.*, 1983) ส่งผลให้ปัจจุบันประเทศไทยมีการระบาดของไร *Tropilaelaps* สูงกว่าไร *Varroa* ถึง 25 เท่า โดยสามารถพบการแพร่ระบาดของไรมากในช่วงฤดูการขยายพันธุ์ผึ้งที่มีตัวอ่อนจำนวนมาก (de Guzman *et al.*, 2017) ปัจจุบันมีการใช้สารเคมีในการควบคุมการแพร่ระบาดของไร เช่น อะมีทราซ ฟลูวาเลนต ฟลูเมทริน รวมทั้งกรดฟอรั่มิค (Burgett and Kitprasert, 1990; Camphor *et al.*, 2005; Kongpitak *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพของการใช้สารเคมีดังกล่าวมีความไม่สม่ำเสมอในการควบคุมไร อีกทั้งการใช้สารเคมีในรังผึ้งนั้นส่งผลต่อราชินีผึ้งและการดำเนินกิจกรรมของผึ้งภายในรัง และยังพบการตกค้างของสารเคมีในน้ำผึ้งและผลิตภัณฑ์จากผึ้งด้วย (Atwal and Goyal, 1971; Burley *et al.*, 2008; Haarmann *et al.*, 2002; Mullin *et al.*, 2010) ปัจจุบันจึงมีทางเลือกใหม่ คือ การใช้ไขมันหอมระเหย เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมไรศัตรูผึ้ง *Varroa* และ *Tropilaelaps* (Bendifallah *et al.*, 2018; Chaimanee *et al.*, 2021; Damiani *et al.*, 2009) โดยไขมันหอมระเหยพืชหลายชนิดมีประสิทธิภาพในการควบคุมไรศัตรูผึ้งได้ในระดับห้องปฏิบัติการ เช่น น้ำมันหอมระเหยกานพลู และกระวาน (Chaimanee *et al.*, 2021; Nuanjohn and Chaimanee, 2019) แต่เมื่อนำไปทดสอบในสภาวะจริงในรังผึ้งพบว่า ประสิทธิภาพของไขมันหอมระเหย

กานพลู (ความเข้มข้น 0.5 และ 5.0 % (v/v)) และกระวาน (ความเข้มข้น 1.0 และ 10.0 % (v/v)) บนกระดาษแข็งออกฤทธิ์ ควบคุมไรศัตรูผึ้งได้ไม่ดีเท่าที่ควร (Chaimanee *et al.*, 2021) ซึ่งอาจจะต้องมีการเลือกใช้วัสดุตัวกลางที่เหมาะสม หรือการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของวัสดุตัวกลางให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับและปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้น โดยหนึ่งในเทคโนโลยีที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสภาพผิววัสดุ คือ เทคโนโลยีพลาสมาความดันบรรยากาศ (Non-thermal atmospheric pressure plasma technology)

เทคโนโลยีพลาสมาเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ ที่นำมาประยุกต์ใช้ปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติพื้นผิวของวัสดุ หรือผลิตภัณฑ์ได้ โดยพลาสมา ประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุ (Ionized particles) เช่น อิเล็กตรอน ไอออน Reactive Oxygen Species (ROS) และ Reactive Nitrogen Species (RNS) ( $O$ ,  $O_2^+$ ,  $O_3$ ,  $OH$ ,  $NO$  และ  $NO_2$ ) (Kaushik *et al.*, 2019; Yanling *et al.*, 2014) ซึ่งอนุภาคที่มีประจุเหล่านี้ถือเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของพื้นผิว โดย Liu and Liao (2021) ศึกษาการใช้ออกซิเจนพลาสมา ในการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวของถ่านไม้ไผ่เพื่อเพิ่ม หมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว (Polar functional groups) และเอาไปใช้ร่วมกับไฮโดรเจลแบบกราฟท์บนพื้นผิวด้วยแสง UV ที่ประกอบด้วยอนุภาคนาโนเงิน เพื่อให้วัสดุดังกล่าว มีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียสำหรับการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ การประยุกต์ใช้พลาสมาชนิด Dielectric Barrier Discharge (DBD) โดยใช้แก๊สผสมระหว่าง อาร์กอนและไอของแอมโมเนียที่อัตราการไหล 1 ถึง 7 ลิตรต่อนาที ระยะเวลา 1 นาที เพื่อปรับปรุงพื้นผิวของ Activated carbon ให้มีความชอบน้ำมากขึ้น สำหรับการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (Lubis *et al.*, 2019) รวมถึงการศึกษาออกซิเจนพลาสมา ในการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว Activated carbon fiber เพื่อให้มีการดูดซับน้ำได้ดีขึ้นด้วย (Huang *et al.*, 2021) ส่วนการประยุกต์ใช้พลาสมาในอุตสาหกรรมการเลี้ยงผึ้ง นั้น Boonmee *et al.* (2022) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้

อาร์กอนพลาสมาที่อัตราการไหลของแก๊สเท่ากับ 0.25 และ 0.50 ลิตรต่อนาที ระยะเวลา 30 และ 60 วินาทีต่อ ตารางเซนติเมตร เพื่อปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษแข็ง สำหรับใช้เป็นวัสดุตัวกลางในการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยกระวานในการควบคุมไร *Tropilaelaps* ซึ่งพบว่า อาร์กอนพลาสมาส่งผลให้เกิดการฉีกขาดของพื้นผิววัสดุ แต่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของกระดาษแข็ง และสามารถควบคุมการระบาดของไรในรังผึ้งได้ แต่ไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มของ กระดาษแข็งที่ไม่ได้ผ่านพลาสมา นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของวัสดุอื่นด้วย พลาสมา เช่น การเปลี่ยนแปลงเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โดยใช้พลาสมาที่มีอากาศผสมกับแก๊สฮีเลียมเป็นแก๊ส ตั้งต้น เพื่อให้เกิดการติดของเม็ดสีในเส้นใยโดยการเพิ่ม หมู่ที่มีขั้วที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ( $C=O$ ,  $C-OH$  และ  $COOH$ ) (Zhang *et al.*, 2017) และการนำพลาสมา ไปเปลี่ยนแปลงสภาพผิวของเทฟลอนให้มีความชอบน้ำ มากขึ้น โดยการเติมหมู่ที่มีขั้วบนผิววัสดุนั้น ๆ (Lopez-Garcia *et al.*, 2018)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการใช้ คาร์บอนเป็นวัสดุตัวกลาง และปรับปรุงสภาพพื้นผิวของ คาร์บอนด้วยเทคโนโลยีพลาสมาความดันบรรยากาศ เพื่อให้วัสดุคาร์บอนมีประสิทธิภาพในการดูดซับ การระเหย และปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยกานพลูได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมไรศัตรูผึ้ง

## อุปกรณ์และวิธีการ

### ระบบพลาสมาความดันบรรยากาศแบบเจ็ท

โครงสร้างของระบบพลาสมาความดันบรรยากาศแบบเจ็ทที่ใช้สำหรับงานวิจัย แสดงดัง Figure 1 อาร์กอนพลาสมาสร้างขึ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย 4.758 กิโลโวลต์ และความถี่ 829.901 กิโลเฮิร์ต โดยวัด ค่าแรงดันไฟฟ้าแรงสูง และรูปคลื่นสัญญาณความถี่ ไฟฟ้าแรงสูงด้วย High Voltage Probe (Tektronix

P6015A, USA) ที่เชื่อมต่อกับ Oscilloscope (Teledyne LeCroy HDO4024, USA) ทำการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของธาตุในพลาสมาด้วย Optical Emission

Spectroscopy (AVANTES, USA) โดยวาง Reflection probes ห่างจากหัวเจ็ทประมาณ 2.0 ซม.

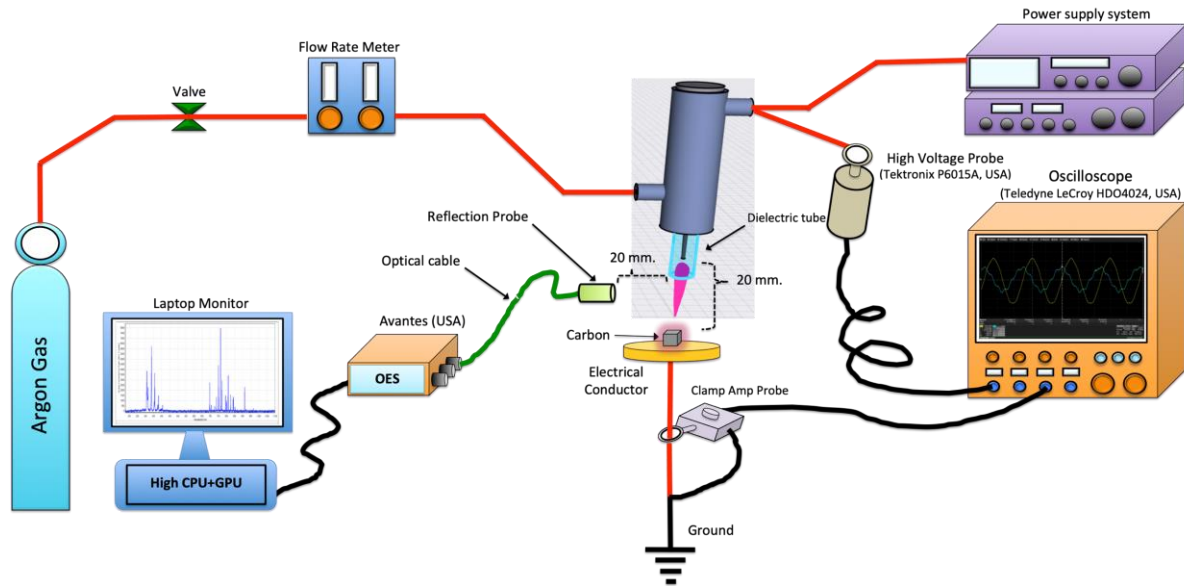


Figure 1 Schematic diagram of the atmospheric-pressure plasma jet system for the surface modification of carbon

### การขึ้นรูปวัสดุคาร์บอน

นำก้อนคาร์บอนไปบดด้วยโกร่งให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรงประมาณ 0.25 มิลลิเมตร จากนั้นนำคาร์บอนที่ผ่านการร่อนผสมด้วยแป้งมันสำปะหลังและน้ำ อัตราส่วนดังนี้ คาร์บอน 100 กรัม แป้ง 7 กรัม และน้ำปริมาตร 97 มิลลิลิตร โดยตม้มน้ำให้เดือดแล้วนำแป้งมันที่เตรียมไว้ผสมลงไป ตม้จนแป้งมีสีใส นำผงคาร์บอนมาผสมกับแป้งเปียก ใช้แท่งแก้วคนจนส่วนผสมเข้ากันดี จากนั้นนำมาขึ้นรูปบนแม่พิมพ์ ที่มีความกว้าง 1 ซม. ความยาว 1 ซม. และความสูง 1 ซม. แล้วนำก้อนคาร์บอนไปผึ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 24-48 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะแห้ง นำวัสดุคาร์บอนไปอบที่อุณหภูมิ 50 °ซ. นาน 24 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่เพื่อไล่ความชื้นก่อนที่จะนำไปใช้ทดสอบต่อไป

### การปรับปรุงพื้นผิววัสดุตัวกลางด้วยเทคโนโลยีพลาสมา ความดันบรรยากาศแบบเจ็ท

แบ่งวัสดุคาร์บอนออกเป็น 7 กลุ่มการทดลอง ๑ ละ 3 ชิ้น โดยวัสดุคาร์บอนแต่ละชิ้นจะถูกนำมาผ่านพลาสมาในสภาวะที่กำหนดจำนวน 6 สภาวะ คือ สภาวะที่มีอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน เท่ากับ 0.25, 0.5 และ 1 ลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 60 และ 180 วินาที ตามลำดับ กำหนดระยะห่างระหว่างหัวพลาสมาเจ็ทกับพื้นผิวของวัสดุตัวกลางเท่ากับ 2.0 ซม. (Figure 1) และวัสดุคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านพลาสมาเป็นกลุ่มควบคุม

### การทดสอบคุณสมบัติการดูดซับและอัตราการระเหยของน้ำมันหอมระเหย

ซึ่งนำหน้าวัสดุคาร์บอนแต่ละชั้นก่อนและหลังการแช่ในน้ำมันหอมระเหยกานพลูนาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาตามที่กำหนด ชับน้ำมันหอมระเหยส่วนเกินออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จดบันทึกค่าน้ำหนักก่อนและหลังแช่ โดยปริมาณการดูดซับน้ำมันหอมระเหยคำนวณเทียบจากกราฟมาตรฐานน้ำมันหอมระเหยกานพลู (ปริมาตรที่ใช้ตั้งแต่ 100-3,000 ไมโครลิตร) ซึ่งจะแสดงในหน่วยของไมโครลิตรของน้ำมันหอมระเหยต่อมิลลิกรัมน้ำหนักแห้งของวัสดุ ( $\mu\text{l}$  of EO/mg of dry material) (Junka *et al.*, 2019) จากนั้นทำการวิเคราะห์อัตราการระเหยของน้ำมันหอมระเหยโดยนำวัสดุแต่ละชั้นไปวางในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 30°C. ซึ่งนำหน้าวัสดุทุก ๆ 2 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นซึ่งทุก ๆ 24 ชั่วโมง นับจากชั่วโมงที่ 0 เป็นระยะเวลา 14 วัน คำนวณหาปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เหลือในช่วงเวลานั้น ๆ เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน และคำนวณหาอัตราการระเหยของน้ำมันหอมระเหยในแต่ละช่วงเวลา ดังนี้ อัตราการระเหยของน้ำมันหอมระเหย ( $\mu\text{l/g}\cdot\text{hr}$ ) = (ปริมาณน้ำมันหอมระเหย ณ เวลาก่อนหน้า - ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เหลือในช่วงเวลานั้น ๆ) / จำนวนชั่วโมง ดัดแปลงจาก Gaire *et al.* (2019)

### การทดสอบคุณสมบัติการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหย

นำวัสดุคาร์บอนแต่ละชั้นไปแช่น้ำมันหอมระเหยกานพลูเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาตามที่กำหนด ชับน้ำมันหอมระเหยส่วนเกินออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำวัสดุคาร์บอนไปแช่ในพาราฟินเหลวปริมาตร 60 มล. นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร ในช่วงเวลาที่ 4, 8, 24, 36, 48, 56 และ 72 โดยใช้แท่งแก้วคนสารละลายให้เข้ากันดีก่อนนำไปวัดค่าดูดกลืนแสง และหลังจากการวัดค่าดูดกลืนแสงแล้วนั้นให้นำสารละลายใส่กลับลงไปในสารละลายเดิม นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานระหว่างค่า

ดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย โดยความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่ปลดปล่อยออกมาจะแสดงในหน่วยของไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร ( $\mu\text{l/ml}$ ) (Junka *et al.*, 2019)

### การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลการดูดซับ การระเหย และการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม JMP® เวอร์ชัน 11.2 สำหรับ Mac (SAS Institute Inc.) ใช้วิธี Shapiro-Wilk test เพื่อทดสอบการแจกแจงปกติของชุดข้อมูล นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยวิธี One-way ANOVA และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองด้วยวิธี Tukey-HSD สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ และใช้การวิเคราะห์แบบ Non-parametric test (Kruskal-Wallis test) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองโดยวิธี Steel-Dwass posthoc multiple comparison test สำหรับข้อมูลที่ไม่ปกติ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ  $p < 0.05$

### ผลการวิจัย

#### สภาวะของพลาสมาและองค์ประกอบทางเคมีของธาตุในพลาสมา

พลาสมาที่ใช้ในการวิจัยเกิดจากรังสีสนามไฟฟ้าแรงสูงบนสภาวะดังต่อไปนี้ แรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย 4.758 กิโลโวลต์ สร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1.67 กิโลโวลต์ มีความถี่ 829.901 กิโลเฮิร์ต สร้างกระแสไฟฟ้าสลับ 88.76 มิลลิแอมแปร์ (Figure 2) และ Reactive species ที่ได้จากพลาสมาภายใต้สภาวะดังกล่าวแต่ละชนิดจะมีเส้นสเปกตรัมที่แตกต่างกัน จากการสร้างพลาสมาพบว่า มีทั้ง Reactive Oxygen Species (ROS) และ Reactive Nitrogen Species (RNS) คือ ไฮดรอกซิล (OH) และไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) โดยเมื่ออัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนสูงขึ้นส่งผลให้ ROS และ RNS ที่ได้มีความเข้มข้นขึ้น (Figure 3)

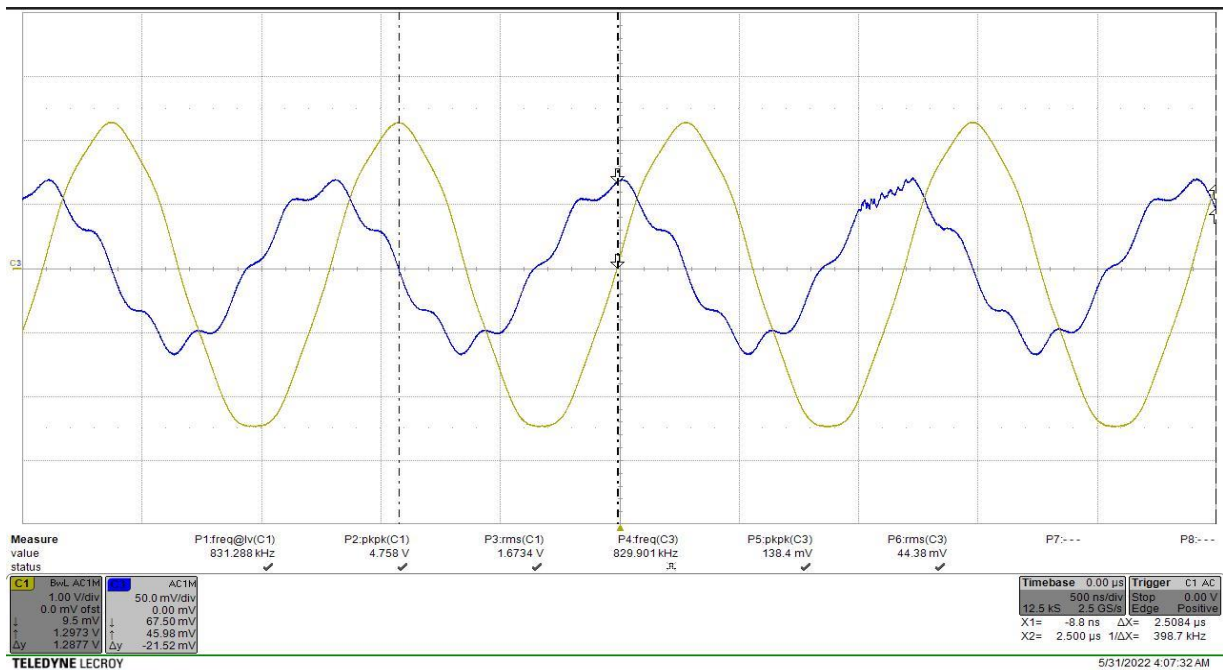


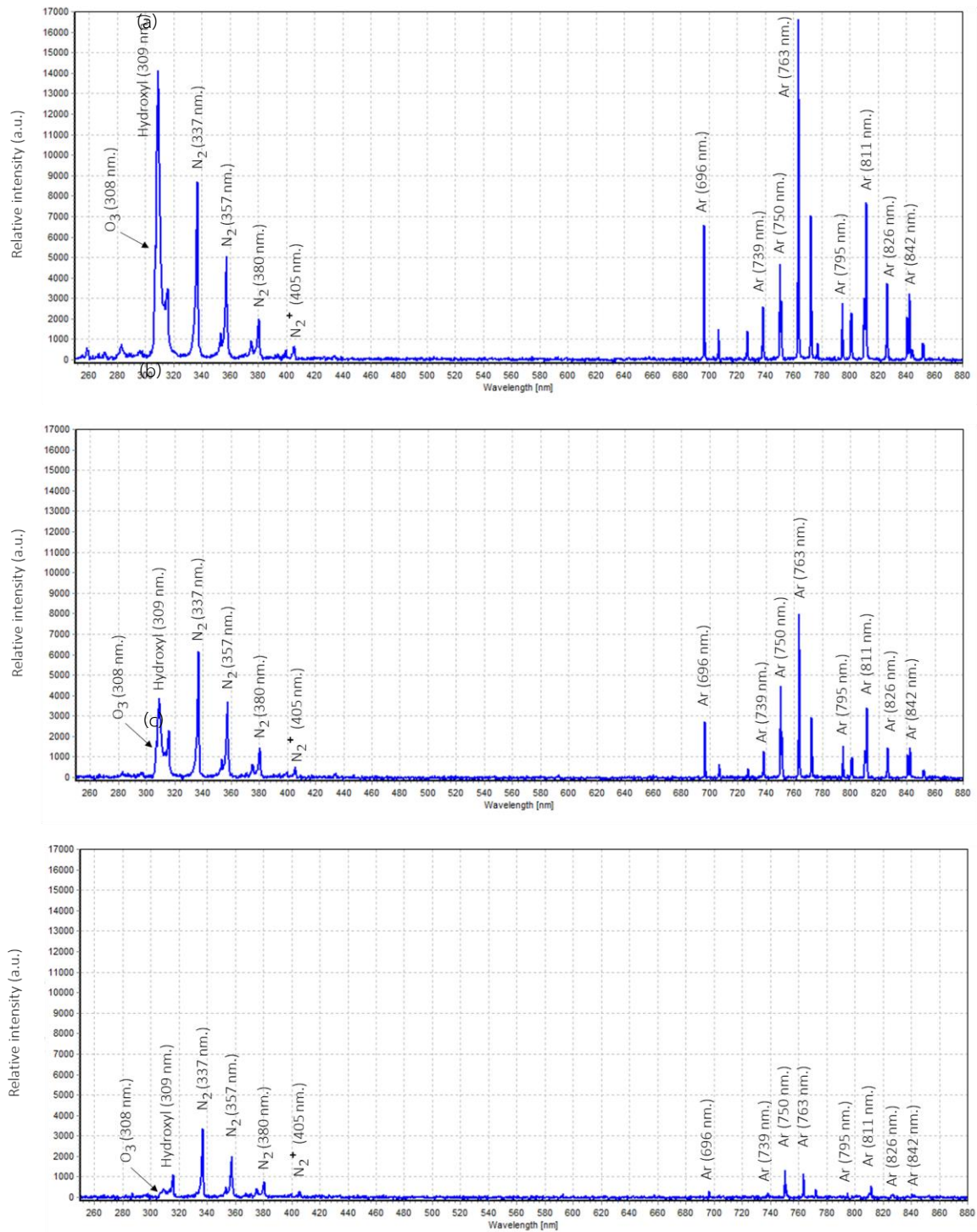
Figure 2 Current-voltage waveforms of the atmospheric-pressure argon plasma jet

### การดูดซับน้ำมันหอมระเหยจากพลาสมาของวัสดุคาร์บอน

จากการทดลองการฉายพลาสมาบนพื้นผิววัสดุคาร์บอนโดยมีอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน เท่ากับ 0.25, 0.5 และ 1 ลิตร/นาที เป็นระยะเวลา 60 และ 180 วินาที พบว่าวัสดุคาร์บอนที่ผ่านการฉายพลาสมา มีการดูดซับน้ำมันหอมระเหยอยู่ระหว่าง  $0.0075 \pm 0.0002$  ถึง  $0.0080 \pm 0.0003$  ไมโครลิตรต่อมิลลิกรัมน้ำหนักแห้งของวัสดุ โดยวัสดุคาร์บอนที่ผ่านการฉายพลาสมาภายใต้อัตราการไหลของแก๊สเท่ากับ 1.0 ลิตร/นาที นาน 60 วินาที มีการดูดซับน้ำมันหอมระเหยสูงสุดเท่ากับ  $0.0080 \pm 0.0003$  ไมโครลิตรต่อมิลลิกรัมน้ำหนักแห้งของวัสดุ ส่วนวัสดุที่ไม่ผ่านการฉายพลาสมา มีการดูดซับน้ำมันหอมระเหยเท่ากับ  $0.0073 \pm 0.0002$  ไมโครลิตรต่อมิลลิกรัมน้ำหนักแห้งของวัสดุ (Figure 4a) อย่างไรก็ตามพบว่าการดูดซับน้ำมันหอมระเหยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มการทดลอง (Kruskal Wallis test,  $p > 0.05$ )

### อัตราการระเหยของน้ำมันหอมระเหยจากพลาสมาวัสดุคาร์บอน

น้ำมันหอมระเหยจากพลาสมามีอัตราการระเหยสูงสุดในชั่วโมงที่ 2 คือ  $0.2442 \pm 0.0807$  ถึง  $0.0385 \pm 0.0003$  ไมโครลิตรต่อกรัมต่อชั่วโมง โดยวัสดุคาร์บอนที่ไม่ผ่านพลาสมามีอัตราการระเหยของน้ำมันหอมระเหยสูงที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ผ่านพลาสมา (Kruskal Wallis test,  $p > 0.05$ ) (Figure 4b) และอัตราการระเหยลดลงอย่างรวดเร็วในชั่วโมงที่ 2-4 จากนั้นน้ำมันหอมระเหยมีอัตราการระเหยค่อนข้างคงที่หลังจากชั่วโมงที่ 4 จนถึงวันที่ 4 ของการทดลอง และมีค่าลดลงอีกครั้งในวันที่ 4 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 14

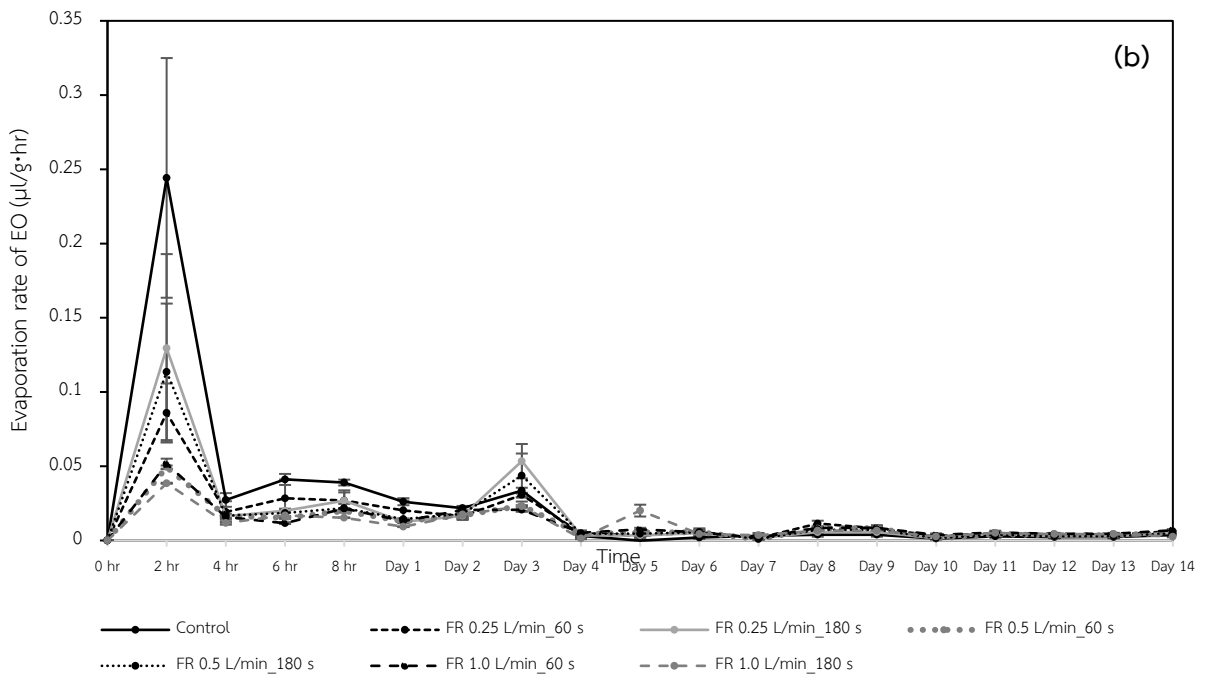
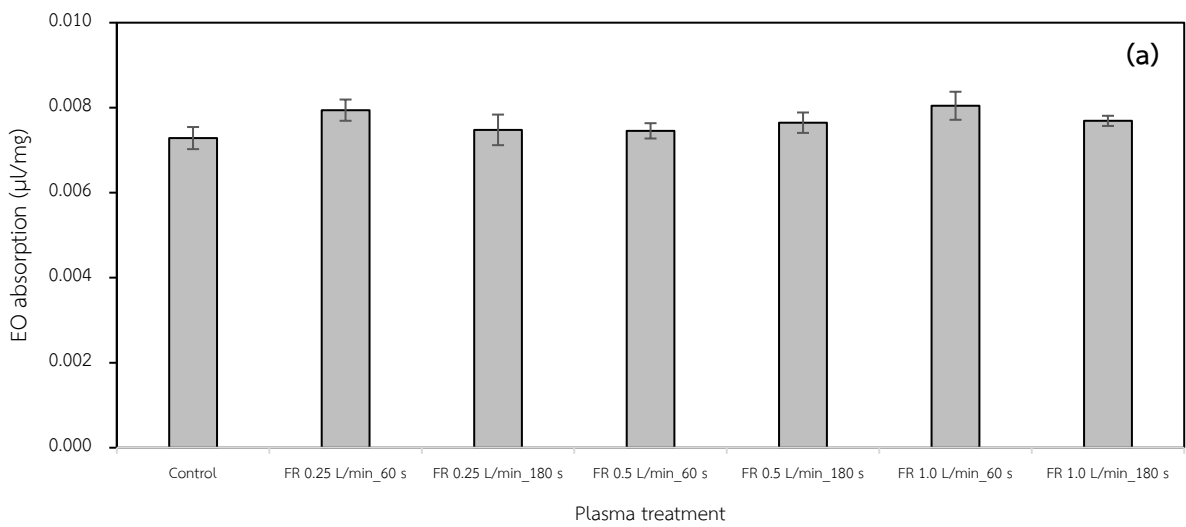


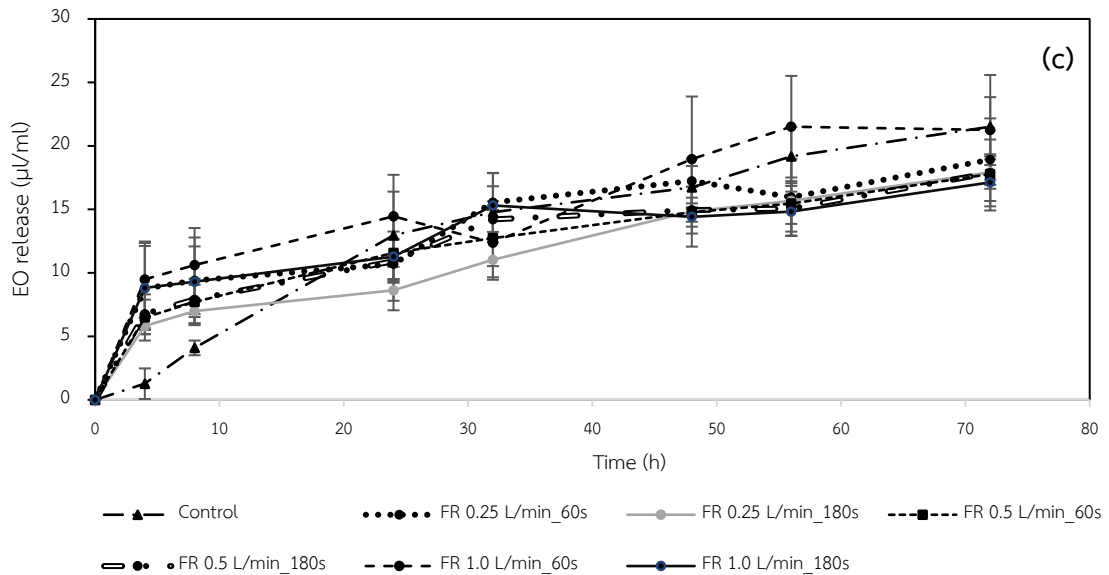
**Figure 3** OES spectra of the atmospheric-pressure argon plasma jet at a gas flow rate of 1.0 L/min (a), 0.5 L/min (b) and 0.25 L/min (c)

**การปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากผลของวัสดุคาร์บอน**

วัสดุคาร์บอนที่ผ่านและไม่ผ่านพลาสมาพบว่ามีการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 ถึง ชั่วโมงที่ 72 ของการทดลอง โดยหลังผ่านพลาสมาภายใต้สภาวะที่กำหนดส่งผลให้วัสดุคาร์บอนมีการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากผลเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 4 และ 8 (Figure 4c) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้ผ่านพลาสมา (Kruskal Wallis test,  $p > 0.05$ ) โดยในชั่วโมงที่ 4 คาร์บอนมีการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยอยู่ในช่วง  $1.274 \pm 1.204$  ถึง  $9.482 \pm 2.988$  ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร จนกระทั่งในชั่วโมงที่ 72 มีการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยอยู่ในช่วง  $17.127 \pm 2.212$  ถึง  $21.513 \pm 2.330$  ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร โดยวัสดุคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านพลาสมา มีการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยสูงสุด





**Figure 4** Absorption capacity (a) evaporation rate (b) and release rate (c) of clove EO by carbon materials. The data shown are the mean  $\pm$  standard deviation. Comparisons of the evaporation rate and release of essential oil between treatments were made at each time interval.

### วิจารณ์ผลการวิจัย

ปัจจุบันมีการรายงานวิจัยเกี่ยวกับน้ำมันหอมระเหยหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการฆ่าไรศัตรูผึ้งได้ในการทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ เช่น กานพลู กระวาน ตะไคร้หอม และยูคาลิปตัส เป็นต้น (Chaimanee *et al.*, 2021; Nuanjohn and Chaimanee, 2019) แต่เมื่อนำมาทดสอบในรังผึ้งจริงนั้นพบว่าประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยยังไม่คงที่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหลายปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม รวมถึงพฤติกรรมของผึ้งภายในรัง อีกทั้งหากมีการใช้น้ำมันหอมระเหยในปริมาณที่มากเกินไปก็ส่งผลให้ผึ้งตายได้ ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาเลือกใช้วัสดุตัวกลาง ปริมาณของน้ำมันหอมระเหย และวิธีการนำไปใช้ในรังผึ้งที่มีความเหมาะสม และเกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้งไรผึ้ง โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุคาร์บอนต่อการดูดซับการระเหย และการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากกานพลู

โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลาสมาเพื่อช่วยเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของวัสดุให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น จากผลการวิจัยพบว่าการนำวัสดุคาร์บอนไปผ่านพลาสมาส่งผลให้วัสดุมีการดูดซับและปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูได้เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มที่ไม่ได้ผ่านพลาสมา อย่างไรก็ตามพลาสมาทำให้คาร์บอนมีอัตราการระเหยของน้ำมันหอมระเหยลดลง ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าพลาสมาอาจส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีหรือทางกายภาพของคาร์บอนได้ ทั้งนี้ อาจจะต้องวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวคาร์บอนด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิด Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วย Boonmee *et al.* (2022) ได้รายงานว่าพลาสมาเจ็ทที่เกิดจากการใช้แก๊สอาร์กอนส่งผลให้พื้นผิวของกระดาษแข็ง (Cardboard) และกระดาษรองวาดรูป (Drawing board) มีลักษณะแตกและฉีกขาดเล็กน้อย หมู่ฟังก์ชันของพื้นผิววัสดุไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อวิเคราะห์ด้วย Fourier-Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยการ

เปลี่ยนแปลงทางกายภาพไม่ได้ส่งผลต่อคุณสมบัติการดูดซับและปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยกระวาน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นโดยพลาสติกนั้นไม่น่าจะเกิดจากความร้อนเนื่องจากการทดลองได้ใช้ระบบพลาสติกเป็น แต่อาจจะเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานบนพื้นผิวของวัสดุโดยการรวมตัวกันของกลุ่มเคมีต่าง ๆ ในช่วงที่เกิดการสัมผัสกันระหว่างพลาสติกกับวัสดุ (Denes and Manolache 2004)

จากงานวิจัยครั้งนี้มีการกำหนดอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน และระยะเวลาฉายพลาสติกเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองของ Boonmee *et al.* (2022) ซึ่งการเพิ่มอัตราการไหลของแก๊ส และระยะเวลา ก็ไม่ได้ส่งผลให้วัสดุมีการดูดซับและปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยกานพลูเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามชนิดของแก๊สก็อาจจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นผิววัสดุด้วย เช่น การใช้แก๊สอาร์กอนร่วมกับไอของแอมโมเนียที่อัตราการไหล 1, 3, 6 และ 7 ลิตรต่อนาทีสามารถเปลี่ยนพื้นผิวของ Activated carbon ได้โดยมีค่า Contact angle ลดลงจาก  $74^{\circ}$  เป็นน้อยกว่า  $15^{\circ}$  โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากหมู่อะมิโน (Amino group) ที่ได้จากพลาสติกเข้าจับกับคาร์บอนอะตอมด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้ Activated carbon มีคุณสมบัติชอบน้ำและเอาไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับในระบบบำบัดน้ำเสียได้ (Lubis *et al.*, 2019) นอกจากนี้ Kim *et al.* (2021) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้แก๊สตั้งต้นจำนวน 3 ชนิด ในการผลิตพลาสติก โดยมีอัตราการไหลของแก๊สและระยะเวลาการฉายพลาสติกแตกต่างกัน เพื่อเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของคาร์บอนไฟเบอร์สำหรับนำไปเป็นส่วนผสมของซีเมนต์ พบว่าออกซิเจนพลาสติกที่มีอัตราการไหลของแก๊ส 0.1 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการฉายนาน 3 นาที และไนโตรเจนพลาสติกที่มีอัตราการไหลของแก๊ส 0.1 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการฉายนาน 20 นาที สามารถที่จะเพิ่มความหยาบของพื้นผิวคาร์บอนได้ ในขณะที่อาร์กอนพลาสติกที่มีอัตราการไหลของแก๊ส 0.2 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการฉายนาน 20 นาที ไม่ส่งผล

ต่อการเพิ่มความหยาบของวัสดุ แต่การฉายพลาสติกโดยใช้แก๊สตั้งต้นทั้ง 3 ชนิด สามารถทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำบนผิวของคาร์บอนไฟเบอร์ได้ ทำให้มีอัตราของความชุ่มชื้นสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างซีเมนต์มีความหนาแน่นมากขึ้นด้วย ดังนั้นสำหรับการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของวัสดุเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกลางในการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยเพื่อการยับยั้งไรศัตรูพืชได้นั้นอาจจะต้องทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกที่อาจจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นผิววัสดุ เช่น ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ชนิดและอัตราการไหลของแก๊ส ระยะห่างของหัวเจ็ทกับวัสดุ และระยะเวลาการฉายพลาสติก เป็นต้น

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลาสติกในการเปลี่ยนแปลงพื้นผิววัสดุหลายชนิด เช่น การลดคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (Superhydrophobic) ของ Polytetrafluoroethylene (PTFE) ด้วยพลาสติกที่มีอากาศเป็นแก๊สตั้งต้น เนื่องจากออกซิเจนในพลาสติกไปเพิ่มพลังงานให้แก่พื้นผิวและทำให้เกิดหมู่ที่ชอบน้ำขึ้น (Lopez-Garcia *et al.*, 2018) การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเส้นใยโพลีเอสเตอร์โดยใช้พลาสติกที่มีอากาศผสมกับแก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สตั้งต้น เพื่อให้เกิดการติดของเม็ดสีในเส้นใยโดยการเพิ่มความหยาบของพื้นผิวเส้นใยและเพิ่มหมู่ที่มีขั้วที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ (C=O, C-OH และ COOH) (Zhang *et al.*, 2017) และการประยุกต์ใช้ออกซิเจนหรือแอมโมเนียพลาสติกกับเส้นใยนาโนชนิด Poly(lactic-co-glycolic acid) เพื่อให้มีคุณสมบัติชอบน้ำมากขึ้นโดยการเพิ่มหมู่ที่มีขั้วบนผิวเส้นใย ซึ่งส่งผลทำให้มีการยึดเกาะเซลล์ของ Fibroblasts ของหนูเมาส์ดีขึ้น และเซลล์มีการเพิ่มจำนวนได้สูงขึ้น โดยอาจจะสามารถนำไปพัฒนาด้านการตกแต่งเนื้อเยื่อเพื่อใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ได้ (Park and Lee, 2007) อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยเพื่อยับยั้งไรศัตรูพืชนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถออกฤทธิ์ฆ่าไรได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงวงจรชีวิตของไรในรังผึ้ง

### สรุปผลการทดลอง

การฉายอาร์กอนพลาสมาโดยใช้อัตราการใช้ของแก๊ส เท่ากับ 0.25, 0.5 และ 1.0 ลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 60 และ 180 วินาที มีอิทธิพลต่อการดูดซับการระเหย และปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากพลูบอบวัสดุคาร์บอนได้ อย่างไรก็ตามควรที่จะทำทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยบนวัสดุคาร์บอนต่อการควบคุมไรในรังผึ้งด้วย เพื่อให้งานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงได้ในอุตสาหกรรมเลี้ยงผึ้ง และอาจต้องทำการศึกษาชนิดของแก๊สตั้งต้น อัตราการใช้ของแก๊ส และระยะเวลาของการฉายพลาสมา รวมถึงชนิดของวัสดุตัวกลางอื่น ๆ ด้วย

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2565 (รหัสโครงการวิจัย มจ.1-65-007)

### เอกสารอ้างอิง

Atwal, A.A. and N.P. Goyal. 1971. Infestation of honey bee colonies with *Tropilaelaps*, and its control. **Journal of Apicultural Research** 10: 137-142.

Bendifallah, L., R. Belguendouz, L. Hamoudi and K. Arab. 2018. Biological activity of the *Salvia officinalis* L. (Lamiaceae) essential oil on *Varroa destructor* infested honeybees. **Plants** 7: 44.

Boonmee, T., L. Wongthaveethong, C. Sinpoo, T. Disayathanoowat, J.S. Pettis and V. Chaimanee. 2022. Surface modification of materials by atmospheric-pressure plasma to improve impregnation with essential oils for the control of *Tropilaelaps* mites in honeybees (*Apis mellifera*). **Applied Sciences** 12: 5800.

Burgett, D.M. and C. Kitprasert. 1990. Evaluation of Apistan<sup>TM</sup> as a control for *Tropilaelaps clareae* (Acari, Laelapidae), an Asian honey bee brood mite parasite. **American Bee Journal** 130: 51-53.

Burgett, M., P. Akwatanakul and R.A. Morse. 1983. *Tropilaelaps clareae*: a parasite of honeybees in South-East Asia. **Bee World** 64: 25-28.

Burley, L.M., R.D. Fell and R.G. Saacke. 2008. Survival of honey bee (Hymenoptera: Apidae) spermatozoa incubated at room temperature from drones exposed to miticides. **Journal of Economic Entomology** 101: 1081-1087.

Camphor, E.S.W., A.A. Hashmi, W. Ritter and I.D. Bowen. 2005. Seasonal changes in mite (*Tropilaelaps clareae*) and honeybee (*Apis mellifera*) populations in apistan treated and untreated colonies. **Apiacta** 40: 34-44.

- Chaimanee, V., N. Warrit, T. Boonmee and J.S. Pettis. 2021. Acaricidal activity of essential oils for the control of honeybee (*Apis mellifera*) mites *Tropilaelaps mercedesae* under laboratory and colony conditions. **Apidologie** 52: 561-575.
- Damiani, N., L.B. Gende, P. Bailac, J.A. Marcangeli and M.J. Eguaras. 2009. Acaricidal and insecticidal activity of essential oils on *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). **Parasitology Reserach** 106: 145-152.
- de Guzman, L.I., G.R. Williams, K. Khongphinitbunjong and P. Chantawannakul. 2017. Ecology, Life History, and Management of *Tropilaelaps* Mites. **Journal of Economic Entomology** 110: 319-332.
- Denes, F.S. and S. Manolache. 2004. Macromolecular plasma-chemistry: an emerging field of polymer science. **Progress in Polymer Science** 29: 815-885.
- Gaire, S., M.E. Scharf and A.D. Gondhalekar. 2019. Toxicity and neurophysiological impacts of plant essential oil components on bed bugs (Cimicidae: Hemiptera). **Scientific Reports** 9: 3961.
- Haarmann, T., M. Spivak, D. Weaver, B. Weaver and T. Glenn. 2002. Effects of fluvalinate and coumaphos on queen honey bees (Hymenoptera: Apidae) in two commercial queen rearing operations. **Journal of Economic Entomology** 95: 28-35.
- Huang, Y., Q. Yu, M. Li, S. Jin, J. Fan, L. Zhao and Z. Yao. 2021. Surface modification of activated carbon fiber by low-temperature oxygen plasma: textural property, surface chemistry, and the effect of water vapor adsorption. **Chemical Engineering Journal** 418: 129474.
- Junka, A., A. Zywicka, G. Chodaczek, M. Dziadas, J. Czajkowska, A. Duda-Madej, M. Barttoszewicz, K. Mikolajewicz, G. Krasowski, P. Szymczyk and K. Fijalkowski. 2019. Potential of biocellulose carrier impregnated with essential oils to fight against biofilms formed on hydroxyapatite. **Scientific Reports** 9: 1256.
- Kaushik, N.K., N. Kaushik, N.N. Linh, B. Ghimire, A. Pengkit, J. Sornsakdanuphap, S.-J. Lee and E.H. Choi. 2019. Plasma and nanomaterials: fabrication and biomedical applications. **Nanomaterials** 9: 98.

- Kim, J.H., J.H. Han, S. Hong, D.-W. Kim, S.H. Park, J.-H. Wee, K.S. Yang, Y.A. Kim. 2021. Effect of plasma surface modification on pullout characteristics of carbon fiber-reinforced cement composites. **Carbon Trends** 3: 100030.
- Kongpitak, P., G. Polgar and J. Heine. 2008. The efficacy of Bayvarol<sup>®</sup> and Checkmite+<sup>®</sup> in the control of *Tropilaelaps mercedesae* in the European honey bee (*Apis mellifera*) in Thailand. **Apiacta** 43: 12-16.
- Liu, S.-J. and S.-C. Liao. 2021. Surface modification of bamboo charcoal by O<sub>2</sub> plasma treatment and UV-grafted thermos-sensitive AgNPs hydrogel to improve antibacterial properties in biomedical application. **Nanomaterials** 11: 2697.
- López-García, J., F. Cupessala, P. Humpolíček and M. Lehocný. 2018. Physical and morphological changes of poly(tetrafluoroethylene) after using non-thermal plasma treatments. **Materials** 11: 2-10.
- Lubis, R.W., T.E. Saraswati, U.H. Setiawan and K. Kusumandari. 2019. Surface modification of activated carbon using an atmospheric pressure dielectric barrier discharge (DBD) plasma jet. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** 578: 012010.
- Mullin, C.A., M. Frazier, J.L. Frazier, S. Ashcraft, R. Simonds, D. vanEngelsdorp and J.S. Pettis. 2010. High levels of miticides and agrochemicals in North American apiaries: implications for honey bee health. **PLoS ONE** 5: e9754.
- Nuanjohn, T. and V. Chaimanee. 2019. Effectiveness of some essential oils for control of *Tropilaelaps mercedesae* mites in honeybees (*Apis mellifera*). **King Mongkut's Agricultural Journal** 37: 43-50. [in Thai]
- Park, H. and K.Y. Lee. 2007. Plasma-treated poly(lactic-co-glycolic acid) nanofibers for tissue engineering. **Macromolecular Research** 15: 238-243.
- Yanling, C., W. Yingkuan, P. Chen, S. Deng and R. Ruan. 2014. Non-thermal plasma assisted polymer surface modification and synthesis: a review. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** 7: 1-9.
- Zhang, C., M. Zhao, L. Wang, L. Qu and Y. Men. 2017. Surface modification of polyester fabrics by atmospheric-pressure air/He plasma for color strength and adhesion enhancement. **Applied Surface Science** 400: 304-311.

## การใช้พรีไบโอติกส์ในปลานิล

### Prebiotic Application in Tilapia

อรอนงค์ ทับทิม วันอาสาฬห์ นนกระโทก และชนกันต์ จิตมนัส\*

Ornanong Thabthim, Wanarsa Nonkrathok and Chanagun Chitmanat\*

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

\*Corresponding author: chanagun1@hotmail.com

Received: August 08, 2023

Revised: March 06, 2024

Accepted: April 10, 2024

#### Abstract

The application of prebiotics which are non-digestible ingredients beneficially influences commensal microorganisms as feed additives giving valuable effects on growth, immunity, and survival rate in aquatic organisms. The purpose of this review was to compile and synthesize the research on the use of prebiotics in tilapia culture. Common prebiotics utilized for aquatic animal feeds include  $\beta$ -glucan, inulin, mannan oligosaccharide (MOS), galactooligosaccharide (GOS), fructooligosaccharides (FOS), and chitooligosaccharide (COS). The effects of prebiotics on growth performances, innate immune system, and disease resistance of tilapia are discussed. They improve digestive enzyme activity, enhance feed utilization, promote growth, modulate phagocytosis, activate lysozyme, trigger the alternative complement system, and increase disease resistance. The variability in responses possibly is due to the prebiotic types, dosage, applied time, fish size, and experimental systems. Prebiotic mixtures and other immunostimulant combinations were reported. The prebiotic application would reduce the chemicals and antibiotics used in fish culture. However, the cost and return of prebiotic usage must be considered.

**Keywords:** prebiotics, aquaculture, immunostimulation, innate immunity

#### บทคัดย่อ

การใช้พรีไบโอติกส์ (Prebiotics) ซึ่งเป็นสารอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้โดยสัตว์หรือเจ้าบ้าน (Host) แต่มีประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร เมื่อผสมในอาหารปลานิลส่งผลดีต่อการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกัน และอัตราการรอดต่อสัตว์น้ำ บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวม เรียบเรียงและสังเคราะห์องค์ความรู้จากงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พรีไบโอติกส์ในการเลี้ยงปลานิล โดย

พรีไบโอติกส์ที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ เบต้ากลูแคน ( $\beta$ -glucan) อินนูลิน (Inulin) แมนแนน โอลิโกแซคคาไรด์ (Mannan oligosaccharide, MOS) กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Galactooligosaccharide, GOS) ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructooligosaccharides, FOS) และไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Chitooligosaccharide, COS) การใช้พรีไบโอติกส์จะเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหาร การใช้อาหาร ทำให้สามารถเร่งการเจริญเติบโต เสริมภูมิคุ้มกัน ความต้านทานโรคและเพิ่มอัตราการรอดของปลานิล

ซึ่งความแตกต่างของผลที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณ ระยะเวลาที่ใช้ ขนาดของปลา และระบบการทดลอง ปัจจุบันมีการใช้พรีไบโอติกส์ร่วมกันหลายชนิดและใช้ร่วมกับสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันชนิดอื่น ๆ โดยการใช้สารกระตุ้นภูมิคุ้มกันจะช่วยลดการใช้ยาปฏิชีวนะและสารเคมีในการเลี้ยงปลา อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้ควรคำนึงถึงต้นทุน และผลตอบแทนของการใช้พรีไบโอติกส์

**คำสำคัญ:** พรีไบโอติกส์ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การกระตุ้นภูมิคุ้มกัน ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ

### คำนำ

ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เป็นปลาเศรษฐกิจที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว เนื้อมีรสชาติดี ประกอบอาหารได้หลากหลาย ตลาดมีความต้องการสูง นิยมเลี้ยงกันมากทั้งในรูปแบบการค้าและการเลี้ยงไว้บริโภคในครัวเรือน สามารถสร้างอาหารและอาชีพให้แก่ประชากรทั่วโลก ไทยมีผลผลิตปลานิลประมาณ 253,098 ตัน ในปี พ.ศ. 2566 (Fisheries Development Policy and Planning Division, 2022) อย่างไรก็ตามตลอดสิบปีที่ผ่านมา ผลผลิตปลานิลของไทย ยังคงที่ประมาณ 2 แสนตันต่อปีมาโดยตลอด อุปสรรคที่ทำให้ไม่สามารถเพิ่มจำนวนการผลิตได้ เนื่องจากปัจจัยหลายประการ เช่น วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำและน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น เกษตรกรจึงมีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น ประกอบกับความแปรปรวนและยากในการคาดการณ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ ทำให้การเลี้ยงปลานิลในหลายพื้นที่

ได้รับความเสียหาย ในขณะที่ราคาจำหน่ายปลาหน้าฟาร์มค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้การที่เกษตรกรนิยมเลี้ยงปลานิลโดยใช้ความหนาแน่นสูงเพื่อเร่งผลิต อาจทำให้ปลาเครียด โตช้า ภูมิคุ้มกันโรคลดลงและมีการตายจากการ ติดโรค โรคติดเชื้อแบคทีเรียที่พบบ่อย ได้แก่ *Flavobacterium columnare*, *Aeromonas hydrophila*, *Streptococcus iniae* และ *S. agalactiae*

นอกจากนี้ยังมีโรคไวรัสอุบัติใหม่ ซึ่งมีสาเหตุจาก Tilapia Lake Virus (TiLV) โดยพบความเสียหายในปลานิลขนาดเล็กที่ปล่อยลงเลี้ยงในกระชังประมาณ 1 เดือน ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้สารเคมีและยาปฏิชีวนะเพื่อป้องกันหรือแก้ไขโรคติดเชื้อมากเกินไป ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากก่อให้เกิดผลทางลบหลายประการ เช่น เกิดการตกค้างในผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์ เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและอาจจะทำให้เกิดการดื้อยาของเชื้อก่อโรคหลายชนิดได้ เพื่อเป็นการป้องกันและแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น การใช้พรีไบโอติกส์ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการป้องกันโรค โดยมีการออกฤทธิ์ที่เป็นประโยชน์หลายประการในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็น บทความนี้ต้องการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้พรีไบโอติกส์ในการเพาะเลี้ยงปลานิล เพื่อสังเคราะห์ประสิทธิภาพของการเสริมพรีไบโอติกส์ที่มีผลต่อการย่อยอาหาร การเจริญเติบโต ลดความเครียด การสร้างภูมิคุ้มกันและป้องกันโรค (Figure 1) อันนำไปสู่แนวทางในการลดความเสียหาย เพิ่มผลผลิตปลานิลเพื่อเป็นอาหารปลอดภัย โดยลดการใช้ยาและสารเคมีในการเพาะเลี้ยงปลานิล เพื่อให้อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลานิลสามารถดำเนินไปได้อย่างเข้มแข็งและยั่งยืน

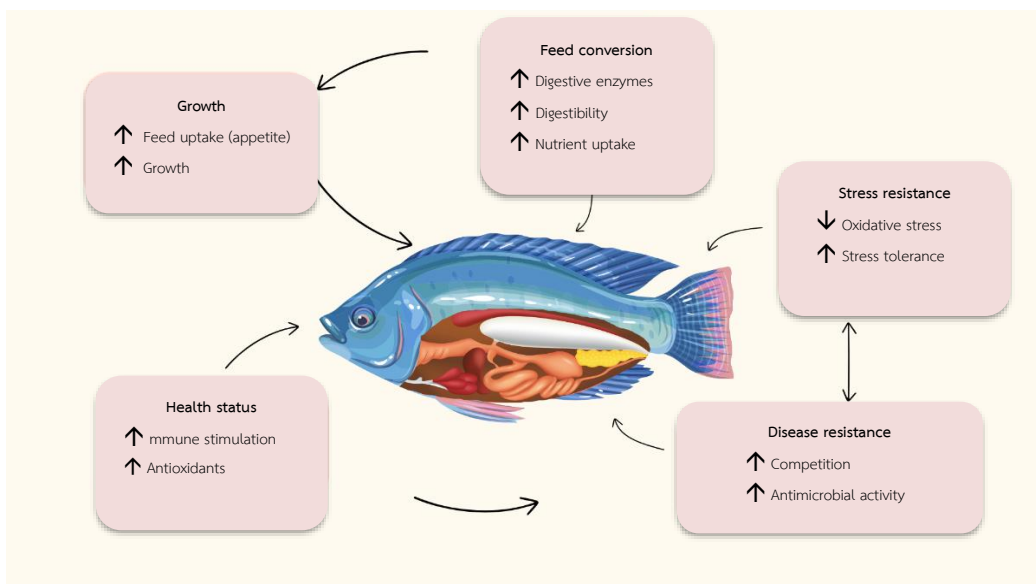


Figure 1 Effects of prebiotics in tilapia aquaculture

**ความหมายของพรีไบโอติกส์**

พรีไบโอติกส์ คือ สารอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้โดยสัตว์หรือเจ้าบ้าน (Host) แต่มีคุณสมบัติที่ช่วยส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร เช่น *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* โดยแบคทีเรียเหล่านี้จะทำให้เจ้าบ้านมีการเจริญเติบโตและสุขภาพที่ดีขึ้น (Roberfroid, 1993; Gibson and Roberfroid, 1995; Manning and Gibson, 2004) นอกจากนี้พรีไบโอติกส์ยังสามารถป้องกันการเกาะของเชื้อก่อโรคบริเวณเซลล์เยื่อ กระจกตุ่น ภูมิคุ้มกันและควบคุมการอักเสบ (Mohammadi *et al.*, 2021)

**ชนิดและแหล่งที่มาของพรีไบโอติกส์**

พรีไบโอติกส์จัดเป็นสารอาหารกลุ่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพหรืออาหารที่มีหน้าที่เฉพาะหรืออาหารฟังก์ชัน (Functional food) พบในอาหารหลายชนิด โดยเฉพาะในผัก เช่น กระเทียม หอมหัวใหญ่ หน่อไม้ฝรั่ง เห็ดหลินจือ แก่นตะวัน ผลไม้ เช่น กล้วย แอปเปิล และเมล็ดธัญพืชบางชนิด นักวิจัยบางท่านใช้ผัก เห็ด สาหร่าย ผลไม้ มาบดหรือสกัด บางรายใช้ของเหลือใช้จากการแปรรูป เพื่อลดปัญหาขยะมาเป็นแหล่งของพรีไบโอติกส์

พรีไบโอติกส์ที่นิยมใช้ประโยชน์ในสัตว์น้ำ ได้แก่ เบต้ากลูแคน ( $\beta$ -glucan) ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Chitooligosaccharide, COS) อินนูลิน (Inulin) แมนแนนโอลิโกแซคคาไรด์ (Mannan oligosaccharide, MOS) กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Galactooligosaccharide, GOS) และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructooligosaccharides, FOS) ดังได้แสดงใน Table 1 โดยแมนแนนโอลิโกแซคคาไรด์และเบต้ากลูแคน พบได้ในยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ประมาณ 25-70 และ 30-60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงยีสต์ (Aguilar-Uscanga and Francois, 2003) ซึ่งแมนแนนโอลิโกแซคคาไรด์มีคุณสมบัติในการป้องกันการเกาะจับ ระหว่างเชื้อก่อโรคกับเยื่อผนังลำไส้ โดยสามารถจับกับแบคทีเรียก่อโรคที่เป็นแกรมลบได้โดยตรง ทำให้ลดการบุกรุกของเชื้อก่อโรคได้

คุณสมบัติของพรีไบโอติกส์ที่สำคัญ ควรมีความสามารถที่ทนต่อการย่อยหรือสลายตัวในทางเดินอาหารของปลา มีประโยชน์และกระตุ้นการเจริญแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในตัวปลา มีความสามารถที่จะช่วยกระตุ้นการกินอาหาร การเจริญเติบโต และเสริมภูมิคุ้มกันของปลา

**Table 1** Common prebiotics used in aquaculture

Prebiotics	Description	References
$\beta$ -glucan	A water-soluble dietary fiber obtained from oats, barley, bacteria cell wall, yeast, algae, and mushrooms; A byproduct from wine brewing industry	RingØ <i>et al.</i> (2010) Ismail <i>et al.</i> (2019)
Chitooligosaccharide, COS	The degraded products of chitosan or chitin prepared by enzymatic or chemical hydrolysis of chitosan.	Rahimnejad <i>et al.</i> (2018)
Fructooligosaccharide, FOS	Short and medium chains of $\beta$ -D-fructans, can be fermented by certain bacteria such as <i>Lactobacillus</i> and <i>Bifidobacterium</i> . It can be found naturally in onion, garlic, banana, and asparagus.	Zhou <i>et al.</i> (2007)
Galactooligosaccharide, GOS	Nondigestible commercial prebiotic derived from milk	Hoseinifar <i>et al.</i> (2016)
Inulin	Natural sugar found in onion, garlic, and barley	Tiengtam <i>et al.</i> (2015)
Mannanoligosaccharide, MOS	An indigestible short chain polymer derived from hydrolysis of glucomannan and galactomannan; Commercially derived from yeast ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) cell wall	Merrifield <i>et al.</i> (2010)
Xylooligosaccharide, XOS	Sweetener found in various food sources like milk, honey, vegetables, fruits, and bamboos shoots	Sun <i>et al.</i> (2019)

## กลไกการทำงานของพรีไบโอติกส์

### ผลของพรีไบโอติกส์ต่อการเจริญเติบโต

พรีไบโอติกส์ช่วยให้การเจริญของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารดีขึ้น (Dawood *et al.*, 2018) Levy-Pereira *et al.* (2018) รายงานว่า จำนวนแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (Lactic acid bacteria, LAB) ในทางเดินอาหารปลาชนิดกินอาหารผสม MOS 1, 8, และ 15 กรัม/กก. ปริมาณมากขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้มีส่วนในการย่อยอาหาร ทำให้สัตว์น้ำได้รับสารอาหารเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตดีขึ้น อัตราแลกเนื้อต่ำลง (Ganguly *et al.*, 2013)

Hui-Yuan *et al.* (2007) รายงานว่า ปลานิลที่ได้รับอาหารผสมฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์สายสั้น (scFOS) นาน 8 สัปดาห์ มีการกินอาหารและการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น อัตราการแลกเนื้อต่ำลง เช่นเดียวกับ Kishawy *et al.* (2020) รายงานว่า ปลานิล (ขนาดเริ่มต้น 8.2±0.2 กรัม) ที่ได้รับอาหาร ผสม MOS 0.5% นาน 12 สัปดาห์ มีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น แต่ He *et al.* (2003) และ Panase *et al.* (2023) รายงานว่า อาหารผสมฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (FOS) 0.5% ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล (ขนาดเริ่มต้น 24.5±1.6 กรัม)

Dou *et al.* (2023) ใช้อาหารผสมเบต้ากลูแคน 0.2-0.8% ให้ปลานิล (3.43±0.02 กรัม) นาน 10 สัปดาห์ พบว่าไม่ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นแต่อย่างใด ในขณะที่ปลานิล (188.1±2.9 กรัม) ที่ได้รับอาหารผสมเบต้ากลูแคน 0.1 กรัม/กก. (Pilarski *et al.*, 2017) และ ปลานิล (34±0.5 กรัม) ที่ได้รับอาหารผสมเบต้ากลูแคน 4 กรัม/กก. (El-Murr *et al.*, 2019) มีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น

ปลานิล (11.00±0.2 กรัม) ได้รับอาหารผสมอินนูลิน 5 กรัม/กก. นาน 2 เดือน ช่วยให้อัตราการเจริญเติบโตดีขึ้น (Ibrahem *et al.*, 2010) นอกจากนี้ Zhou *et al.* (2020) รายงานว่า ปลานิล (0.55±0.03 กรัม) ที่ได้รับอาหารผสมอินนูลิน 4 กรัม/กก. (0.4%) นาน 2 เดือน มีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นและช่วยลดความเครียด

เมื่อปลาอยู่ในน้ำกร่อย (ความเค็ม 16 Practical Salinity Units (PSU))

Wang *et al.* (2022) ได้ทดลองใช้ MOS 5 กรัม/กก. ผสมให้อาหารปลานิลที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง (45%) นาน 10 สัปดาห์ พบว่า ทำให้ปลานิลขนาดเริ่มต้น 1.19±0.01 กรัม เจริญเติบโตได้ดีขึ้น ปริมาณกลูโคสในน้ำเลือดลดลง ลดการสะสมไขมันในตับและลดภาวะที่เกิดจากการเผาผลาญอาหารที่ผิดปกติ คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานทดแทนราคาถูกกว่าแหล่งพลังงานจากโปรตีน อย่างไรก็ตามปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงเกินไปจะโตช้า มีอาการอ้วน และมีการสะสมของไขมันซึ่งจะมีผลต่อสุขภาพ

ความแตกต่างในด้านการเจริญเติบโตที่เกิดขึ้นน่าจะขึ้นอยู่กับชนิด ความบริสุทธิ์ และปริมาณของพรีไบโอติกส์ ระยะเวลาที่ให้ สภาพของปลา (อายุ เพศ ความสมบูรณ์เพศ) สภาพแวดล้อมที่เลี้ยง อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่มักทำในห้องปฏิบัติการ ควรมีการเก็บข้อมูลภาคสนามเพิ่มเติม เพื่อยืนยันว่าการเสริมพรีไบโอติกส์ในอาหารปลานิลทำให้ปลาโตเร็ว และมีต้นทุนที่เกษตรกรยอมรับได้

### ผลของพรีไบโอติกส์ต่อการตอบสนองภูมิคุ้มกัน

นอกจากการใช้พรีไบโอติกส์ผสมอาหารเพื่อเป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในทางเดินอาหาร จะช่วยทำให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร การดูดซึมสารอาหารดีขึ้นและทำให้สัตว์น้ำโตเร็วแล้ว การใช้พรีไบโอติกส์ทดแทนการใช้ยาและสารเคมี มีผลดีต่อการตอบสนองภูมิคุ้มกัน ดังนี้

#### 1) การกลืนกินสิ่งแปลกปลอม (Phagocytic activity)

การกลืนกินสิ่งแปลกปลอมของเซลล์ คือ กลไกการป้องกันและทำลายสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ร่างกาย จากการทำงานของเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดต่าง ๆ (โมโนไซต์ เซลล์เดนดริติก แมคโครเฟจ และนิวโทรฟิล) โดยการล้อม

จับ กลืนกิน และย่อยสลายเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่เซลล์ ปลานิล ( $50.7 \pm 0.8$  กรัม) ที่ได้รับอาหารผสมพรีไบโอติกส์ Immunowall® 0.2% ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่มีส่วนผสมหลักเป็น  $\beta$ -glucan และ MOS พบว่ามีความสามารถในการจับกินสิ่งแปลกปลอมดีขึ้น (Abu-Elala *et al.*, 2018)

เมื่อเซลล์เม็ดเลือดขาวที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการจับกินสิ่งแปลกปลอมดังกล่าวข้างต้นได้สัมผัสกับสิ่งแปลกปลอมหรือจุลชีพ จะผลิตเอนไซม์ NADPH oxidase แล้วมีการเปลี่ยนแปลงใน Oxidative metabolism ของเซลล์ การเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่า Respiratory burst ซึ่งประกอบไปด้วยการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของ Glucose oxidation ทำให้เกิดการสร้างซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (Superoxide anion,  $O_2^-$ ) แล้วจะถูกเปลี่ยนรูปเป็น Hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) เพิ่มมากขึ้น โดยอาศัยเอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD) ซึ่งสาร  $H_2O_2$  ที่มีความเข้มข้นสูงสามารถฆ่าจุลชีพได้ อีกทั้ง  $H_2O_2$  สามารถฆ่าจุลชีพโดยทำปฏิกิริยากับซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน ทำให้เกิดออกซิเจนอะตอมเดี่ยว (Singlet oxygen,  $^1O_2$ ) และ Hydroxyl radical (OH) ซึ่งสามารถทำลายจุลชีพได้ (Cao *et al.*, 2000) ซึ่งเรียกรวมกันในกลุ่มนี้ว่า “Reactive Oxygen Species (ROS)” โดยในปัจจุบันมีการใช้ปฏิกิริยา Respiratory burst และกลไกที่เกี่ยวข้องเป็นดัชนีบ่งชี้ความสามารถของสัตว์น้ำในการป้องกันเชื้อโรค โดยวัดจากปริมาณ  $H_2O_2$  และ  $O_2^-$  ที่ถูกสร้างขึ้น โดยเฉพาะ  $O_2^-$  ซึ่งเป็น Reducing agents ทำให้เกิดปฏิกิริยา Reduction ของ NBT (Nitroblue tetrazolium) dye ซึ่งเป็นสีย้อมชนิดหนึ่งจากสีเหลืองให้เป็น Formazan ซึ่งมีสีน้ำเงิน โดยปริมาณ  $O_2^-$  จะแปรผันตรงกับความเข้มของสี Formazan ที่เพิ่มขึ้น

Ibrahim *et al.* (2010) รายงานว่า ปลานิล ( $11.00 \pm 0.2$  กรัม) ที่ได้รับอาหารผสมอินนูลิน 5 g/kg นาน 2 เดือน มีระดับ NBT dye reduction สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการให้อาหารเสริมวิตามินซี โดยพบว่าการให้วิตามินซี 500 มก./กก. มีต้นทุนที่ต่ำกว่าและให้ผล

ใกล้เคียงกัน ส่วนปลานิลขนาด  $9.2 \pm 0.1$  กรัม ได้รับเบต้ากลูแคน (0.1% of MacroGard®) นาน 7 วัน มีค่า Respiratory burst สูงขึ้น (Koch *et al.*, 2021)

## 2) การกระตุ้นคอมพลีเมนต์ (Complement activity)

คอมพลีเมนต์เป็นส่วนสำคัญของภูมิคุ้มกันโดยกำเนิด (Innate immunity) สามารถตอบสนองต่อเชื้อโรคที่เข้ามาในร่างกายโดยทันที และยังกระตุ้นให้เกิดการจับกินเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอม (Phagocytosis) ได้ดียิ่งขึ้น มีส่วนช่วยทำหน้าที่ในภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะ (Adaptive immunity) จึงทำให้เกิดการทำลายเชื้อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

มีรายงานว่าปลานิลขนาด 30 กรัม ที่ได้รับอาหารผสมเบต้ากลูแคน 1 กรัม/กก. พบว่ากลไกการกระตุ้นการทำงานของระบบคอมพลีเมนต์จะสูงขึ้นตั้งแต่สัปดาห์แรก (Amphan *et al.*, 2019) ขณะที่ปลานิลที่ได้รับอาหารผสมอินนูลิน 5 กรัม/กก. นาน 2 เดือน มีระดับคอมพลีเมนต์สูงขึ้นเช่นเดียวกัน (Tientam *et al.*, 2015)

## 3) กิจกรรมไลโซไซม์ (lysozyme activity)

ไลโซไซม์ (Lysozyme) เป็นเอนไซม์ที่ผลิตมาจาก Lysosomes ของเซลล์ซึ่งทำหน้าที่จับกินเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอม (Phagocytic cells) แล้วปล่อยเอนไซม์ในกระแสเลือดซึ่งจะอยู่ในส่วนของน้ำเลือด ไลโซไซม์ทำหน้าที่ย่อยสลายผนังเซลล์แบคทีเรียใน ส่วน Peptidoglycan โดยการตัดพันธะ  $\beta$ -1, 4 ไกลโคซิดิก ระหว่าง N-acetylglucosamine และ N-acetylmuramic acid ทำให้เซลล์แบคทีเรียเกิดการสลายตัว (Lysis) จึงเป็นกลไกที่สำคัญในการช่วยป้องกันการติดเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพ He *et al.* (2003) รายงานว่า ปลานิลที่ได้รับ MOS 0.6% มีไลโซไซม์ที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ปลานิลที่ได้รับอาหารผสมอินนูลิน 5 กรัม/กก. (Ibrahim *et al.*, 2010) เบต้ากลูแคน 0.1% (Amphan *et al.*, 2019) 0.4 และ 0.8% (Dou *et al.*, 2023) มีการทำงานของไลโซไซม์ที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

#### 4) การแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกัน

การเลี้ยงปลาในระบบที่หนาแน่นสูงอาจจะส่งผลต่อสวัสดิภาพหรือการดำรงชีพของปลา โดยทำให้ปลาเกิดความเครียด ปัจจุบันมีการใช้การแสดงออกของยีน Heat shock protein 70 (*Hsp70*), Complement component (*C3* และ *C4*), Interleukin-1 beta (*IL-1β*), Interleukin-10 (*IL-10*), Tumor necrosis factor alpha (*TNF-α*) มาใช้เป็นตัวบ่งชี้ผลของอาหารผสมพรีไบโอติกส์ต่อภูมิคุ้มกันและความทนต่อความเครียดของปลานิล โดยเฉพาะไซโตไคน์ (Cytokines) เป็นกลุ่มโปรตีนที่สร้างขึ้นเพื่อสื่อสารและควบคุมการทำงานของเซลล์ต่าง ๆ ในกระบวนการเกิดการอักเสบและการฆ่าเชื้อโรค Qin *et al.* (2014) รายงานว่า ปลานิลลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Chito-oligosaccharides) 0.1, 0.8, 1.6 และ 2.4% นาน 35 วัน มีระดับการแสดงออกของยีน *TNF-α* และ *Hsp70* ลดลง Abu-Elala *et al.* (2018) ใช้พรีไบโอติกทางการค้า Immunowall (0.1 และ 0.2%) ผสมอาหารให้ปลานิล 60 วัน พบว่าระดับการแสดงออกของยีน *TNF-α* เพิ่มขึ้น และยังพบว่าการแสดงออกของยีนนี้มีผลทำให้ภูมิคุ้มกันโรคและอัตราการรอดของปลาดีขึ้น นอกจากนี้ปลานิลที่ได้รับอาหารผสมกลูแคน 0.5 กรัม/กก. นาน 60 วัน มีการแสดงออกของยีน *INF-γ*, *TNF-α* และ *IL-1β* สูงขึ้น ในขณะที่ยีน *Hsp70* ลดลง (Dawood *et al.*, 2020c) เช่นเดียวกับปลานิล (24.5±1.6 กรัม) ที่ได้รับอาหารผสม FOS 5 กรัม/กก. นาน 56 วัน มีการแสดงออกของยีน *C3*, *IL-1β*, *TNF-α*, *IFN-γ* และ *Hsp70* ในระดับสูงขึ้น (Panase *et al.*, 2023)

#### 5) ความต้านทานการเกิดโรคและความเครียด

การทดสอบการต้านทานโรค (Challenge test) ด้วยการฉีดเชื้อแบคทีเรียก่อโรคที่พบบ่อยและสร้างความเสียหายให้กับสัตว์น้ำชนิดนั้น ๆ มักจะทำโดยการเข้าเชื้อโรคที่ก่อให้เกิดโรคในปลาเข้าช่องท้อง แล้วสังเกตอาการของโรคและการตายจากการติดเชื้อนาน 14 วัน อย่างไรก็ตามนักวิจัยหลายรายไม่ได้ทดสอบผลของการใช้พรีไบโอติกส์ในการป้องกันการเกิดโรคหรือการตายจาก

การติดเชื้อโรค เนื่องจากอาจจะไม่สะดวกในการบริหารจัดการและกำจัดเชื้อก่อโรคในการทดสอบและหลังสิ้นสุดการทดลอง

มีรายงานว่า ปลานิลที่ได้รับอาหารผสม MOS 4 และ 6 กรัม/กก. สามารถป้องกันโรคที่เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรีย *Streptococcus agalactiae* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Samrongpan *et al.*, 2008) นอกจากนี้ปลานิลที่ได้รับอาหารผสมอินนูลิน 5 กรัม/กก. (Ibrahem *et al.*, 2010) และเบต้ากลูแคน 0.1% (Amphan *et al.*, 2019) และ 0.4-0.8% (Dou *et al.*, 2023) มีอัตราการตายจากการทดสอบการติดเชื้อ *A. hydrophila* เพิ่มขึ้น ปลานิลที่ได้รับอาหารผสมกลูแคน 0.1% นาน 4 สัปดาห์ ยังช่วยลดการตายจากการติดเชื้อแบคทีเรีย *Flavobacterium columnare* อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน (Amphan *et al.*, 2019)

อัตราการตายของปลานิลอาจเกิดมาจากปลาที่มีภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะที่สูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการทำงานของสารน้ำ เช่น โลโซไซม์ คอมพลีเมนต์ การทำงานของเซลล์จับกินสิ่งแปลกปลอมหรือการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกันโรคระหว่างการติดเชื้อ พรีไบโอติกส์อาจจะกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียที่อาศัยใน/บนร่างกายแต่ไม่ก่อโรค (Commensal bacteria) ทำให้เกิดการยับยั้งการเข้าเกาะของเชื้อก่อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ Kishawy *et al.* (2020) รายงานว่า การใช้ MOS เป็นแหล่งคาร์บอนของการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟล็อก ช่วยลดปริมาณเชื้อก่อโรคบางชนิด เช่น *Vibrio* spp., *Aeromonas* spp. และ *Pseudomonas* spp. ในลำไส้ปลาได้

ปลานิลที่เลี้ยงในระบบความหนาแน่นสูงจะมีผลทำให้ปลาเครียดได้ง่าย จึงมีการใช้พลังงานเพื่อลดความเครียดในร่างกาย เป็นผลให้พลังงานที่จะใช้ในการเจริญเติบโตลดลง นอกจากนี้หากควบคุมคุณภาพน้ำไม่ดี ปริมาณออกซิเจนที่ต่ำและแอมโมเนียที่สูง ทำให้ปลากินอาหารได้น้อยลง ประสิทธิภาพในการย่อยอาหารอาจลดลงตามไปด้วยทำให้อัตราแลกเนื้อสูงขึ้น (Telli *et al.*,

2014; De Punder and Pruijboom, 2015) การขนส่งปลา การคัดขนาดปลา และความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ ก็มีส่วนทำให้ปลานิลเกิดความเครียด การให้อาหารผสมพรีไบโอติกส์อาจจะเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดผลเสียที่เกิดจากความเครียด Dawood *et al.* (2020a) ทดลองเลี้ยงปลานิล ( $10.05 \pm 0.02$  กรัม) ที่เลี้ยงในความหนาแน่นสูง (600 ตัว/ตัน) ในตู้ปลาขนาด 50 ลิตร และให้อาหารผสมกลูแคน 0.5 กรัม/กก. นาน 60 วัน ไม่ได้ทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง โดยนักวิจัยเชื่อว่าพรีไบโอติกส์อาจทำให้จุลินทรีย์ในทางเดินอาหารปลานิลช่วยกระตุ้นการย่อยอาหารและดูดซึมสารอาหารดีขึ้น ลดผลกระทบทางลบที่เกิดจากการเลี้ยงปลานิลในความหนาแน่นสูงได้

ปลานิลที่ได้รับอาหารผสมเบต้ากลูแคน 4 กรัม/กก. นาน 40 วัน หลังจากได้รับพิษจากฟิโพรนิล (Fipronil) ซึ่งเป็นยาฆ่าแมลงที่ใช้ในนาข้าว จะมีความสามารถในการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันและการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ทำให้ความเป็นพิษจากสารดังกล่าวที่มีต่อปลาลดน้อยลง (El-Murr *et al.*, 2019)

### ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการให้พรีไบโอติกส์แก่ปลานิล

ปริมาณและระยะเวลาที่ปลานิลได้รับพรีไบโอติกส์ เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกัน และความต้านทานโรค

### ปริมาณที่ให้

มีการใช้พรีไบโอติกส์ในการเลี้ยงปลานิลในปริมาณที่แตกต่างกัน แต่ส่วนใหญ่จะใช้ผสมอาหารที่ความเข้มข้น 0.8-10 กรัม/กก. อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณที่เหมาะสมของการใช้พรีไบโอติกส์เพื่อประโยชน์ทางด้านการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกันและความคุ้มค่าในการลงทุน Ampham *et al.* (2019) แนะนำให้เบต้ากลูแคน 0.1% (1 กรัม/กก.) แก่ปลานิลสัปดาห์เว้นสัปดาห์ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย Nurmallasari *et al.* (2022) รายงานว่า ปลานิลที่ได้รับอาหาร COS 0.4% เพียงพอที่ทำให้การเจริญเติบโตดีขึ้น แต่ต้องใช้สูงถึง 0.8% จึงจะเห็นผลในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันและป้องกันการตายจากการติดเชื้อแบคทีเรีย *S. iniae* Table 2 แสดงผลการทดลองให้อาหารผสมพรีไบโอติกส์ชนิดต่าง ๆ แก่ปลานิลในปริมาณและระยะเวลาที่ให้ต่างกัน

**Table 2** Studies using dietary prebiotics in tilapia research

Prebiotics	Dosage	Duration	Results	References
$\beta$ -glucan	0.1 g/kg	30 days	↑Growth rate ↑Plasma glucose ↑Survival after <i>Streptococcus agalactiae</i> challenge	Pilarski <i>et al.</i> (2017)
	0.5 g/kg	30 days	↑Hb, ↑Hct, ↑RBCs, ↑WBCs counts, ↑AST, ↑ALT, ↑ALP, ↑HSP70, ↑IFN- $\gamma$ ↓IL-8	Dawood <i>et al.</i> (2020a)
	4 g/kg	90 days	↑Growth rate ↓LDH, ↓MDA, ↓cortisol ↓GSH, ↓SOD, ↓CAT, ↓GPx and ↓GR after fipronil exposure	El-Murr <i>et al.</i> (2019)
Inulin	5 g/kg	2 months	↑WG, ↑SGR, ↑SR, ↑Nitroblue tetrazolium (NBT), ↑Hct	Ibrahim <i>et al.</i> (2010)
	5-10 g/kg	8 weeks	↑Growth rate ↑Lysozyme activity ↑Alternative complement hemolytic 50 (ACH50) activity	Tiengtam <i>et al.</i> (2015)
	4 g/kg	8 weeks	↑Growth rate ↓FCR ↓CAT and GST activities under hyper-saline stress	Zhou <i>et al.</i> (2020)

Table 2 (Continued)

Prebiotics	Dosage	Duration	Results	References
Fructo- Oligosaccharides, FOS	1, 2 and 3%	8 weeks	↑Growth rate ↓FCR ↑Protease ↑Villi length	Abd El-Latif <i>et al.</i> (2015)
	2%	3 and 6 weeks	↑WG ↓SOD, ↓CAT, ↓GPx, ↓MDA	Abd El-Gawad (2016)
	2 and 4 g/kg	8 weeks	↑WG ↓FCR ↑SOD, ↑ALK	Poolsawat <i>et al.</i> (2020)
Mannan oligosaccharide, MOS	0.5%	12 weeks	↑WG, ↑FCR, ↑IgM, ↑Lysozyme activity ↑IL-8, ↑IFN- $\gamma$ ↑Survival after <i>Aeromonas</i> <i>hydrophila</i> challenge	Kishawy <i>et al.</i> (2020)
	0.02%	6 weeks	↓FCR ↑Growth rate	Azevedo <i>et al.</i> (2016)
	0.4%	60 days	↑Villi length → Growth rate	Cechim <i>et al.</i> (2015)
	0.2, 0.4 and 0.6%	60 days	→ SGR → Growth rate → FCR	Yuji-Sado <i>et al.</i> (2015)
	1%		↑Growth rate ↑Hb, ↑Hct, ↑RBCs, ↑GPx ↑CAT, ↑HSP70, ↑CASP3, ↑IFN $\gamma$ , ↑IL-8 under chlorpyrifos exposure	Dawood <i>et al.</i> (2020b)

Table 2 (Continued)

Prebiotics	Dosage	Duration	Results	References
Mannanooligosaccharide, MOS	4 g/kg		↑Growth rate ↓ALP, ↓ALT, ↓AST ↑RBCs and ↑Hb under chlorpyrifos ambient toxicity	Ayyat <i>et al.</i> (2020)

**Abbreviations:** weight gain (WG), feed conversion ratio (FCR), specific growth rate (SGR), hemoglobin (Hb), hematocrit (Hct), red blood cells (RBCs), WBCs counts, aspartate transaminase (AST), Alanine transaminase (ALT), alkaline phosphatase (ALP), heat shock protein (HSP70), Interferon gamma (IFN- $\gamma$ ), lactate dehydrogenase (LDH), MDH, *malondialdehyde* (MDA), glutathione peroxidase (GPx), catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD); Symbols represent an increase (↑), decrease (↓) or no effect (→) on the specified response.

### ระยะเวลาที่ให้

มีการทดลองใช้พรีไบโอติกส์แตกต่างกันตั้งแต่ 21 ถึง 90 วัน แต่มีรายงานว่า หากให้เบต้ากลูแคนยาวนานเกินไปจะไปกดภูมิคุ้มกันหรือลดผลดีที่อาจจะเกิดขึ้น (Bagni *et al.*, 2005) อย่างไรก็ตาม นักวิจัยบางรายรายงานว่า การให้อาหารเสริมพรีไบโอติกส์ระยะยาวจะช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานโรค ซึ่งมีรายงานในปลาเรนโบว์เทราต์ที่ได้รับอาหารผสมกลูแคน 0.2% นาน 46 วัน (Lauridsen and Buchmann, 2010) หรือลูกปลายี่สกเทศที่ได้รับอาหารผสมกลูแคน 250 มก./กก. นาน 42 วัน (Misra *et al.*, 2006) แต่ยังไม่พบการกล่าวถึงระยะเวลาที่เหมาะสมที่จะเสริมพรีไบโอติกส์แก่ปลานิล ควรมีการศึกษาเพื่อยืนยันว่า ระยะเวลาที่ทำให้เกิดผลดีอย่างชัดเจนในด้านการเพิ่มการเจริญเติบโตและการต้านทานโรค

### การใช้พรีไบโอติกส์ร่วมกับหลายชนิดหรือการใช้ร่วมกับสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันชนิดอื่น ๆ

มีการใช้พรีไบโอติกส์ร่วมกับการใช้โปรไบโอติกส์หรือเรียกว่า “ซินไบโอติกส์ (Synbiotics)” โดยหวังว่าจะเกิดการเสริมการทำงานกันทั้งในแง่การกระตุ้นการ

เจริญเติบโต เสริมภูมิคุ้มกัน และการป้องกันโรคปลานิล บริษัทเอกชนได้พัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโต เสริมภูมิคุ้มกัน และป้องกันโรคปลานิลที่หลากหลาย ซึ่งมีส่วนผสมทั้งวิตามิน สาหร่าย ผงเซลล์ยีสต์ สมุนไพรบางชนิด สารสกัดจากพืชและผลไม้ เพื่อจำหน่ายให้เกษตรกรนำไปใช้ โดย Wee *et al.*, (2024) รายงานว่า การใช้ MOS อย่างเดียวไม่สามารถกระตุ้นภูมิคุ้มกันและลดการตายจากการติดเชื้อแบคทีเรีย *A. hydrophila* แต่เมื่อใช้เบต้ากลูแคนร่วมกับพรีไบโอติกส์อื่น ๆ จะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของปลานิลและเสริมภูมิคุ้มกันให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้น Abu-Elala *et al.* (2018) แนะนำให้มีการใช้ Immunowall® ซึ่งมีส่วนผสมของเบต้ากลูแคนกับ MOS ผสมอาหารให้ปลานิล 0.2% ซึ่งจะมีส่วนช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต เสริมภูมิคุ้มกันและสามารถต้านทานการติดเชื้อแบคทีเรีย *A. hydrophila* ได้ Ismail *et al.* (2019) ทดลองให้อาหารเสริม Lacto Forte ซึ่งมีส่วนผสมของเบต้ากลูแคนและอินนูลิน 1.5 กรัม/กก. นาน 45 วัน พบว่า ปลานิลมีการเจริญเติบโตและภูมิคุ้มกันโรคสูงขึ้น รวมทั้งมีอัตราการรอดตายจากการติดเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas fluorescens* ดีขึ้น Ghaly *et al.* (2023) ทดลองให้อาหารผสม *Bacillus*

*amyloliquefacien* และสารสกัดจากแบคทีเรียชนิดนี้ ให้ปลาเลี้ยงกินนาน 2 เดือน พบว่าปลาเลี้ยงมีการเจริญเติบโต และภูมิคุ้มกันที่ดีขึ้น แต่ Cavalcante *et al.* (2020) ใช้โปรไบโอติก DBA® (*Bifidobacterium sp.*, *Lactobacillus acidophilus* และ *Enterococcus faecium*) ผสมกับพรีไบโอติก MOS และโคโตซาน พบว่าไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามควรมีการคัดเลือก โปรไบโอติกส์ร่วมกับพรีไบโอติกส์ หากมีการผสมผิดพลาด อาจจะทำให้เกิดปัญหาด้านการตอบสนองทางสรีรวิทยา ของปลาและความหลากหลายของจุลินทรีย์ได้ เช่น Cerezuela *et al.* (2013) รายงานว่า ปลาทรายแดง (*Sparus aurata*) ที่ได้รับอาหารผสม *B. subtilis* + อินนูลิน ( $10^7$  cfu/g + 10 กรัม/กก.) นาน 4 สัปดาห์ มีอาการบวม น้ำ (Edema) และอัสเสบ แต่ยังไม่พบความผิดปกติ ดังกล่าวในปลาเลี้ยง

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า มีข้อจำกัดของการใช้ พรีไบโอติกส์บางชนิด เช่น การใช้อินนูลินเสริมในอาหาร ปลาเลี้ยง คือ ราคาของอินนูลิน นักวิจัยบางท่านจึงใช้ สารสำคัญจากพืชหรือผลพลอยได้จากการเกษตรมาทำ เป็นพรีไบโอติกส์แทน เช่น แก่นตะวัน (*Jerusalem Artichoke*) ซึ่งมีอินนูลินเป็นองค์ประกอบสูงถึง 160-200 กรัม/กก. และ FOS 120-150 กรัม/กก. (Moshfegh *et al.*, 1999) ขณะที่ Tiengtam *et al.* (2015) รายงาน ว่า ปลาเลี้ยงที่ได้รับอาหารผสมแก่นตะวัน 10 กรัม/กก. นาน 8 สัปดาห์ มีการเจริญเติบโตและสุขภาพที่ดีขึ้น เทียบเท่าปลาที่ได้รับอาหารผสมอินนูลิน 5 กรัม/กก. ส่วน Van Doan *et al.* (2018) ทดลองใช้พรีไบโอติกส์จาก ชิงช้าสวรรค์ 10 กรัม/กก. นาน 4-8 สัปดาห์ทำให้ปลาเลี้ยง มีการเจริญเติบโตและภูมิคุ้มกันที่ดีขึ้น รวมทั้งมีอัตราการ ตายจากการติดเชื้อแบคทีเรีย *S. agalactiae* สูงขึ้น เช่นเดียวกับปลาเลี้ยงที่ได้รับอาหารผสมเพคติน (Pectin) จากเปลือกส้ม 10 กรัม/กก. นาน 8 สัปดาห์ มีการเจริญเติบโต และภูมิคุ้มกันโรคที่ดีขึ้น (Van Doan *et al.*, 2019)

## สรุปผลการวิจัย

การใช้พรีไบโอติกส์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร กระตุ้นการ เจริญเติบโต เสริมภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะเพื่อช่วยต่อสู้ กับเชื้อก่อโรค ทำให้มีอัตราการรอดสูง เป็นทางเลือกในการ ลดการใช้ยาปฏิชีวนะ และสารเคมีในการเลี้ยงปลา การ ใช้พรีไบโอติกส์สำหรับการเลี้ยงปลายุคใหม่ที่มีความ หนาแน่นสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็น อย่างไรก็ตามผลที่ได้ อาจ จะขึ้นอยู่กับชนิดของพรีไบโอติกส์ ปริมาณและระยะเวลา ที่ใช้ รวมทั้งปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ฤดูกาล อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะคุณภาพน้ำและปริมาณออกซิเจน ละลายในน้ำ ซึ่งบางครั้ง สิ่งแวดล้อมเหล่านี้ อาจมี ผลกระทบต่อผลผลิตปลาเลี้ยงที่มากกว่าการให้อาหาร เสริมพรีไบโอติกส์ก็อาจจะเป็นได้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บจก. กรีนเทค อควาคัลเจอร์ และ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้โครงการพัฒนา นักวิจัย และงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-พวอ. ที่ให้ทุน สนับสนุนบางส่วนในการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- Abd El-Gawad, E.A., A.M. Abd El-latif and R.M. Shourbela. 2016. Enhancement of antioxidant activity, non-specific immunity, and growth performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* by dietary fructooligosaccharide. *Journal of Aquaculture Research and Development* 7(5): 1-7.

- Abd El-latif, A., E. Abd El-Gawad and M. Emam. 2015. Effect of dietary fructooligosaccharide supplementation on feed utilization and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. **The Egyptian Journal of Aquatic Research** 5(3): 1-16.
- Abu-Elala, N.M., N.A. Younis, H.O. AbuBakr, N.M. Ragaa and M.A. Bonato. 2018. Efficacy of dietary yeast cell wall supplementation on the nutrition and immune response of Nile tilapia. **The Egyptian Journal of Aquatic Research** 44(4): 333-341.
- Aguilar-Uscanga, B. and J.M. Francois. 2003. A study of the yeast cell wall composition and structure in response to growth conditions and mode of cultivation. **Letters in Applied Microbiology** 37(3): 268-274.
- Amphan, S., S. Unajak, C. Printrakoon and N. Areechon. 2019. Feeding-regimen of  $\beta$ -glucan to enhance innate immunity and disease resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* Linn., against *Aeromonas hydrophila* and *Flavobacterium columnare*. **Fish and Shellfish Immunology** 87: 120-128.
- Ayyat, M.S., A.M.N. Ayyat, M.A.E. Naiel and A.A. Al-Sagheer. 2020. Reversal effects of some safe dietary supplements on lead contaminated diet induced impaired growth and associated parameters in Nile tilapia. **Aquaculture** 515: 734580-734580.
- Azevedo, R.V., J.C.F. Filho, S.L. Pereira and L.D. Cardoso. 2016. Dietary mannan oligosaccharide and *Bacillus subtilis* in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum. Animal Sciences** 38(4): 347-353.
- Bagni, M., N. Romano and M.G. Finoia. 2005. Short- and long-term effects of a dietary yeast  $\beta$ -glucan (Macrogard) and alginic acid (Ergosan) preparation on immune response in sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Fish and Shellfish Immunology** 18(4): 311-325.
- Cao, Y.Z., C.C. Reddy and L.M. Sordillo. 2000. Altered eicosanoid biosynthesis in selenium-deficient endothelial cell. **Free Radical Biology and Medicine** 28: 381-389.
- Cavalcante, R.B., G.S. Telli and M.J. Ranzani-Paiva. 2020. Probiotics, prebiotics and synbiotics for Nile tilapia: growth performance and protection against *Aeromonas hydrophila* infection. **Aquaculture Reports** 17: 100343.
- Cechim, F.E., F.B. Sales, A.A. Signor and M.A. Michels-Souza. 2015. Dietary mannanoligosaccharide influenced feed consumption and gut morphology of Nile tilapia raised in net-cage systems. **Boletim Do Instituto De Pesca** 41(3): 519-527.

- Cerezuela, R., M. Fumanal, S.T. Tapia-Paniagua, J. Meseguer, M.A. Moriñigo and M.A. Esteban. 2013. Changes in intestinal morphology and microbiota caused by dietary administration of inulin and *Bacillus subtilis* in gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) specimens. **Fish and Shellfish Immunology** 34: 1063-1070.
- Dawood, M.A.O., S.E. Abdo, M.S. Gewaily and E.M. Moustafa. 2020a. The influence of dietary  $\beta$ -glucan on immune, transcriptomic, inflammatory and histopathology disorders caused by deltamethrin toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish and Shellfish Immunology** 98: 301-311.
- Dawood, M.A.O., I.S. El-Shamaa, N.I. Abdel-Razik and A.H. Elkomy. 2020b. The effect of mannanoligosaccharide on the growth performance, histopathology, and the expression of immune and antioxidative related genes in Nile tilapia reared under chlorpyrifos ambient toxicity. **Fish and Shellfish Immunology** 103: 421-429.
- Dawood, M.A.O., A.E.S. Metwally, M.E. El-Sharawy, A.M. Atta, Z.I. Elbially, H.M. Abdel-Latif and B.A. Paray. 2020c. The role of  $\beta$ -glucan in the growth, intestinal morphometry, and immune-related gene and heat shock protein expressions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under different stocking densities. **Aquaculture** 523: 735205.
- Dawood, M.A.O, S. Koshio and M.Á. Esteban. 2018. Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: a review. **Reviews in Aquaculture** 10(4): 950-974.
- de Punder, K. and L. Pruimboom. 2015. Stress induces endotoxemia and low-grade inflammation by increasing barrier permeability. **Frontiers in Immunology** 6: 223.
- Dou, X., H. Huang, Y. Li, J. Deng and B. Tan. 2023. Effects of dietary  $\beta$ -glucan on growth rate, antioxidant status, immune response, and resistance against *Aeromonas hydrophila* in genetic improvement of farmed tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Reports** 29: 101480.
- El-Murr, A.E.I., Y.A.E. Hakim, A.N.F. Neamat-Allah, M. Baeshen and H.A. Ali. 2019. Immune-protective, antioxidant and relative genes expression impacts of  $\beta$ -glucan against fipronil toxicity in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Fish and Shellfish Immunology** 94: 427-433.
- Fisheries Development Policy and Planning Division, Fisheries Economic Group. 2022. **Tilapia production in October 2022**. [Online]. Available <https://www.fisheries.go.th/strategy> (August 4, 2023).
- Ganguly, S., K.C. Dora, S. Sarkar and S. Chowdhury. 2013. Supplementation of prebiotics in fish feed: a review. **Reviews in Fish Biology and Fisheries** 23: 195-199.

- Ghaly, F.M., S.H.M. Hussein and A.A. EL-Makhzangy. 2023. Growth promoter, immune response, and histopathological change of prebiotic, probiotic and synbiotic bacteria on Nile tilapia. **Saudi Journal of Biological Sciences** 30(2): 103539.
- Gibson, G.R. and M.B. Roberfroid. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. **The Journal of Nutrition** 125: 1401-1412.
- He, S., G. Xu, Y. Wu, H. Weng and H. Xie. 2003. Effects of IMO and FOS on growth performance and non-specific immunity in hybrid tilapia. **Chinese Feed** 23: 14-15. [in Chinese].
- Hoseinifar, S.H., F. Zoheiri, M. Dadar, R. Rufchaei and E. Ringø. 2016. Dietary galactooligosaccharide elicits positive effects on non-specific immune parameters and growth performance in Caspian white fish (*Rutilus frisii kutum*) fry. **Fish and Shellfish Immunology**. 56: 467-472.
- Hui-Yuan, L., Z. Zhigang, F. Rudeaux and F. Respondek. 2007. Effects of dietary short chain fructo-oligosaccharides on intestinal microflora, mortality, and growth performance of *Oreochromis aureus*♂ x *O. niloticus*♀. **Chinese Journal of Animal Nutrition** 19: 1-6.
- Ibrahem, M.D., M. Fathi, S. Meslhy and A.M.A. El-Aty. 2010. Effect of dietary supplementation of inulin and vitamin C on the growth hematology, innate immunity, and resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish and Shellfish Immunology** 29(2): 241-246.
- Ismail, M., A. Wahdan, M.S. Yusuf, E. Metwally and M. Mabrok. 2019. Effect of dietary supplementation with a synbiotic (Lacto Forte) on growth performance, haematological and histological profiles, the innate immune response, and resistance to bacterial disease in *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Research** 50: 2545-2562.
- Kishawy, A.T.Y., A.H. Sewid, H.S. Nada and M.A. Kamel. 2020. Mannanooligosaccharides as a carbon source in biofloc boost dietary plant protein and water quality, growth, immunity and *Aeromonas hydrophila* resistance in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Animals** 10(10): 1-24.
- Koch, J.F.A., C.A.F. de Oliveira and F.S. Zanuzzo. 2021. Dietary  $\beta$ -glucan (MacroGard®) improves innate immune responses and disease resistance in Nile tilapia regardless of the administration period. **Fish and Shellfish Immunology** 112: 56-63.

- Lauridsen, J.H. and K. Buchmann. 2010. Effects of short- and long-term glucan feeding of rainbow trout (*Salmonidae*) on the susceptibility to *Ichthyophthirius multifiliis* infections. **Acta Ichthyologica et Piscatoria** 40: 61-66.
- Levy-Pereira, N., G.S. Yasui, M.V. Cardozo, J.D. Neto, T.H.V. Farias, R. Sakabe, S.B. de Pádua and F. Pilarski. 2018. Immunostimulation and increase of intestinal lactic acid bacteria with dietary mannan-oligosaccharide in Nile tilapia juvenile. **The Brazilian Journal of Animal Science** 47: e20170006
- Manning, T.S. and G.R. Gibson. 2004. Prebiotics. **Best Practice and Research in Clinical Gastroenterology** 18: 287-298.
- Merrifield, D.L., A. Dimitroglou, A. Foey, S.J. Davies, R.T.M. Baker, J. Bogwald, M. Castex and E. Ringo. 2010. The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids. **Aquaculture** 302: 1-18.
- Misra, C.K., B.K. Das and S.C. Mukherjee. 2006. Effect of long-term administration of dietary  $\beta$ -glucan on immunity, growth and survival of *Labeo rohita* fingerlings. **Aquaculture** 255(1): 82-94.
- Mohammadi, G., A.A. Karimi, M. Hafezieh, M.A.O. Dawood and H.G. Abo-Al-Ela. 2021. Pistachio hull polysaccharide protects Nile tilapia against LPS-induced excessive inflammatory responses and oxidative stress, possibly via TLR2 and Nrf2 signaling pathways. **Fish and Shellfish Immunology** 121: 276-284.
- Moshfegh, A.J., J.E. Friday, J.P. Goldman and J.K.C. Ahuja. 1999. Presence of inulin and oligofructose in the diets of Americans. **The Journal of Nutrition** 129(7): 1407S-1411S.
- Nurmalasari, C.L., M. Maftuch, and S. Hu. 2022. Dietary supplementation with prebiotic chitooligosaccharides enhances the growth performance, innate immunity, and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fishes** 7(6): 313-326.
- Panase, A., M. Thirabunyanon, J. Promya and C. Chitmanat. 2023. Influences of *Bacillus subtilis* and fructooligosaccharide on growth performances, immune responses, and disease resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Frontiers in Veterinary Science** 9: 1094681.
- Pilarski, F., C.A.F. de Oliveira, F.P.B. Darposolo de Souza and F.S. Zanuzzo. 2017. Different  $\beta$ -glucans improve the growth performance and bacterial resistance in Nile tilapia. **Fish and Shellfish Immunology** 70: 25-29.

- Poolsawat, L., X. Li, H. Yang and P. Yang. 2020. The potentials of fructooligosaccharide on growth, feed utilization, immune and antioxidant parameters, microbial community, and disease resistance of tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*). **Aquaculture Research** 51(11): 4430-4442.
- Qin, C., Y. Zhang, W. Liu and L. Xu. 2014. Effects of chito-oligosaccharides supplementation on growth performance, intestinal cytokine expression, autochthonous gut bacteria and disease resistance in hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* ♀ × *Oreochromis aureus* ♂. **Fish and Shellfish Immunology** 40(1): 267-274.
- Rahimnejad, S., X. Yuan, L. Wang, K. Lu, K. Song, and C. Zhang. 2018. Chitooligosaccharide supplementation in low-fish meal diets for Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*): effects on growth, innate immunity, gut histology, and immune-related genes expression. **Fish and Shellfish Immunology** 80(43): 405-415.
- Ringø, E., R.E. Olsen, T.Ø. Gifstad, R.A. Dalmo, H. Amlund, G.I. Hemre and A.M. Bakke. 2010. Prebiotics in aquaculture: a review. **Aquaculture Nutrition** 16: 117-136.
- Roberfroid, M. 1993. Dietary fibre, inulin and oligofructose: a review comparing their physiological effects. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 33: 103-148.
- Samrongpan, C., N. Areechon, R. Yoonpundh and P. Sirsapoome. 2008. Effect of Mannanoligosaccharides on Growth, Survival, and Disease Resistance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) Fry. pp. 345-353. **In Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Tilapia in Aquaculture, October 12-14, 2008.** Cairo: The University of Arizona.
- Sun, Y., G. Wang, K. Peng, Y. Huang and J. Cao. 2019. Effects of dietary xylo-oligosaccharides on growth performance, immunity, and *Vibrio alginolyticus* resistance of juvenile *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture Research** 50: 358-365.
- Telli, G.S., M.J.T. Ranzani-Paiva, D.D.C. Dias, F.R. Sussel, C.M. Ishikawa and L. Tachibana. 2014. Dietary administration of *Bacillus subtilis* on hematology and non-specific immunity of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised at different stocking densities. **Fish and Shellfish Immunology** 39: 305-311.

- Tiengtam, N., S. Khempaka, P. Paengkoum and S. Boonanuntasarn. 2015. Effects of inulin and Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) as prebiotic ingredients in the diet of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Animal Feed Science and Technology** 207: 120-129.
- Van Doan, H., S.H. Hoseinifar, C. Faggio, C. Chitmanat and E. Ringø. 2018. Effects of corncob derived xylooligosaccharide on innate immune response, disease resistance, and growth performance in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. **Aquaculture** 495: 786-793.
- Van Doan, H., S.H. Hoseinifar, W. Naraballobh, S. Jaturasitha, S. Tongsiri, C. Chitmanat and E. Ringø. 2019. Dietary inclusion of orange peels derived pectin and *Lactobacillus plantarum* for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured under indoor biofloc systems. **Aquaculture** 508: 98-105.
- Wang, T., H. Wu and M. Zhang. 2022. Effects of dietary mannan oligosaccharides (MOS) supplementation on metabolism, inflammatory response, and gut microbiota of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with high carbohydrate diet. **Fish and Shellfish Immunology** 130: 550-559.
- Wee, W., N.K.A. Hamid, K. Mat, R.I.A.R. Khalif, N.D. Rusli and M.M. Rahman. 2024. The effects of mixed prebiotics in aquaculture: a review. **Aquaculture Fish** 9(1): 28-34.
- Yuji-Sado, R., F. Raulino-Domanski, de Freitas and F. Baioco-Sales. 2015. Growth, immune status, and intestinal morphology of Nile tilapia fed dietary prebiotics (mannan oligosaccharides-MOS). **Latin American Journal of Aquatic Research** 43(5): 944-952.
- Zhou, L., J. Zhang, M. Yan and S. Tang. 2020. Inulin alleviates hypersaline-stress induced oxidative stress and dysbiosis of gut microbiota in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture** 529: 735681-735681.
- Zhou, Z.G., Z.K. Ding and L.V. Huiyuan. 2007. Effects of dietary short-chain fructooligosaccharides on intestinal microflora, survival, and growth performance of juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **The Journal of the World Aquaculture Society** 38: 296-301.

คุณสมบัติของแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากน้ำในบ่อเลี้ยงปลา  
เพื่อใช้เป็นโพรไบโอติกในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ  
Properties of Bacteria Isolated from Fish Pond Water  
for Use as Probiotic in Aquaculture

สมพงษ์ สุขขวงษ์<sup>1</sup> วราภรณ์ สีหาโมก<sup>2</sup> เกศกนก พงษ์พิชิต<sup>2</sup> อภิสสิทธิ์ โสภาส<sup>2</sup> กมลรัตน์ บุญบางขันธุ์<sup>2</sup>  
พัชรพล พรหมภักดี<sup>3</sup> ปฎิมา เพิ่มพูนพัฒนา<sup>2</sup> และอรัทัย แดงสวัสดิ์<sup>1\*</sup>  
Sompong Sukhawong<sup>1</sup>, Waraphorn Sihamok<sup>2</sup>, Katkanok Pongpichit<sup>2</sup>  
Apisit Sopas<sup>2</sup>, Kamonrat Boonbangkan<sup>2</sup>, Pattapol Prompukdee<sup>3</sup>  
Patima Permpoonpattana<sup>2</sup> and Orathai Dangsawat<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเครื่องมือกลาง สำนักงานวิทยาเขตสุราษฎร์ธานี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สุราษฎร์ธานี 84000  
<sup>2</sup>สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร โครงการจัดตั้งคณะนวัตกรรมการเกษตรและประมง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สุราษฎร์ธานี 84000  
<sup>3</sup>งานบริหารทรัพย์สิน สำนักงานวิทยาเขตสุราษฎร์ธานี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สุราษฎร์ธานี 84000

<sup>1</sup>Scientific Laboratory and Equipment Center, Office of Surat Thani Campus, Prince of Songkla University  
Surat Thani, Thailand 84000

<sup>2</sup>Program in Agricultural Science and Technology, Faculty of Innovative Agriculture and Fishery Establishment Project  
Prince of Songkla University, Surat Thani, Thailand 84000

<sup>3</sup>Property Management, Office of Surat Thani Campus, Prince of Songkla University, Surat Thani, Thailand 84000

\*Corresponding author: orathai.d@psu.ac.th

Received: April 05, 2023

Revised: January 10, 2024

Accepted: February 06, 2024

### Abstract

This study aimed to isolate potential probiotic bacteria from fish pond water for the application in aquaculture. The isolates showed that three isolates namely KP1, KP4 and KP5 which had similarly to *Bacillus* sp. All isolates showed that the efficient spores on DSM 98.98, 94.99 and 94.45% respectively. The efficient spores in LB showed 98.92, 97.79 and 99.30%, respectively. Three isolates were tolerated to stomach acid at pH 1.0-3.0 and tolerant to bile salt at 0.5-5.0% concentration for 3 hours were extracted with over 72% of the survival and antibiotic susceptibility. KP1 and KP4 showed that anti-biofilm producing activity against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Vibrio parahaemolyticus*. KP5 was inhibited biofilm formation by *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. All isolates showed that tolerance to salinity was similar to the condition of the water used in aquaculture. Our results demonstrate that three isolates KP1, KP4 and KP5 could have the potential of consideration as probiotics for sustainable development in aquaculture.

**Keywords:** potential, fish pond water, probiotic, aquaculture

### บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกแบคทีเรียโพรไบโอติกที่มีศักยภาพจากน้ำในบ่อเลี้ยงปลาเพื่อประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จากการคัดแยกพบว่าแบคทีเรียจำนวน 3 ไอโซเลต ที่เป็นแบคทีเรียในกลุ่มของ *Bacillus* sp. ได้แก่ ไอโซเลต KP1, KP4 และ KP5 โดยทุกไอโซเลตมีประสิทธิภาพการสร้างสปอร์สูงบนอาหาร DSM คือ 98.98, 94.99 และ 94.45 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ประสิทธิภาพการสร้างสปอร์ในอาหาร LB คือ 98.92, 97.79 และ 99.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้ง 3 ไอโซเลตสามารถทนต่อกรดในกระเพาะอาหารที่ pH 1.0-3.0 และเกลือความเข้มข้น 0.5-5.0 เปอร์เซ็นต์ ได้นาน 3 ชั่วโมง โดยมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่า 72 เปอร์เซ็นต์ และมีความไวต่อสารปฏิชีวนะ KP1 และ KP4 มีประสิทธิภาพยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของ *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* และ *Vibrio parahaemolyticus* ส่วน KP5 มีประสิทธิภาพยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ทุกไอโซเลตสามารถทนต่อความเค็มที่ใกล้เคียงกับสถานะของน้ำเลี้ยงที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ดี โดยมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า KP1, KP4 และ KP5 มีศักยภาพเป็นโพรไบโอติก เพื่อการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืนต่อไป

**คำสำคัญ:** ศักยภาพ น้ำบ่อเลี้ยงปลา โพรไบโอติก การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

### คำนำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสำคัญสำหรับเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นแหล่งผลิตสัตว์น้ำทดแทนสัตว์น้ำทะเลที่มีแนวโน้มลดลง ในปี พ.ศ. 2558-2562 ประเทศไทยมีผลผลิตสัตว์น้ำ

จากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ในอันดับ 10 ของโลก ปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำรวมทั้งสิ้นประมาณ 1,000 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 300 ล้านบาท (Department of Fisheries, 2022) ในปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงอย่างหนาแน่นเพื่อเพิ่มผลผลิตของสัตว์น้ำ ซึ่งอาจส่งผลทำให้เกิดความเครียดและทำให้สุขภาพของสัตว์น้ำอ่อนแอลง นำไปสู่การระบาดของโรคและการสูญเสียทางเศรษฐกิจในที่สุด แบคทีเรียก่อโรคที่พบมากที่สุดในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ *Streptococcus agalactiae*, *Aeromonas hydrophila* และ *Vibrio* spp. เป็นต้น (Haenen *et al.*, 2023) โดยเกษตรกรผู้เลี้ยงมักใช้ยาปฏิชีวนะในการรักษาการติดเชื้อแบคทีเรีย แต่อาจมีความเสี่ยงสูงต่อผู้บริโภคเนื่องจากการตกค้างของยาปฏิชีวนะ และทำให้เกิดการดื้อยาปฏิชีวนะหรือการกลายพันธุ์ของแบคทีเรียก่อโรค (Sookchaiyaporn *et al.*, 2020) เพื่อป้องกันโรคระบาดจากการติดเชื้อแบคทีเรีย และลดการใช้ยาปฏิชีวนะในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้มีการใช้แบคทีเรียโพรไบโอติกที่มีประโยชน์และปลอดภัย ซึ่งช่วยกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันต่อแบคทีเรีย และช่วยยับยั้งแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Abarike *et al.*, 2018)

โพรไบโอติกเป็นจุลินทรีย์มีชีวิตที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ช่วยรักษาสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร รวมถึงผลิตเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งช่วยให้ร่างกายสามารถย่อยสารอาหารต่าง ๆ ได้ดีขึ้น และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสัตว์ได้อีกด้วย ก่อนที่จะมีการนำโพรไบโอติกมาใช้เสริมในสัตว์ จำเป็นต้องตรวจสอบคุณสมบัติโพรไบโอติกเพื่อให้แน่ใจว่ามีประสิทธิภาพดีในสภาพแวดล้อมจริง ได้แก่ ความสามารถในการทนต่อกรดและเกลือในน้ำ ในระบบทางเดินอาหาร ความไวต่อยาปฏิชีวนะ และฤทธิ์ในการสร้างสารยับยั้งเชื้อก่อโรค (Sam-on *et al.*, 2022) ในปัจจุบันยังคงมีการค้นหาโพรไบโอติกชนิดใหม่ ๆ โดยเฉพาะแบคทีเรียในกลุ่มแลคติก (LAB) และกลุ่ม *Bacillus* sp. ที่มีการคัดแยกและศึกษา เพื่อนำมาพัฒนาและใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย

นอกจากนี้ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเป็นอีกหนึ่งทางเลือกเพื่อลดการใช้ยาปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอีกด้วย

แบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* sp. เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างเป็นแท่งยาวหรือแท่งสั้น สามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้แฟลกเจลลา สามารถผลิตเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ได้ เช่น อะไมเลส (Almanaa *et al.*, 2020) เบต้ากลูแคนเนส (Zhao *et al.*, 2022) ไลเปส (Nimkande *et al.*, 2023) โปรติเอส (Sookchaiyaporn *et al.*, 2020) เป็นต้น และเป็นที่นิยมใช้เป็นโพรไบโอติกในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่สามารถสร้างสปอร์ได้ ทำให้มีข้อได้เปรียบที่สำคัญสำหรับการนำไปใช้เป็นสารเสริมในอาหารสัตว์น้ำ โดยสปอร์ของแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* sp. สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก และสามารถอยู่ในรูปแบบแห้งได้ จึงสะดวกต่อการนำไปผสมในอาหารสัตว์ และสามารถเก็บรักษาได้ในระยะยาวโดยไม่สูญเสียสภาพ (Hong *et al.*, 2005) สปอร์ของแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* sp. สามารถอยู่รอด และเคลื่อนผ่านลำไส้ได้ เนื่องจากทนต่อกรดและเกลือในน้ำดีในระบบทางเดินอาหาร (Sookchaiyaporn *et al.*, 2020) อีกทั้งยังสามารถต้านต่อเชื้อก่อโรคที่สำคัญของทั้งมนุษย์และสัตว์ได้ (Samat *et al.*, 2021) จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการนำแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* sp. มาใช้เป็นสารเสริมโพรไบโอติกในสัตว์น้ำ ได้แก่ ปลากระพงขาว (Ghanei *et al.*, 2019) กุ้งขาว (Adilah *et al.*, 2022) ปลานิล (Samat *et al.*, 2021) และปลาดุก (Romanova *et al.*, 2020) เป็นต้น และจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามี การนำแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* sp. มาใช้ยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคในการเพาะเลี้ยงสัตว์ เช่น *Vibrio parahaemolyticus* (Dangsawat *et al.*, 2022), *Streptococcus agalactiae*, *Aeromonas hydrophila* (Samat *et al.*, 2021) ทำให้ลดการใช้ยาปฏิชีวนะในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติโพรไบโอติกของแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากน้ำในบ่อเลี้ยงปลา โดยทดสอบความสามารถในการทนต่อกรด

และเกลือ น้ำดี ความไวต่อยาปฏิชีวนะ ประสิทธิภาพการสร้างสปอร์ การทนต่อความเค็ม และฤทธิ์ในการยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของเชื้อก่อโรค เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาโพรไบโอติกสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

## วิธีดำเนินการวิจัย

**แหล่งที่มา การเก็บตัวอย่าง การคัดแยกเชื้อ และการทดสอบทางชีวเคมี**

สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบธรรมชาติ 5 บริเวณ โดยปลาในบ่อมีสุขภาพดีไม่เป็นโรค และไม่มี การใช้ยาปฏิชีวนะ จากบ่อปลาในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ความลึกของบ่อประมาณ 6 เมตร มีพื้นที่ประมาณ 80 ตารางเมตร ขนาดประมาณ 8x13 เมตร นำตัวอย่างน้ำมาคัดแยกเชื้อภายใน 24 ชั่วโมง ด้วยวิธีการเกลี่ยเชื้อ (Spread plate) บนอาหาร Nutrient Agar (NA) จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37°C. นาน 24 ชั่วโมง (Khan *et al.*, 2020) ตรวจนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย จากนั้นนำแบคทีเรียแกรมบวกที่ได้จากการทดสอบย้อมแกรม (Gram staining) มาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และทดสอบทางชีวเคมี ได้แก่ Catalase test, Starch hydrolysis test, Motility test และ Indole test (Meidong *et al.*, 2018)

**การทดสอบประสิทธิภาพการสร้างสปอร์ของแบคทีเรีย**

นำแบคทีเรียมาเลี้ยงในอาหารเหลว Luria-Bertani (LB) broth บ่มที่อุณหภูมิ 37°C. เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายเชื้อลงบนอาหาร Difco Sporulation Medium (DSM) และอาหาร LB นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30°C. นาน 72 ชั่วโมง ขูดสปอร์ออกจากผิวหน้าอาหาร DSM และล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ นำสปอร์ที่ได้จากอาหารทั้ง 2 ชนิด มาเปรียบเทียบและคำนวณประสิทธิภาพการสร้างสปอร์ของแบคทีเรีย (Dangsawat *et al.*, 2022)

### การทดสอบการทนต่อกรดและเกลือแร่ของแบคทีเรีย

นำแบคทีเรียมาทดสอบการทนกรดในกระเพาะอาหารและเกลือแร่ ในสารละลายเพปซิน 0.1 เปอร์เซ็นต์ pH 1.0, 2.0 และ 3.0 เกลือแร่ที่ความเข้มข้น 0.5, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ บ่มที่อุณหภูมิ 37°C นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นเจือจางด้วยโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.85 เปอร์เซ็นต์ และนำสารละลายตัวอย่างมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Agar (NA) ด้วยวิธีการเกลี่ยเชื้อ (Spread plate) จากนั้นตรวจสอบแบคทีเรียที่รอดชีวิต (Sookchaiyaporn *et al.*, 2020)

### การทดสอบความไวต่อยาปฏิชีวนะ

นำแบคทีเรียมาเลี้ยงในอาหาร LB จนได้ระยะ Mid-log phase ( $10^8$  CFU/ml) แล้วนำมาป้าย (Swab) ลงบนอาหาร Mueller Hinton Agar (MHA) นำแผ่นยาปฏิชีวนะมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ของยาปฏิชีวนะ 4 ชนิด ได้แก่ Sulfamethoxazole trimethoprim (25 µg), Enrofloxacin (5 µg), Norfloxacin (10 µg), Oxytetracycline (30 µg) และ Oxolinic acid (2 µg) ที่ผลิตโดยบริษัท Himedia จำกัด จากนั้นนำมาวางลงบนจานเพาะเชื้อที่ได้มีการป้ายเชื้อไว้ และบ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณวงใสของการยับยั้ง (Nwagu *et al.*, 2020)

### การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งไบโอฟิล์มของแบคทีเรีย

นำแบคทีเรียมาเลี้ยงบนอาหารแข็ง Trypticase Soy Agar (TSA) ถ่ายเชื้อลงอาหารเหลว TSB บ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำไปปั่นตกตะกอนด้วยความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที นำส่วนใสมากรองด้วยเข็มฉีดยาตัวกรองขนาด 0.45 ไมครอน นำส่วนใสปราศจากเซลล์ไปทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของแบคทีเรียทดสอบ ได้แก่ *E. coli*, *S. aureus* และ *V. parahaemolyticus* ถ่ายเชื้อลง

ในอาหาร NB บ่มที่อุณหภูมิ 37°C นาน 18 ชั่วโมง โดยปรับความเข้มข้นเชื้อเป็น  $10^8$  CFU/ml แล้วถ่ายเชื้อ ลงจานเพาะเลี้ยง 96 well plate ปริมาณ 100 ไมโครลิตร และเติมส่วนใสปราศจากเซลล์ 100 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37°C นาน 24 ชั่วโมงหลังจากนั้นล้างไบโอฟิล์มด้วย 1XPBS เติมนีเมทานอล 99 เปอร์เซ็นต์ ลงจานเพาะเลี้ยงนาน 15 นาที ดูดทิ้ง และย้ายไปโอฟิล์มด้วยคริสตัลไวโอเล็ต 0.1 เปอร์เซ็นต์ นาน 7 นาที ล้างสีส่วนเกินออก และละลายไบโอฟิล์มด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตร และคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งไบโอฟิล์ม (Bhandary *et al.*, 2021)

### การทนต่อความเค็มของแบคทีเรีย

นำแบคทีเรียมาเลี้ยงในอาหารเหลว Nutrient Broth (NB) ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ บ่มที่อุณหภูมิ 37°C ในตู้บ่มเชื้อแบบเขย่า ด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที นาน 24 ชั่วโมง ทำการเจือจางแบคทีเรีย และนำมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Agar (NA) บ่มที่อุณหภูมิ 37°C 24 ชั่วโมง และตรวจนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น (Kewcharoen and Srisapoom, 2019)

### การวางแผนการทดลอง การเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ในทุกการทดลองวางแผนทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มีการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยนำข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และหาความแตกต่างของกลุ่มการทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และพิจารณาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS (version 11)

### ผลการวิจัย

#### การคัดแยกเชื้อ การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการทดสอบทางชีวเคมี

จากการคัดแยกแบคทีเรียจากน้ำบ่อเลี้ยงปลา และทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่ามีแบคทีเรียจำนวน 5 ไอโซเลต ที่คาดว่าจะจะเป็นแบคทีเรียในกลุ่มของ *Bacillus* sp. คือ ย้อมติดสีแกรมบวก มีรูปร่างเป็นแท่ง ได้แก่ KP1, KP2, KP3, KP4 และ KP5 นำมาทดสอบทาง

ชีวเคมี พบว่าทั้ง 5 ไอโซเลต สามารถเคลื่อนที่ได้ ทดสอบอินโดล พบว่าสามารถผลิตอินโดลจากทริปโตเฟน สามารถสร้างเอนไซม์แคตาเลส และไอโซเลต KP1, KP4 และ KP5 สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลส ซึ่งให้ผลการทดสอบเป็นบวก ส่วนไอโซเลต KP2 และ KP3 ไม่สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลส ทำให้ผลการทดสอบเป็นลบ ดังนั้นจึงเลือก ไอโซเลต KP1, KP4 และ KP5 ที่สามารถสร้างเอนไซม์อะไมเลสได้ มาทดสอบคุณสมบัติโปรไบโอติกต่อไป (Table 1)

**Table 1** Morphology and biochemical test of five isolated bacteria

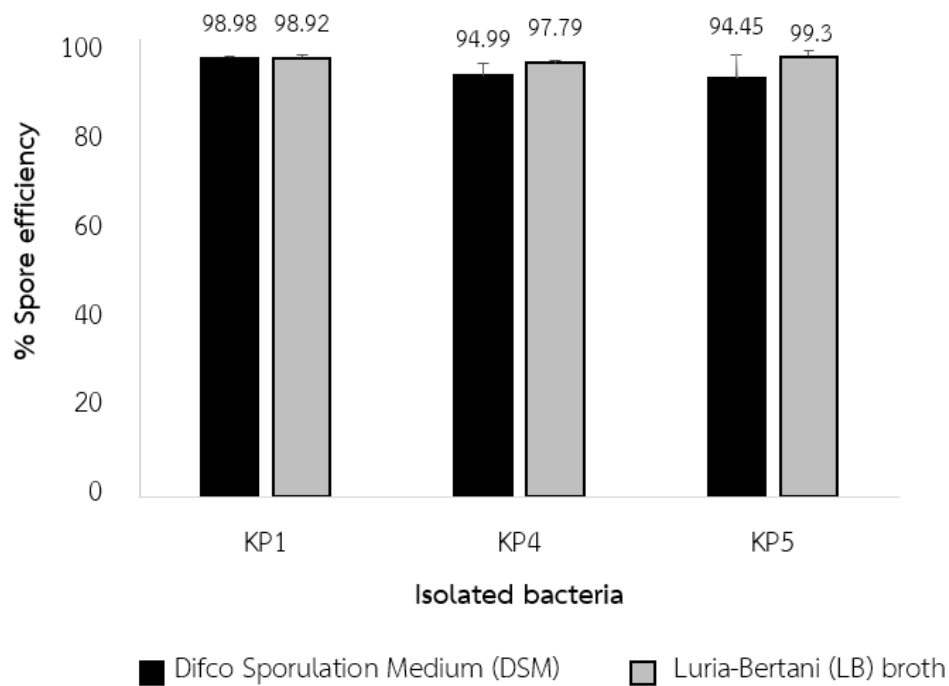
Isolates No.	Gram stain	Shape	Starch hydrolysis	Motility	Indole	Catalase
KP1	+	Bacilli	+	+	+	+
KP2	+	Bacilli	-	+	+	+
KP3	+	Bacilli	-	+	+	+
KP4	+	Bacilli	+	+	+	+
KP5	+	Bacilli	+	+	+	+

The increased mark (+) in column rod shapes is gram positive bacteria and positive of biochemical test (-) in column rod shapes is gram negative bacteria and negative of biochemical test.

#### การทดสอบประสิทธิภาพการสร้างสปอร์ของแบคทีเรีย

จากการทดสอบประสิทธิภาพการสร้างสปอร์ของแบคทีเรียจำนวน 3 ไอโซเลต ได้แก่ KP1, KP4 และ KP5 พบว่าแบคทีเรียทั้ง 3 ไอโซเลต สามารถสร้างสปอร์ได้ และมีประสิทธิภาพในการสร้างสปอร์บนอาหาร DSM คือ  $98.98 \pm 0.47$ ,  $94.99 \pm 2.76$  และ  $94.45 \pm 5.28$  เปอร์เซ็นต์

ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการสร้างสปอร์ในอาหาร LB คือ  $98.92 \pm 0.89$ ,  $97.79 \pm 0.56$  และ  $99.30 \pm 1.44$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยทุกไอโซเลตมีประสิทธิภาพการสร้างสปอร์สูงในอาหารทั้ง 2 ชนิด แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (Figure 1)



**Figure 1** The Percentage of spore efficiency of isolated bacteria (n=3, Error bars represent standard deviation among three replicates)

#### การทดสอบการทนต่อกรดและเกลือของแบคทีเรีย

จากการนำแบคทีเรียจำนวน 3 ไอโซเลต ได้แก่ KP1, KP4 และ KP5 มาทดสอบการทนกรดในกระเพาะอาหารและเกลือแร่ในสารละลายเพปซิน 0.1 เปอร์เซ็นต์ pH 1.0, 2.0 และ 3.0 เกลือแร่ที่ความเข้มข้น 0.5, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ที่ pH 1.0 และ pH 3.0 ของไอโซเลต KP1 มีอัตราการรอดชีวิต

สูงที่สุด คือ  $99.18 \pm 0.01$  และ  $97.99 \pm 0.61$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนที่ pH 2.0 ของไอโซเลต KP4 มีอัตราการรอดชีวิตสูงที่สุด คือ  $98.75 \pm 0.72$  เปอร์เซ็นต์ ( $P < 0.05$ ) (Table 2) การทดสอบในเกลือแร่ พบว่าความเข้มข้น 0.5, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ ไอโซเลต KP5 มีอัตราการรอดชีวิตสูงที่สุด คือ  $94.93 \pm 3.67$ ,  $95.29 \pm 1.63$  และ  $95.54 \pm 4.01$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ( $P < 0.05$ ) (Table 2)

**Table 2** Tolerance activity of three isolates at different pH and Bile salt concentration

Tests	Conditions	Survival rate (%)		
		KP1	KP4	KP5
Pepsin	pH 1.0	99.18±0.01 <sup>aA</sup>	85.74±1.84 <sup>bB</sup>	79.86±8.05 <sup>bB</sup>
	pH 2.0	95.65±0.96 <sup>bB</sup>	98.75±0.72 <sup>aA</sup>	95.28±0.02 <sup>bA</sup>
	pH 3.0	97.99±0.61 <sup>aA</sup>	96.58±0.35 <sup>bA</sup>	96.18±0.89 <sup>bA</sup>
Bile salt	0.5%	73.49±2.08 <sup>cB</sup>	84.71±2.04 <sup>b</sup>	94.93±3.67 <sup>a</sup>
	2.5%	92.55±1.77 <sup>aA</sup>	83.53±2.04 <sup>b</sup>	95.29±1.63 <sup>a</sup>
	5.0%	72.29±0.00 <sup>cB</sup>	82.35±0.00 <sup>b</sup>	95.54±4.01 <sup>a</sup>

Values (mean±SD, n=3) with different superscripts in each row are significantly different ( $P \leq 0.05$ ). (a, b, c) Lowercase letters in the same row significantly different among isolate for each pH and bile salt ( $P \leq 0.05$ ). (A, B) Uppercase letters in the same column are significantly different between conditions for each isolate ( $P \leq 0.05$ ).

### การทดสอบความไวต่อยาปฏิชีวนะ

จากการนำแบคทีเรียมาทดสอบความไวต่อยาปฏิชีวนะ 4 ชนิด ได้แก่ Sulfamethoxazole trimethoprim (25 µg), Enrofloxacin (5 µg), Norfloxacin (10 µg), Oxytetracycline (30 µg) และ Oxolinic acid (2 µg) พบว่าไอโซเลต KP1 มีความไวต่อยาปฏิชีวนะทุกชนิด

ยกเว้น Oxolinic acid ที่มีความไวในระดับปานกลาง ไอโซเลต KP4 มีความไวต่อยาปฏิชีวนะทุกชนิดในระดับปานกลาง และไอโซเลต KP5 มีความไวต่อยาปฏิชีวนะทุกชนิด ยกเว้น Oxolinic acid ที่มีความไวในระดับปานกลาง และทุกไอโซเลตมีความต้านต่อยา Sulfamethoxazole trimethoprim (Table 3)

**Table 3** Antibiotic susceptibility of isolated bacteria

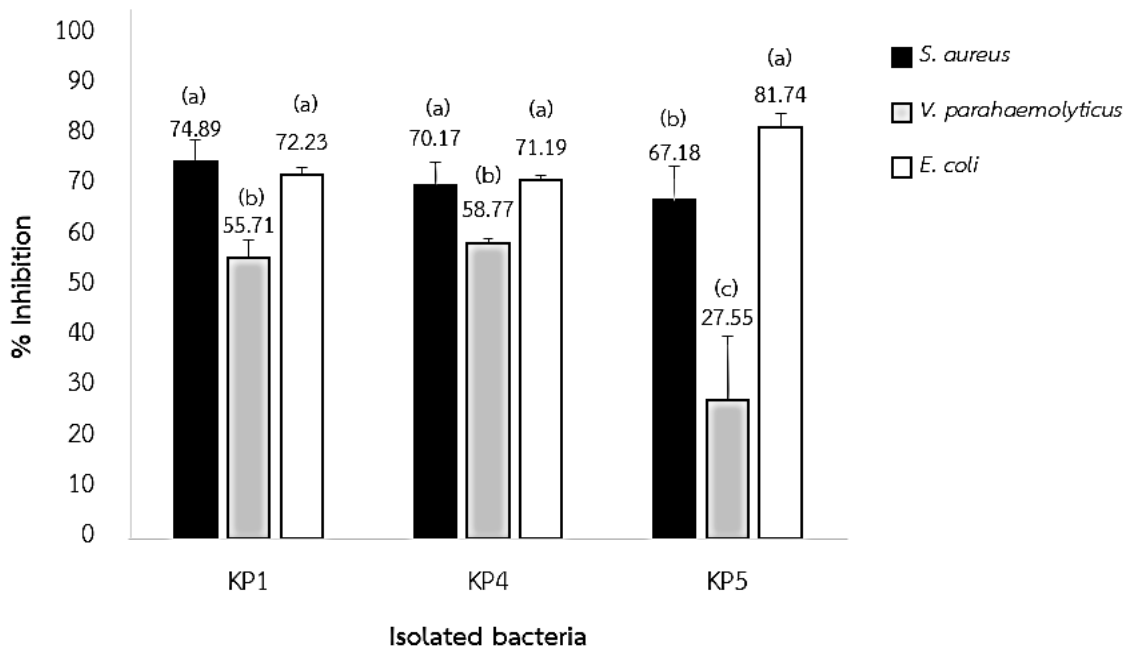
Antibiotic	Antibiotic susceptibility (mm)		
	KP1	KP4	KP5
Sulfamethoxazole trimethoprim (25µg)	R	R	R
Enrofloxacin (5 µg)	S	M	S
Norfloxacin (10 µg)	S	M	S
Oxytetracycline (30 µg)	S	M	S
Oxolinic acid (2 µg)	M	M	M

Values are presented as mean±SD of triplicate analysis. (S); Sensitive (diameter≥20 mm), (M); Moderate sensitive (diameter 12-19 mm), (R); Resistance (diameters≤11 mm)

**การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งไบโอฟิล์มของแบคทีเรีย**

จากการทดสอบการยับยั้งไบโอฟิล์มของแบคทีเรีย โดยใช้ส่วนใสปราศจากเซลล์ (Cell free supernatant) จากไอโซเลต KP1, KP4 และ KP5 พบว่า ไอโซเลต KP1 และ KP4 มีประสิทธิภาพการยับยั้งไบโอฟิล์มของ *S. aureus* และ *E. coli* ได้ดีที่สุดใน ( $P < 0.05$ ) โดยมีประสิทธิภาพการยับยั้ง คือ  $74.89 \pm 4.31$ ,  $72.23 \pm 1.55$ ,  $70.17 \pm 4.46$  และ  $71.19 \pm 0.91$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และไอโซเลต KP1 และ KP4 ยังมีประสิทธิภาพ

การยับยั้งไบโอฟิล์มของ *V. parahaemolyticus* โดยมีประสิทธิภาพการยับยั้ง คือ  $55.71 \pm 3.66$  และ  $58.77 \pm 0.92$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนไอโซเลต KP5 มีประสิทธิภาพการยับยั้งไบโอฟิล์มของ *E. coli* ได้ดีที่สุดใน ( $P < 0.05$ ) โดยมีประสิทธิภาพการยับยั้ง คือ  $81.74 \pm 2.59$  เปอร์เซ็นต์ และไอโซเลต KP5 ยังมีประสิทธิภาพการยับยั้งไบโอฟิล์มของ *S. aureus* โดยมีประสิทธิภาพการยับยั้ง คือ  $67.18 \pm 6.79$  เปอร์เซ็นต์ (Figure 2)



**Figure 2** Percentage of antibiofilm potential of cell free supernatant from isolated bacteria a, b, c: Significant difference between biofilm inhibition on my bar graph ( $P < 0.05$ ) (n=3, Error bars represent standard deviation among three replicates)

**การทนต่อความเค็มของแบคทีเรีย**

จากการทดสอบการทนต่อความเค็มของแบคทีเรียในโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ไอโซเลต KP1, KP4 และ KP5 มีอัตราการรอดชีวิต คือ  $98.39 \pm 1.31$ ,  $97.57 \pm 0.36$  และ  $99.06 \pm 0.35$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น

2 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการรอดชีวิต คือ  $97.16 \pm 1.13$ ,  $95.01 \pm 1.95$  และ  $98.55 \pm 1.02$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการรอดชีวิต คือ  $97.25 \pm 1.36$ ,  $96.15 \pm 0.14$ ,  $96.50 \pm 1.65$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยทุกไอโซเลตมีอัตราการรอดชีวิตสูง แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (Figure 3)

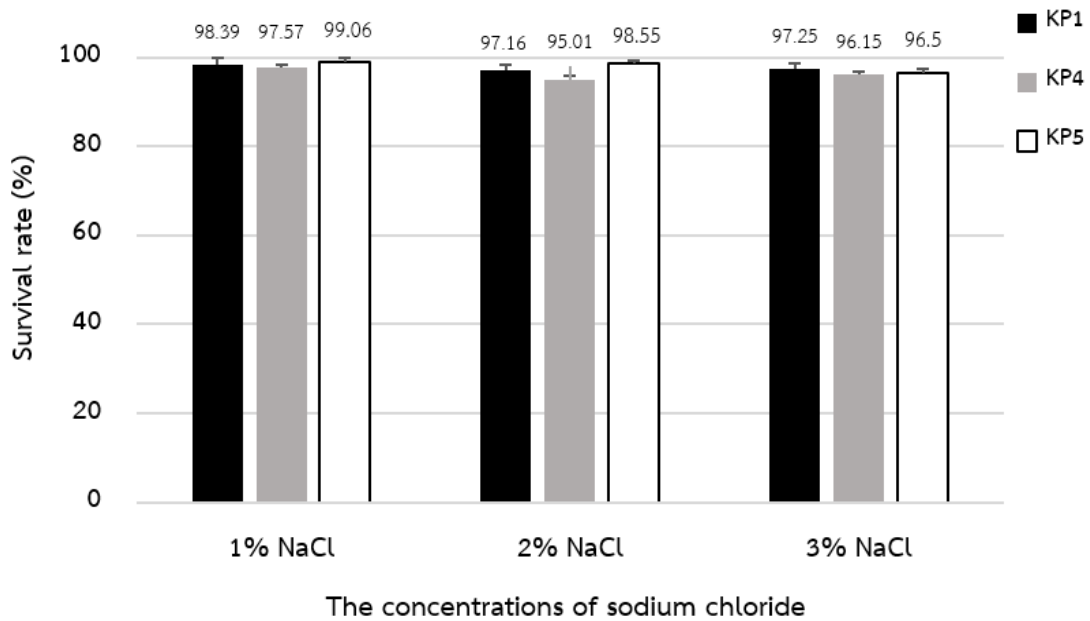


Figure 3 Sodium chloride tolerance of *Bacillus* Isolates (n=3, Error bars represent standard deviation among three replicates)

### วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการคัดแยกแบคทีเรียจากน้ำบ่อเลี้ยงปลา และทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่ามีแบคทีเรียจำนวน 5 ไอโซเลต ที่เป็นแบคทีเรียในกลุ่มของ *Bacillus* sp. คือ ย้อมติดสีแกรมบวก มีรูปร่างเป็นแท่ง ได้แก่ KP1, KP2, KP3, KP4 และ KP5 นำมาทดสอบทางชีวเคมี พบว่ามี 3 ไอโซเลต ได้แก่ KP1, KP4 และ KP5 ที่มีผลทางชีวเคมีคล้ายกับแบคทีเรียในกลุ่มของ *Bacillus* sp. สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pungpang *et al.* (2011) ที่ได้จำแนกสายพันธุ์และศึกษาสมบัติของสารต้านจุลินทรีย์จากแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากบ่อเลี้ยงปลา พบว่าเป็นสายพันธุ์ *Bacillus* sp. ซึ่งมีความสามารถในการยับยั้ง *Streptococcus* sp. ซึ่งเป็นเชื้อก่อโรคในสัตว์น้ำ และงานวิจัยของ Arai *et al.* (2011) ที่พบว่า *B. subtilis* B-1 ที่คัดแยกได้จากน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิล มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคในสัตว์น้ำได้ดี เช่น *Streptococcus* sp., *Aeromonas* sp. และ *Vibrio* sp. ในงานวิจัยของ Rusmana *et al.* (2021) ที่ได้คัดแยกแบคทีเรียในกลุ่ม

ของ *Bacillus* sp. จากน้ำเลี้ยง และดินตะกอนในบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่า *Bacillus* sp. Lts40 ที่คัดแยกได้มีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นโปรไบโอติกในบ่อเลี้ยงกุ้ง เพื่อควบคุม *V. harveyi* ที่ทำให้เกิดโรค Vibriosis ในกุ้ง การทดสอบประสิทธิภาพการสร้างสปอร์ของไอโซเลต KP1, KP4 และ KP5 พบว่าทั้ง 3 ไอโซเลต สามารถสร้างสปอร์ได้ และมีประสิทธิภาพในการสร้างสปอร์บนอาหาร DSM และ LB สูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Karava *et al.* (2019) ที่ได้กล่าวไว้ว่าแบคทีเรียในกลุ่มของ *Bacillus* sp. สามารถผลิตสปอร์ได้สูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 24 ชั่วโมง ในการผลิตสปอร์ของ *Bacillus* sp. จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ สารอาหาร อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม การทนกรดในกระเพาะอาหารและเกลือน้ำดีของทั้ง 3 ไอโซเลต พบว่าสามารถทนต่อกรด pH 1.0, 2.0 และ 3.0 เกลือน้ำดีที่ความเข้มข้น 0.5, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่า 70 เปอร์เซ็นต์

Bhandary *et al.* (2021) ได้ศึกษาคุณสมบัติโปรไบโอติกของ *B. subtilis* ที่แยกได้จากปลากระตักแห่ง

พบว่าสามารถทนต่อกรดที่ pH 2-10 ได้เป็นเวลานานถึง 6 ชั่วโมง และทนต่อความเข้มข้นของเกลือน้ำดี 0.2-0.6 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ทดสอบความไวต่อยาปฏิชีวนะ 4 ชนิด ได้แก่ Sulfamethoxazole trimethoprim (25 µg), Enrofloxacin (5 µg), Norfloxacin (10 µg), Oxytetracycline (30 µg) และ Oxolinic acid (2 µg) พบว่าไอโซเลต KP1 มีความไวต่อยาปฏิชีวนะทุกชนิด ยกเว้น Oxolinic acid ที่มีความไวในระดับปานกลาง ไอโซเลต KP4 มีความไวต่อยาปฏิชีวนะทุกชนิดในระดับปานกลาง และไอโซเลต KP5 มีความไวต่อยาปฏิชีวนะทุกชนิด ยกเว้น Oxolinic acid ที่มีความไวในระดับปานกลาง และทุกไอโซเลตมีความต้านต่อยา Sulfamethoxazole trimethoprim จากงานวิจัยของ Huovinen *et al.* (2001) ได้อธิบายไว้ว่ายา Sulfamethoxazole trimethoprim มีการใช้เพื่อรักษาโรคติดเชื้อชนิดต่าง ๆ มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2478 ทำให้มีแบคทีเรียที่ดื้อต่อยาชนิดนี้เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งยา Sulfamethoxazole trimethoprim จะมีราคาถูกกว่ายาชนิดอื่น และใช้อย่างแพร่หลายในการรักษาผู้ป่วยที่ติดเชื้อทางเดินหายใจอย่างรุนแรง การทดสอบการยับยั้งไบโอฟิล์มของแบคทีเรีย โดยใช้ส่วนใสปราศจากเซลล์ (Cell free supernatant) พบว่าไอโซเลต KP1 และ KP4 มีประสิทธิภาพการยับยั้งไบโอฟิล์มของ *S. aureus* และ *E. coli* ได้ดีที่สุด และยังมีประสิทธิภาพการยับยั้งไบโอฟิล์มของ *V. parahaemolyticus* ส่วนไอโซเลต KP5 มีประสิทธิภาพการยับยั้งไบโอฟิล์มของ *E. coli* ได้ดีที่สุด และยังมีประสิทธิภาพการยับยั้งไบโอฟิล์มของ *S. aureus*

จากงานวิจัยของ Bhandary *et al.* (2021) ที่ได้ศึกษาศักยภาพของโพรไบโอติก *B. subtilis* พบว่าสามารถยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของ *V. harveyi* โดยมีเปอร์เซ็นต์ยับยั้ง 31.5 เปอร์เซ็นต์ ยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของ *E. coli* โดยมีเปอร์เซ็นต์ยับยั้ง 28.8 เปอร์เซ็นต์ ยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของ *Pseudomonas aeruginosa* โดยมีเปอร์เซ็นต์ยับยั้ง

34.8 เปอร์เซ็นต์ และ *S. aureus* โดยมีเปอร์เซ็นต์ยับยั้ง 34.4 เปอร์เซ็นต์ จากงานวิจัยของ Dangswat *et al.* (2022) ที่ได้คัดแยกบาซิลลัสจากลำไส้ปลาไนล และทดสอบการยับยั้งไบโอฟิล์มของแบคทีเรีย พบว่าสามารถต้านการสร้างไบโอฟิล์มของ *Vibrio parahaemolyticus* และ *Escherichia coli* ได้ การทดสอบการทนต่อความเค็มของแบคทีเรียในโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไอโซเลต KP1, KP4 และ KP5 ทุกไอโซเลตมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nwagu *et al.* (2020) ที่ได้คัดแยกและศึกษาโพรไบโอติกกลุ่ม *Bacillus* sp. ที่คัดแยกได้จากถั่วหมักพื้นเมืองในแอฟริกา พบว่าเป็นโพรไบโอติกที่สามารถทนต่อความเค็ม ที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 1.0-4.0 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการประยุกต์ใช้ในด้านเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จึงต้องทดสอบการรอดชีวิตของโพรไบโอติกที่ความเข้มข้นของความเค็มใกล้เคียงกับสภาวะของน้ำเลี้ยงที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่อาศัยในน้ำกร่อย ไปจนถึงน้ำเค็ม ในงานวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* sp. ที่คัดแยกได้นี้มีศักยภาพที่จะใช้เป็นโพรไบโอติกในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืนได้ในอนาคต

## สรุปผลการวิจัย

การคัดแยกแบคทีเรียจากน้ำบ่อเลี้ยงปลา พบว่ามีแบคทีเรียจำนวน 3 ไอโซเลต ที่คาดว่าจะจะเป็นแบคทีเรียในกลุ่มของ *Bacillus* sp. ได้แก่ ไอโซเลต KP1, KP4 และ KP5 โดยทุกไอโซเลตมีประสิทธิภาพการสร้างสปอร์สูง สามารถทนต่อสภาวะจำลองของกรดในกระเพาะอาหารและเกลือน้ำดีได้ มีความไวต่อยาปฏิชีวนะ ไอโซเลต KP1 และ KP4 มีประสิทธิภาพยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของ *S. aureus*, *E. coli* และ *V. parahaemolyticus* ส่วนไอโซเลต KP5 มีประสิทธิภาพยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของ *S. aureus* และ *E. coli* ทุกไอโซเลตสามารถทนต่อความเค็มที่ใกล้เคียงกับสภาวะของน้ำเลี้ยงที่ใช้ในการ

เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ดี ผลการทดลองนี้จึงแสดงให้เห็นศักยภาพของแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากน้ำบ่อเลี้ยงปลาสามารถนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้เป็นโพรไบโอติกในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืนได้ในอนาคต

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และห้องปฏิบัติการในการทำการวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- Abarike, E.D., J. Cai, Y. Lu, H. Yu, L. Chen, J. Jian, J. Tang, L. Jun and F.K.A. Kuebutornye. 2018. Effects of a commercial probiotic bs containing *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* on growth, immune response and disease resistance in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Fish and Shellfish Immunology** 82: 229-238. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.08.037
- Adilah, R.N., S.T. Chiu, S.Y. Hu, R. Ballantyne, N. Happy, A.C. Cheng and C.H. Liu. 2022. Improvement in the probiotic efficacy of *Bacillus subtilis* E20- stimulates growth and health status of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* via encapsulation in alginate and coated with chitosan. **Fish and Shellfish Immunology** 125: 74-83. DOI: 10.1016/j.fsi. 2022.05.002
- Almanaa, T.N., P. Vijayaraghavan, N.S. Alharbi S. Kadaikunnan, J.M. Khaled and S.A. Alyahya. 2020. Solid state fermentation of amylase production from *Bacillus subtilis* D19 using agro-residues. **Journal of King Saud University – Science** 32(2): 1555-1561 DOI: 10.1016/j.jksus.2019.12.011.
- Arai, S., C. Limsuwan and P. Wilapun. 2011. The antimicrobial effects of *Bacillus subtilis* B-1 isolated from a fish culture pond. **Asian Fisheries Science** 24(3). 343-353. DOI: 10.33997/ j.afs.2011.24.3.007
- Bhandary, T., L.R. Ali and K. Alagesan Paari. 2021. Probiotic properties of *Bacillus subtilis* isolated from dried anchovies (*Stolephorus indicus*) and evaluating its antimicrobial, antibiofilm and growth-enhancing potential in danio rerio. **Journal of Animal Health and Production** 9(3). 205-212. DOI : 10.17582/journal.jahp/2021/ 9.3.205.212
- Dangswat, O., W. Appamano, B. Chaipech, P. Srisawang and P. Permpoonpattana. 2022. Evaluation of potential probiotics isolated from the intestinal tract of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) against bacterial pathogens in aquaculture. **Khon Kaen Agriculture Journal** Suppl.(1): 55-62. [in Thai]

- Department of Fisheries. 2022. **Thailand fishery and fisheries statistics 2021**. [Online]. Available [https://www4.fisheries.go.th/local/file\\_document/20221129154933\\_1\\_file.pdf](https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20221129154933_1_file.pdf) (December 22, 2022).
- Ghanei, M.R., T. Mohammadian, D. Gharibi, S.L. Menanteau, E. Mahmoudi, M. Khosravi, M. Zarea and M. El-Matbouli. 2019. Quorum quenching properties and probiotic potentials of intestinal associated bacteria in Asian sea bass *lates Calcarifer*. **Marine Drugs** 18(1): 23. DOI: 10.3390/md18010023
- Haenen, O.L., H.T. Dong, T.D. Hoai, M. Crumlish, I. Karunasagar, T. Barkham, S.L. Chen, R. Zadoks, A. Kiermeier, B. Wang, E.G. Gamarro, M. Takeuchi, M.N. Azmai, B. Fouz, R. Pakingking, Z.W. Wei and M.G. Bondad-Reantaso. 2023. Bacterial diseases of tilapia, their zoonotic potential and risk of antimicrobial resistance. **Reviews in Aquaculture** 15(S1): 154-185. DOI: 10.1111/raq.12743
- Huovinen, P. and G.M. Eliopoulos. 2001. Resistance to trimethoprim-sulfamethoxazole. **Clinical Infectious Diseases** 32(11): 1608-1614. DOI: 10.1086/320532
- Hong, H. A., L.H. Duc and S.M Cutting. 2005. The use of bacterial spore formers as probiotics. **FEMS Microbiology Reviews** 29(4): 813-835. DOI: 10.1016/j.femsre.2004.12.001
- Karava, M., F. Bracharz and J. Kabisch. 2019. Quantification and isolation of *Bacillus subtilis* spores using cell sorting and automated gating. **PLOS ONE** 14(7): 1-15. DOI: 10.1371/journal.pone.0219892
- Kewcharoen, W. and P. Srisapoomee. 2019. Probiotic effects of *Bacillus* spp. from Pacific white shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) on water quality and shrimp growth, immune responses, and resistance to *Vibrio Parahaemolyticus* (AHPND strains). **Fish and Shellfish Immunology** 94: 175-189. DOI: 10.1016 /j.fsi.2019.09.013
- Khan, Md. I., T.G. Choudhury, D. Kamilya, S.J Monsang and J. Parhi. 2020. Characterization of *Bacillus* spp. isolated from intestine of *labeo rohita* towards identifying novel probiotics for aquaculture. **Aquaculture Research** 52(2): 822-830. DOI: 10.1111/ are.14937

- Meidong, R., K. Khotchanalekha, S. Doolgindachbaporn, T. Nagasawa, M. Nakao, K. Sakai and S. Tongpim. 2018. Evaluation of probiotic *Bacillus aerius* B81e isolated from healthy hybrid catfish on growth, disease resistance and innate immunity of Pla-mong *Pangasius bocourti*. **Fish and Shellfish Immunology** 73: 1-10. DOI: 10.1016/j.fsi.2017.11.032
- Nimkande, V.D., S. Sivanesan and A. Bafana. 2023. Screening, identification, and characterization of lipase-producing halotolerant *Bacillus altitudinis* ant19 from Antarctic soil. **Archives of Microbiology** 205(4): 1-13. DOI: 10.1007/s00203-023-03453-8
- Nwagu, T.N., C.J. Ugwuodo, C.O. Onwosi, O. Inyima, O.C. Uchendu and C. Akpuru. 2020. Evaluation of the probiotic attributes of *Bacillus* strains isolated from traditional fermented African locust bean seeds (*Parkia Biglobosa*), “Daddawa.” **Annals of Microbiology** 70(1). 1-15 DOI: 10.1186/s13213-020-01564-x
- Pungpang S., C. Limsuwan and W. Purivirojkul. 2011. *Bacillus* sp. strain B-1 isolated from a fish culture pond produces antimicrobial substances. **Agricultural Science Journal** 42(2): 265-272. [in Thai]
- Romanova, E., E. Spirina, V. Romanov, V. Lyubomirova and L. Shadyeva. 2020. Effects of *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* on catfish in industrial aquaculture. **Fish and Shellfish Immunology** 175: 2013-2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202017502013
- Rusmana, I., R.A. ISRAMILDA and A. Akhdiya. 2021. Characteristics of anti-*Vibrio harveyi* compounds produced by *Bacillus* spp. isolated from shrimp ponds. **Biodiversitas Journal of Biological Diversity** 22(11): 4872-4879. DOI: 10.13057/biodiv/d221120
- Samat, N.A., F.M. Yusoff, N.W. Rasdi and M. Karim. 2021. The efficacy of *Moina micrura* enriched with probiotic *Bacillus pocheonensis* in enhancing survival and disease resistance of red hybrid tilapia (*Oreochromis* spp.) larvae. **Antibiotics** 10(8): 989. DOI: 10.3390/antibiotics10080989
- Sam-on, M.F., S. Mustafa, M.T. Yusof, A.M. Hashim, S. Abbasiliasi, S. Zulkifly, M.A. Jahari and M.A. Roslan. 2022. Evaluation of three *Bacillus* spp. isolated from the gut of giant freshwater prawn as potential probiotics against pathogens causing Vibriosis and Aeromonosis. **Microbial Pathogenesis** 164: 105417. DOI: 10.1016/j.micpath.2022.105417

Sookchaiyaporn, N., P. Srisapoome, S. Unajak and N. Areechon. 2020. Efficacy of *Bacillus* spp. isolated from Nile tilapia *Oreochromis niloticus* Linn. on its growth and immunity, and control of pathogenic bacteria. **Fisheries Science** 86(2): 353-365.  
DOI: 10.1007/s12562-019-01394-0

Zhao, M., D. Liu, Z. Liang, K. Huang and X. Wu. 2022. Antagonistic activity of *Bacillus subtilis* CW14 and its  $\beta$ -glucanase against *Aspergillus ochraceus*. **Food Control** 131: 108475.  
DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108475

## การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงดอง A Comparative Study of Oil Extraction Process from Pickled Mango Kernel

พิชญอร ไหมสุทธิสกุล<sup>1\*</sup> วิชmani ยืนยงพุททกาล<sup>2</sup> และเสาวนีย์ เอี้ยวสกุลรัตน์<sup>1</sup>

Pitchaon Maisuthisakul<sup>1\*</sup>, Wichamaneeyuenyongputtakal<sup>2</sup> and Souwaneeyuewsakulrat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรบูรณาการส่งเสริมสุขภาพและความงาม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย กรุงเทพฯ 10400

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

<sup>1</sup>Department of Integrated Wellness and Beauty, Faculty of Science and Technology

University of the Thai Chamber of Commerce, Bangkok, Thailand 10400

<sup>2</sup>Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University, ChonBuri, Thailand 20131

\*Corresponding author: pitchaon\_mai@utcc.ac.th

Received: September 11, 2023

Revised: January 27, 2024

Accepted: March 22, 2024

### Abstract

Pickled mango seeds are a year-round waste that has a major impact on the environment in Thailand. The objective of this study was to investigate the optimal extraction method for pickled mango (*Mangifera indica* L.) kernel oil (PMKO), using Soxhlet extraction (SE) and cold pressed extraction (CPE) methods, to exploit its potential for commercial purposes. The physical (extraction ratio, viscosity, color, melting point, and refractive index) and chemical (peroxide value, acid value, saponification value, unsaponifiable matter, Iodine value, TBARs, including antioxidant and anti-inflammatory activities) properties were evaluated. The results showed that the extraction ratio and viscosity of PMKO obtained by CPE method were higher than those of PMKO obtained from SE. The oil extracted by CPE had a light brownish-yellow color, low peroxide value ( $1.93 \pm 0.06$  meq peroxide/kg oil), slightly high acid value ( $14.44 \pm 0.10$  mg KOH/g oil) and were in liquid form at 25 °C. The antioxidant and anti-inflammatory properties of PMKO that derived from CPE was stronger than these from SE. The antioxidant and anti-inflammatory activities of PMKO that derived from CPE were  $71.87 \pm 1.09\%$  (inhibition at 50  $\mu\text{g}$ ) and  $81.47 \pm 0.98\%$  (inhibition at 100  $\mu\text{g}$ ), respectively. Our results indicate that pickled mango seeds are a good source of vegetable oil. Cold-pressed extraction is an efficient and cost-effective method for obtaining oil from pickled mango kernels.

**Keywords:** pickled mango kernel oil, physical property, chemical property, antioxidant, extraction process

## บทคัดย่อ

เมล็ดมะม่วงดองเป็นของเสียตลอดทั้งปีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมของน้ำมันเมล็ดมะม่วง (*Mangifera indica* L.) ดอง (Pickled mango kernel oil, PMKO) โดยใช้วิธีสกัดแบบ Soxhlet (SE) และวิธีสกัดเย็น (CPE) เพื่อนำไปต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้ น้ำมันที่สกัดได้ถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (อัตราส่วนการสกัด ความหนืด สี จุดหลอมเหลว และดัชนีการหักเหของแสง) และสมบัติทางเคมี (ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรด ค่าซาฟอนิฟิเคชัน สารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ค่าไอโอดีน TBARs รวมถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านการอักเสบ) ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนการสกัดและความหนืดของ PMKO ที่ได้จากวิธี CPE สูงกว่าของ SE น้ำมันที่สกัดได้จาก CPE มีสีน้ำตาลอมเหลืองอ่อน ค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำ ( $1.93 \pm 0.06$  meq peroxide/kg oil) ค่ากรดสูงเล็กน้อย ( $14.44 \pm 0.10$  mg KOH/g oil) และเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 25°C. สมบัติต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบจาก PMKO แบบ CPE นั้นดีกว่าแบบ SE กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบของ PMKO แบบ CPE เท่ากับ  $71.87 \pm 1.09\%$  (ยับยั้งที่ 50  $\mu\text{g}$ ) และ  $81.47 \pm 0.98\%$  (ยับยั้งที่ 100  $\mu\text{g}$ ) ตามลำดับ จากผลการวิจัยบ่งชี้ว่าเมล็ดมะม่วงดองเป็นแหล่งน้ำมันพืชที่ดี โดยการสกัดเย็นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าในการได้น้ำมันจากเมล็ดมะม่วงดอง

**คำสำคัญ:** น้ำมันเมล็ดมะม่วงดอง สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี การต้านอนุมูลอิสระ กระบวนการสกัด

## คำนำ

น้ำมันเมล็ดมะม่วง (Mango kernel oil; MKO) ได้รับการอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ซ็อกโกแลตของสหภาพยุโรปแล้ว เนื่องจากมีไตรกลีเซอไรด์ที่คล้ายกับเนยโกโก้ (Kaur *et al.*, 2022) เมล็ดมะม่วงมีน้ำมันในปริมาณ 7.1-15% (Abdalla *et al.*, 2007; Gunstone, 2011; Jahurul *et al.*, 2013) ปริมาณกรดไขมันของ MKO ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของมะม่วง ประกอบด้วยกรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิกเป็นส่วนใหญ่ (Arogba, 1997; Kittiphoom and Sutasinee, 2013) ไตรกลีเซอไรด์ที่สำคัญที่พบใน MKO คือ 1,3-distearoyl-2-oleoylglycerol (SOS) (29.4-40%), 1-stearoyl-2,3-dioleoylglycerol (SOO) (14.6-23%), 1-palmitoyl-2-oleoyl-3-stearoylglycerol (POS) (5.7-14.76%) และ 1,3-dipalmitoyl-2-oleoylglycerol (POP) (6.89-8.9%) จากรายงานการวิจัยพบว่าการผสมไขมันที่อุดมด้วย SOS ลงในผลิตภัณฑ์ซ็อกโกแลตสามารถเพิ่มปริมาณไขมันแข็ง ยับยั้งการบานของไขมัน (Fat bloom) และลดเวลาการอบของผลิตภัณฑ์ซ็อกโกแลตลงได้เล็กน้อย ดังนั้น MKO ที่อุดมด้วย SOS จึงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ซ็อกโกแลตที่ทนต่ออุณหภูมิในประเทศที่มีอากาศร้อน (Jeyarani and Reddy, 1999; Maheshwari and Reddy, 2005) โดย Jahurul *et al.* (2014) รายงานว่าสมบัติของ MKO ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พันธุ์ กระบวนการผลิต และวิธีการสกัด ทั้งนี้สมบัติทางกายภาพและเคมี (เช่น ค่าไอโอดีน ค่าซาฟอนิฟิเคชัน ค่ากรด และจุดหลอมเหลว) ของ MKO มีความคล้ายคลึงกับของ Borneo illipe, Shea butter ไขวัว และเนยโกโก้

เทคนิคในการสกัดไขมันหรือน้ำมันออกจากเมล็ดพืชทางการค้ำนี้มีทั้งทางกล เคมี หรือเอนไซม์ ทั้งนี้การพัฒนาวิธีการสกัดทางเคมีสมัยใหม่เน้นที่ตัวทำละลายที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (Yousefi *et al.*, 2019) รวมทั้งการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการสกัด ได้แก่ การสกัดโดยใช้ไมโครเวฟ (Kaufmann and Christen, 2002) การสกัดโดยใช้อัลตราซาวนด์ (Hernández-Santos *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตามการสกัดด้วยตัวทำละลาย n-Hexane โดยใช้เครื่องมือ Soxhlet เป็นวิธีที่ง่ายและมีประสิทธิภาพในการสกัด MKO (Abdalla *et al.*, 2007) MKO แต่การสกัดเย็นมีคุณภาพดีกว่าการสกัดแบบ Soxhlet โดยพบว่าน้ำมันเมล็ดมะม่วงจากการสกัดเย็นมีระดับออกซิเดชันต่ำและมีระดับความไม่อิ่มตัวสูง รวมทั้งมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันแสงแดดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Maisuthisakul and Changchub, 2018) ทั้งนี้ น้ำมันเมล็ดมะม่วงประกอบด้วยโพลีฟีนอลสูง (Kabuki *et al.*, 2000) นอกจากนี้ การใช้ MKO กับน้ำมันพืชเชิงพาณิชย์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการใช้เชิงเดี่ยว (Ali *et al.*, 1985) อย่างไรก็ตามยังไม่มี การระบุข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติทางเคมีและกายภาพของ น้ำมันเมล็ดมะม่วงดอง ทั้งนี้เมล็ดมะม่วงดองจำนวนมากจาก โรงงานแปรรูปมะม่วงดองของไทยถูกทิ้งเป็นขยะมากกว่าหนึ่งร้อยตันในทุกปี ซึ่งกลายเป็นแหล่งกำเนิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้เมล็ดมะม่วงสุกผลิตได้ตามฤดูกาล แต่เมล็ดมะม่วงดองมีตลอดปีรวมทั้งน่าจะเสียดายกว่าเมล็ดมะม่วงสุก ทำให้เมล็ดมะม่วงดองเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจสำหรับใช้ในเชิงพาณิชย์เพื่อการสกัดน้ำมัน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการสกัดเย็นและการสกัดแบบ Soxhlet ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันเมล็ดมะม่วงดอง (Pickled mango kernel oil; PMKO) โดยข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพและเคมีของ PMKO นี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการเลือกวิธีการสกัดที่เหมาะสม และนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์ต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### วัตถุดิบ

เมล็ดมะม่วงแก้วดองได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ผลิตในจังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคมในปี พ.ศ. 2564 หลังจากได้รับเมล็ดมะม่วง นำเมล็ดมาล้างและเก็บไว้ในห้องแช่แข็งเป็นเวลาไม่เกินหนึ่งสัปดาห์ จากนั้นนำเมล็ดมะม่วงมาทำการละลายในน้ำไหลเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการแยกเนื้อในเมล็ดออก นำเมล็ดมะม่วงที่ได้มาอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด (บริษัท กล้วยน้ำไท แมชชีนเนอร์ จำกัด ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ 65°C. จนกระทั่งความชื้นถึง 8% (db) วัดความชื้นของตัวอย่างตาม AOAC (1990) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

### การสกัดน้ำมันเมล็ดมะม่วงดอง

เมล็ดแห้งของมะม่วงถูกนำมาบดและนำมาสกัด 2 กระบวนการ คือ การสกัดด้วยวิธี Soxhlet และการสกัดแบบบีบเย็น สำหรับการสกัดด้วย Soxhlet จะทำการสกัดโดยใช้เฮกเซน (1:3 w/v) เป็นเวลา 6 ชั่วโมงที่ 85°C. ส่วนการสกัดเย็น ทำการสกัดโดยใช้เครื่องสกัดแบบสกรู (ไทยยนต์ รุ่น TP-5) ที่อัตราเร็วในการบด 20 Kg/h 25 rpm ที่ความกว้างของสกรู 15 ซม. อุณหภูมิมากกว่า 40°C. จากนั้นนำน้ำมันเมล็ดมะม่วงดองที่สกัดได้เก็บไว้ที่ -20°C. ในที่มีดสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงดอง

อัตราส่วนการสกัด (Extraction ratio; ER) ถูกวัดตามวิธีการที่ของ Zaidul *et al.* (2007) โดย ER ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดในตัวอย่าง สีของ PMKO วัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Minolta CM-3500d, Tokyo, Japan) ตามวิธีของ Maisuthisakul and Changchub (2018) ดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index; RI) ที่ 25°C. ทำการวิเคราะห์ตาม AOCS Official Methods (1998) Ca 5a-40 จุดหลอมเหลวและความหนืดถูกวิเคราะห์ตาม AOCS Official Methods (1998) Cc 3-25 และ ASTM (2006) D445-06 ตามลำดับ

### สมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะม่วงคอง

ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value; PV) ทำการวิเคราะห์ตามวิธีการของ AOCS (1998) Cd 8-53 ด้วยเครื่องไทเทรตอัตโนมัติ (Mettler-Toledo model DL 5X, Switzerland) ค่าความเป็นกรด (Acid value; AV) ค่าซาฟอนิฟิเคชัน (Saponification value; SV) สารที่ไม่สามารถละลายได้ (Unsaponifiable matter; USM) และค่าไอโอดีน (Iodine value; IV) วิเคราะห์ตามวิธี AOAC (1990) Thiobarbituric acid reactive substances value (TBARS) ถูกวัดตามวิธีการของ Buege and Aust (1978) โดยใช้กราฟมาตรฐานจาก 1, 1, 3, 3-tetramethoxypropane (MDA) คำนวณ TBARS ในรูปของ mg MDA equivalents/kg oil

ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมดของ PMKO และสารมาตรฐานวิเคราะห์โดยใช้วิธี DPPH (Maisuthisakul and Gordon, 2009) Fe<sup>2+</sup> chelating activity วิเคราะห์ตามวิธี Soong and Barlow (2004) ฤทธิ์ต้านการอักเสบของตัวอย่างวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการยับยั้งการสลายตัวของอัลบูมินตามวิธีของ Sakat *et al.* (2010) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content; TPC) ของ PMKO วิเคราะห์โดยใช้ฟีนอลรีเอเจนต์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu (Singleton and Rossi, 1965) ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดใน PMKO แสดงเป็น mM Alpha-tocopherol equivalent (a-TOCE)/g db ของน้ำมันเมล็ดมะม่วง

### การวิเคราะห์ทางสถิติ

ค่าที่ได้จากการทดลองทั้งหมดได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

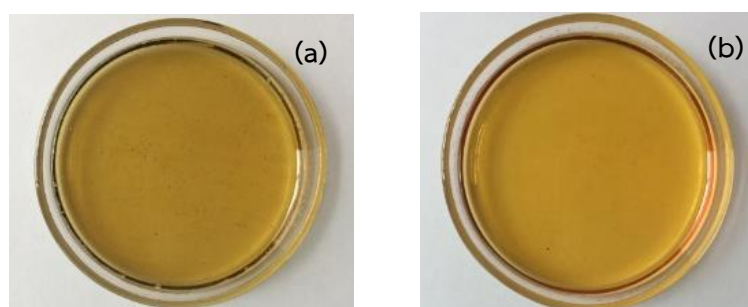
### ผลการวิจัยและวิจารณ์

#### สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงคอง

ผลของวิธีการสกัดต่ออัตราส่วนการสกัด ความหนืด สี จุดหลอมเหลว และดัชนีการหักเหของแสง แสดงไว้ใน Table 1 ปริมาณน้ำมันของเมล็ดมะม่วงคองในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 3.20% (db) โดยทั่วไปแล้วผลผลิตของการสกัดเย็นจะต่ำกว่าการสกัดด้วย Soxhlet ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ (Table 1) ความหนืดของน้ำมันมีความสำคัญต่อการออกแบบกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ รวมถึงการนำน้ำมันไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ เช่น เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ความหนืดของ PMKO ที่ 40°C. (62.1-70.7 cp) นั้นสูงกว่าความหนืด ของไขมันเนยที่ 43°C. (42.0 cp) (Eromosole and Paschal, 2003) ความหนืดของ PMKO ที่ได้จาก CPE มีความหนืดมากกว่าของ SE (Table 1) ความหนืดเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน เช่น ความยาวสายโซ่ (Chain length) และความอิ่มตัว/ไม่อิ่มตัว (Saturation /unsaturation) โดยพบว่าความหนืดของน้ำมันมีค่าสูงเมื่อมีกรดไขมันชนิดที่มีความยาวสายโซ่ยาว แสดงให้เห็นว่า PMKO แบบ CPE ที่มีความหนืดสูงสอดคล้องกับค่า SV ที่ต่ำ (Table 2) เนื่องจากพบกรดไขมันชนิดที่มีความยาวสายโซ่ยาวมากกว่าการสกัดแบบ SE จากผลการวิจัยยังพบว่า สีของ PMKO เป็นสีน้ำตาลอ่อนอมเหลือง (Figure 1) น้ำมันที่ได้จาก CPE มีสีเข้มกว่าที่ได้จาก SE (Table 1) ดัชนีหักเหของ PMKO CPE คล้ายกับของ PMKO SE (Table 1) โดยปกติแล้วการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์และคุณภาพของน้ำมันสามารถทำได้ง่าย ๆ โดยการวัดดัชนีการหักเหของแสง ยังมีค่าสูงสิ่งเจือปนก็จะยิ่งสูงขึ้น ดังนั้นสิ่งเจือปนในน้ำมันเมล็ดมะม่วงคองที่สกัดทั้งสองวิธีจึงมีความบริสุทธิ์เช่นเดียวกัน จุดหลอมเหลวของ PMKO จากการสกัดทั้งสองวิธี (7.11-7.21°C.) ต่ำกว่าน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (24°C.) (Schäffer *et al.*, 2001)

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของ PMKO กับรายงานก่อนหน้านี้นี้เกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงสด (Fresh mango kernel oil; FMKO) (Maisuthisakul and Changchub, 2018) จากผลการวิจัยพบว่า PMKO แบบสกัดเย็นให้ผลผลิตสูงเมื่อเทียบกับ FMKO (Figure 2a) สิ่งนี้อาจได้รับอิทธิพลจาก Salting out เนื่องจากมะม่วงดองมี

เกลืออยู่ในระหว่างกระบวนการดอง เกลือ NaCl สามารถเพิ่มการกักเก็บส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ ทำให้น้ำมันจับตัวเป็นก้อนได้ง่าย (Ahmed and Mahmoud, 2015) ซึ่งความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงมีประมาณ 8% (db) จึงส่งผลต่อการสกัดน้ำมันได้ จุดหลอมเหลวของ PMKO (Figure 2c) จากการสกัดทั้งสองวิธีมีค่าต่ำกว่าของ FMKO

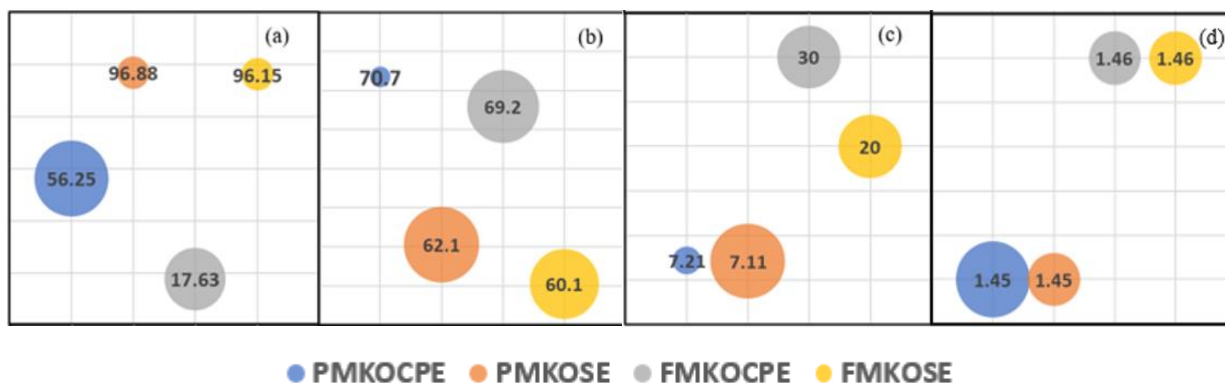


**Figure 1** Effect of different extraction methods on colour of pickled mango kernel oil samples from (a) cold pressed extraction and (b) Soxhlet extraction

**Table 1** Effect of different extraction methods on physical property of pickled mango kernel oil

Properties	CPE	SE
Extraction ratio	56.25±0.60 <sup>a</sup>	96.88±0.11 <sup>b</sup>
Kinematic viscosity (40°C, shear rate 110 sec <sup>-1</sup> , cp)	70.7±0.1 <sup>b</sup>	62.1±1.3 <sup>a</sup>
Colour		
L*	68.73±0.20 <sup>a</sup>	69.52±0.14 <sup>b</sup>
a*	9.12±0.13 <sup>b</sup>	7.96±0.05 <sup>a</sup>
b*	73.15±0.20 <sup>b</sup>	61.01±0.12 <sup>a</sup>
Melting point (°C) <sup>ns</sup>	7.21±0.02	7.11±0.14
Refractive index (40°C) <sup>ns</sup>	1.45±0.00	1.45±0.00

Dry weight basis; Means of three replications±SD (standard deviation); Different superscript letters mean significant differences ( $P<0.05$ ) between conditions in each row. CPE means cold pressed extraction. SE means soxhlet extraction. ns means non-significant differences.



**Figure 2** Effect of cold pressed extraction (CPE) and Soxhlet extraction (SE) methods on (a) extraction ratio, (b) kinematic viscosity, (c) melting point and (d) refractive index of pickled mango kernel oil (PMKO) and fresh mango kernel oil (FMKO) Circle area means variation of the data.

### สมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะม่วงดอง

โดยปกติค่าเปอร์ออกไซด์ใช้ในการวัดขอบเขตของการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่ทำให้เกิดการหืน เนื่องจากเป็นค่าที่บ่งบอกถึงผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันหลักที่มีอยู่ในน้ำมันหรือไขมัน โดยทั่วไป ค่า PV ที่น้อยกว่า 20 เป็นที่ยอมรับสำหรับน้ำมันพืช (Let and Meyer, 2005) อย่างไรก็ตาม ตามมาตรฐาน CODEX น้ำมันบริสุทธิ์ควรมี PV น้อยกว่า 15 (Codex Alimentarius, 2019) จากการทดลองพบว่า ค่า PV ของ PMKO อยู่ในช่วง 1.93-6.19 meq peroxide/kg oil บ่งชี้ว่า PMKO จากการสกัดทั้งสองวิธีไม่เกิดการหืน เมื่อพิจารณาค่ากรดซึ่งเป็นพารามิเตอร์ทั่วไปที่ใช้วัดกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน ค่าความเป็นกรดสูง ที่ค่า AV>20 (Let and Meyer, 2005) บ่งชี้ถึงภาวะหืนขั้นสูงของน้ำมัน จากการทดลองนี้

พบว่า PMKO สกัดเย็นให้คุณภาพที่ดีเนื่องจาก PV และ AV ต่ำ ค่า AV ของ PMKO จากการสกัดเย็น ( $14.44 \pm 0.10$  mg KOH/g oil) และ Soxhlet ( $16.74 \pm 0.05$  mg KOH/g oil) จากการทดลองนี้ มีค่าต่ำกว่ามะม่วงพันธุ์อินดี-ซินนาร์ ( $21.6$  mg KOH/g oil) ที่สกัดด้วยเฮกเซน (Eromosole and Paschal, 2003) เป็นการยืนยันว่าตัวอย่างน้ำมันที่ได้ไม่เหม็นหืนหลังการสกัด ตามมาตรฐานไขมันและน้ำมันที่บริโภคได้ (Codex Alimentarius, 2019) ค่ากรดของไขมันและน้ำมันสกัดเย็นไม่ควรเกิน 4 mg KOH/g oil ดังนั้นน้ำมันที่ได้จากการทดลองนี้ต้องทำให้บริสุทธิ์ก่อนใช้เนื่องจากน้ำมันมีค่ากรดสูง (AV เท่ากับ 14.44-16.74 mg KOH/g oil) เทคนิค CPE ให้ค่า PV ต่ำกว่าการสกัดแบบ Soxhlet ดังนั้นเทคนิคสกัดเย็นจึงมีความเหมาะสมในการสกัดน้ำมันจาก PMK

**Table 2** Effect of different extraction methods on chemical property of pickled mango kernel oil

Properties	CPE	SE
Peroxide value (meq peroxide/kg oil)	1.93±0.06 <sup>a</sup>	6.19±0.04 <sup>b</sup>
Acid value (mg KOH/g oil)	14.44±0.10 <sup>a</sup>	16.74±0.05 <sup>b</sup>
Saponification value (mg KOH/g oil)	142.81±0.48 <sup>a</sup>	186.38±0.39 <sup>b</sup>
Unsaponifiable matter (%)	1.52±0.06 <sup>b</sup>	0.53±0.01 <sup>a</sup>
Iodine value (g of iodine/100g oil)	65.18±0.79 <sup>b</sup>	43.73±0.37 <sup>a</sup>
TBARs (mg MDA equivalents/kg oil) <sup>ns</sup>	1.14±0.03	1.17±0.02

Dry weight basis; Means of three replications±SD (standard deviation); Different superscript letters mean significant differences ( $P<0.05$ ) between conditions in each row. CPE means cold pressed extraction. SE means Soxhlet extraction. ns means non-significant differences.

SV คือ ค่าประมาณของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของไตรเอซิลกลีเซอรอล ยิ่งค่า SV สูง ความยาวสายโซ่เฉลี่ยของไตรกลีเซอไรด์ก็จะยิ่งต่ำลง (Sonwai *et al.*, 2014) ค่า SV ของ PMKO ที่ศึกษามีค่าตั้งแต่ 142.81-186.38 mg KOH/g oil ค่า SV ของ PMKO จากการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าน้ำมันปาล์ม (190-209 mg KOH/g oil) เช่นเดียวกับ Sonwai *et al.* (2014) รายงานไว้ว่า SV ของ MKO จากมะม่วงแก้วมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มและเนยโกโก้ และการทดลองนี้ยังพบว่า น้ำมัน PMKO จากการสกัดแบบ SE มีค่า SV สูงกว่าการสกัดแบบ CPE (Table 2) เป็นการบ่งชี้ว่า PMKO ที่สกัดด้วยวิธี Soxhlet มีปริมาณไตรเอซิลกลีเซอรอลสายสั้นสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีสกัดเย็น ส่วนค่า Unsaponifiable Matter (USM) ใช้บ่งชี้ความสกปรก

ของน้ำมัน (Eromosole and Paschal, 2003) ยิ่งมีค่าสูง ยิ่งมีความสกปรกสูง ค่า USM ของ PMKO อยู่ในช่วง 0.53 ถึง 1.52 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันทั้งหมด โดย PMKO จากการสกัดเย็นมีสารเจือปนสูงกว่าการสกัดแบบ Soxhlet ทั้งนี้สารเจือปนส่วนใหญ่ น่าจะเป็นเกลือ น้ำมันปาล์มมีค่า USM เท่ากับร้อยละ 0.32 ของน้ำมันทั้งหมด โดยปกติ USM ไม่ควรเกิน 2 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า PMKO ที่สกัดได้มีปริมาณสิ่งเจือปนต่ำ โดยปกติค่าไอโอดีนแสดงระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันในน้ำมัน ค่า IV ยิ่งสูง ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวหรือจำนวนพันธะคู่ยิ่งสูง น้ำมันจากการสกัดเย็นมีค่าไอโอดีนสูงกว่ากระบวนการ Soxhlet แสดงว่า PMKOSE มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง

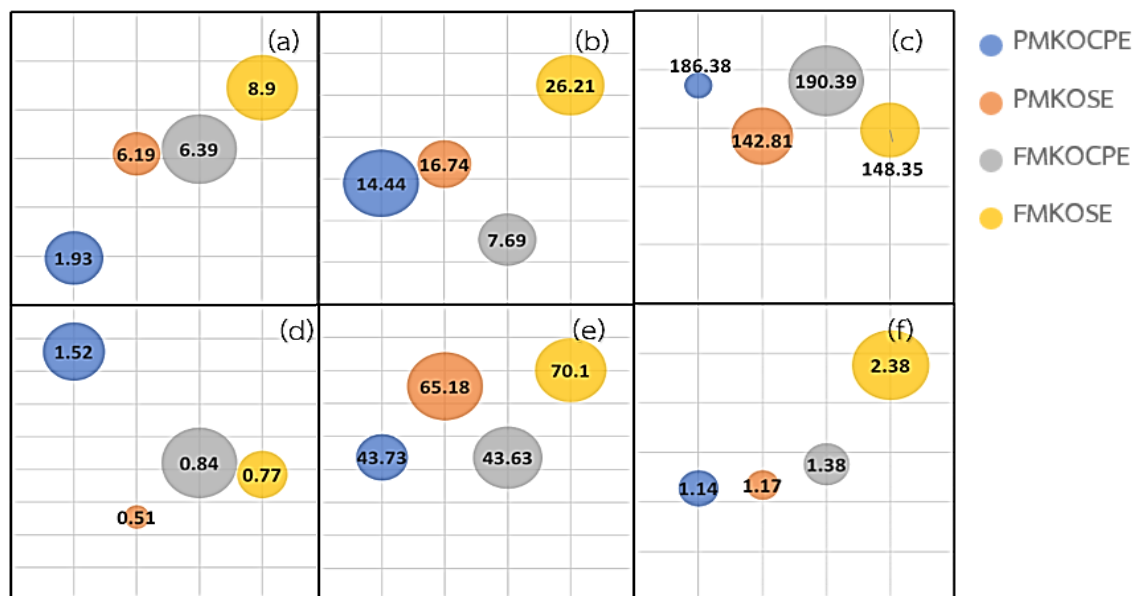
**Table 3** Antioxidant and anti-inflammatory activities of pickled mango kernel oil with different extraction

Properties	CPE	SE
Antioxidant activity (%inhibition at 50 $\mu$ g)	71.87 $\pm$ 1.09 <sup>b</sup>	59.72 $\pm$ 2.58 <sup>a</sup>
Fe <sup>2+</sup> -chelating ability (mg EDTAE/g db)	1.82 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>	1.61 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>
Anti-inflammatory activity (%inhibition at 100 $\mu$ g)	81.47 $\pm$ 0.98 <sup>b</sup>	75.39 $\pm$ 0.67 <sup>a</sup>
Total phenolic content (mM a-TOCE/g db)	9.06 $\pm$ 0.52 <sup>b</sup>	6.77 $\pm$ 0.41 <sup>a</sup>

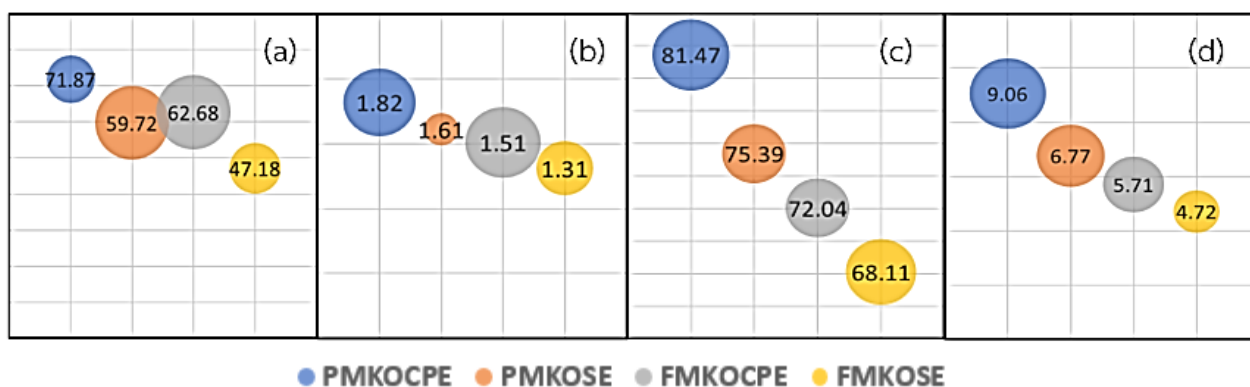
Dry weight basis; Means of three replications $\pm$ SD (standard deviation); Different superscript letters mean significant differences ( $P < 0.05$ ) between conditions in each row. CPE means cold pressed extraction. SE means Soxhlet extraction.

PMKO ที่สกัดด้วยวิธี CPE มีค่ากิจกรรมการกำจัดอนุมูลที่ สูงกว่าแบบ SE ซึ่งสอดคล้องกับค่า Fe<sup>2+</sup>-chelating ability และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Table 3) Fe<sup>2+</sup>-chelating ability เป็นหนึ่งในกลไกการต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากลดความเข้มข้นของโลหะทรานซิชันที่เร่งปฏิกิริยาในลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน ส่งผลให้ TBARS ของ PMKO ต่ำ (Table 2) การเสียดสภาพของโปรตีนเป็น

สาเหตุของการอักเสบจึงเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาเกี่ยวกับกลไกของฤทธิ์ต้านการอักเสบ จากผลการวิจัยนี้พบว่า PMKO สกัดด้วยวิธี CPE มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการอักเสบได้ดีกว่า (Table 3) นอกจากนี้ PMKO ที่สกัดทั้งสองวิธีมีความสามารถในการต้านการอักเสบสูงกว่าคลอโรเฮกซิดีน (14.12 $\pm$ 0.54 เปอร์เซ็นต์) ที่ความเข้มข้นเดียวกัน



**Figure 3** Effect of cold pressed extraction (CPE) and Soxhlet extraction (SE) methods on (a) peroxide Value, (b) acid value, (c) saponification value, (d) unsaponifiable matter, (e) iodine value and (f) TBARs of pickled mango kernel oil (PMKO) and fresh mango kernel oil (FMKO) Circle area means variation of the data.



**Figure 4** Effect of cold pressed extraction (CPE) and Soxhlet extraction (SE) methods on (a) antioxidant activity, (b) Fe<sup>2+</sup>-chelating ability, (c) anti-inflammation activity and (d) Total phenolic content of pickled mango kernel oil (PMKO) and fresh mango kernel oil (FMKO) Circle area means variation of the data.

เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีของน้ำมันของเมล็ดมะม่วงดองกับน้ำมันเมล็ดมะม่วงสด (Maisuthisakul and Changchub, 2018) พบว่า ค่า PV, SV และ TBAR ของ PMKO จากการสกัดทั้งสองวิธีมีค่าต่ำกว่า FMKO (Figure 3) ซึ่งสอดคล้องงานวิจัยของ Cheng *et al.* (2007) ที่พบว่าการเติม NaCl ในไส้หมูทำให้ค่า TBAR ลดลง โดยปกติแล้วปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนซึ่งได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ระดับความอิ่มตัวของน้ำมัน อุณหภูมิ การเก็บรักษา ปริมาณออกซิเจน เหลือ และสารประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ไขมันและน้ำมัน นอกจากนี้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถในการต้านอักเสบ และปริมาณฟีนอลิกของน้ำมันเมล็ดมะม่วงดองที่สกัดทั้งสองวิธีมีค่าสูงกว่าน้ำมันจากเมล็ดมะม่วงสด (Figure 4) จากการวิจัยนี้บ่งชี้ว่า PMKO เป็นแหล่งที่ดีสำหรับการสกัดไขมัน

### สรุปผลการวิจัย

จากการพิจารณาสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันที่สกัดได้ชี้ให้เห็นว่าการสกัดน้ำมันเมล็ดมะม่วงดองด้วยวิธีการสกัดเย็นมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการสกัดแบบ Soxhlet การใช้วิธีการสกัดเย็นสามารถลดการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันเมล็ดมะม่วงดองได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามน้ำมันเมล็ดมะม่วงดองที่สกัดได้ ควรทำให้บริสุทธิ์ก่อนนำไปใช้เป็นน้ำมันพืชเนื่องจากมีค่าความเป็นกรดสูง นอกจากนี้ น้ำมันเมล็ดมะม่วงดองที่ได้มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบด้วย

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

### เอกสารอ้างอิง

- Abdalla, A., S. Darwish, E. Ayad and R. El-Hamahmy. 2007. Egyptian mango byproduct 1. Compositional quality of mango seed kernel. **Food Chemistry** 103(4): 1134-1140.
- Ahmed, S. and A.M. Mahmoud. 2015. A novel salting-out assisted extraction coupled with HPLC- fluorescence detection for trace determination of vitamin K homologues in human plasma. **Talanta** 144: 480-487.
- Ali, M.A., M.A. Gafur, M.S. Rahman and G.M. Ahmed. 1985. Variations in fat content and lipid class composition in ten different mango varieties. **Journal of the American Oil Chemists' Society** 62(3): 520-523.
- AOAC. 1990. **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 15<sup>th</sup> edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC: AOAC International. 1,298 p.
- AOCS. 1998. **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society**. 5<sup>th</sup> edition. Champaign IL: American Oil Chemists Society. 1,200 p.
- Arogba, S. 1997. Physical, chemical and functional properties of Nigerian mango (*Mangifera indica*) kernel and its processed flour. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 73: 321-328.

- ASTM. 2006. **Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquid (and calculation of dynamic viscosity): D 445-06**. 1-10. [Online]. Available <https://www.scribd.com/document/474070419/D445-Viscosity-1-pdf> (November 30, 2023).
- Buege, J.A. and S.D. Aust. 1978. Biomembranes - Part C: Biological Oxidations, Microsomal lipid peroxidation. **Methods in Enzymology** 52: 302-310.
- Cheng, J., S. Wang and H.W. Ockerman. 2007. Lipid oxidation and color change of salted pork patties. **Meat Science** 75: 71-77.
- Codex Alimentarius. 2019. **Codex Standard for Named Vegetable Oils** (CODEX-STAN 210-1999). 1-10. [Online]. Available <https://www.fao.org/3/y2774e/y2774e04.htm#bm4.1> (November 30, 2023).
- Eromosole, C.O. and N.H. Paschal. 2003. Characterization and viscosity parameters of seed oils from wild plants. **Bioscience Technology** 86: 203-205.
- Gunstone, F.D. 2011. **Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses**. 2<sup>nd</sup> ed. Willy-Blackwell: CRC Press. 376 p.
- Hernández-Santos, B., J. Rodríguez-Miranda, E. Herman-Lara, J.G. Torruco-Uco, R. Carmona-García, J.M. Juárez-Barrientos, R. Chávez-Zamudio and C.E. Martínez-Sánchez. 2016. Effect of oil extraction assisted by ultrasound on the physicochemical properties and fatty acid profile of pumpkin seed oil (*Cucurbita pepo*). **Ultrasonics Sonochemistry** 31: 429-436.
- Jahurul, M.H.A., N.A.N. Norulaini, I.S.M. Zaidul, S. Jinap, F. Sahena, J. Azmir, K.M. Sharif and A.K. Mohd Omar. 2013. Cocoa butter fats and possibilities of substitution in food products concerning cocoa varieties, alternative sources, extraction methods, composition, and characteristics. **Journal of Food Engineering** 117(4): 467-476.
- Jahurul, M.H.A., I.S.M. Zaidul, N.N.A. Norulaini, F. Sahena, J.M. Jaffri and A.K. Omar. 2014. Supercritical carbon dioxide extraction and studies of mango seed kernel for cocoa butter analogy fats. **CyTA - Journal of Food** 12(1): 97-103.
- Jeyarani, T. and S.Y. Reddy. 1999. Heat-resistant cocoa butter extenders from Mahua (*Madhuca latifolia*) and Kokum (*Garcinia indica*) fats. **Journal of the American Oil Chemists' Society** 76(12): 1431-1436.

- Kabuki, T., H. Nakajima, M. Arai, S. Ueda, Y. Kuwabara and S. Dosako. 2000. Characterization of novel antimicrobial compounds from mango (*Mangifera indica* L.) kernel seeds. **Food Chemistry** 71: 61-66.
- Kaufmann, B. and P. Christen. 2002. Recent extraction techniques for natural products: microwave-assisted extraction and pressurized solvent extraction. **Phytochemical Analysis** 13: 105-113.
- Kaur, G., D. Kaur, S.K. Kansal, M. Garg and M. Krishania. 2022. Potential cocoa butter substitute derived from mango seed kernel. **Food Chemistry** 372: 131244.
- Kittiphoom, S. and S. Sutasinee. 2013. Mango seed kernel oil and its physicochemical properties. **International Food Research Journal** 20(3): 1145-1149.
- Let, M.B.C. and A.S. Meyer. 2005. Sensory stability and oxidation of fish oil enriched milk is affected by milk storage temperature and oil quality. **International Dairy Journal** 15: 173-182.
- Maheshwari, B. and S.Y. Reddy. 2005. Application of kokum (*Garcinia indica*) fat as cocoa butter improver in chocolate. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 85: 135-140.
- Maisuthisakul, P. and M.H. Gordon. 2009. Antioxidant and tyrosinase inhibitory activity of mango seed kernel by product. **Food Chemistry** 117: 332-341.
- Maisuthisakul, P. and L. Changchub. 2018. Effect of extraction method on physical and chemical properties of mango kernel oil. **Agricultural Science Journal** 49(2)(Suppl.): 53-56.
- Sakat S., A.R. Juvekar and M.N. Gambhire. 2010. *In Vitro* antioxidant and anti-inflammatory activity of methanol extract of *Oxalis corniculata* Linn. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences** 2(1): 146-155.
- Schäffer, B., S. Szakály and D. Lőrinczy. 2001. Melting properties of butter fat and the consistency of butter: effect of modification of cream ripening and fatty acid composition. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry** 64: 659-669.
- Singleton, V. and J. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolic compounds with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture** 16: 144-158.
- Sonwai, S., P. Kaphueakngam and A. Flood. 2014. blending of mango kernel fat and palm oil mid-fraction to obtain cocoa butter equivalent. **Journal of Food Science and Technology** 51: 2357-2369.
- Soong, Y.Y. and P.J. Barlow. 2004. Quantification of gallic acid and ellagic (*Mangifera indica* L.) kernel and their effects on antioxidant activity. **Food Chemistry** 97: 524-530.

Yousefi, M., M. Rahimi-Nasrabadi,  
S.M. Pourmortazavi, M. Wysokowski,  
T. Jesionowski, H. Ehrlich and  
S. Mirsadeghi. 2019. Supercritical fluid  
extraction of essential oils. **TrAC Trends  
in Analytical Chemistry** 18: 182-193.

Zaidul, I.S.M., N.A.N. Norulaini, A.K. Mohd Omar,  
and R.L. Smith Jr. 2007. Blending of  
supercritical carbon dioxide (SC-CO<sub>2</sub>)  
extracted palm kernel oil fractions and  
palm oil to obtain cocoa butter replacers.  
**Journal of Food Engineering**  
78: 1397-1409.

คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และปริมาณกลูโคแมนแนนของผงบุกจากหัวบุกพันธุ์เนื้อทราย  
(*Amorphophallus muelleri*) ที่ใช้วิธีการทำแห้งและวิธีการสกัดแตกต่างกัน  
Physicochemical Properties and Glucomannan Content of Konjac Powder  
Obtained from Different Drying and Extraction Methods  
of Nuea-Sai Konjac Corms (*Amorphophallus muelleri*)

ภัทรารณณ์ ศรีสมรรถการ\* และสุภาวดี แซ่ม

Pattharaporn Srisamatthakarn\* and Supawadee Cham

ศูนย์นวัตกรรมอาหาร สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000

Food Innovation Centre, Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna  
Lampang, Thailand 52000

\*Corresponding author: patr99@hotmail.com

**Abstract**

Received: June 21, 2022

Revised: October 09, 2023

Accepted: November 01, 2023

Nuea-Sai konjac corm contains glucomannan, which is a water-soluble hydrocolloid, forming increasing viscous and gelling properties. Glucomannan is a dietary fiber that does not provide energy, it is therefore commonly used as a thickening agent and food ingredient in the health food industry. This research aimed to investigate the physicochemical properties and glucomannan content of konjac powder obtained from different drying methods, i.e. hot air drying at  $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ , and solar drying, and extraction methods, i.e. mechanical particle technique; KPM, and ethanol extraction; KPE. The results showed that konjac powder obtained from hot air dryer konjac and extracted by KPE; KPETD, had the highest glucomannan content of  $87.46\pm 0.77\%$  with no difference from commercial konjac content at 85%. It contained high moisture content, pH, redness ( $a^*$ ), and yellowness ( $b^*$ ) values, and had moderate lightness ( $L^*$ ). It also had higher peaks and final viscosity levels than the other samples. Whereas the sample obtained from hot air dryer by KPM; KPMTD, showed the highest level of  $L^*$ , and oxalate content, but had the lowest values of  $a^*$  and  $b^*$ . The sample obtained from solar dryer by KPM; KPMSD, had the lowest glucomannan and final viscosity. While, the sample extracted by KPE; KPESD, showed a high  $b^*$  and peak viscosity, but it had low moisture and oxalate contents. It also found that all konjac samples had higher peak viscosity than the commercial sample.

**Keywords:** konjac corm, *Amorphophallus muelleri*, konjac powder, glucomannan

## บทคัดย่อ

หัวบุกพันธุ์เนื้อทรายประกอบด้วยกลูโคแมนแนน ซึ่งเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดความข้นหนืดและทำให้เกิดเจลได้ กลูโคแมนแนนเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ให้พลังงาน จึงใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดและใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมี และปริมาณสารกลูโคแมนแนนสูงของผงบุกที่ได้จากบุกแห้งที่ใช้วิธีการทำแห้ง ได้แก่ ใช้ตู้อบลมร้อนที่  $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . และตู้อบแสงอาทิตย์ และวิธีการสกัดผงบุก ได้แก่ การชด้อนภาคเชิงกล; KPM และการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล; KPE ที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ผงบุกที่สกัดด้วยเอทานอลจากบุกอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน; KPETD มีปริมาณกลูโคแมนแนนสูงที่สุด โดยมีปริมาณร้อยละ  $87.46 \pm 0.77$  ซึ่งไม่แตกต่างจากผงบุกการค้าที่มีอยู่ร้อยละ 85 ผงบุกมีความชื้น ค่า pH ค่าสีแดง ( $a^*$ ) และสีเหลือง ( $b^*$ ) ระดับสูง และมีค่าความสว่างสี ( $L^*$ ) ระดับปานกลาง อีกทั้งมีความหนืดที่จุดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายสูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ผงบุกที่สกัดโดยการชด้อนภาคเชิงกลจากบุกอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน; KPMTD มีค่า  $L^*$  และปริมาณออกซาลิติกสูงที่สุด แต่มีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ต่ำสุด ผงบุกที่สกัดโดยวิธีชด้อนภาคเชิงกลจากบุกอบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์; KPMSD มีปริมาณกลูโคแมนแนนและความหนืดสุดท้ายต่ำสุด ส่วนผงบุกสกัดด้วยเอทานอลจากบุกอบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์; KPESD มีค่าสี  $b^*$  และความหนืดสูงสุดระดับสูง แต่มีปริมาณความชื้นและออกซาลิติกต่ำสุด โดยผลการวิจัยพบว่าผงบุกทุกตัวอย่างที่ศึกษามีค่าความหนืดสูงสุดมากกว่าผงบุกการค้าที่นำมาเปรียบเทียบ

**คำสำคัญ:** หัวบุก *Amorphophallus muelleri*  
ผงบุก กลูโคแมนแนน

## คำนำ

บุก (Konjac) พันธุ์เนื้อทราย หรือบุกไข่ (*Amorphophallus muelleri*) เป็นพืชหัวอยู่ในวงศ์บอน (Araceae) สกุลบุก (*Amorphophallus*) เป็นพืชเศรษฐกิจชุมชนสำคัญที่พบปลูกมากในจังหวัดตาก แม่ฮ่องสอน กาญจนบุรี และเชียงใหม่ (Botanical and Herbarium Research, 2020; Rouarut, 2021) บุกเนื้อทรายเป็นพันธุ์ที่ตลาดต่างประเทศ เช่น จีน ญี่ปุ่น และยุโรป มีความต้องการสูงมาก เพื่อใช้ในการผลิตผงบุกและสกัดสารสำคัญ คือ กลูโคแมนแนน ซึ่งเป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสและแมนโนสในอัตราส่วน 1.6:1 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ ( $\beta$ -(1,4)-glycosidic) และมีหมู่แอซิติล (Acetyl group) กระจายอยู่ทั่วไปบนสายโมเลกุล ทำให้กลูโคแมนแนนไม่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในร่างกายมนุษย์ บุกจึงให้พลังงานต่ำมากและเป็นใยอาหารธรรมชาติ (Dietary fiber) ที่เมื่อบริโภคเข้าไปแล้วจะทำให้รู้สึกอิ่มนาน และปลดปล่อยน้ำตาลออกมาเพียงเล็กน้อยอย่างช้า ๆ จึงช่วยลดการดูดซึมของน้ำตาลหรือไขมันผ่านลำไส้ ให้พลังงานต่ำ ลดภาวะน้ำหนักเกิน ทางารแพทย์จึงใช้บุกเป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน โรคไขมันในเลือดสูง ใช้ควบคุมความดันโลหิตสูง ควบคุมน้ำหนัก โคลเลสเตอรอลและลดอัตราความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งโดยเฉพาะมะเร็งลำไส้ ช่วยบำบัดอาการท้องผูกและเพิ่มประสิทธิภาพในการขับถ่ายของระบบลำไส้ จึงเหมาะสำหรับการพัฒนาอาหารสุขภาพและอาหารสำหรับผู้สูงอายุ (Chiu and Stewart, 2012; Chua *et al.*, 2012; Phukasmart, 2013; Harmayani *et al.*, 2014; Borompichaichartkul *et al.*, 2016) ในอุตสาหกรรมอาหารนำผงบุกมาใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด เพิ่มความคงตัวและทำให้เกิดเจล ช่วยเพิ่มสมบัติในการอุ้มน้ำและเก็บรักษาความชื้นของอาหารให้ดีขึ้น และยังเป็นสารเสริมใยอาหารให้กับผลิตภัณฑ์

ต่าง ๆ ด้วยเช่น แยม เยลลี่ ผลิตภัณฑ์ทาขนมปัง ไล้กรอก ลูกชิ้น หมูยอ ผงบุกที่สามารถเกิดเจลได้เมื่อใช้ร่วมกับต่าง หรือไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) บางชนิด สามารถ ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เส้นต่าง ๆ ได้ เช่น บุกเส้น บะหมี่ พาสต้า (Sukumolnondha, 2009; Borompichaichartkul et al., 2016; Srisamatthakarn et al., 2019, 2021) อีกทั้งผงบุกยังมีสมบัติเป็นพรีไบโอติก (Prebiotics) จุลินทรีย์ก่อโรคในลำไส้ไม่สามารถนำไปใช้เป็นแหล่ง อาหารได้ และช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ที่มี ประโยชน์ในร่างกาย เช่น Bifidobacteria และยับยั้งการ เจริญของ *Clostridium perfringens* และ *Escherichia coli* (Chen et al., 2005, 2008; Harmayani et al., 2014)

หัวบุกพันธุ์เนื้อทรายหรือบุกไข่ ในอำเภอ แม่ระมาด จังหวัดตาก มีสารกลูโคแมนแนนสูง จึงเป็น ต้องการของตลาดต่างประเทศในระดับสูง (Borompichaichartkul et al., 2016; Srisamatthakarn et al., 2019) เพื่อผลิตผงบุกสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม อาหารและอาหารสุขภาพ รวมทั้งเป็นสารเพิ่มความ ชื้นหนืด โดยปริมาณความต้องการใช้ผงบุกในตลาดโลก 30,000-40,000 ตันต่อปี และความต้องการใช้หัวบุกสด ในประเทศไทยมากกว่า 12,000 ตันต่อปี แต่ประเทศไทย ผลิตได้ประมาณ 5,000 ตันต่อปี (Borompichaichartkul et al., 2016) บุกจึงเป็นพืชที่มีศักยภาพในการนำมา พัฒนาให้มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เนื่องจากมีแนวโน้มความ ต้องการของตลาดที่เพิ่มสูงขึ้น แต่โรงงานแปรรูปบุกส่วนใหญ่มีเทคโนโลยีการแปรรูปบุกแห้ง (Konjac chips) เท่านั้น ทำให้มูลค่าของหัวบุกต่ำ แต่ในความเป็นจริงนั้น ผงบุกมีราคาจำหน่ายในตลาดถึง 1,000-1,500 บาท/ กิโลกรัม แต่โรงงานขาดการพัฒนาเทคโนโลยีผลิตผงบุก ที่มีคุณภาพมาตรฐาน จึงส่งออกบุกแห้งไปตลาด ต่างประเทศเพื่อสกัดแยกผงบุกกลูโคแมนแนน และนำเข้า ในรูปผงบุกสกัดเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และขาด องค์ความรู้ในการใช้ผงบุกในการแปรรูปอาหาร จึงทำให้อุตสาหกรรมการผลิตและแปรรูปหัวบุกของไทย มีขีดความสามารถในการแข่งขันที่ต่ำ งานวิจัยนี้จึงมี

วัตถุประสงค์เพื่อให้ได้วิธีการทำแห้งและวิธีการสกัดผงบุก ที่มีปริมาณกลูโคแมนแนนสูง มีคุณภาพทางกายภาพและ เคมีที่ดี และมีสารแคลเซียมออกซาลेटต่ำ เนื่องจาก ออกซาลेटเมื่อสัมผัสกับผิวหนังทำให้เกิดอาการคัน และระคายเคือง เมื่อบริโภคจะทำให้ลิ้นพองและคันปาก (Chua et al., 2012; Botanical and Herbarium Research, 2020) โดยมุ่งหวังให้ได้ผงบุกที่มีคุณลักษณะที่เหมาะสม สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่ง จะเป็นแรงขับเคลื่อนให้มีพัฒนาหัวบุกให้มีคุณค่าทาง เศรษฐกิจ โดยการแปรรูปบุกขั้นต้น (Primary processing) และการเพิ่มมูลค่า (Value added) ในประเทศไทย แทนการส่งหัวบุกสดหรือบุกแห้ง ไปต่างประเทศเพื่อให้แปรรูปเป็นผงบุกและนำเข้ามายขาย ในประเทศไทยที่ราคาแพง จึงช่วยลดการนำเข้าผงบุกจาก ต่างประเทศได้อีกทางหนึ่ง

## อุปกรณ์และวิธีการ

### วัตถุดิบ

หัวบุกสดพันธุ์เนื้อทรายที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25-30 ซม. จากแหล่งปลูกในอำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก ที่เก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 และผงบุก ทางการค้า (F044KP) ของบริษัทกรุงเทพเคมี จำกัด ซึ่งนำเข้าจากประเทศจีน

### การเตรียมบุกแห้ง และการสกัดผงบุก

ล้างทำความสะอาดหัวบุก ปอกเปลือก และผาน เป็นชิ้นบาง นำไปทำแห้ง 2 วิธีการ คือ 1) อบด้วยตู้อบ ลมร้อนที่อุณหภูมิ  $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . นาน 9-10 ชั่วโมง (TD) และ 2) อบด้วยตู้อบแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ  $52 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . นาน 12-13 ชั่วโมง (SD) จนบุกแห้งมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 นำไป บดลดขนาดด้วยเครื่องบดละเอียดแบบเข็ม (Pin mill) แล้วนำสกัดแยกโดยร่อนตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช เป็นการสกัดผงบุก 2 วิธี คือ 1) สกัดผงบุกโดยการขัดอนุภาค เชิงกล (Mechanical particles technique; KPM)

ดัดแปลงจาก Cham and Srisamatthakarn (2018) และ 2) สกัดแยกผงบุกด้วยเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 (Ethanol solution extract; KPE) ดัดแปลงจาก Srisamatthakarn *et al.* (2019) จะได้ผงบุกทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง ได้แก่ ผงบุกสกัดโดยการชด้อนุภาคเชิงกลที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (KPMTD) ผงบุกสกัดด้วยเอทานอลที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (KPETD) ผงบุกสกัดโดยการชด้อนุภาคเชิงกลที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์ (KPMSD) ผงบุกสกัดด้วยเอทานอลที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์ (KPESD) บรรจุในถุง PET เก็บไว้ที่แห้ง

### การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพเคมี และปริมาณกลูโคแมนแนน

ตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ-เคมี และปริมาณกลูโคแมนแนนของผงบุก 4 สิ่งทดลองเปรียบเทียบกับผงบุกการค้า (F044KP) ของบริษัทกรุงเทพฯเคมี จำกัด โดยวัดค่าสีของผงบุก (lightness, L\*; red-green, a\*; yellow-blue, b\*) โดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter, 3NH-NR200, Republic of China) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเจลบุกเข้มข้นร้อยละ 3 โดยปริมาตร วัดด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (Horiba Scientific, Japan) พฤติกรรมด้านความหนืดของเจลบุกเข้มข้นร้อยละ 3 วัดด้วยเครื่องวัดความข้นหนืด (Rapid Visco Analyzer, RVA รุ่น RVA-4, Newport Scientecific, WarieWood, Australia) โดยส่งวิเคราะห์ ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปริมาณความชื้นวิเคราะห์โดยวิธี Gravimeter method ดัดแปลงวิธีของ AOAC (2005) ปริมาณออกซาเลท (Soluble oxalate) ตามวิธีของ Xu and Zhang (2000) และปริมาณกลูโคแมนแนน วิเคราะห์ตามวิธี 3, 5-Dinitrosalicylic acid colorimetric assay method (Impaprasert, 2013) โดยปริมาณออกซาเลท และกลูโคแมนแนน ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ ณ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance: ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) ทดลองจำนวน 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Rang Test (DMRT) โดยวิธีของ Cochran and Cox (1992) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 15 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### ผลการวิจัย

ผลการศึกษาคูณภาพทางกายภาพและเคมีพบว่าผงบุกสกัดโดยวิธีชด้อนุภาคเชิงกลที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (KPMTD) มีค่าความสว่าง (L\* 64.9±0.4) และปริมาณออกซาเลท (6.18±4.03 มก./กรัม) มากกว่าผงบุกตัวอย่างอื่น ๆ แต่มีค่าต่ำกว่าผงบุกทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) (Table 1) ค่าสีแดงของผงบุก KPMTD (a\* 2.92±0.0) และค่าสีเหลือง (b\* 11.3±0.2) ต่ำสุด แต่ไม่แตกต่างกันกับค่าสีของผงบุกที่สกัดโดยวิธีชด้อนุภาคเชิงกลที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์ (KPMSD) ส่วนผงบุกสกัดด้วยเอทานอลที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (KPETD) มีค่าสีแดง (a\* 3.86±0.0) สูงสุดในทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ผงบุกสกัดด้วยเอทานอลที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์ (KPESD) มีค่าสีเหลืองมากกว่าผงบุกตัวอย่างอื่น ๆ แต่มีค่าต่ำกว่าผงบุกทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ผงบุก KPESD และ KPMSD มีปริมาณออกซาเลทต่ำสุด (5.48±0.04 และ 5.51±0.72 มก./กรัม ตามลำดับ) ในทางสถิติ ( $p<0.05$ ) จะเห็นว่าการสกัดผงบุกด้วยเอทานอลมีผลให้ผงบุกมีค่าความสว่าง และปริมาณออกซาเลทลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ด้านปริมาณความชื้นพบว่าผงบุกการค้ามีปริมาณร้อยละ 10.17±1.60 ซึ่ง

สูงสุดในทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ส่วนผงบุกที่ได้จากการศึกษา มีความชื้นแตกต่างกันเล็กน้อย โดยมีปริมาณระหว่างร้อยละ 7.76±0.04 ถึง 8.62±0.03 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ ผงบุก (INS No. 425) ตามข้อกำหนดคุณภาพหรือ มาตรฐานวัตถุเจือปนอาหารตามประกาศสำนักงาน

คณะกรรมการอาหารและยาและมาตรฐานโคเด็กซ์ เล่มที่ 1 (Food Division, 2012) ที่กำหนดให้ผงบุกมีความชื้น ไม่เกินร้อยละ 15 จะเห็นได้ว่าผงบุกที่ได้จากบุกอบแห้ง ด้วยตู้อบแสงอาทิตย์มีปริมาณออกซาลาตต่ำกว่าผงบุก ที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

**Table 1** The physicochemical qualities of konjac powder obtained from different drying and extraction methods

Konjac sample	L*	a*	b*	%Moisture content	Oxalate (mg/g)	pH
KPMTD	64.9±0.4 <sup>b</sup>	2.92±0.0 <sup>c</sup>	11.3±0.2 <sup>cd</sup>	7.76±0.04 <sup>c</sup>	6.18±0.40 <sup>b</sup>	5.83±0.04 <sup>ab</sup>
KPETD	61.3±0.4 <sup>c</sup>	3.86±0.0 <sup>a</sup>	11.8±0.1 <sup>b</sup>	8.17±0.01 <sup>bc</sup>	6.09±0.45 <sup>bc</sup>	6.03±0.10 <sup>a</sup>
KPMSD	59.7±0.5 <sup>d</sup>	3.01±0.1 <sup>c</sup>	11.6±0.1 <sup>c</sup>	8.62±0.03 <sup>b</sup>	5.51±0.72 <sup>cd</sup>	5.74±0.04 <sup>b</sup>
KPESD	57.6±0.1 <sup>e</sup>	3.69±0.0 <sup>b</sup>	11.9±0.1 <sup>b</sup>	7.60±0.02 <sup>c</sup>	5.48±0.04 <sup>de</sup>	6.39±0.27 <sup>a</sup>
Commercial	89.43±0.67 <sup>a</sup>	2.93±0.15 <sup>c</sup>	15.07±0.80 <sup>a</sup>	10.17±1.60 <sup>a</sup>	8.01±0.01 <sup>a</sup>	5.43±0.31 <sup>b</sup>

Means±SD followed by different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ) according to the DMRT test.

การศึกษาพฤติกรรมด้านความหนืดของเจลบุกที่เตรียมจากผงบุกเข้มข้นร้อยละ 3 เมื่อให้ความร้อนในการละลาย พบว่าผงบุก KPETD ใช้เวลานาน 6 นาที ในการเกิดเจลที่มีความหนืดสูงสุด (Peak time) ซึ่งใช้เวลานานกว่าผงบุกตัวอย่างอื่น ๆ และผงบุกการคั่วที่ใช้เวลาระหว่าง 5.1-5.7 นาที (Table 2) อย่างไรก็ตาม ผงบุกที่ได้ทุกสิ่งทดลองมีอุณหภูมิที่เกิดเจลลาติไนซ์ (Pasting temperature) ที่อุณหภูมิเดียวกันคือ 62.6°C. และมีอุณหภูมิเกิดเจลที่ต่ำกว่าผงบุกการคั่ว ผงบุกที่ได้ทั้งหมดมีค่าความหนืดที่จุดสูงสุด (Peak viscosity) ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าระหว่าง 21,103.00±1203.39 ถึง 23,980.33±352.61 cP. และมีค่าความหนืดสูงสุดมากกว่าผงบุกการคั่ว (13,845.00±5,844.39 cP.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แสดงว่าเจลของผงบุกที่

พัฒนาได้มีค่าความหนืดที่จุดสูงสุดมากกว่าผงบุกการคั่วประมาณ 1.73 เท่า ด้านค่าความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำให้เย็น (Trough viscosity) พบว่าผงบุก KPMTD มีค่าต่ำที่สุด ส่วนเจลบุกการคั่วมีค่าความหนืดต่ำสุดเท่ากับ 7,110.33+4,251.56 cP. ซึ่งเป็นค่าสูงสุดในทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อลดอุณหภูมิของเจลบุกลง ทำให้ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ของเจลบุกทุกสิ่งทดลองลดลง โดยเจลบุก KPETD และเจลบุกการคั่วมีค่าความหนืดสุดท้ายสูงที่สุดในทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เท่ากับ 9,803.67±326.70 และ 9,716.33±64.21 cP. ส่วนผงบุก KPMSD มีค่าความหนืดสุดท้ายต่ำที่สุด

ด้านปริมาณกลูโคแมนแนน พบว่าผงบุกสกัดด้วยเอทานอลที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน หรือ KPETD มีปริมาณกลูโคแมนแนนร้อยละ 87.46±0.77 ซึ่ง

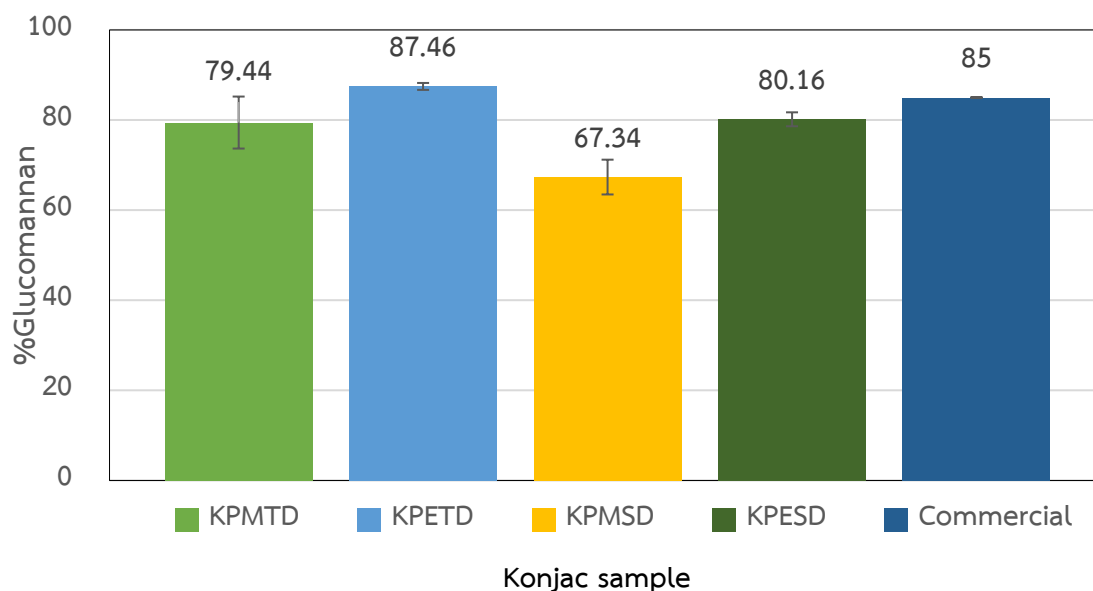
มากกว่าผงบุกตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (Figure 1) แต่ไม่แตกต่างจากผงบุกการค้าที่มีปริมาณกลูโคแมนแนนร้อยละ 85 ส่วนผงบุก KPMSD มีกลูโคแมนแนน ต่ำสุดที่ร้อยละ  $67.34 \pm 3.86$  จะเห็นได้ว่า

การสกัดผงบุกด้วยเอทานอลมีผลทำให้ผงบุกมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณกลูโคแมนแนนเพิ่มมากขึ้น ในตัวอย่างบูกอบแห้งที่ใช้วิธีการทำแห้งแบบเดียวกัน

**Table 2** Rheology properties of konjac powder obtained from different drying and extraction methods in comparison to commercial konjac powder

Konjac sample	Peak Time (min)	Pasting Temp. (°C)	Peak viscosity (cP)	Trough viscosity (cP)	Final viscosity (cP)
KPMTD	5.7	62.6	$22,051.00 \pm 968.22^a$	$1,377.33 \pm 120.66^c$	$4,469.33 \pm 336.66^b$
KPETD	6.0	62.6	$23,997.00 \pm 64.21^a$	$3,673.67 \pm 1,032.58^b$	$9,803.67 \pm 326.70^a$
KPMSD	5.5	62.6	$21,103.00 \pm 1,203.39^a$	$2,378.33 \pm 952.08^{bc}$	$2,856.33 \pm 166.94^c$
KPESD	5.1	62.6	$23,980.33 \pm 352.61^a$	$2,962.33 \pm 352.61^b$	$3,643.00 \pm 674.03^b$
Commercial	5.2	64.18	$13,845.00 \pm 5,844.39^b$	$7,110.33 \pm 4,251.56^a$	$9,716.33 \pm 64.21^a$

Means  $\pm$  SD followed by different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ) according to the DMRT test.



**Figure 1** Glucomannan content of konjac powder obtained from different drying and extraction methods in comparison to commercial konjac powder

## วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่า ผงบุกสกัดโดยวิธีช็อคอนุภาคเชิงกลที่ได้จากบุงอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีค่าความสว่างของสี และปริมาณออกซาลิท มากกว่าตัวอย่างผงบุกที่พัฒนาได้อื่น ๆ แต่มีค่าต่ำกว่าผงบุกทางการค้า ผงบุกนี้มีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองต่ำสุด ส่วนผงบุกสกัดด้วยเอทานอลที่ได้จากบุงอบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์มีค่าความสว่างของสี และปริมาณออกซาลิทต่ำที่สุด แต่มีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าการสกัดผงบุกด้วยสารละลายเอทานอล จะช่วยสกัด/ละลาย/กำจัดสารประกอบที่เป็นสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ กำจัดสารประกอบที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล รวมทั้งสารประกอบออกซาลิทในผงบุกออกไป ทำให้ออกซาลิทในผงบุกที่สกัดด้วยเอทานอลมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจากออกซาลิทจับยึดแน่นอยู่กับโครงสร้างผลึกกลูโคแมนแนน การใช้สารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 ในการสกัดผงบุก จึงสกัดละลายแยกออกซาลิทออกมาได้เล็กน้อย เนื่องจากมีรายงานของ Nurlala *et al.* (2022) ที่พบว่าแคลเซียมออกซาลิทละลายได้ดีในเอทานอลที่ความเข้มข้นสูงร้อยละ 80 ทำให้ตัวทำละลายมีความเป็นขั้วต่ำ (Low polarity) และยังสอดคล้องกับผลวิจัยของ Chua *et al.* (2012); Impaprasert (2013) และ Faridah and Widjanarko (2013) ที่พบว่าการสกัดออกซาลิทในผงบุก ปริมาณจะลดลงตามความเข้มข้นของเอทานอลที่มากขึ้น อีกทั้งสันนิษฐานว่าการทำแห้งบุงโดยการอบแห้งในตู้อบแสงอาทิตย์ ทำให้แผ่นบุงสัมผัสความร้อนเป็นระยะเวลานานกว่าการอบแห้งในตู้อบลมร้อน จึงอาจจะมีผลให้ออกซาลิทถูกกำจัดออกไปด้วยความร้อนได้มากกว่า ส่วนค่าสีแดงและค่าสีเหลืองที่เพิ่มขึ้นในผงบุกที่สกัดด้วยเอทานอล สันนิษฐานว่าเอทานอลช่วยชะละลายสารประกอบที่ละลายได้ในเอทานอลออกไป รวมทั้งแป้งและแคลเซียมออกซาลิทซึ่งเป็นผลึกสีขาวหรือสีเหลือง ส่งผลให้ผงบุกมีสีเหลืองอมน้ำตาลชัดเจนขึ้นเมื่อสกัดด้วยเอทานอล ซึ่งมีผลการวิจัยที่แตกต่างจาก

Zhao *et al.* (2010) และ Impaprasert (2013) ที่รายงานว่า การสกัดผงบุกด้วยเอทานอลทำให้ได้ผงบุกที่มีความขาวมากขึ้น แต่ช่วยทำให้ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองลดลง ทั้งนี้อาจจะเป็นคุณลักษณะเฉพาะของแหล่งพันธุ์และพื้นที่ปลูกของหัวบุกพันธุ์เนื้อทรายจากแหล่งปลูกในอำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก ที่มีสีเนื้อธรรมชาติเป็นสีเหลืองอมส้ม การทำแห้งหัวบุกด้วยตู้อบแสงอาทิตย์ซึ่งอุณหภูมิการทำแห้งค่อนข้างต่ำกว่าตู้อบลมร้อน โดยมีอุณหภูมิตั้งที่  $52 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . อาจจะมีผลให้ความชื้นบางส่วนไม่สามารถระเหยออกจากเนื้อบุงได้ทั้งหมด จึงส่งผลให้ผงบุกสกัดโดยวิธีช็อคอนุภาคเชิงกลที่ได้จากบุงอบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์มีปริมาณค่อนข้างสูงกว่าผงบุกตัวอย่างอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ปริมาณความชื้นในผงบุกที่พัฒนาได้มีปริมาณต่ำกว่าผงบุกการค้า และยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผงบุก (INS No.425) ตามข้อกำหนดในมาตรฐานวัตถุเจือปนอาหารตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาและมาตรฐานโคเด็กซ์ เล่มที่ 1 (Food Division, 2012)

การศึกษาพฤติกรรมด้านความหนืดของเจลบุก โดยการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่าเมื่อละลายผงบุกที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 ในน้ำ อนุภาคของผงบุกจะดูดซับน้ำเข้าไว้แล้วเกิดการพองตัวเป็นสารละลายที่มีลักษณะโซล (Sol) ซึ่งเป็นสารละลายแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic) และมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น อัตราการดูดซับน้ำของผงบุกขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมิมีผลให้อัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Ye *et al.*, 2019) ผลการศึกษาพบว่า เมื่อให้ความร้อนสารละลายเจลบุกที่ศึกษาทุกตัวอย่างเริ่มเกิดเจล (Pasting temperature) ที่อุณหภูมิเดียวกันคือ  $62.6^{\circ}\text{C}$ . และมีอุณหภูมิที่เกิดเจลต่ำกว่าผงบุกการค้า แสดงว่าผงบุกที่พัฒนาได้ทั้งหมดมีความสามารถในการเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำกว่าผงบุกการค้า เมื่อให้ความร้อนกับเจลบุกจนเกิดเจลที่สมบูรณ์ที่อุณหภูมิ  $80-85^{\circ}\text{C}$ . พบว่าผงบุกที่ได้จากบุงอบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์ (KPESD และ KPMSD) และผงบุกการค้า

ใช้เวลาในการเกิดเจลที่มีความหนืดที่จุดสูงสุด (Peak time) สั้นกว่าผงบุกที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (KPETD และ KPMTD) แสดงว่าผงบุกที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์มีความสามารถในการเกิดเจลได้เร็วกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Impaprasert (2013) ที่รายงานว่า การทำแห้งบุกในตู้อบลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิการทำแห้งสูง ทำให้ผงบุกมีความหนาแน่นมาก และมีความพรุนหรือมีช่องว่างในเซลล์เนื้อเยื่อกลูโคแมนแนนต่ำ ทำให้ค่า Hydrodynamic force ต่ำกว่า จึงส่งผลให้ผงบุกดูดซับน้ำได้ต่ำกว่า จึงเกิดเจลได้ช้ากว่า

เมื่อให้ความร้อนสารละลายเจลบุกจนเกิดเจลที่สมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 80-85°C. ค่าความหนืดที่วัดได้จะเป็นความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ผลการศึกษาพบว่าผงบุกที่ได้ทุกตัวอย่างมีค่าความหนืดสูงสุดมากกว่าผงบุกการค้า ดัง Table 2 สันนิษฐานว่า เจลของผงบุกการค้ามีความคงตัวต่อความร้อนต่ำกว่าผงบุกที่พัฒนาได้ ดังที่มีรายงานว่าอุณหภูมิสูงจะทำลายโครงสร้างพันธะไฮโดรเจนที่ยึดระหว่างน้ำไว้กับโพลีเมอร์กลูโคแมนแนนในเจล มีผลทำให้ความแข็งแรงหรือความคงตัวของเจลบุกลดลง เจลบุกจะอ่อนตัวลงจะมีโครงสร้างตาข่ายหลวมๆ ทำให้สูญเสียความเป็นเจลไป (Tye, 1991; Xu *et al.*, 2014) ส่งผลให้เจลบุกการค้ามีความหนืดลดลงและมีค่าความหนืดสูงสุดต่ำกว่าเจลของผงบุกอื่น ๆ นอกจากนี้ อาจเป็นผลมาจากผงบุกการค้ามีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำมาก จึงทำให้โครงสร้างของเจลบุกถูกทำลายที่ค่า pH ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Aanisah *et al.* (2022) ที่พบว่าความสามารถในการละลายและการเกิดของบุกลดลงในสภาวะที่มีกรดสูง ด้านค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) พบว่าเมื่อให้ความร้อนกับสารละลายเจลบุกจนเกิดเจลที่สมบูรณ์ แล้วลดอุณหภูมิลงให้เกิดเจลที่คงตัวที่อุณหภูมิ 25-30°C. และติดตามพฤติกรรมความหนืดโดยวัดค่าความหนืดเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที พบว่าเจลบุกทุกสิ่งทดลองมีพฤติกรรมคล้ายคลึงกันคือ ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำให้เจลเย็น (Trough viscosity) ของเจลบุก

ลดลง โดยเจลบุกของผงบุกที่สกัดด้วยเอทานอลจากบุกอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และผงบุกการค้ามีค่าความหนืดสุดท้ายสูงที่สุด แสดงว่าเจลบุกทั้งสองตัวอย่างนี้มีความคงตัวที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากปริมาณกลูโคแมนแนนที่พบสูงสุดในผงบุกทั้งสองตัวอย่างนี้ มีรายงานว่าค่าความหนืดของสารละลายเจลบุกมีความสัมพันธ์กับปริมาณกลูโคแมนแนนในผงบุก โดยค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นตามความบริสุทธิ์ของบุกผงหรือปริมาณกลูโคแมนแนนที่เพิ่มขึ้น (Xu *et al.*, 2014) เนื่องจากอนุภาคของกลูโคแมนแนนสามารถละลายและดูดซับน้ำได้ถึง 100-200 เท่า (Parry, 2010) แล้วพองตัวเกิดสารละลายเจลที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลูโคแมนแนน เนื่องจากโครงสร้างของเจลเกิดโครงข่ายภายในที่แข็งแรงของกลูโคแมนแนน (Tester and Al-Ghazzewi, 2017) นอกจากนี้ มีรายงานว่าผงบุกที่มีความบริสุทธิ์และมีปริมาณกลูโคแมนแนนสูงทำให้คุณสมบัติด้านการละลาย มีความข้นหนืดเพิ่มขึ้น และค่า Rheological property ของเจลบุกดีขึ้น (Chao *et al.*, 2011; Faridah and Widjanarko, 2013; Impaprasert, 2013) จะเห็นได้ว่า ผงบุกที่พัฒนาได้ในงานวิจัยนี้มีความสามารถในการเกิดเจลที่ความหนืดสูงสุดที่อุณหภูมิสูงมากกว่าบุกผงการค้า โดยมีความหนืดสูงที่สุดมากกว่า 22,000 cP ซึ่งจัดอยู่ในระดับ Top grade ของมาตรฐานผงบุกประเทศจีน (Peiying *et al.*, 2002) ยกเว้นผงบุกที่สกัดโดยวิธีช้อนภาคเชิงกลที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์ที่มีความหนืดสูงสุดต่ำกว่า 22,000 cP. จึงจัดอยู่ในระดับ First grade

ด้านปริมาณกลูโคแมนแนน พบว่าผงบุกสกัดด้วยเอทานอลที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (KPETD) มีปริมาณสูงสุดที่ร้อยละ 87.46±0.77 และไม่แตกต่างจากผงบุกการค้าที่มีอยู่ร้อยละ 85 ผงบุก KPETD จึงจัดเป็นผงบุกที่มีคุณภาพในระดับ First grade ตามมาตรฐานผงบุกบริสุทธิ์ ของประเทศจีนที่ ต้องมีกลูโคแมนแนนไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 (Peiying *et al.*, 2002) รองลงมาคือ ผงบุกที่สกัดด้วยเอทานอลที่ได้จากบุกอบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์ (KPESD) มีกลูโคแมนแนน

อยู่ร้อยละ 80.16±1.55 ซึ่งจัดอยู่ในระดับ Top grade ของมาตรฐานผงบุกทั่วไปของประเทศจีนที่ต้องมีกลูโคแมนแนนไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 (Peiying *et al.*, 2002) ผลการศึกษา สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Zhao *et al.* (2010); Faridah and Widjanarko (2013); Impaprasert (2013), Srisamatthakarn *et al.* (2019) ที่รายงานว่า การสกัดผงบุกด้วยเอทานอลทำให้ได้ผงบุกบริสุทธิ์ที่มีปริมาณกลูโคแมนแนนสูงมากกว่าวิธีการสกัดทางกล เนื่องจากสารประกอบต่าง ๆ เช่น แป้ง โปรตีน แคลเซียม ออกซาเลตถูกสกัดแยกออกไปด้วยเอทานอล Aanisah *et al.* (2022) รายงานว่าความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสมในการสกัดผงบุกให้มีความบริสุทธิ์ ควรใช้ความเข้มข้นที่ร้อยละ 50 จะช่วยสกัดแยกสิ่งปลอมปนในผงบุกได้มากที่สุด เนื่องจากสารประกอบเหล่านี้ส่วนใหญ่ละลายได้ดีในน้ำ ส่วนผงบุกที่สกัดโดยวิธีชั้อนภาคเชิงกลที่ได้จากบุงอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (KPMTD) มีปริมาณกลูโคแมนแนนอยู่ร้อยละ 79.44±5.77 จึงจัดอยู่ในระดับ Top grade ของมาตรฐานผงบุกทั่วไปของประเทศจีน (Peiying *et al.*, 2002) จะเห็นได้ว่า ค่าความหนืดสุดท้ายของสารละลายเจลบุงมีความสัมพันธ์กับปริมาณกลูโคแมนแนนในผงบุก โดยผงบุก KPETD และผงบุกการค้าที่มีปริมาณกลูโคแมนแนนสูงสุด เจลบุงจะมีค่าความหนืดสุดท้ายมากกว่าเจลบุงของผงบุกตัวอย่างอื่น ๆ ที่มีปริมาณกลูโคแมนแนนต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Xu *et al.* (2014) ที่รายงานว่าค่าความหนืดของเจลบุงจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลูโคแมนแนนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการศึกษานี้ สามารถใช้ค่าความหนืดเป็นดัชนีบ่งชี้ปริมาณกลูโคแมนแนนในตัวอย่งบุงได้ เพื่อการคัดเลือกตัวอย่างหรือกระบวนการผลิตที่เหมาะสมเบื้องต้น

### สรุปผลการวิจัย

วิธีการสกัดผงบุกจากหัวบุงพันธุ์เนื้อทรายที่ใช้วิธีการทำแห้งและวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ ค่าความหนืด และปริมาณกลูโคแมนแนน

ของผงบุกที่ได้ โดยการนำบุงอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนไปสกัดด้วยเอทานอล (KPETD) ทำให้ได้ผงบุกที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 9 มีสีเหลืองหม่นเล็กน้อย และมีกลูโคแมนแนนสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 87.46 และไม่แตกต่างจากผงบุกการค้าที่มีกลูโคแมนแนนเฉลี่ยร้อยละ 85 จึงจัดเป็นคุณภาพในระดับ First grade ตามมาตรฐานผงบุกบริสุทธิ์ประเทศจีน ผงบุก KPETD ที่ได้มีค่าความหนืดสูงสุดเฉลี่ย 22,051.00 cP. ซึ่งมากกว่าผงบุกการค้า จึงมีคุณภาพอยู่ในระดับ Top grade ในข้อกำหนดด้านความหนืดของผงบุกทั่วไปตามมาตรฐานของประเทศจีน อีกทั้งผงบุกนี้มีความหนืดสุดท้ายใกล้เคียงกับผงบุกการค้า ผงบุก KPETD มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่าผงบุกการค้า แต่มีปริมาณออกซาเลตต่ำกว่าผงบุกการค้า ผงบุกสกัดด้วยเอทานอลที่ได้จากบุงอบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์ (KPESD) และผงบุกสกัดโดยวิธีชั้อนภาคเชิงกลที่ได้จากบุงอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (KPMTD) มีปริมาณกลูโคแมนแนนในระดับรองลงมาเฉลี่ยร้อยละ 80.16 และ 79.44 เป็นผงบุกที่จัดอยู่ในระดับ Top grade ของมาตรฐานผงบุกทั่วไป และมีค่าความหนืดสูงสุดมากกว่าผงบุกการค้า

การศึกษาครั้งนี้ เห็นได้ว่าหัวบุงพันธุ์เนื้อทรายจากแหล่งปลูกในอำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก มีคุณลักษณะคุณภาพที่เหมาะสม และมีศักยภาพในการเป็นวัตถุดิบในการสกัดผงบุก และผงบุกบริสุทธิ์ที่มีปริมาณกลูโคแมนแนนสูงในระดับ First grade ตามมาตรฐานผงบุกบริสุทธิ์ของประเทศจีน ถ้าใช้วิธีการอบบุงแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแล้วสกัดผงบุกบริสุทธิ์ด้วยเอทานอล และมีคุณภาพในระดับ Top grade ของมาตรฐานผงบุกทั่วไปของประเทศจีน เมื่อใช้วิธีการอบบุงแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์แล้วสกัดด้วยเอทานอล หรือวิธีการอบบุงแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแล้วสกัดผงบุกโดยวิธีชั้อนภาคเชิงกล ดังนั้นผลงานวิจัยนี้ จะเป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตผงบุกจากหัวบุงในประเทศไทยให้มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ช่วยให้ผู้ประกอบการมีเทคโนโลยีการผลิตผงบุกที่มีคุณภาพด้วยตนเอง แทนการส่งหัวบุงสดหรือบุงแห้งซึ่งมีมูลค่าต่ำไปยังต่างประเทศเพื่อนำไป

แปรรูปเป็นผงบุกกลูโคแมนแนน แล้วย้อนกลับนำเข้ามาขายในประเทศไทยที่ราคาแพง ดังนั้น ผลงานวิจัยที่ได้นี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผงบุกเพื่อช่วยลดการนำเข้าผงบุกจากต่างประเทศได้อีกทางหนึ่ง

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) และหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินงาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563-2565 และขอขอบคุณสถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา สำหรับสถานที่และวัสดุ-อุปกรณ์ต่าง ๆ ในการดำเนินงาน รวมทั้งคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบพฤติกรรมด้านความหนืด และวิเคราะห์ปริมาณกลูโคแมนแนนและออกซาเลทในตัวอย่าง

### เอกสารอ้างอิง

- Aanisah, N., Y.W. Wardhana, A.Y. Chaerunisaa and A. Budiman. 2022. Review on modification of glucomannan as an excipient in solid dosage forms. **Polymer (Basel)** 14(13): 1-15. DOI: 10.3390/polym14132550
- AOAC. 2005. **Official methods of analysis of AOAC International**. 18th. Gaithersburg, MD: AOAC International. 268 p.
- Borompichaichartkul, C., R. Impaprasert, O. Mekkerdchoo, R. Jiamjariyatam and P. Tripetch. 2016. **A Guide to the Use of Konjac "Usage Guidelines and Recommendations for Standardized and Safety Production"**. Bangkok: Agricultural Research Development Agency (Public Organization) Press. 35 p. [in Thai]
- Botanical and Herbarium Research. 2020. **Utilization of Biological Bases of Konjac Genus in Thong Pha Phum Area**. Bangkok: Plant Variety Protection Division, Department of Agriculture. [Online]. Available <https://www.doa.go.th/pvp/wpcontent/uploads/2020/09/Amorphophallus-spp.pdf> (June 30, 2023). [in Thai]
- Cham, S. and P. Srisamatthakarn. 2018. Development of extraction method of konjac powder from *Amorphophallus konjac* (*Amorphophallus oncophyllus*) by mechanical particles technique. **Agricultural Science Journal** 49(1) Suppl.: 605-608. [in Thai]
- Chao, W., X. Zhong, M. Chen, D. Li and W. Lv. 2011. Structure and properties of konjac glucomannan solved in alcohol/water. **Advanced Materials Research** 197: 1310-1314.

- Chen, H.L., H.C. Cheng, W.T. Wu, Y.J. Liu and S.Y. Liu. 2008. Supplementation of konjac glucomannan into a low-fiber Chinese diet promoted bowel movement and improved colonic ecology in constipated adults: a placebo-controlled, diet-controlled trial. **Journal of the American College of Nutrition** 27: 102-108.
- Chen, H.L., Y.H. Fan, M.E. Chen and Y. Chan. 2005. Unhydrolyzed and hydrolyzed konjac glucomannans modulated cecal and fecal microflora in Balb/c mice. **Nutrition** 21: 1059-1064.
- Chiu, Y.T. and M. Stewart. 2012. Comparison of konjac glucomannan digestibility and fermentability with other dietary fibers *In Vitro*. **Journal of Medicinal Food** 15(2): 120-125.
- Chua, M., K. Chan, T.J. Hocking, P.A. Williams, C.J. Perry and T.C. Baldwin. 2012. Methodologies for the extraction and analysis of konjacglucomannan from corms of *Amorphophallus konjac* K. Koch. **Carbohydrate Polymers** 87(3): 2202-2210.
- Cochran, W.G. and G.M. Cox. 1992. **Experimental Design**. 2nd. New York: John Wiley and Sons. 640 p.
- Faridah, A. and S.B. Widjanarko. 2013. Optimization of multilevel ethanol leaching process of porang flour (*Amorphophallus muelleri*) using response surface methodology. **International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology** 3(2): 74-80.
- Food Division, Food and Drug Administration. 2012. **Codex Advisory Specification for the Identity and Purity of Food Additives Vol. 1**. [Online]. Available [https://food.fda.moph.go.th/data/FoodAdditives/food\\_additives\\_V1.pdf](https://food.fda.moph.go.th/data/FoodAdditives/food_additives_V1.pdf) (June 30, 2023). [in Thai]
- Harmayani, E., V. Aprilia and Y. Marsono. 2014. Characterization of glucomannan from *Amorphophallus oncophyllus* and its prebiotic activity *In Vivo*. **Carbohydrate Polymers** 112: 475-479.
- Impaprasert, R. 2013. **Production of Purified Konjac Flour from Corms of Buk Nuea Sai *Amorphophallus muelleri***. Doctoral Dissertation. Chulalongkorn University. 222 p.
- Nurlela, N., N. Ariesta, E. Santosa and T. Muhandri. 2022. Physicochemical properties of glucomannan isolated from fresh tubers of *Amorphophallus muelleri* Blume by a multilevel extraction method. **Food Research** 6(4): 345-353.

- Parry, J. 2010. Konjac Glucomannan. pp. 198-217. *In* Imeson, A. (ed.). **Food Stabilisers, Thickeners, and Gelling Agents**. Singapore: John Wiley and Sons Ltd., Hoboken.
- Peiying, L., Z. Shenglin, Z. Guohua, C. Yan, O. Huaxue, H. Mei, W. Zhongfeng, X. Wei and P. Hongyi. 2002. **Professional Standard of the Konjac Flour**. Beijing: Professional Standard of the People's Republic of China for Agriculture Konjac: Flour (NY/T 494-2002), Ministry of the People's Republic of China. 8 p.
- Phukasmart, U. 2013. Konjac herbal plant for health. **Food** 43(4): 55-57. [in Thai]
- Rouarut, K. 2021. "Konjac" but not invade the forest. [Online]. Available <https://www.hrди.or.th/Articles/Detail/141> (April 20, 2022). [in Thai]
- Srisamatthakarn, P., S. Cham, R.P. Na Ayuthaya, P. Manochai and P. Na Nan. 2019. **Project to Develop Healthy Food Product Prototypes from Konjac (*Amorphophallus spp.*) for Application in Food Industry**. 72 p. *In* Research Report. Lampang: Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna. [in Thai]
- Srisamatthakarn, P., S. Cham, J. Pongjanta, N. Chomsri, R.P. Na Ayuthaya and P. Manochai. 2021. **Value Added Creation and Raising the Agricultural Product Standard Quality towards Sustainable Innovation Community Development**. 402 p. *In* Research Report. Lampang: Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna. [in Thai]
- Sukumolnondha, T. 2009. **Varieties of Konjac in Thailand**. Chiangmai: Office of Agricultural Research and Development Region 1, Department of Agriculture. 59 p. [in Thai]
- Tester R. and F.H. Al-Ghazzewi. 2017. Role of glucomannans in immunology. **Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences** 20(0): 97-114.
- Tye, R.J. 1991. Konjac flour: properties and applications. **Food Technology** 45(3): 82-92.
- Xu, X.Q. and Z.Q. Zhang. 2000. Kinetic spectrophotometric determination of oxalic acid based on the catalytic oxidation of bromophenol blue. **Microchimica Acta** 135: 169-172.
- Xu, W., Y. Wang, W. Jin, S. Wang, B. Zhou, J. Li, B. Li and L. Wang. 2014. A one-step procedure for elevating the quality of konjac flour: Azeotropy-assisted acidic ethanol. **Food Hydrocolloids** 35: 653-660.

Ye, W., B. Yan, J. Pang, D. Fan, J. Huang, W. Zhou, X. Cheng, H. Chen and H. Zhang. 2019. A Study of the synergistic interaction of konjac glucomannan/curdlan blend systems under alkaline conditions. **Materials** 12(21): 1-5.  
DOI: 10.3390/ma12213543

Zhao, J., D. Zhang, G. Srzednicki, S. Kanlayanarat and C. Borompichaichartkul. 2010. Development of a low-cost two-stage technique for production. **International Food Research Journal** 17: 1113-1124.

ผลของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและไคโตแซนต่อการเกิดสีน้ำตาล  
และการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุง

Effect of Sodium Bicarbonate Solution and Chitosan on Browning  
and Bacterial Contamination in Ready-to-Cook 'Thai Round Green' Eggplant

พรมงคล จิระกิตติคุณ<sup>1</sup> กัลยา ศรีพงษ์<sup>1</sup> อภิรดี อุทัยรัตนกิจ<sup>1,2</sup> และผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์<sup>1,2\*</sup>

Phonmongkol Jiragittidoon<sup>1</sup>, Kanlaya Sripong<sup>1</sup>, Apiradee Uthairatanakij<sup>1,2</sup>  
and Pongphen Jitareerat<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

<sup>2</sup>ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400

<sup>1</sup>Division of Postharvest Technology, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Bangkok, Thailand 10140

<sup>2</sup>Postharvest Technology Innovation Center, Commission of Higher Education, Bangkok, Thailand 10400

\*Corresponding author: pongphen.jit@kmutt.ac.th

**Abstract**

Received: September 29, 2022

Revised: December 11, 2023

Accepted: January 17, 2024

At present, the demand for ready-to-cook fruit and vegetables tends to increase due to their convenience and time-saving cooking. A problem of ready-to-cook eggplant is browning on cut-surface and microbial contamination. The objective of the research was to retard browning and microbial contamination in ready-to-cook eggplant. Eggplants were washed with tap water and cut to be 4 pieces. The pieces of eggplant samples were dipped in 0.5% sodium bicarbonate (SBC) solution or 1% chitosan solution, compared to the control (distilled water). All fresh-cut samples were kept at 4°C for 6 days. The result found that SBC treatment efficiently retarded browning compared with the control, as indicated by a high L\* value (lightness) in the cut surface, while a\* value (green-red) and browning index were significantly lower than those of the control. However, chitosan treatment increased browning, the accumulation of total phenolic content, and the respiration rate. Moreover, SBC and chitosan decreased the contamination of total bacteria with no effects on weight loss and firmness during storage. The results indicate that 0.5% SBC treatment has the potential to decrease browning and microbial contamination in ready-to-cook eggplant.

**Keywords:** browning index, coating substance, eggplant, ready to cook

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันความต้องการบริโภคผักผลไม้ตัดแต่งพร้อมปรุงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากช่วยอำนวยความสะดวกและลดเวลาในการประกอบอาหาร ปัญหาของมะเขือเปราะตัดแต่ง คือ การเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด และการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอการเกิดสีน้ำตาลและลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุง นำมะเขือเปราะล้างด้วยน้ำประปาและตัดออกเป็น 4 ชิ้น นำมาจุ่มในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate, SBC) 0.5% และโคโตแซน 1% เปรียบเทียบการจุ่มในน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) เก็บรักษาที่ 4°C. นาน 6 วัน พบว่าสารละลาย SBC สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยบริเวณรอยตัดมีค่า  $L^*$  (ความสว่าง) สูง มีค่า  $a^*$  (สีเขียว-แดง) และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่โคโตแซนมีผลเร่งการเกิดสีน้ำตาล การสะสมปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และอัตราการหายใจ นอกจากนี้การใช้ SBC และโคโตแซนมีผลช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดและไม่มีผลกระทบต่อการสูญเสียน้ำหนักสดและความแน่นเนื้อ ในระหว่างการเก็บรักษา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลาย 0.5% SBC มีศักยภาพลดการเกิดสีน้ำตาลและการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุงได้

**คำสำคัญ:** ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล สารเคลือบผิว  
มะเขือเปราะ การตัดแต่งพร้อมปรุง

## คำนำ

มะเขือเปราะ (*Solanum xanthocarpum* Schard. & Wendl.) เป็นผักที่ใช้ในการประกอบอาหารได้หลายรูปแบบ เช่น แกงเผ็ด ผัดเผ็ด ลวกหรือ

รับประทานสดกับน้ำพริกต่าง ๆ มะเขือเปราะอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอล และสารต้านอนุมูลอิสระ (Chanasut and Rattanapanone, 2008) ปัจจุบันการทำธุรกิจผักและผลไม้ตัดแต่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ห้างสรรพสินค้าและผู้ค้าในตลาดสดหันมาจำหน่ายผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมปรุงเพิ่มมากขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้บริโภค หนึ่งในนั้น คือ ธุรกิจการนำมะเขือเปราะมาตัดแต่งเพื่อพร้อมจำหน่าย แต่มะเขือเปราะมีสารประกอบฟีนอลเป็นองค์ประกอบอยู่สูง (Cao *et al.*, 1996; Chumyam *et al.*, 2013; Dranca and Oroian, 2017) ซึ่งการตัดแต่งทำให้เซลล์บริเวณรอยตัดได้รับความเสียหาย ทำให้สารประกอบฟีนอลทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ในสภาพที่มีออกซิเจน มีผลทำให้บริเวณรอยตัดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว เกิดลักษณะปรากฏที่ไม่สวยงาม และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Jiraphothithum *et al.*, 2010)

การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้ตัดแต่งหลายวิธี เช่น การใช้สารเคมี ได้แก่ Citric acid, Oxalic acid (Suttirak and Manurakchinakorn, 2010), Ascorbic acid (Yildiz, 2018) และ Hydrogen peroxide (Peng *et al.*, 2008) การใช้วิธีทางกายภาพ เช่น การจุ่มน้ำร้อน (Grzegorzewska *et al.*, 2022) การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (Teixeira *et al.*, 2008) และ การใช้สารเคลือบ ได้แก่ เจลวานหางจระเข้ (Mohebbi *et al.*, 2012) และโคโตแซน (Gonzalez *et al.*, 2009) เป็นต้น ซึ่งสารเคลือบบางชนิดมีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ด้วย เช่น การเคลือบโคโตแซนสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในแอปเปิ้ลตัดแต่งพันธุ์ Fuji (Qi *et al.*, 2011) และแพร์ตัดแต่งพันธุ์ d'Anjou (Xiao *et al.*, 2011) ได้ดีระหว่างการเก็บรักษา

การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์เป็นอีกหนึ่งปัญหาที่สำคัญในการผลิตผักผลไม้ตัดแต่งพร้อมปรุง โดยจุลินทรีย์ที่มักปนเปื้อนมี 2 กลุ่มใหญ่ คือ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและจุลินทรีย์ก่อโรคที่เป็นอันตราย

ต่อผู้บริโภค จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีวิธีการที่หลากหลายในการลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น การใช้สารเคมี ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมไบคาร์บอเนต (Pinto *et al.*, 2015) และการใช้วิธีทางกายภาพ ได้แก่ รังสียูวี อัลตราซาวด์ และการใช้แรงดันสูง (Fan and Wang, 2022) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การใช้สารเคมีจำเป็นต้องใช้สารเคมีที่ได้รับการยอมรับความปลอดภัยต่อผู้บริโภค เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต เป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร จัดเป็นสารในกลุ่ม Generally Recognized as Safe (GRAS) (Geng *et al.*, 2011) เช่น การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10-100 mM สามารถกำจัดการปนเปื้อนของเชื้อ *Escherichia coli* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Labaiden *et al.*, 2013) นอกจากนี้ยังสามารถใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้น 64 กรัม/ลิตร เพื่อควบคุมเชื้อรา *Penicillium digitatum* ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียของพีชตระกูลส้ม (Karim and Aljarah, 2023) ได้อีกด้วย จากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าทั้งโซเดียมไบคาร์บอเนตและโคโตแซนมีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อจุลินทรีย์และลดการเกิดสีน้ำตาลได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของโซเดียมไบคาร์บอเนตหรือโคโตแซนในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลและยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุง

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุงและการจุ่มสารละลาย SBC และสารเคลือบโคโตแซน

ทำการคัดเลือกผลมะเขือเปราะที่มีขนาด และสีใกล้เคียงกัน ปราศจากตำหนิของโรคและแมลง โดยมะเขือเปราะที่นำมาใช้ในการทดสอบมีระยะสุกแก่ประมาณ 70-75% (ซึ่งเมื่อนำผลมาผ่าครึ่งจะพบว่าเมล็ดของมะเขือเปราะเป็นสีน้ำตาลอ่อนและยังไม่แยกตัวออก

จากเนื้อผล) จากนั้นนำมาล้างน้ำสะอาด และทำความสะอาดฆ่าเชื้อที่ผิวด้วย Sodium hypochlorite ความเข้มข้น 200 ppm นาน 5 นาที สะเด็ดน้ำให้แห้ง ทำการแบ่งมะเขือเปราะเป็น 3 ทริตเมนต์ โดยแต่ละทริตเมนต์ จะทำการตัดผลมะเขือเปราะเป็น 4 ส่วน และล้างในน้ำกลั่นก่อนนำไปแช่สารละลายหรือเคลือบสาร ดังนี้ ทริตเมนต์ที่ 1 แช่ในน้ำกลั่นเพียงอย่างเดียว นาน 2 นาที (ชุดควบคุม) ทริตเมนต์ 2 แช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate, SBC) ความเข้มข้น 0.5% นาน 2 นาที ทริตเมนต์ 3 เคลือบมะเขือเปราะตัดแต่งด้วยโคโตแซน ความเข้มข้น 1% (โดยใช้ Acetic acid ความเข้มข้น 0.3% เป็นตัวทำละลายโคโตแซน) (ซึ่งความเข้มข้นของ SBC และโคโตแซนที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากการทดสอบเบื้องต้น และพบว่าเป็นความเข้มข้นที่ลดการเกิดสีน้ำตาลได้เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม) จากนั้นผึ่งตัวอย่างให้แห้ง ก่อนบรรจุในถาดพลาสติกชนิด Polypropylene (PP ขนาด 5.5x7.5x2.5 ซม.) สีดำ จำนวน 10 ชิ้น/ถาด และสวมถาดใส่ในถาดพลาสติกชนิด Low Density Polypropylene (LDPE ขนาด 7x11 ซม.) ปิดผนึกด้วยเครื่องซีล และเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ . วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) แต่ละทริตเมนต์มี 4 ซ้ำ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างมะเขือเปราะทุก ๆ 2 วัน จนครบ 6 วัน เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ สีวเคมี และการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์

### การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพและชีวเคมีของมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุง

1. การเปลี่ยนแปลงสีบริเวณรอยตัดของมะเขือเปราะตัดแต่ง ทำโดยใช้เครื่อง Minolta colorimeter 400 และรายงานผลค่าความสว่าง ( $L^*$  value) ค่าสีเขียว-แดง ( $a^*$  value) และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ตามวิธีการของ Palou *et al.* (1999)

2. เเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด นำมะเขือเปราะตัดแต่งแต่ละทรีตเมนต์ นำมาชั่งน้ำหนักสด โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

3. อัตราการหายใจ นำมะเขือเปราะตัดแต่งบรรจุลงในกล่องพลาสติกปิดสนิทขนาดปริมาตรกล่อง 240 มล. เก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ . เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นดูดแก๊สจากกล่องปริมาตร 1 มล. มาหาปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเครื่อง Gas analyzer (LI-7000, USA) รายงานผลการทดลองในหน่วย  $\text{mg CO}_2/\text{kg}\cdot\text{hr}$

4. ความแน่นเนื้อ นำมะเขือเปราะตัดแต่งมาวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง SHIMADZU (EZ-LX, 500N) ใช้อุปกรณ์เป็นหัวตัด ตั้งค่าแรงกดให้สามารถกดวัตถุได้สูงสุด 450 นิวตัน (N) ความเร็วในการกดเท่ากับ 10 มม. นาที/บ้นทิกผลค่าของแรงที่ใช้ในการกดวัตถุมากที่สุด ค่าที่วัดได้รายงานในหน่วย N

5. ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีการของ Singleton *et al.*, 1999) นำเนื้อผลมะเขือเปราะตัดแต่งน้ำหนัก 2 กรัม ผสมกับเอทานอลความเข้มข้น 80% ปริมาตร 5 มล. ปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง Homogenizer แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$ . เป็นระยะเวลา 20 นาที ดูดสารละลายตัวอย่าง 0.04 มล. เติมน้ำกลั่น 1.58 มล. และสารละลาย Folin-Ciocalteu's phenol reagent ปริมาตร 0.1 มล. จากนั้นเติมสารละลาย Sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ความเข้มข้น 20% ปริมาตร 0.3 มล. นำไปบ่มที่มีดที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$ . นาน 30 นาที แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 nm นำค่าที่ได้ทำการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย Gallic acid และรายงานผลในหน่วย  $\text{mg}/100\text{g Fresh weight}$

6. กิจกรรมเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO) (ดัดแปลงจากวิธีการของ Benjamin and

Montgomery, 1973) นำเนื้อเยื่อผลมะเขือเปราะตัดแต่งน้ำหนัก 1.5 กรัม ผสมกับ Sodium phosphate buffer (SPB) ความเข้มข้น 0.05 M pH 7; ปริมาตร 5 มล. ร่วมกับสาร Poly (vinylpolypyrrolidone) (PVPP) ปริมาตร 0.05 กรัม และ Triton X-100 ความเข้มข้น 1% ปริมาตร 0.05 มล. หลังจากนั้นทำการปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง Homogenizer แล้วปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$ . นาน 20 นาที จากนั้นดูดสารละลายปริมาตร 0.25 มล. ผสมกับ SPB 0.75 มล. และ 4-methyl catechol ความเข้มข้น 23 N ปริมาตร 0.75 มล. แล้วจึงวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 410 nm นาน 1 นาที ค่าที่ได้นำมาคำนวณร่วมกับปริมาณโปรตีนทั้งหมดตามวิธีการของ Bradford (1976) และรายงานผลกิจกรรมของเอนไซม์ในหน่วย  $\text{unit}/\text{mg protein}$

### การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์

ทำการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดโดยนำตัวอย่างมะเขือเปราะตัดแต่งจำนวน 25 กรัม ใส่ในถุง Stomacher และเติมน้ำเปปโตนความเข้มข้น 0.1% ปริมาตร 225 มล. นำไปตีปั่นด้วยเครื่อง Stomacher นาน 1 นาที จากนั้นนำตัวอย่างปริมาณ 100  $\mu\text{l}$  หยดบนหน้าอาหาร Plate Count Agar (PCA) เกลี่ยให้ทั่วแล้วจึงนำไปบ่มที่อุณหภูมิ  $37^{\circ}\text{C}$ . เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนับจำนวนโคโลนี และรายงานผลการทดลองในหน่วย  $\log_{10}\text{CFU}/\text{g}$  (Beltran *et al.*, 2005)

### การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) แต่ละทรีตเมนต์มี 4 ซ้ำ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ทุก ๆ 2 วัน เป็นเวลา 6 วัน และทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SAS version 9.0 ด้วยวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

## ผลการวิจัย

### ผลของ SBC และไคโตแซนต่อการเกิดสีน้ำตาลของมะเขือเปราะตัดแต่ง

มะเขือเปราะตัดแต่งที่จุ่มในสารละลาย SBC มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลที่ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสว่าง ( $L^*$  value) ที่มีค่ามากที่สุดและค่าสีแดง ( $a^*$  value) ที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมะเขือเปราะตัดแต่งในชุดควบคุมและมะเขือเปราะที่เคลือบไคโตแซนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่มะเขือเปราะที่เคลือบไคโตแซน มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลที่มีค่ามากที่สุด ค่าความสว่างน้อยที่สุดและมีค่าสีแดงมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Figure 1)

### ผลของ SBC และไคโตแซนต่อคุณภาพของมะเขือเปราะตัดแต่ง

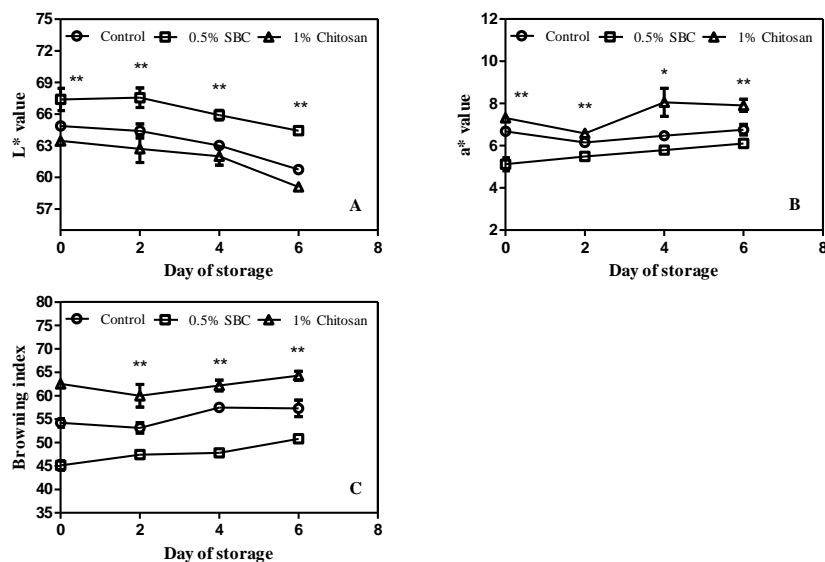
การแช่มะเขือเปราะตัดแต่งใน SBC และเคลือบไคโตแซน ไม่สามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างการเก็บรักษาได้ ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักสดของมะเขือเปราะตัดแต่งทุกทรีตเมนต์มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.52-2.78% (Figure 2A) มะเขือเปราะตัดแต่งที่แช่ใน SCB และที่เคลือบไคโตแซน มีอัตราการหายใจสูงในวันแรก (1.00 และ 1.24 mg CO<sub>2</sub>/kg.hr ตามลำดับ) จากนั้นลดลงในวันที่ 2 และคงที่ในวันที่ 4-6 ของการเก็บรักษาโดยมะเขือเปราะที่แช่ใน SBC มีอัตราการหายใจน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (0.22-0.99 mg CO<sub>2</sub>/kg.hr) และที่เคลือบไคโตแซนมีอัตราการหายใจมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (0.36-1.27 mg CO<sub>2</sub>/kg.hr) (Figure 2B) ความแน่นเนื้อของมะเขือเปราะ

ตัดแต่งมีค่าลดลงเล็กน้อยและไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันสุดท้ายมีค่าอยู่ระหว่าง 22.60-25.00 N (Figure 2C)

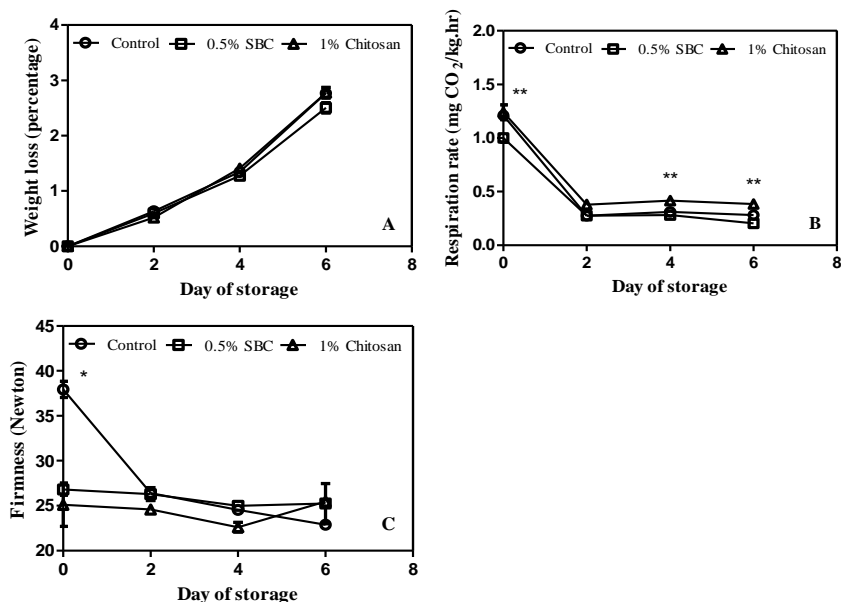
มะเขือเปราะตัดแต่งจุ่มสารละลาย SBC มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด (28.20-33.39 มก./100 กรัมน้ำหนักสด) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่มะเขือเปราะตัดแต่งที่เคลือบไคโตแซน มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดในวันแรก และมีปริมาณลดลงระหว่างการเก็บรักษาอยู่ในช่วงระหว่าง 32.62-43.72 มก./100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีค่าสูงกว่ามะเขือเปราะตัดแต่งในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 3A) สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของมะเขือเปราะตัดแต่งทุกทรีตเมนต์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยจากวันแรกถึงวันที่ 4 และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละทรีตเมนต์ (มีค่าอยู่ระหว่าง 26.66-37.13 Unit/mg protein) และในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา มะเขือเปราะที่เคลือบไคโตแซนมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มสูงมากที่สุด เท่ากับ 54.13 Unit/mg protein (Figure 3B)

### ผลของ SBC และไคโตแซนต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนในมะเขือเปราะตัดแต่ง

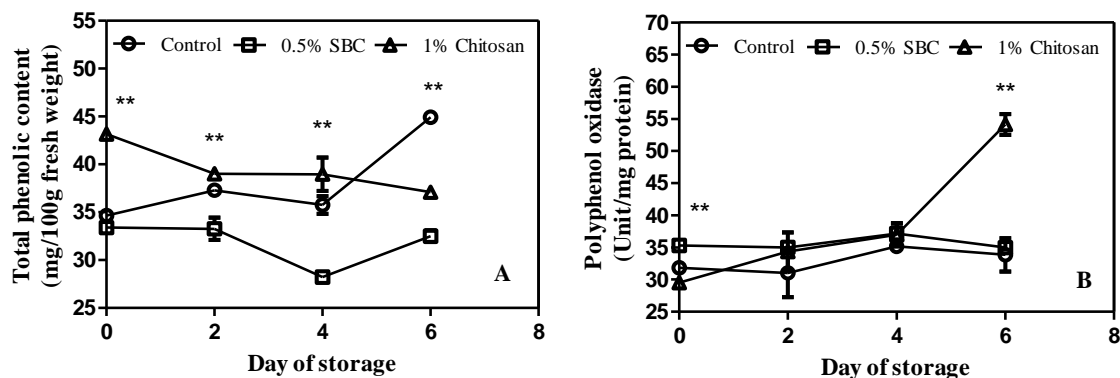
มะเขือเปราะตัดแต่งที่จุ่มในสารละลาย 0.5% SBC และการเคลือบด้วยไคโตแซน สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม ซึ่งมีปริมาณการปนเปื้อนเพียง 0.36-1.11 log<sub>10</sub> CFU/g ในขณะที่ชุดควบคุมมีการปนเปื้อนสูง เท่ากับ 2.06 log<sub>10</sub> CFU/g (Figure 4)



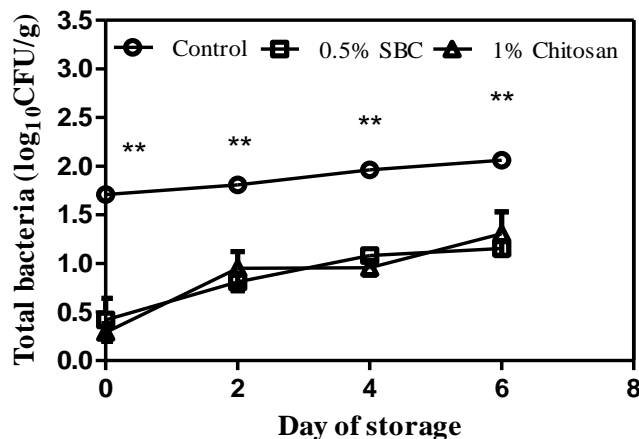
**Figure 1** Effect of sodium bicarbonate solution and chitosan coating on L\* value (A), a\* value (B), and browning index (C) of ready-to-cook eggplant during storage; Vertical bars represent the standard deviation of the means of triplicate assays. The symbols (\*) and (\*\*) showed significant differences at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$ , respectively.



**Figure 2** Effect of sodium bicarbonate solution and chitosan coating on weight loss (A), respiration rate (B), and firmness (C) of ready-to-cook eggplant during storage; Vertical bars represent the standard deviation of the means of triplicate assays; The symbols (\*) and (\*\*) showed significantly different at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$ , respectively.



**Figure 3** Effect of sodium bicarbonate solution and chitosan coating on total phenolic content (A) and polyphenol oxidase (B) of fresh-cut eggplant during storage; Vertical bars represent the standard deviation of the means of triplicate assays. The symbols (\*) and (\*\*) showed significant differences at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$ , respectively.



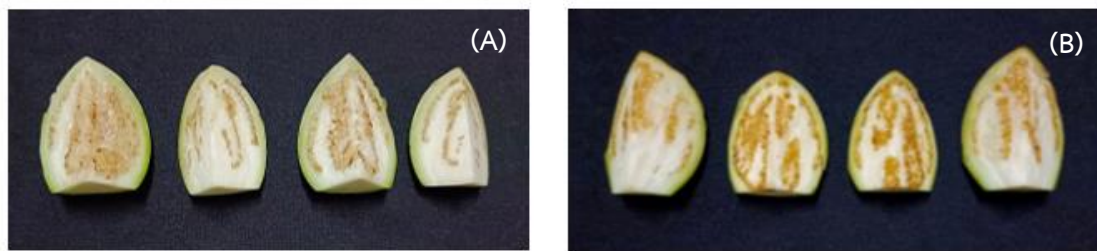
**Figure 4** Effect of sodium bicarbonate solution and chitosan coating on total bacteria of ready-to-cook eggplant during storage; Vertical bars represent the standard deviation of the means of triplicate assays. The symbols (\*) and (\*\*) showed significant differences at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$ , respectively.

## วิจารณ์ผลการวิจัย

มะเขือเปราะตัดแต่งที่ในจุ่มสารละลาย 0.5% SBC นาน 2 นาที สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ สอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมเอนไซม์ PPO ที่พบว่ามีค่าต่ำสุด ส่งผลให้มะเขือเปราะตัดแต่งมีค่าความสว่าง ( $L^*$  value) มากที่สุด มีค่าสีแดง ( $a^*$  value) และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุด ซึ่งให้ผลการทดลองเกี่ยวกับงานวิจัยของ Kumari *et al.* (2021) ที่รายงานว่า การแช่รากบัวตัดแต่งในสารละลาย SBC ความเข้มข้น 2-6% นาน 10 นาที ช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาล และมีประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลตามความเข้มข้นที่สูงขึ้น ซึ่งการศึกษาของ Fallir *et al.* (1997) พบว่าเมื่อ SCB ละลายในน้ำ จะเกิดไอออนประจุลบส่งผลให้สารละลายมีความต่างสูง (pH 8.2) ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์ PPO ซึ่งปกติจะทำงานได้ดีที่ pH 5-7 (Concellon *et al.*, 2004) สำหรับการใส่สารเคลือบไคโตแซน มีผลทำให้บริเวณรอยตัดของมะเขือเปราะปรากฏสีน้ำตาลขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์ของพืชได้รับความเสียหายจาก Acetic acid ซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายของไคโตแซน ซึ่งยืนยันได้จากการนำมะเขือเปราะตัดแต่งมาจุ่มใน Acetic acid ความเข้มข้น 0.3% พบว่าเนื้อเยื่อบริเวณรอยตัดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วภายใน 15 นาที (Figure 5) มะเขือเปราะตัดแต่งที่เคลือบไคโตแซนมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดและมีกิจกรรมเอนไซม์ PPO สูง ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อพืชได้รับบาดเจ็บจาก Acetic acid ทำให้พืชสังเคราะห์ฟีนอลิกเพิ่มขึ้น และกระตุ้นกิจกรรมเอนไซม์ PPO ให้สูงเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (Siatka and Kašparová, 2010) (Figure 3B)

มะเขือเปราะตัดแต่งที่จุ่มใน 0.5% SBC มีการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียต่ำที่สุด เนื่องจาก SBC มีค่า pH สูง (pH 8.2) และมีไอออนลบ เมื่อไปสัมผัสกับพื้นผิวของแบคทีเรีย ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียเกิดการรั่วไหล และไม่สามารถดำรงชีวิตได้ (Farha *et al.*, 2018) ในขณะที่เดียวกับการเคลือบผิวมะเขือเปราะด้วยไคโตแซนก็สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากไคโตแซนมีคุณสมบัติเป็นประจุบวก เมื่อสัมผัสกับพื้นผิวของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประจุลบ ทำให้เซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เสียสภาพ นำไปสู่การรั่วไหลของสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ ทำให้ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ (Bautista-Baños *et al.*, 2006)

การจุ่มมะเขือเปราะตัดแต่งใน SBC และการเคลือบไคโตแซนไม่สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ และความแน่นเนื้อ ของมะเขือเปราะตัดแต่งได้ เนื่องจากสารละลาย SBC ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มเหมือนไคโตแซนได้ จึงไม่สามารถช่วยลดการหายใจและการคายน้ำของพืชได้ ส่งผลให้มะเขือเปราะมีน้ำหนักสดและความแน่นเนื้อลดลง อย่างไรก็ตามพบว่า สารเคลือบไคโตแซนมีผลเร่งให้มะเขือเปราะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อมะเขือเปราะได้รับความเสียหายจาก Acetic acid ที่ใช้เป็นตัวทำละลายไคโตแซน ทำให้พืชเกิดสภาพเครียดจึงมีอัตราการหายใจสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ochoa-Velasco and Guerrero-Beltrán (2014) พบว่าไคโตแซนที่ใช้ 2.5% Acetic acid เป็นตัวทำละลาย มีผลทำให้ผลสาธิตมีอัตราการหายใจสูง ส่งผลทำให้สาธิตมีการสูญเสียน้ำหนักสดอย่างรวดเร็วในระหว่างการเก็บรักษา



**Figure 5** Ready-to-cook eggplant dipped in distilled water for 2 min (A) and 0.3% acetic acid for 2 min (B); after that, dried at room temperature for 15 min

### สรุปผลการวิจัย

การแช่มะเขือเปราะตัดแต่งใน SBC ความเข้มข้น 0.5% นาน 2 นาที สามารถช่วยรักษาค่าความสว่าง ชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลและการสะสมปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ตลอดจนช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด โดยไม่มีผลกระทบต่ออัตราการหายใจ การสูญเสียน้ำหนักสดและความแน่นเนื้อของมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุง ในขณะที่การเคลือบไคโตซาน เพิ่มการเกิดสีน้ำตาล การสะสมปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและอัตราการหายใจ อย่างไรก็ตามไคโตซานสามารถช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด และไม่มีผลกระทบต่ออัตราการสูญเสียน้ำหนักสดและความแน่นเนื้อของมะเขือเปราะตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษา

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Petchra Pra Jom Klao Master's Degree Scholarship, King Mongkut's University of Technology Thonburi ที่สนับสนุนทุนการศึกษาแก่นายพรมงคล จิระกิตติคุณ และผู้วิจัยทั้งหมดขอขอบคุณ The United Graduated School of Agricultural Science (UGSAS), Gifu University ประเทศญี่ปุ่น ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัยบางส่วนในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- Bautista-Baños, S., A.N. Hernandez-Lauzardo, M.G. Velazquez-Del Valle, M. Hernández-López, E.A. Barka, E. Bosquez-Molina and C. L. Wilson. 2006. Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. **Crop Protection** 5(2): 108-118.
- Beltran, D., M.V. Selma, J.A. Tudela and M.I. Gill. 2005. Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere or vacuum packaging. **Postharvest Biology and Technology** 37(1): 37-46.
- Benjamin N.D. and M.W. Montgomery. 1973. Polyphenol oxidase of royal ann cherries: purification and Characterization. **Journal of Food Science** 38: 799-806.

- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry** 72: 248-254.
- Cao, G., E. Sofic and R.L. Prior. 1996. Antioxidant capacity of tea and common vegetable. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 44: 3426-3431.
- Chanasut, U. and N. Rattanapanone. 2008. Screening method to measure antioxidant activities of phenolic compound extracts from some varieties of Thai eggplant. **ISHS Acta Horticulturae** 765: 291-296.
- Chumyam, A., K. Whangchai, J. Jungklang, B. Faiyue and K.J.S.A. Saengnil. 2013. Effects of heat treatments on antioxidant capacity and total phenolic content of four cultivars of purple skin eggplants. **ScienceAsia** 39: 246-251.
- Concellon, A., M.C. Anon and A.R. Chaves. 2004. Characterization and changes in polyphenol oxidase from eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) during storage at low temperature. **Food Chemistry** 88: 17-24.
- Dranca, F. and M. Oroian. 2017. Total monomeric anthocyanin, total phenolic content and antioxidant activity of extracts from eggplant (*Solanum Melongena* L.) peel using ultrasonic treatments. **Journal of Food Process Engineering** 40(1): e12312.
- Fallir, E., S. Grinberg and O. Ziv. 1997. Potassium bicarbonate reduces postharvest decay development on bell pepper fruit. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology** 72: 35-41.
- Fan, X. and W. Wang. 2022. Quality of fresh and fresh-cut produce impacted by nonthermal physical technologies intended to enhance microbial safety. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 62(2): 362-382.
- Farha, M.A., S. French, J.M. Stokes and E.D. Brown. 2018. Bicarbonate alter bacterial susceptibility to antibiotics by targeting the proton motive force. **ACS Infection Diseases** 4: 382-390.
- Geng, P., S. Chen, M. Hu, M. Rizwan-Ul-Haq, K. Lai, F. Qu and Y. Zhang. 2011. Combination of *Kluyveromyces marxianus* and sodium bicarbonate for controlling green mold of citrus fruit. **International Journal of Food Microbiology** 151: 190-194.
- Gonzalez, G.A., E. Valenzuela-Soto, J. Lizardi-Mendoza, F. Goycoolea, M.A. Martinez-Tellez, M.A. Villegas-Ochoa, I.N. Monroy-Garcia and J. F. Ayala-Zavala. 2009. Effect of chitosan coating in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya 'Maradol'. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 89(1): 15-23.

- Grzegorzewska, M., E. Badetek, M. Szczech, R. Kosson, A. Wrzodak, B. Kowalska, G. Colelli, J. Szwejda-Grzybowska and R. Maciorowski. 2022. The effect of hot water treatment on the storage ability improvement of fresh-cut Chinese cabbage. **Scientia Horticulturae** 291: 110551.
- Jiraphothithum, J., W. Kongyougyen, K. Namjaidee, P. Nartwaranun and A. Bunsiri. 2010. Effect of dipping temperatures on browning symptom of fresh-cut eggplant. **Agricultural Sciences Journal** 41(1): 440-443.
- Karim, R.R.A. and N.S. Aljarah. 2023. The inhibitory effect of sodium bicarbonate, phylex and seaweed extract against penicillium digitatum causing green rot disease in locallemon fruits. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** 1225(1): 012097. DOI: 10.1088/1755-1315/1225/1/012097
- Kumari, R., PK. More, S. Kumar, M. Sahgal, A. Kumar and A. Kumar. 2021. Optimization of pretreatment for prevention of enzymatic browning of fresh-cut lotus root slices. **Journal of AgriSearch** 8(4): 342-350.
- Labaiden, M., H. Kasai, M. Yoshimizu and S. Direkbusrakom. 2013. Elimination of *Escherichia coli* from oysters using sodium bicarbonate. **Walailak Journal of Science and Technology** 10(6): 601-606.
- Mohebbi, M.E. Ansarifar, N. Hasanpour and M.R. Amiryousefi. 2012. Suitability of aloe vera and gum tragacanth as edible coatings for extending the shelf life of button mushroom. **Food and Bioprocess Technology** 5(8): 3193-3202.
- Ochoa-Velasco, C.E. and J.A. Guerrero-Beltrán. 2014. Postharvest quality of peeled prickly pear fruit treated with acetic acid and chitosan. **Postharvest Biology and Technology** 92: 139-145.
- Palou, E., A. Lopez-Malo, G.V. Barbosa-Canovas, J. Welti-Chanes and B.G. Swanson. 1999. Polyphenol oxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. **Journal of Food Science** 64(1): 42-45.
- Peng, L., S. Yang, Q. Li, J. Jiang and D.C. Joyce. 2008. Hydrogen peroxide treatment inhibit the browning of fresh-cut Chinese water chestnut. **Postharvest Biology and Technology** 47(2): 260-266.
- Pinto, L., A. Ippolito and F. Baruzzi. 2015. Control of spoiler *Pseudomonas* spp. On fresh cut vegetable by neutral electrolyzed water. **Food Microbiology** 50: 102-108.
- Qi, H., W. Hu, A. Jiang, M. Tian and Y. Li. 2011. Extending shelf-life of fresh-cut 'Fuji' apples with chitosan coatings. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** 12: 62-66.

- Siatka, T. and M. Kašparová. 2010. Seasonal variation in total phenolic and flavonoid contents and DPPH scavenging activity of *Bellis perennis* L. flowers. **Molecules** 15(12): 9450-9461.
- Singleton, V.L., R. Orthofer and R.M. Lamuela-Raventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology** 299: 152-178.
- Suttirak, W. and S. Manurakchinakorn. 2010. Potential application of ascorbic acid, citric acid and oxalic acid for browning inhibition in fresh-cut fruit and vegetables. **Walailak Journal of Science and Technology** 7(1): 5-14.
- Teixeira, G.H.A., J.F. Durigan, R.E. Alves and T.J. O'Hare. 2008. The response of minimally processed carambola to chemical treatments and low-oxygen atmospheres. **Postharvest Biology and Technology** 48(3): 415-421.
- Xiao, Z., Y. Luo, Y. Luo and Q. Wang. 2011. Combined effects of sodium chlorite dip treatment and chitosan coatings on the quality of fresh-cut d'Anjou pears. **Postharvest Biology and Technology** 62: 319-326.
- Yildiz, G. 2018. The effect of different chemical agent on the prevention of enzymatic browning in banana. **Journal of Food Science and Engineering** 7: 91-96.

## การศึกษาคุณสมบัติของน้ำโปรตีนถั่วเขียว Study on Properties of Mung Bean Protein Waste

นิพัชรพร สภาพร\* และปรัชญา ชะอุ่มผล

Nipatcharaporn Sapapporn\* and Praty Chaumphol

โปรแกรมวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

Biology Program, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet, Thailand 62000

\*Corresponding author: nipatchkk@kpru.ac.th

Received: September 01, 2022

Revised: November 02, 2023

Accepted: January 17, 2024

### Abstract

The study on property of production waste from a vermicelli factory, which is the part obtained after the extraction process of mung bean starch. The waste was brought to dry by the freeze-drying. Then the powder was analyzed for protein, nutrients and amino acid content. The results were found to be rich in nutrients, especially 62.05 g/100g of protein, and essential amino acids such as Lysine, Phenylalanine, and Leucine. However, it was found to be contaminated with a lot of microorganisms. The powder sample was irradiated to reduce the amount of microbial contamination. After irradiation, the number of microorganisms was reduced to a level that was safe for consumers using the microbial standard of the Ministry of Public Health. Consequently, the microbial contamination isolates were investigated by nucleotide sequence analysis. It was found that there were no pathogens.

**Keywords:** mung bean protein, freeze dry, food irradiation

### บทคัดย่อ

การศึกษาคุณสมบัติของน้ำโปรตีนถั่วเขียวซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตวุ้นเส้น เป็นส่วนที่ได้หลังจากขั้นตอนการสกัดแป้งถั่วเขียว ของเหลือทิ้งนี้ถูกนำมาทำให้เป็นผงแห้งโดยวิธีการแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) จากนั้นตัวอย่างผงแห้งถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารและกรดอะมิโน พบว่าอุดมไปด้วยสารอาหารมากมาย ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนเท่ากับ 62.05 g/100g มีกรดอะมิโนจำเป็นปริมาณมาก เช่น ไลซีน ฟีนิลอะลานีน

และลิวซีน อย่างไรก็ตามโปรตีนถั่วเขียวพบปนเปื้อนจุลินทรีย์ในปริมาณมาก จึงนำผงโปรตีนไปฉายรังสี เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อน และทำการวิเคราะห์ค่าปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อนอีกครั้ง หลังการฉายรังสีพบปริมาณจุลินทรีย์ลดลงอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ทำการระบุเชื้อเชื้อจุลินทรีย์ที่พบด้วยวิธีทางชีวโมเลกุล พบว่าไม่มีเชื้อก่อโรค

**คำสำคัญ:** โปรตีนถั่วเขียว การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การฉายรังสี

## คำนำ

ถั่วเขียว (*Vigna radiata*(L.) Wilczek) เป็นหนึ่งในพืชที่สำคัญมากที่สุด นิยมปลูกกันในช่วงฤดูกลางคืน ๆ เป็นพืชตระกูลถั่วสามารถเติบโตได้ดีในฤดูร้อน ปลูกกันอย่างแพร่หลายในภูมิภาคเขตร้อน เมล็ดถั่วเขียวอุดมไปด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน แร่ธาตุ และใยอาหาร (Dahiya *et al.*, 2015; Mubarak, 2005) ซึ่งมีส่วนร่วมในการปรับสมดุลอาหารในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ถั่วเขียวยังมีกรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน ซึ่งมีฤทธิ์ต้านเบาหวาน ลดความดันโลหิต และลดความอ้วน (Tang *et al.*, 2014)

โรงงานวันเส้นคลองขลุง จังหวัดกำแพงเพชร ผลิตวันเส้นด้วยกรรมวิธีธรรมชาติด้วยการแช่ถั่วเขียวในที่มีด 1 คืน จากนั้นนำเข้าเครื่องโม่ ซึ่งน้ำโปรตีนเป็นส่วนที่แยกชั้นจากแป้งถั่วเขียว ทางโรงงานได้นำส่วนที่เป็นน้ำโปรตีนเก็บไว้ในบ่อพัก และส่งผ่านท่อให้ความร้อนทำให้โปรตีนตกตะกอน กรอง อัดเม็ด และตากแห้ง ทางโรงงานเรียกว่า โปรตีนอาหารสัตว์ ซึ่งค่อนข้างมีราคาสูง ทำให้โรงงานมีความต้องการที่เพิ่มมูลค่าจากของเหลือทิ้งดังกล่าว Hung *et al.* (2020) ศึกษาเมล็ดถั่วเขียวที่ออกภายใต้สภาวะที่ไม่มีแสง พบปริมาณสารประกอบฟีนอลและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ สารต้านอนุมูลอิสระ และการยับยั้งเอนไซม์สูงที่สุด 96 ชั่วโมง ของการงอกภายใต้สภาวะที่มีมืด การงอกของเมล็ดถั่วเขียวมีปริมาณโปรตีน 31.9 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นทั้งหมด 40.92 เปอร์เซ็นต์ สารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่ 96 ชั่วโมง อยู่ที่ 7.19 มิลลิกรัม กรดเพอรูริก/กรัมของเปลือกเมล็ด ซึ่งให้ค่าแอนตีออกซิเดนต์ 86.4 เปอร์เซ็นต์ สารยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส 72.7 เปอร์เซ็นต์ และสารยับยั้งเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส 72.9 เปอร์เซ็นต์ ถั่วเขียวมีประโยชน์ทางโภชนาการมากมาย อย่างไรก็ตามถั่วเขียวมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนอยู่มากเช่นกัน Park *et al.* (2020) พบปริมาณแบคทีเรียและยีสต์ราที่ปนเปื้อนอยู่ในถั่วอกเท่ากับ  $4.67 \times 10^7$  CFU/g

และ  $5.01 \times 10^7$  CFU/g ตามลำดับ Nagar *et al.* (2016) ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 200 ppm ร่วมกับการฉายรังสีแกมมา ความเข้มข้น 12 kGy ในการทำให้ถั่วอกปลอดเชื้อ เพื่อใช้เป็นอาหารของผู้ที่มีภูมิคุ้มกันบกพร่อง พบปริมาณเชื้อลดลงน้อยกว่า 10 CFU/g ในช่วงการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C. เป็นเวลา 12 วัน จากงานวิจัยดังกล่าวจึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มมูลค่าน้ำโปรตีนถั่วเขียวให้มากขึ้นด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) เพื่อคงคุณภาพโปรตีนถั่วเขียว ซึ่งในงานวิจัยนี้เรียกว่า โปรตีนถั่วเขียว (Mung bean protein) ลดปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อนโดยการฉายรังสี จากนั้นนำโปรตีนที่ผ่านการฉายรังสีมาวิเคราะห์ค่าการปนเปื้อนจุลินทรีย์อีกครั้ง ทำการระบุชื่อจุลินทรีย์นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภคในการนำใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีน

## วิธีดำเนินการวิจัย

### จุดเก็บตัวอย่างและการเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อพัก ณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงงานวันเส้นคลองขลุง จังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งทางโรงงานเรียกว่า บ่อพักน้ำโปรตีน ลงในขวดปลอดเชื้อ นำตัวอย่างมาผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry) เพื่อเปลี่ยนสถานะของตัวอย่างจากของเหลวเป็นของแข็ง โดยการแช่แข็งตัวอย่างที่อุณหภูมิ -80°C. เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำเข้าเครื่อง Freeze dryer ยี่ห้อ GOLD-SIM, USA ที่อุณหภูมิ -80°C. รอจนกว่าตัวอย่างแห้งจึงเก็บผงตัวอย่างในที่แห้ง

### วิเคราะห์ข้อมูลโภชนาการ

นำผงโปรตีนถั่วเขียวที่ได้หลังจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมาวิเคราะห์ข้อมูลโภชนาการ ได้แก่ ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ค่าพลังงาน ปริมาณไขมัน ค่าความชื้น ปริมาณคอลลาเจน ปริมาณกรดอะมิโน

## วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อนในโปรตีนถั่วเขียว

ซังโปรตีนถั่วเขียว 1 กรัม ลงในน้ำปลอดเชื้อ 9 มิลลิลิตร จากนั้นเจือจางให้ได้ความเข้มข้น  $10^{-2}$  บีเบตตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) ด้วยวิธีการ Spread plate บ่มที่อุณหภูมิ 37°C. เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่บ่มครบตามกำหนดแล้วคำนวณด้วยวิธีการ Standard Plate Counts (SPC)

## การฉายรังสีโปรตีนแห้ง

นำโปรตีนถั่วเขียวส่งฉายรังสี ณ ศูนย์ฉายรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เพื่อลดปริมาณเชื้อ โดยใช้รังสีแกมมา ความเข้มข้น 5 กิโลเกรย์ จากเครื่องฉายรังสีที่มีโคบอลต์-60 ( $^{60}\text{Co}$ ) หรือ ซีเซียม-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) เป็นต้นกำเนิดรังสี ระยะเวลาการฉายรังสี 4.88 ชั่วโมง

## วิเคราะห์ปริมาณเชื้อปนเปื้อนในโปรตีนถั่วเขียวหลังการฉายรังสี

### 1. การวิเคราะห์ปริมาณและระบุชื่อแบคทีเรีย

นำผงโปรตีนแห้งที่ผ่านการฉายรังสีวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธีการ Spread plate ที่ค่าเจือจาง  $10^{-1}$  ซังตัวอย่าง 1 กรัม ต่อน้ำ 9 มิลลิลิตร จากนั้นบีเบตตัวอย่าง ตัวอย่างละ 0.3, 0.3, 0.4 มิลลิลิตร ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) จำนวน 5 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิ 37°C. เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่บ่มครบตามกำหนดแล้วคำนวณด้วยวิธีการ Standard Plate Counts (SPC) จากนั้นคัดแยกลักษณะโคโลนีที่แตกต่างกัน นำไปเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ ตั้งรหัสคัดแยก จัดจำแนกแบคทีเรียที่คัดแยกได้ด้วยการย้อมสีแกรม

แบคทีเรีย ศึกษารูปร่างของแบคทีเรียและการติดสีแกรม ด้วยกล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า เพื่อระบุสายพันธุ์ พร้อมกับส่งระบุชื่อสายพันธุ์โดยวิธีทางชีวโมเลกุล (16S rRNA) ที่บริษัท MacroGen สาธารณรัฐเกาหลี

### 2. การวิเคราะห์ปริมาณและระบุชื่อเชื้อราและยีสต์

นำผงโปรตีนแห้งที่ผ่านการฉายรังสีคำนวณหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธีการ Spread plate ที่ค่าเจือจาง  $10^{-1}$  ซังตัวอย่าง 1 กรัม ต่อน้ำ 9 มิลลิลิตร จากนั้นบีเบตตัวอย่าง ตัวอย่างละ 0.3, 0.3, 0.4 มิลลิลิตร ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Dichloran Glycerol Agar (DG18) จำนวน 5 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิ 25°C. เป็นเวลา 5 วัน นำตัวอย่างที่บ่มครบตามกำหนดแล้วคำนวณด้วยวิธีการ Standard Plate Counts (SPC) จากนั้นคัดแยกลักษณะโคโลนีที่แตกต่างกัน นำไปเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ ตั้งรหัสคัดแยก จัดจำแนกเชื้อราที่มีลักษณะโคโลนีแตกต่างกันด้วยการทำสไลด์คัลเจอร์ ตรวจสอบลักษณะของเส้นใยและสปอร์ของเชื้อราด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100X และ 400X เพื่อระบุสายพันธุ์ และส่งระบุชื่อโดยวิธีทางชีวโมเลกุล (18S rRNA) ที่บริษัท MacroGen สาธารณรัฐเกาหลี

## ผลการวิจัย

การทำแห้งตัวอย่างน้ำด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็ง (Freeze dry) เป็นส่วนที่แยกชั้นจากแป้งถั่วเขียวที่พักไว้ 1 คืน ทางโรงงาน ได้นำส่วนที่เป็นน้ำนี้ไหลไปเก็บไว้ในบ่อพัก ทำการเก็บตัวอย่างน้ำใส่ในขวดปลอดเชื้อ โดยตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร จะได้ผงแห้ง 13.33 กรัม ผงแห้งมีลักษณะสีเขียวอ่อนเป็นผงร่วน (Figure 1)



Figure 1 Appearance of mung bean protein after freeze drying

ผลการวิเคราะห์ สารอาหาร กรดอะมิโน และ คอลลาเจน ในผงโปรตีนถั่วเขียวหลังจากการทำแห้ง ด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) แสดงดัง Table 1 ข้อมูลโภชนาการของโปรตีนที่ผ่านการแช่ เยือกแข็ง ปริมาณถั่วและปริมาณคาร์โบไฮเดรตในโปรตีน ถั่วเขียว เท่ากับ 8.42 และ 13.66 g/100g ตามลำดับ ให้ ค่าพลังงานและปริมาณไขมัน เท่ากับ 331.82 Kcal/100g และ 3.22 g/100g ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนเท่ากับ 62.05 g/100g แสดงให้เห็นว่าน้ำโปรตีน ซึ่งเป็นของ เหลือทิ้งจากโรงงานวันเส้นอุคมไปด้วยโปรตีน ซึ่งมีมูลค่า ทางเศรษฐกิจอย่างมาก

โปรตีนถั่วเขียวมีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็น หลากหลายชนิด เช่น ไลซีน ฟีนิลอะลานีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน โดยพบไลซีนปริมาณมาก เท่ากับ 15,914 mg/100g ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ ฟีนิลอะลานีนและ ลิวซีน เท่ากับ 9,289 และ 7,564 mg/100g ตามลำดับ ซึ่งไลซีน ฮิสทิดีน และเมทไธโอนีน เป็นกรดอะมิโนที่พบ ได้น้อยในธัญพืชอื่น ๆ เช่น ข้าวสาลี และข้าวบาร์เลย์ แต่ในโปรตีนถั่วเขียวพบปริมาณของไลซีน ฮิสทิดีน และ เมทไธโอนีน เท่ากับ 15,914, 3,886 และ <20 mg/100g

ตามลำดับ แสดงว่าวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) ช่วยคงคุณค่าของกรดอะมิโนจำเป็น ไว้ได้ จากการวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน พบคอลลาเจน ในปริมาณน้อย ดังนั้นการที่จะนำโปรตีนถั่วเขียวทำเป็น อาหารเสริมด้านความงามจึงมีความเป็นไปได้ค่อนข้าง น้อย ยกเว้นการนำผงโปรตีนไปใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีน ซึ่งมีความเป็นไปได้มากกว่า

ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนเชื้อ (Table 2) พบ ปริมาณเชื้อปนเปื้อนในตัวอย่างโปรตีนถั่วเขียวเท่ากับ  $3.27 \times 10^4$  CFU/g ซึ่งมีเชื้อปนเปื้อนในปริมาณ มาก คาดการณ์ว่ามาจากเมล็ดถั่วเขียว สอดคล้องตามผลการ รายงานปริมาณแบคทีเรียและยีสต์ราในถั่วงอกเท่ากับ  $4.67 \times 10^7$  CFU/g และ  $5.01 \times 10^7$  CFU/g ตามลำดับ (Park et al., 2020) จึงได้นำโปรตีนถั่วเขียวไปฉายรังสี พบปริมาณเชื้อปนเปื้อนลดลงมากกว่า 1,800 เท่า แต่ อย่างไรก็ตามการฉายรังสีที่ความเข้มข้น 5 KGay เป็น ความเข้มข้นรังสีที่กฎหมายกำหนดให้ใช้กับอาหาร (ศูนย์ ฉายรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ) ซึ่งเป็น ความเข้มข้นรังสีที่ไม่สามารถทำให้โปรตีนถั่วเขียว ปราศจากเชื้อได้ทั้งหมด พบแบคทีเรียที่มีลักษณะ

แตกต่างกัน 7 รูปแบบ และเชื้อราที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 รูปแบบ

โปรตีนถั่วเขียวที่ผ่านการฉายรังสีถูกนำมาวิเคราะห์เชื้อแบคทีเรียที่ปนเปื้อน พบแบคทีเรีย 7 ลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนี้ รหัสเชื้อ Yel-bac ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อกลมสีเหลือง ลักษณะเซลล์รูปท่อนติดสีแดงแกรมลบ ระบุชื่อ *Sphingomanas dokdonensis* รหัสเชื้อ Lingor-bac ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อกลมสีส้มอ่อน ลักษณะเซลล์ได้ก้างจุลทรรศน์รูปท่อนติดสีม่วงแกรมบวก ระบุชื่อ *Deinococcus ficus* รหัสเชื้อ Milk-bac ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อกลมเล็กสีขาวขุ่น ลักษณะเซลล์ได้ก้างจุลทรรศน์ก่อตัวเป็นฟอรัมคล้ายองุ่นติดสีม่วง

แกรมบวก ระบุชื่อ *Staphylococcus Warneri* รหัสเชื้อ Rwhit-bac ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อกลมไม่เรียบสีขาวขุ่น ลักษณะเซลล์ได้ก้างจุลทรรศน์รูปท่อนติดสีม่วงแกรมบวก ระบุชื่อ *Bacillus cereus*

รหัสเชื้อ Sour-bac ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อกลมสีส้มเข้ม ลักษณะเซลล์ได้ก้างจุลทรรศน์รูปท่อนติดสีม่วงแกรมบวก ระบุชื่อ *Gordonia terrae* รหัสเชื้อ Whitcer-bac ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อกลมเรียบสีขาวขุ่น ลักษณะเซลล์ได้ก้างจุลทรรศน์รูปท่อนติดสีม่วงแกรมบวก ระบุชื่อ *Bacillus xiamenensis* รหัสเชื้อ Wk-bac ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อกลมเรียบสีขาวขุ่น ลักษณะเซลล์ได้ก้างจุลทรรศน์รูปท่อนติดสีแดงแกรมลบ ระบุชื่อ *Acinetobacter variabilis*

**Table 1** Proximate analysis and amino acid composition of freeze dry mung bean protein

Proximate analysis	Mung bean protein	Unit
Ash	8.42	g/100g
Carbohydrate	13.66	g/100g
Energy	331.82	Kcal/100g
Fat	3.22	g/100g
Moisture	12.65	g/100g
Protein	62.05	g/100g
Collagen	<20	mg/100g

**Table 1** (Continued)

Proximate analysis	Mung bean protein	Unit
<b>Amino Acid Profile</b>		
Alanine	1,546	mg/100g
Aspartic acid	3,436	mg/100g
Cystine	1,009	mg/100g
Glutamic acid	7,511	mg/100g
Glycine	906	mg/100g
Histidine	3,886	mg/100g
Hydroxylysine	<20	mg/100g
Hydroxyproline	<20	mg/100g
Isoleucine	5,268	mg/100g
Leucine	7,564	mg/100g
Lysine	15,914	mg/100g
Methionine	<20	mg/100g
Phenylalanine	9,289	mg/100g
Proline	1,481	mg/100g
Serine	630	mg/100g
Threonine	408	mg/100g
Tryptophan	-	mg/100g
Tyrosine	4,126	mg/100g
Valine	3,190	mg/100g

**Table 2** Total plate count in freeze dry mung bean protein

Mung bean protein	Total microorganisms	CFU/g	Isolated name	Identified name by sequencing
Before radiation	Total plate count	3.27×10 <sup>4</sup>	-	-
After radiation (5 KGay)	Total plate count	1.80×10 <sup>1</sup>	Yel-bac	<i>Sphingomonas dokdonensis</i>
			Lingor-bac	<i>Deinococcus ficus</i>
			Milk-bac	<i>Staphylococcus Warneri</i>
			Rwhit-bac	<i>Bacillus cereus</i>
			Sour-bac	<i>Gordonia terrae</i>
			Whitecer-bac	<i>Bacillus xiamenensis</i>
			Wk-bac	<i>Acinetobacter variabilis</i>
	Total Yeast & Mold count	1.00×10 <sup>1</sup>	A01	<i>Aspergillus fumigatus</i>
			B02	Unknow B02
			C03	<i>Cladosporium sp.</i>

โปรตีนถั่วเขียวที่ผ่านการฉายรังสีถูกนำมาวิเคราะห์เชื้อราที่ปนเปื้อน พบเชื้อรา 3 ลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนี้ รหัสเชื้อ A01 ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อเส้นใยเชื้อราสีเขียวย สปอร์มีลักษณะสีเขียวอ่อนลักษณะเซลล์ได้กล้องจุลทรรศน์มีก้านชูสปอร์ กระจุกสปอร์ และสปอร์ ระบุชื่อ *Aspergillus fumigatus* รหัสเชื้อ B02 ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อเส้นใยเชื้อราสีเหลือง สปอร์มีลักษณะสีขาวลักษณะเซลล์ได้กล้องจุลทรรศน์มีก้านชูสปอร์ และสปอร์ และรหัสเชื้อ C03 ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อเส้นใยเชื้อราสีเขียวย สปอร์มีลักษณะสีขาว ลักษณะเซลล์ได้กล้องจุลทรรศน์มีก้านชูสปอร์และสปอร์ ระบุชื่อ *Cladosporium sp.*

### วิจารณ์ผลการวิจัย

โปรตีนถั่วเขียวที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งมีลักษณะสีเขียวอ่อนเป็นผงร่วน สอดคล้องกับคุณสมบัติของการทำแห้งด้วยกระบวนการ Freeze drying โครงสร้างจะมีรูพรุนเกิดจากการก่อตัวของผลึกน้ำแข็ง

ระหว่างขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีประภายระเหยระเหย Brishti *et al.* (2020) กล่าวว่าโปรตีนถั่วเขียวนี้อาจสามารถนำไปทำเป็นสารทดแทนเนื้อสัตว์ได้ โดยศึกษาการทำแห้ง 3 รูปแบบ พบค่าโปรตีนที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง ให้ค่าโปรตีนมากกว่าการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) และการทำแห้งแบบลมร้อน (Hot-air oven drying)

งานวิจัยของ Hung *et al.* (2020) รายงานว่าในถั่วเขียวมีปริมาณแอสปาทิก ไกลซีน และไลซีน เป็นกรดอะมิโนหลักสามตัว ซึ่งมีมากกว่า 10% แต่จากผลการทดลองพบว่าโปรตีนถั่วเขียวมีกรดอะมิโนหลากหลายชนิด โดยไลซีนมีปริมาณมากกว่าแอสปาทิกประมาณ 4.5 เท่า และมีปริมาณมากกว่าไกลซีนประมาณ 17 เท่า อาจเนื่องด้วยกรรมวิธีการสกัดแบ่งของโรงงานเป็นวิธีการสกัดแบ่งด้วยวิธีธรรมชาติ กรดอะมิโนที่จำเป็นจึงถูกรักษาไว้ได้ในปริมาณมาก

ปริมาณเชื้อปนเปื้อนในตัวอย่างโปรตีนถั่วเขียวพบปริมาณมาก เท่ากับ 3.27×10<sup>4</sup> CFU/g จากการรายงานของ Peles *et al.* (2012) เมล็ดถั่วเขียวมีปริมาณ

จุลินทรีย์อยู่ระหว่าง 3-7 log CFU/g หรือ  $10^3$ - $10^7$  CFU/g และค่าดังกล่าวสามารถเพิ่มสูงขึ้นได้ในช่วงการออกจนถึง 11 log CFU/g (Prokopowich and Blank, 1991) การปนเปื้อนของเชื้อเนื่องมาจากสภาวะเหมาะสมในการเจริญ เช่น ค่า pH อุณหภูมิ ค่าน้ำอิสระ (Bayer *et al.*, 2014) เมื่อนำโปรตีนถั่วเขียวไปฉายรังสีเพื่อลดปริมาณการปนเปื้อน พบว่าวิธีการฉายรังสีช่วยควบคุมค่าสารอาหารของโปรตีนถั่วเขียวไว้ได้ ในขณะที่ปริมาณเชื้อปนเปื้อนในโปรตีนถั่วเขียวลดลง การลดปริมาณเชื้อปนเปื้อนด้วยวิธีการฉายรังสีจึงเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับให้ใช้กับอาหารสำหรับผู้ป่วยที่มีภูมิคุ้มกันบกพร่อง ซึ่งเป็นกลุ่มคนที่จำเป็นต้องได้รับอาหารที่มีความสะอาดปราศจากเชื้อมากกว่ากลุ่มคนทั่วไป (Lacumin *et al.*, 2017)

งานวิจัยครั้งนี้ใช้การฉายรังสี เพื่อลดปริมาณการปนเปื้อน ที่ความเข้มข้น 5 กิโลเกรย์ เป็นเวลา 4.88 ชั่วโมง เมื่อนำตรวจหาการปนเปื้อนบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA พบค่าปริมาณการปนเปื้อนลดลงเหลือเท่ากับ  $1.8 \times 10^1$  CFU/g แบคทีเรียที่พบในโปรตีนหลังผ่านการฉายรังสี ได้แก่ *Sphingomonas dokdonensis* แบคทีเรียสายพันธุ์แกรมลบ รูปแท่ง เชื้อ *Sphingomonas dokdonensis* ปนเปื้อนจากดิน ซึ่งไม่อยู่ในรายชื่อเชื้อก่อโรคของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563) *Deinococcus fucus* ลักษณะโคโลนีสีส้มอ่อน รูปท่อนแกรมบวก *Deinococcus* อยู่รอดได้เมื่อ DNA ของพวกมันสัมผัสกับรังสีแกมมาและรังสียูวีในปริมาณสูง ซึ่ง *D. fucus* ไม่อยู่ในรายชื่อเชื้อก่อโรคของประกาศกระทรวงสาธารณสุข *Staphylococcus warneri* ลักษณะโคโลนี กลมเล็ก สีขาวขุ่น ก่อตัวเป็นฟอร์มคล้ายยุงแกรมบวก *Staphylococcus* เป็นสกุลของแบคทีเรียแกรมบวก ภายใต้อกิลลิจุลทรศน์จะมีลักษณะกลม (Cocci) และก่อตัวเป็นกลุ่มคล้ายยุง สกุล *Staphylococcus* มีอย่างน้อย 40 สปีชีส์ ส่วนใหญ่ไม่เป็นอันตรายและอาศัยอยู่ตามปกติบนผิวหนังของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

*Staphylococcus warneri* เป็นสมาชิกของแบคทีเรียสกุล *Staphylococcus* ซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรียแกรมบวกที่มีเซลล์ทรงกลมปรากฏในกระจุก *S. warneri* ไม่ค่อยทำให้เกิดโรค แต่บางครั้งอาจทำให้เกิดการติดเชื้อในผู้ป่วยที่มีระบบภูมิคุ้มกันบกพร่อง ซึ่งไม่อยู่ในรายชื่อเชื้อก่อโรคของประกาศกระทรวงสาธารณสุข *Bacillus cereus* ลักษณะโคโลนีสีขาวขุ่น รูปท่อน แกรมบวก สร้างสปอร์ และสร้างสารพิษ ซึ่งจะขับสารพิษออกมาขณะปนเปื้อนอยู่ในอาหาร อาการอาเจียนมักเกิดจากการได้รับสารพิษชนิดที่มีความคงทน สามารถมีชีวิตรอดได้ในอุณหภูมิสูงและค่าความเป็นกรด-ด่างสูง โดยผู้ป่วยจะเกิดอาการคลื่นไส้และอาเจียน ภายหลังจากการบริโภคอาหารที่มีสารพิษเข้าไป 11-15 ชั่วโมง โดยทั่วไปอาการจะทรงอยู่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ในดิน ฝุ่นละออง ผลิตภัณฑ์จากพืช เช่น ข้าว ธัญพืช แป้ง ผลิตภัณฑ์จาก เครื่องเทศ ผลิตภัณฑ์จากสัตว์ และเครื่องปรุงแต่งรสต่าง ๆ เชื้อชนิดนี้อยู่ในรายชื่อเชื้อก่อโรคของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ชนิดเข้มข้นหรือชนิดแห้ง สำหรับเครื่องดื่มธัญพืชและน้ำนมถั่วเหลือง สามารถพบ *B. cereus* แต่ต้องไม่เกิน 100 ใน 1 กรัม (CFU/g) ถ้าสังเกตจากปริมาณเชื้อทั้งหมดของโปรตีนถั่วเขียวหลังจากฉายรังสี เท่ากับ 18 CFU/g ดังนั้นโปรตีนถั่วเขียวฉายรังสีจึงผ่านมาตรฐานจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค *Gordonia terrae* ลักษณะโคโลนีกลมสีส้มเข้ม ลักษณะรูปท่อนแกรมบวก สายพันธุ์ *Gordonia* อาศัยอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมและมักพบในดินและน้ำ ไม่พบ *G. terrae* อยู่ในรายชื่อเชื้อก่อโรคของประกาศกระทรวงสาธารณสุข *Bacillus xiamenensis* ลักษณะโคโลนีกลมสีขาวขุ่น ลักษณะรูปท่อนแกรมบวก เคลื่อนที่ได้โดยแฟลกเจลลาได้ขั้ว ซึ่ง *B. xiamenensis* ไม่อยู่ในรายชื่อเชื้อก่อโรคของประกาศกระทรวงสาธารณสุข *Acinetobacter variabilis* ลักษณะโคโลนี กลมสีขาวขุ่น ลักษณะรูปท่อนแกรมลบ และไม่อยู่ในรายชื่อเชื้อก่อโรคของประกาศกระทรวงสาธารณสุข

เชื้อราที่พบในผงโปรตีนหลังผ่านการฉายรังสี ทำการคัดแยกด้วยวิธีการตัดเส้นใย และศึกษาลักษณะ สัมฐานวิทยาด้วยวิธีการ Slide culture เชื้อที่พบ ได้แก่ *Aspergillus fumigatus* ลักษณะเส้นใยเชื้อราที่มีสีเขียว สปอร์มีลักษณะสีเขียวอ่อน *A. fumigatus* และไม่อยู่ในรายชื่อเชื้อก่อโรคของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563) *Cladosporium* sp. ลักษณะเส้นใยเชื้อราที่มีสีเขียว สปอร์ มีลักษณะสีขาว *Cladosporium* เป็นราที่พบแพร่กระจาย อยู่ทั่วไป พบในพืชทุกชนิด รา และเศษซากพืชผักแยกได้จากดิน อาหาร สี สิ่งทอ และเศษซากอินทรีย์วัตถุ หรือจากโคลนของรา และไม่อยู่ในรายชื่อเชื้อก่อโรคของ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

การลดเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ ผงโปรตีนถั่วเขียวสามารถดำเนินการได้ โดยการควบคุม กระบวนการผลิตโปรตีนถั่วเขียวภายในโรงงานให้ได้ตาม สุขลักษณะ จะช่วยลดปริมาณเชื้อตั้งต้น ทำให้ ประสิทธิภาพการทำลายจุลินทรีย์ปนเปื้อนโดยการฉาย รังสีสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการนำโปรตีนถั่วเขียวไปใช้เป็น ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมโปรตีน ในรูปแบบของเครื่องดื่ม ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ชนิดเข้มข้นหรือชนิดแห้ง ยังคง ต้องอาศัยการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอีกหลาย ๆ ด้าน เช่น การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ การพัฒนารสชาติ การแต่งกลิ่น เป็นต้น

### สรุปผลการวิจัย

โปรตีนถั่วเขียวมีสารอาหารที่หลากหลาย โดยเฉพาะโปรตีนและกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย อยู่มาก การนำโปรตีนถั่วเขียวไปใช้ในด้านอาหารเสริม โปรตีนเพื่อสุขภาพจึงมีความเป็นไปได้ ซึ่งจะต้องมีการ ควบคุมกระบวนการผลิตและลดการปนเปื้อนโดยวิธีการ ฉายรังสี จากผลการคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในโปรตีน ถั่วเขียวที่ผ่านการฉายรังสีแล้ว พบแบคทีเรียแกรมบวก จำนวน 5 ชนิด ระบุชื่อแล้ว 5 ชนิด ได้แก่ *Deinococcus*

*ficus*, *Gordonia*, *terrae*, *Staphylococcus warneri*, *Bacillus cereus*, *Bacillus xiamenensis* แบคทีเรีย แกรมลบ ระบุชื่อแล้ว 2 ชนิด คือ *Sphingomonas dokdonensis* และ *Acinetobacter variabilis* เชื้อรา ระบุชื่อแล้ว 2 ชนิด ได้แก่ *Aspergillus fumigatus* และ *Cladosporium* sp. ยังไม่ได้ระบุชื่อ 1 ชนิด ได้แก่ Unknow B02 เมื่อจัดโปรตีนถั่วเขียวอยู่ในกลุ่มเครื่องดื่ม ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ชนิดเข้มข้นหรือชนิดแห้ง สำหรับเครื่องดื่มธัญพืชและน้ำนมถั่วเหลือง สามารถพบ *B. cereus* ในผลิตภัณฑ์ได้ แต่ต้องไม่เกิน 100 ใน 1 กรัม (CFU/g) จากปริมาณเชื้อทั้งหมดของโปรตีนถั่วเขียว หลังจากฉายรังสี เท่ากับ 18 CFU/g ดังนั้นโปรตีนถั่วเขียว ฉายรังสีจึงผ่านมาตรฐานจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563)

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงงานวันเส้น คลองขลุง กำแพงเพชร และศูนย์วิทยาศาสตร์และ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในการสนับสนุน งบประมาณในการทำวิจัยนี้

### เอกสารอ้างอิง

Bayer, C., H. Bernard, R. Prager, W. Rabsch, P. Hiller, B. Malorny, B. Pfefferkorn, C. Frank, A. de Jong, I. Friesema, K. Stark, and Bm. Rosner. 2014. An outbreak of *Salmonella* Newport associated with mung bean sprouts in Germany and The Netherlands, October to November 2011. **Eurosurveillance** 19(1): 20665. DOI: 10.2807/15607917.es2014.19.1.20665

- Brishti, F.H., S.Y. Chay, K. Muhammad, M.R. Ismail-Fitry, M. Zarei, S. Karthikeyan, and N. Saari. 2020. Effects of drying techniques on the physicochemical, functional, thermal, structural and rheological properties of mung bean (*Vigna radiata*) protein isolate powder. **Food Research International** 138: 1-13.
- Dahiya, P.K., AR. Linnemann, M.A.J.S. Van Boekel, N. Khetarpaul, R.B. Grewal and M.J.R. Nout. 2015. Mung bean: technological and nutritional potential. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 55(5): 670-688.  
DOI: 10.1080/10408398.2012.671202.
- Hung, P.V., N.T.H. Yen, N.T.L. Phi, N.P.H. Tien, N.T.T. Trung. 2020. Nutritional composition, enzyme activities and bioactive compounds of mung bean (*Vigna radiata* L.) germinated under dark and light conditions. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie** 133: 1-8.
- Lacumin, L., F. Ginaldi, D. Andyanto, and C. Giuseppe. 2017. Microbial quality of raw and ready-to-eat mung bean Sprouts Produced in Italy. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**. 3(1): 555601.  
DOI: 10.19080/NFSIJ.2017.03.555601
- Mubarak, A.E. 2005. Nutritional composition and antinutritional factors of mung bean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes. **Food Chemistry** 89: 489-495.
- Nagar, V., L.P. Godambe and R. Shashidhar. 2016. Development of microbiologically safe mung bean sprouts using combination treatment of sodium hypochlorite and gamma radiation. **International Journal of Food Science and Technology** 51: 595-601.
- Park, H., P. Puligundla and C. Mok. 2020. Microbial decontamination of mung bean sprouts using electrolyzed water and its effects on the physicochemical and sensory properties of the sprouts. **Chiang Mai Journal of Science** 47(1): 28-38.
- Peles, F. Z. Gy<sup>Ó</sup>ri, T. Bácskai, Zs. Szabó, M. Murvai, B. Kovács. 2012. Microbiological quality of organic wheat grains and sprout. **Analele Universitatii din Oradea, Fascicula Protectia Mediului XVIII**: 53-60.
- Prokopowich, D. and G. Blank. 1991. Microbiological evaluation of vegetable sprouts and seeds. **Journal of Food Protection** 54(7): 560-562.
- Tang, D., Y. Dong, H. Ren, L. Li, and C. He. 2014. A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common food mung bean and its sprouts (*Vigna radiata*). **Chemistry Central Journal** 8(1): 1752-1753.

## การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟ

### Development of Ready-to-Eat Cassava Crackers by Microwave

วงศ์ผกา วงศ์รัตน์\* กมลพร มีหนองใหญ่ ชนิตา ประสิทธิ์กาญจน์ ณัฐริกา สัปคง และสยุมพร รัตนพันธ์

Wongphaka Wongrat\*, Kamolpron Menongyai, Chanita Prasitkan

Nattarika Supakong and Sayumporn Rattanapan

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus

Nakorn Prathom, Thailand 73140

\*Corresponding author: fengwkw@ku.ac.th

Received: July 01, 2023

Revised: March 15, 2024

Accepted: April 10, 2024

#### Abstract

When the semi-product of cassava crackers is heated up until the water contained in the crackers boils, collective pressure builds up until the surface of semi-products cannot sustain it. This leads to the explosion of the puffing, which is an important characteristic of the cassava crackers. This research aimed to develop ready-to-eat cassava crackers using a microwave as a substitute for conventional deep-frying, eliminating the need for using oil as a heating medium. The study focused on three main aspects; 1) the effect of moisture content on the puffing of semi-product crackers, 2) the effect of continuous and intermittent heating methods on the puffing of semi-product crackers packed in craft-paper packaging, and 3) the effect of packaging sizes and shapes on the puffing of ready-to-eat cassava crackers.

The results showed that the optimum moisture content of semi-product crackers for achieving the best puffing was 9.08% (wet basis), resulting in a volume expansion of 852%. The best preparation method for puffing 15 semi-product crackers, packed in craft-paper packaging with a volume of 1,646.88 cm<sup>3</sup>, was found to be using a microwave power of 800 watts and applying two intermittent heating periods. The first period involved heating the package for 40 seconds in the microwave oven, followed by removing the package and shaking it for approximately 5 seconds. Subsequently, the package was continually heated for the second period for 25 seconds in the microwave oven. The results also showed that the sizes and shapes of the packaging affected the puffing of ready-to-eat cassava crackers when intermittent heating was applied.

**Keywords:** cassava crackers, ready-to-eat product, microwave, puffing

## บทคัดย่อ

ข้าวเกรียบมันสำปะหลังกึ่งสำเร็จรูปเมื่อได้รับความร้อนเพียงพอจะทำให้ให้น้ำในข้าวเกรียบเดือดเกิดความดันสะสมจนผิวของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปไม่สามารถรับแรงดันได้ เกิดการพองตัวซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของข้าวเกรียบมันสำปะหลัง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟ แทนวิธีการทอดในน้ำมันท่วมแบบดั้งเดิม ทำให้ไม่ต้องใช้น้ำมันเป็นตัวกลางให้ความร้อน โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาใน 3 ประเด็นหลัก คือ 1) ผลของความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ 2) ผลของวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องต่อการพองตัวของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์ และ 3) ศึกษาผลของขนาดและรูปร่างของบรรจุภัณฑ์ต่อการพองตัวของข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทาน

ผลการศึกษาพบว่าความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ทำให้ข้าวเกรียบพองตัวมากที่สุด คือ 9.08% (ฐานเปียก) ข้าวเกรียบมีการพองตัว 852% วิธีการอบพองข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปจำนวน 15 ชั้นที่เหมาะสมที่สุดในบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์ที่มีปริมาตร 1,646.88 ลบ.ซม. คือ การให้ความร้อนที่กำลังไมโครเวฟ 800 วัตต์แบบไม่ต่อเนื่องโดยแบ่งเป็นสองช่วง ช่วงแรกเป็นการให้ความร้อนในเตาอบไมโครเวฟ 40 วินาที ตามด้วยการนำถุงบรรจุภัณฑ์ออกมาเขย่าประมาณ 5 วินาที แล้วนำถุงบรรจุภัณฑ์ไปให้ความร้อนต่อในเตาอบไมโครเวฟช่วงที่สอง 25 วินาที จากผลการศึกษายังพบว่าขนาดและรูปร่างของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทาน สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง

**คำสำคัญ:** ข้าวเกรียบมันสำปะหลัง ผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทาน ไมโครเวฟ การพองตัว

## คำนำ

ข้าวเกรียบเป็นขนมขบเคี้ยวชนิดหนึ่งที่มีแปงเป็นส่วนประกอบหลักและมีส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น เนื้อสัตว์ ผัก กระเทียม พริกไทย เกลือ น้ำตาล เพื่อเพิ่มรสชาติของข้าวเกรียบให้หลากหลาย โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตข้าวเกรียบ เนื่องจากผลิตได้มากในประเทศไทย ราคาไม่สูง และมีอัตราการพองตัวสูงเพราะมีปริมาณอะมิโลสต่ำและมีอะมิโลเพกทินสูง (Rattanapan and Inprasit, 2018) โดยปกติการรับประทานข้าวเกรียบจะนำแผ่นข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปมาทอดแบบน้ำมันท่วมทำให้มีปริมาณน้ำมันสะสมในข้าวเกรียบได้สูงถึง 35% (Shachat and Raphael, 1990) ซึ่งหากรับประทานในปริมาณที่มากเกินไปจะเกิดไขมันสะสมในร่างกายและมีความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยจากโรคต่าง ๆ เช่น โรคอ้วน โรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น (Trachoo, 2019) จากสาเหตุดังกล่าวทำให้มีนักวิจัยทำการศึกษาวิธีการอบพองข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปด้วยไมโครเวฟแทนการทอดแบบน้ำมันท่วม Panomwan (2009) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งข้าวผสมแคโรทสำหรับอบพองด้วยไมโครเวฟ Chedoloh and Chehmalee (2019) ศึกษาผลของกำลังคลื่นไมโครเวฟและระยะเวลาอบพองต่อคุณภาพข้าวเกรียบปลา กึ่งสำเร็จรูป Nguyen *et al.* (2013) ศึกษาผลของความชื้นและปริมาณน้ำมันในแผ่นข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเกรียบหลังอบพองด้วยไมโครเวฟ

การอบพองข้าวเกรียบด้วยไมโครเวฟเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของของน้ำและองค์ประกอบอื่นที่มีสมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric property) ในแผ่นข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปเกิดการหมุนสลับขั้วไปมาตามความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ (2,450 เมกะเฮิร์ตซ์) เกิดความเสียดทานจนเกิดเป็นความร้อน เมื่อมีปริมาณความร้อนเพียงพอจะทำให้ให้น้ำในข้าวเกรียบเดือด เกิดความดันสะสมจนผิวของ

ข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปไม่สามารถรับแรงดันได้จึงเกิดการพองตัวซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของข้าวเกรียบ จากงานวิจัยที่ศึกษาในเรื่องการอบพองข้าวเกรียบด้วยไมโครเวฟ (Panomwan, 2009; Nguyen *et al.*, 2013; Chedoloh and Chehmalee, 2019) พบว่าข้าวเกรียบที่อบพองด้วยไมโครเวฟมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และผู้บริโภคมีความสนใจและยอมรับแนวคิดข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่อบพองด้วยไมโครเวฟ เนื่องจากมีความสะดวกและไม่ยุ่งยากในการอบพอง เหมาะสำหรับเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวสำหรับผู้รักสุขภาพ เนื่องจากมีปริมาณไขมันต่ำ อย่างไรก็ตามรูปแบบการศึกษาการอบพองของข้าวเกรียบในไมโครเวฟของงานวิจัยที่ผ่านมาเน้นการศึกษาหาวิธีอบพองข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ละชิ้นหรือหลายชิ้น นอกบรรจุกฎเกณฑ์ในเตาอบไมโครเวฟซึ่งยังไม่สะดวกสำหรับผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟในบรรจุภัณฑ์ โดยทำการศึกษาใน 3 ประเด็นหลัก คือ 1) ผลของความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ 2) ผลของวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องต่อการพองตัวของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์ และ 3) ศึกษาผลของขนาดและรูปร่างของบรรจุภัณฑ์ต่อการพองตัวของข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทาน เพื่อให้ได้องค์ความรู้และแนวทางการระบุข้อมูลวิธีการอบพองข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปบนฉลากบรรจุภัณฑ์ ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟต่อไป

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### การเตรียมแผ่นข้าวเกรียบมันสำปะหลังกึ่งสำเร็จรูป

วัตถุดิบในการทำแผ่นข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูป คือ แป้งมันสำปะหลังตราปลาไทย ส่วนประกอบอื่น ๆ กำหนดเป็น % น้ำหนักของแห้งต่อน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง ดังนี้ เกลือ 2% ผงกระเทียม 2% น้ำตาลทราย

2% พริกไทยปน 0.5% นำมาผสมให้เข้ากันก่อนจะนำไปนวดในเครื่องนวดผสมกับน้ำร้อนในสัดส่วน 37.5% ต่อ น้ำหนักทั้งหมด จากนั้นนำมาแบ่งขึ้นรูปเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นรอบวง 15 ซม. ความยาว 8 ซม. แล้วนำไปนึ่งเป็นเวลา 1 ชม. พักให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ก่อนนำไปแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 16-17°C. เป็นเวลา 12 ชม. แล้วนำมาหั่นเป็นแผ่นหนา 2 มม. นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C. ที่ระยะเวลาการอบแห้ง 210, 240, 270, 300 และ 330 นาที เพื่อนำไปศึกษาผลของความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ

#### การศึกษาสมบัติทางกายภาพของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปต่อการพองตัว

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปต่อการพองตัว โดยนำข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมได้หลังจากอบแห้งที่ระยะเวลาต่าง ๆ ไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (ฐานเปียก) รวมทั้งนำตัวอย่างข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ระดับความชื้นต่าง ๆ ไปอบพองด้วยไมโครเวฟยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น ME731KD ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นระยะเวลา 50 วินาที เพื่อนำไปหาเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเชิงปริมาตรและค่าความแข็งวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยระยะเวลาอบแห้งข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปเป็นระดับปัจจัยที่ใช้ศึกษาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (ฐานเปียก) %การขยายตัวเชิงปริมาตร และค่าความแข็งเป็นผลของปัจจัยที่ศึกษาตามลำดับ

**ปริมาณความชื้น** ความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปหาจากวิธีการอบลมร้อน (AOAC, 1990) โดยเตรียมตัวอย่างข้าวเกรียบ 2 กรัม ( $W_1$ ) บดเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 135°C. เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พักให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วทำการชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบต่อจนได้น้ำหนักคงที่ ( $W_2$ ) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (ฐานเปียก) จากสมการ (1) ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

$$\% \text{ความชื้น (ฐานเปียก)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่  $W_1$  คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง (กรัม)

$W_2$  คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบแห้ง (กรัม)

**การขยายตัวเชิงปริมาตร** การพองตัวของข้าวเกรียบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเชิงปริมาตรด้วยวิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงาในภาชนะทรงกระบอกที่ทราบปริมาตร (Nguyen *et al.*, 2013; Rattanapan and Inprasit, 2018; Chedoloh and Chehmalee, 2019) โดยเริ่มจากการหาปริมาตรของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูป ( $V_1$ ) หลังจากนั้นนำข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปชิ้นเดิมไปอบพองด้วยไมโครเวฟแล้วนำมาหาปริมาตร ( $V_2$ ) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเชิงปริมาตรจากสมการ (2) ทำการทดลองตัวอย่างละ 8 ซ้ำ

$$\% \text{การขยายตัวเชิงปริมาตร} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่  $V_1$  คือ ปริมาตรของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปก่อนอบพองด้วยไมโครเวฟ (ลบ. ซม.)

$V_2$  คือ ปริมาตรของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปหลังอบพองด้วยไมโครเวฟ (ลบ. ซม.)

**ค่าความแข็ง** นำตัวอย่างข้าวเกรียบหลังการอบพองด้วยไมโครเวฟมาทดสอบหาค่าความแข็ง (Hardness) ในหน่วยนิวตัน (N) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (รุ่น LR5KMR4 บริษัท Lloyd Instrument สหราชอาณาจักร)

โดยใช้ Load cell ขนาด 50 นิวตัน และใช้หัวโพรบแบบ Warner Bratzler Blade โดยตั้งระยะกด 20 มม. ที่ความเร็ว 5 มม./วินาที ทำการทดลองตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

### การศึกษาวิธีการให้ความร้อนข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์

**การเตรียมข้าวเกรียบในถุงบรรจุภัณฑ์** นำข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปจำนวน 15 ชิ้น ซึ่งมีน้ำหนักรวมเฉลี่ยในช่วง  $29.82 \pm 0.48$  กรัม บรรจุลงในถุงบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์ความหนา 70 แกรม แบบพับกัน (ปลายถุง) เป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีขนาด คือ  $8.5 \times 12.5 \times 20$  ซม. แล้วนำมาพับที่ปากถุงบรรจุภัณฑ์เพื่อให้ได้ลักษณะถุงบรรจุภัณฑ์ 2 แบบ **แบบที่ 1** นำถุงกระดาษคราฟท์ที่บรรจุข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปมาทากาวแบ่งเปียกบริเวณปากของถุงกระดาษเพื่อปิดปากถุง แล้วทำการพับปากถุงที่ปิดแล้วลง 1 พับ จะได้บรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาตรเมื่อขยายตัวประมาณ 1,646.88 ลบ. ซม. ( $8.5 \times 12.5 \times 15.5$  ซม.) ดังแสดงใน Figure 1 และ **แบบที่ 2** นำถุงกระดาษคราฟท์ที่บรรจุข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปมาพับด้านปากถุงให้เป็นลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมเหมือนด้านก้นถุง แล้วทำการทากาวปิดปากถุงด้วยกาวแบ่งเปียก จะได้บรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาตรเมื่อขยายตัวประมาณ 1,859.38 ลบ. ซม. ( $8.5 \times 12.5 \times 17.5$  ซม.) ดังแสดงใน Figure 2



Before expansion



After expansion

**Figure 1** A craft-paper bag filled with semi-finished cassava crackers for a variation I



Before expansion



After expansion

**Figure 2** A craft-paper bag filled with semi-finished cassava crackers for a variation II

**การจำแนกลักษณะปรากฏของข้าวเกรียบ**  
กึ่งสำเร็จรูปหลังจากอบพอง คัดเลือกข้าวเกรียบ  
กึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้นเหมาะสม สามารถพองตัวได้ดีที่สุด  
เมื่ออบพองด้วยไมโครเวฟ จากผลการศึกษาความชื้นของ  
ข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปต่อการพองตัวจำนวน 15 ชิ้น  
บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 แล้วทดลองอบพองด้วย  
ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ เพื่อ  
สังเกตลักษณะปรากฏที่เป็นไปได้ของข้าวเกรียบที่ได้  
หลังการอบพองในบรรจุภัณฑ์ โดยจากผลการทดลองขั้นต้น

พบว่า ลักษณะปรากฏของข้าวเกรียบสามารถแบ่งออกได้  
เป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงใน Figure 3 ได้แก่

**กลุ่มที่ 1** ข้าวเกรียบพองตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น  
มีลักษณะเป็นไตแข็งคล้ายลักษณะของข้าวเกรียบ  
กึ่งสำเร็จรูปตอนที่ยังไม่พองตัวในบางส่วนของข้าวเกรียบ  
หลังอบพองด้วยไมโครเวฟ โดยจะจำแนกข้าวเกรียบที่มี  
ลักษณะปรากฏในกลุ่มนี้ว่าเป็นของเสียแบบ “ขยายตัว  
ไม่ทั่วทั้งแผ่น”

**กลุ่มที่ 2** ข้าวเกรียบพองตัวทั่วทั้งแผ่นและมีสีสม่ำเสมอ ซึ่งถือเป็นลักษณะที่พึงประสงค์ของข้าวเกรียบ กึ่งสำเร็จรูปที่อบพองด้วยไมโครเวฟ จึงไม่นับเป็นของเสีย

**กลุ่มที่ 3** ข้าวเกรียบพองตัวทั่วทั้งแผ่นแต่มีสีไม่สม่ำเสมอ โดยพบสีน้ำตาลอ่อนในบางบริเวณของข้าวเกรียบหลังอบพองด้วยไมโครเวฟ อย่างไรก็ตามเมื่อรับประทานไม่มีรสสัมผัสที่แข็งและขม จึงยังจัดอยู่ในกลุ่ม

ที่มีลักษณะพึงประสงค์ของข้าวเกรียบไมโครเวฟ จึงไม่นับเป็นของเสีย

**กลุ่มที่ 4** ข้าวเกรียบพองตัวทั่วทั้งแผ่นและมีสีไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากพบบริเวณที่ข้าวเกรียบบางส่วนมีสีน้ำตาลเข้มไปจนถึงสีดำ เมื่อรับประทานจะให้รสสัมผัสขม โดยจะจำแนกข้าวเกรียบที่มีลักษณะปรากฏในกลุ่มนี้ว่าเป็นของเสียแบบ “ไหม้”



Figure 3 Appearance of puffed crackers classified into 4 groups

**วิธีการให้ความร้อนข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์** ข้าวเกรียบจำนวน 15 ชิ้น ในบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ถูกอบพองด้วยไมโครเวฟด้วยวิธีให้ความร้อน 2 รูปแบบ คือ วิธีให้ความร้อนแบบต่อเนื่องและวิธีให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง โดยทั้งสองวิธีจะใช้ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 40, 50, 60 และ 70 วินาที สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง และที่ระยะเวลา 40/10, 40/20, 40/25 และ 40/30 วินาที สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง โดยสัญลักษณ์ “/” คั่นระหว่างตัวเลขหมายถึง “ระยะเวลาการอบไมโครเวฟช่วงที่หนึ่ง (วินาที)/ระยะเวลาการอบไมโครเวฟช่วงที่สอง (วินาที)” ในระหว่างเวลาการอบไมโครเวฟช่วงที่หนึ่งและช่วงที่สอง จะมีการนำถุงบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุข้าวเกรียบออกมาเขย่าระหว่างช่วงประมาณ 5 วินาที โดยมีจุดประสงค์เพื่อช่วย

ในเรื่องการกระจายความร้อนของแผ่นข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์และลดผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิข้าวเกรียบที่สูงเกินไปจนข้าวเกรียบไหม้ (กลุ่มที่ 4) หากได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟอย่างต่อเนื่อง

วิธีการให้ความร้อนและระยะเวลาการให้ความร้อนข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมจะประเมินจากการหาเปอร์เซ็นต์ขึ้นขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นและเปอร์เซ็นต์ขึ้นไหม้ ดังแสดงในสมการ (3) และสมการ (4) โดยวิธีการให้ความร้อนและระยะเวลาการให้ความร้อนข้าวเกรียบที่เหมาะสมจะทำให้ข้าวเกรียบหลังการอบพองในบรรจุภัณฑ์มีเปอร์เซ็นต์ขึ้นขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น และเปอร์เซ็นต์ขึ้นไหม้มีน้อยที่สุดหรือเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตามหากข้าวเกรียบเกิดลักษณะปรากฏหลังอบพองด้วยไมโครเวฟทั้งขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นและไหม้พร้อมกันจะถือว่าข้าวเกรียบชิ้นนั้นเป็นของเสียแบบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น

$$\% \text{ ขึ้นขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น} = \frac{\text{จำนวนขึ้นขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น}}{\text{จำนวนขึ้นทั้งหมด}} \times 100 \quad (3)$$

$$\% \text{ ขึ้นใหม่} = \frac{\text{จำนวนขึ้นใหม่}}{\text{จำนวนขึ้นทั้งหมด}} \times 100 \quad (4)$$

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (RCBD) สำหรับการศึกษาวิธีการให้ความร้อนข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์ โดยระยะเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องเป็นระดับปัจจัยที่ใช้ศึกษา ฤๅบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 และแบบที่ 2 เป็นปัจจัยที่ถูกกำหนดให้เป็นบล็อก และลักษณะปรากฏของข้าวเกรียบทั้ง 4 กลุ่ม ในบรรจุภัณฑ์หลังจากให้ความร้อนด้วยวิธีไมโครเวฟเป็นผลของการศึกษา

#### การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) สำหรับการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมได้หลังจากอบแห้งที่ระยะเวลาต่าง ๆ และข้อมูลการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (RCBD) สำหรับการศึกษาวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องต่อการพองตัวของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์ทั้งสองรูปแบบถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's honest significant test ด้วยโปรแกรม SPSS (Version 18, USA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### ผลการวิจัยและวิจารณ์

##### ผลของความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ส่งผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ

ผลของระยะเวลาอบแห้งในช่วง 210-330 นาทีส่งผลให้ข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปมีค่าความชื้นแตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงใน Table 1 อย่างไรก็ตามข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ทุกระยะเวลาการอบแห้งมีความชื้นไม่เกินข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับข้าวเกรียบ (Thai Industrial Standards Institute, 2011) จาก Table 1 เมื่อพิจารณาผลของความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ส่งผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบพบว่าความชื้นมีผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ (Panomwan, 2009; Nguyen *et al.*, 2013) โดยความชื้นที่เหมาะสมที่ทำให้ข้าวเกรียบพองตัวมากที่สุดอยู่ที่ระดับความชื้น 9.08% (ฐานเปียก) มีการขยายตัวเชิงปริมาตรสูงที่สุดอยู่ที่ 852% ส่วนความชื้นข้าวเกรียบในระดับอื่นหลังการอบแห้งไม่ส่งผลให้ข้าวเกรียบพองตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้าวเกรียบจะพองตัวได้ดีต้องมีปริมาณความชื้นที่เพียงพอ เพื่อใช้ในการเดือดสร้างแรงดันทำให้ข้าวเกรียบเกิดการพองตัว ขณะเดียวกันในระหว่างกระบวนการอบแห้งข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปจะเกิดการสร้างชั้นผิวบาง ๆ ที่สามารถเก็บกักความดันระหว่างที่น้ำในข้าวเกรียบเกิดการเดือด ดังนั้นกระบวนการอบแห้งข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปจึงส่งผลต่อปัจจัยร่วมในเรื่องปริมาณน้ำในการเดือดสร้างแรงดันและการสร้างชั้นผิวเก็บกักความดัน ซึ่งส่งผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ Nguyen *et al.* (2013) รายงานว่าข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้นมากเกินไปจะมีปริมาณน้ำอิสระสูง ทำให้ต้องใช้

ระยะเวลาที่นานขึ้นเพื่อให้เกิดการเดือดของน้ำในข้าวเกรียบ ส่งผลให้ข้าวเกรียบพองตัวไม่ดี ในขณะที่ข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้นน้อยเกินไปจะมีปริมาณน้ำอิสระที่สามารถเดือดเพื่อสร้างแรงดันได้ไม่เพียงพอส่งผลให้ข้าวเกรียบพองตัวไม่ดีเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของข้าวเกรียบหลังการพองตัว ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Panomwan (2009) พบว่าความชื้นและปริมาณอะมิโลสมีผลต่อค่าความแข็งของข้าวเกรียบ ข้าวเกรียบที่สูญเสียความชื้นมากจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น และข้าวเกรียบที่มี

ความชื้นเท่ากันแต่มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าจะมีความแข็งมากกว่า ดังนั้นจากผลการทดลองจึงเป็นไปได้ว่าข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้นในช่วง 8.50-10.11% (ฐานเปียก) มีความชื้นหลังการอบพองไม่แตกต่างกัน และเนื่องจากส่วนผสมของตัวอย่างข้าวเกรียบที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยมีส่วนประกอบที่เหมือนกัน ทำให้ตัวอย่างข้าวเกรียบที่ทุกระดับความชื้นมีปริมาณอะมิโลสไม่แตกต่างกัน จึงไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของค่าความแข็งของข้าวเกรียบหลังอบพองด้วยไมโครเวฟ

**Table 1** Effect of drying time and moisture content of semi-finished crackers on volume expansion and hardness after puffed with microwave

Drying time (minute)	Moisture content of semi-finished crackers (%w.b.)	Volume expansion (%)	Hardness (N)
210	10.11±0.09 <sup>a</sup>	623±101.20 <sup>bc</sup>	7.91±0.35 <sup>a</sup>
240	9.43±0.10 <sup>b</sup>	659±58.40 <sup>b</sup>	8.21±0.70 <sup>a</sup>
270	9.08±0.41 <sup>c</sup>	852±64.80 <sup>a</sup>	8.48±1.48 <sup>a</sup>
300	8.84±0.41 <sup>cd</sup>	720±65.20 <sup>b</sup>	8.57±0.83 <sup>a</sup>
330	8.50±0.37 <sup>d</sup>	635±41.40 <sup>bc</sup>	8.49±0.34 <sup>a</sup>

Values shown are the mean±standard deviation (moisture content: n=3, volume expansion: n=8, hardness: n=5).

Mean with different superscript letters within the same column differ significantly (P<0.05).

### ผลของวิธีการให้ความร้อนและรูปแบบบรรจุภัณฑ์ต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ

Table 2 แสดงผลของวิธีการให้ความร้อนข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องที่ระยะเวลาการอบพองด้วยไมโครเวฟแตกต่างกันที่ผลต่อ

เปอร์เซ็นต์ขึ้นข้าวเกรียบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น และ Table 3 แสดงผลของวิธีการให้ความร้อนข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องที่ระยะเวลาการอบพองด้วยไมโครเวฟแตกต่างกันที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ขึ้นข้าวเกรียบใหม่

**Table 2** Effect of continuous and intermittent heating times on %partly puffed crackers of craft-paper bags filled with semi- finished crackers for Variation I and II

Heating time (s)	%partly puffed crackers	
	Craft-paper bag Variation I	Craft-paper bag Variation II
40	95.8±4.76% <sup>1a</sup>	95.8±4.76% <sup>1a</sup>
50	45.4±16.20% <sup>2a</sup>	34.6±6.83% <sup>2a</sup>
60	10.6±9.32% <sup>3a</sup>	9.4±9.32% <sup>3a</sup>
70	0% <sup>4a</sup>	0% <sup>4a</sup>
40/10	90.6±9.32% <sup>1a</sup>	88.0±6.69% <sup>1a</sup>
40/20	44.2±4.76% <sup>2a</sup>	49.4±12.53% <sup>2a</sup>
40/25	0% <sup>4a</sup>	0% <sup>4a</sup>
40/30	0% <sup>4a</sup>	0% <sup>4a</sup>

Values shown are the mean±standard deviation of n=5: Mean with different superscript numbers within the same column differ significantly ( $P<0.05$ ); Mean with different superscript letters within the same row differ significantly ( $P<0.05$ ).

สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องจาก Table 2 พบว่าระยะเวลาการอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองรูปแบบด้วยไมโครเวฟส่งผลให้ เปอร์เซนต์ขึ้นข้าวเกรียบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเพิ่มระยะเวลาการอบพองด้วยไมโครเวฟมีแนวโน้มทำให้ข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ขยายตัวได้ดีขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซนต์ขึ้นข้าวเกรียบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นมีแนวโน้มลดลง ที่ระยะเวลาการอบพองแบบต่อเนื่อง 70 วินาที ไม่พบ เปอร์เซนต์ขึ้นข้าวเกรียบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น ในทางกลับกันจาก Table 3 พบว่าการเพิ่มระยะเวลาการอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองรูปแบบมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซนต์ขึ้นข้าวเกรียบใหม่เพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาการอบพองแบบต่อเนื่อง 70 วินาที พบเปอร์เซนต์ขึ้นข้าวเกรียบใหม่สูงสุด ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีให้ความร้อนแบบต่อเนื่องในการอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองแบบยังไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมที่สามารถทำให้

เปอร์เซนต์ขึ้นขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นและเปอร์เซนต์ขึ้นใหม่น้อยที่สุดหรือเป็นศูนย์ซึ่งเป็นลักษณะที่พึงประสงค์ของการอบพองข้าวเกรียบ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Panomwan (2009) ที่พบว่าการเพิ่มระยะเวลาการอบพองข้าวเกรียบจนถึง 40 วินาที จะเพิ่มร้อยละของจำนวนข้าวเกรียบที่พองตัวสมบูรณ์มากขึ้น เข้าใกล้ 100% แต่เมื่อใช้เวลาการอบพองมากเกินไป 40 วินาที ข้าวเกรียบจะเริ่มเกิดการไหม้ อาหารที่ได้รับความร้อนด้วยวิธีไมโครเวฟจะร้อนได้รวดเร็วกว่าการได้รับความร้อนด้วยวิธีการนำและการพาความร้อนแบบทั่วไป ดังนั้นควรอบพองข้าวเกรียบด้วยไมโครเวฟที่ระดับพลังงานสูงแต่ใช้ช่วงระยะเวลาสั้นเพื่อหลีกเลี่ยงลักษณะปรากฏของขึ้นข้าวเกรียบไหม้ (Nguyen *et al.*, 2013) จากผลการทดลองยังพบว่าขนาดและรูปร่างของบรรจุภัณฑ์สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง ไม่ส่งผลให้ เปอร์เซนต์ขึ้นข้าวเกรียบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นและเปอร์เซนต์ขึ้นข้าวเกรียบใหม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**Table 3** Effect of continuous and intermittent heating times on %burnt crackers of craft-paper bags filled with semi- finished crackers for variation I and II

Heating time (s)	%burnt crackers	
	Craft-paper bag Variation I	Craft-paper bag Variation II
40	0% <sup>1a</sup>	0% <sup>1a</sup>
50	0% <sup>1a</sup>	0% <sup>1a</sup>
60	13.4±13.16% <sup>2a</sup>	17.4±14.06% <sup>2a</sup>
70	42.8±19.20% <sup>3a</sup>	41.4±24.17% <sup>3a</sup>
40/10	0% <sup>1a</sup>	0% <sup>1a</sup>
40/20	0% <sup>1a</sup>	0% <sup>1a</sup>
40/25	0% <sup>1a</sup>	20.0±8.69% <sup>2b</sup>
40/30	28.0±6.69% <sup>4a</sup>	60.0±8.69% <sup>4b</sup>

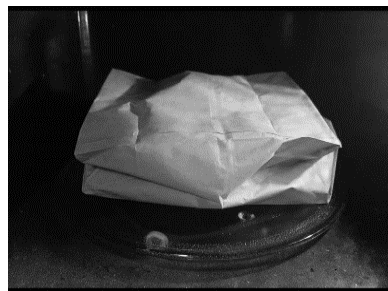
Values shown are the mean±standard deviation of n=5. Mean with different superscript numbers within the same column differ significantly (P<0.05); Mean with different superscript letters within the same row differ significantly (P<0.05).

สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง จาก Table 2 พบว่าระยะเวลาการอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองรูปแบบเมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนในช่วงที่สองเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มให้จำนวนชิ้นของข้าวเกรียบที่ขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นลดลง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ชิ้นข้าวเกรียบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นเป็นศูนย์ที่ระยะเวลาการอบพอง 40/25 และ 40/30 วินาที ในทางกลับกันจาก Table 3 การอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองรูปแบบเมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนในช่วงที่สองเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มให้จำนวนชิ้นของข้าวเกรียบใหม่เพิ่มขึ้น โดยบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 จะเริ่มมีจำนวนชิ้นของข้าวเกรียบใหม่ที่ระยะเวลาการอบพอง 40/30 วินาที ขณะที่บรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 จะเริ่มมีจำนวนชิ้นของข้าวเกรียบใหม่ที่ระยะเวลาการอบพอง 40/25 วินาที ซึ่งจากผลการทดลองในส่วนนี้แสดงให้เห็นว่าขนาดและรูปร่างของบรรจุภัณฑ์ส่งผลต่อความสามารถในการกระจายความร้อนของข้าวเกรียบในระหว่างการพองตัว

ในบรรจุภัณฑ์ โดยในระหว่างการทดลองพบว่าการพองตัวของบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 ซึ่งมีปริมาตรบรรจุภัณฑ์น้อยกว่าบรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 จะมีการขยายตัวของบรรจุภัณฑ์เต็มที่หลังจากอบพองในไมโครเวฟ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 มีการขยายตัวของบรรจุภัณฑ์ไม่เต็มที่ ดังแสดงใน Figure 4 จึงสันนิษฐานว่าปริมาตรของบรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 มีขนาดใหญ่และมีวิธีการพับบรรจุภัณฑ์ที่แรงดันไอน้ำที่ทำให้ข้าวเกรียบพองตัวไม่เพียงพอสำหรับการขยายตัวของบรรจุภัณฑ์ จึงทำให้มีพื้นที่จำกัดในการเคลื่อนตัวอย่างอิสระของข้าวเกรียบในระหว่างการขยายตัวของบรรจุภัณฑ์ ส่งผลให้เป็นอุปสรรคในการกระจายความร้อนระหว่างชิ้นของข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ไม่ดีพอ ทำให้ชิ้นข้าวเกรียบบางชิ้นในบรรจุภัณฑ์เกิดความร้อนสะสมมากเกินไป ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ชิ้นของข้าวเกรียบใหม่ของบรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 สูงกว่าบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1



Variation I (fully expanded)



Variation II (partially expanded)

**Figure 4** Appearance of a craft-paper bag filled with semi-finished cassava crackers after expansion for both variations

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าวิธีการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์มีความเหมาะสมสำหรับอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์มากกว่าวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องเนื่องจากข้อเสียของการให้ความร้อนอาหารด้วยไมโครเวฟคือ ชื้นอาหารเกิดความร้อนไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform heating) เมื่อให้ความร้อนด้วยวิธีไมโครเวฟ (Meda *et al.*, 2017) เพื่อที่จะบรรเทาการเกิดความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ Gunasekaran and Yang (2007) พบว่าการให้อาหารได้รับพลังงานไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่องจะช่วยลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในชิ้นอาหารที่สูงที่สุดและต่ำที่สุดให้น้อยลง ช่วยให้อาหารมีการกระจายของอุณหภูมิทั่วทั้งชิ้นอาหารสม่ำเสมอมากขึ้น วิธีให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ชื้นขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น และเปอร์เซ็นต์ชื้นใหม่เป็นศูนย์ คือการอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 ที่ระยะเวลาการอบพอง 40/25 วินาที

### สรุปผลการวิจัย

การศึกษาแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟพบว่า ความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ทำให้ข้าว

เกรียบพองตัวมากที่สุด คือ 9.08% (ฐานเปียก) ข้าวเกรียบมีการพองตัว 852% วิธีการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่กำลังไมโครเวฟ 800 วัตต์ แก้วข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปจำนวน 15 ชิ้น ในบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์ที่มีปริมาตร 1,646.88 ลบ.ซม. โดยแบ่งการให้ความร้อนเป็นสองช่วงคือ ให้ความร้อนช่วงแรกในเตาอบไมโครเวฟ 40 วินาที และพักเพื่อนำถุงบรรจุภัณฑ์ข้าวเกรียบออกมาเขย่าระหว่างช่วงประมาณ 5 วินาที แล้วนำถุงบรรจุภัณฑ์ไปให้ความร้อนต่อในเตาอบไมโครเวฟช่วงที่สอง 25 วินาที จากผลการศึกษาพบว่า ขนาดและรูปร่างของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานสำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ทำให้ต้องคัดความรู้และแนวทางการระบุข้อมูลวิธีการอบพองข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปบนฉลากบรรจุภัณฑ์ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน และคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 1990. **Official Methods of Analysis**. 15th. Virginia: The Association of Official Analytical Chemists. 1,298 p.
- Chedoloh, R. and S. Chehmalee. 2019. The effect of microwave power and puffing time on the quality of semi-finished fish cracker. **Burapha Science Journal** 24(1): 256-271. [in Thai]
- Gunasekaran, S. and H. Yang. 2007. Effect of experimental parameters on temperature distribution during continuous and pulsed microwave heating. **Journal of Food Engineering** 78: 1452-1456.
- Meda, V., V. Orsat and V. Raghavan. 2017. Microwave heating and dielectric properties of foods. pp. 23-43. In Regier, M., K. Knoerzer and H. Schubert (eds.). **The Microwave Processing of Foods**. 2nd. London: Woodhead Publishing.
- Nguyen, T.T., T.Q. Le and S. Songsermpong. 2013. Shrimp cassava cracker puffed by microwave technique: effect of moisture and oil content on some physical characteristics. **Kasetsart Journal (Nat. Sci.)** 47: 434-446.
- Panomwan, W. 2009. **Carrot Added Rice Cracker for Baking with Microwave**. Master Thesis. Chulalongkorn University. 179 p. [in Thai]
- Rattanapan, S. and C. Inprasit. 2018. Effect of steaming time on qualities of tapioca crackers (khaowgriab). **Thai Science and Technology Journal** 26(3): 532-543. [in Thai]
- Shachat, M.A. and S.J. Raphael. 1990. **Process for Making Microwave Puffed Snack Products**. U.S. Patent 4,950,492.
- Thai Industrial Standards Institute. 2011. **Thai Community Product Standard 107/2554: Crispy Snack, Khaowgraib**. Bangkok: Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry. 5 p. [in Thai]
- Trachoo, O. 2019. **High level of fat in the blood signals a risk of heart disease**. [Online]. Available <https://www.samitivejhospitals.com/article/detail/Risk-of-Heart-Disease>. (January 29, 2024).

การใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลเพื่อศึกษาสมบัติบางประการของดินในพื้นที่เสี่ยง  
การเป็นดินกรดและดินเค็มภาคกลางของประเทศไทย

Use of Remote Sensing Data for Some Soil Properties Studying in Areas  
at Risk of Acidic Soil and Saline Soil of Central Thailand

ทศน์ศวี รัตนแก้ว

Totsanat Rattanaekaw

กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ 10900

Division of Policy and Land Use Planning Land Development

Department Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand 10900

Corresponding author: totsanat@yahoo.com

Received: May 25, 2023

Revised: January 05, 2024

Accepted: January 17, 2024

**Abstract**

Conventional soil properties study including soil sampling and laboratory analysis are laborious, costly and time-consuming. Remote sensing data is collected as reflected electromagnetic radiation that vary with objects and correlate with plant growth and health. It can shorten the time of collecting soil samples, reduce cost from both in field and laboratory. This research was studied the potential of satellite images (Sentinel 2) by calculating three vegetation indices: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) and Normalized Difference Infrared Index (NDII) and correlating with soil fertility indicators, such as soil pH, soil electrical conductivity, and soil organic matter. Soil samples were collected from Kamphaeng Saen district in Nakhon Pathom province, which is at risk of saline soil, as well as from Bang Len district in Nakhon Pathom province and Pak Phli district in Nakhon Nayok province, both of which were at risk of acidic soil. The fertility of the soil was found to be associated with land use types, soil series, and vegetation indices calculated from Sentinel 2 satellite images. In March, the NDVI with a logarithmic model showed the highest potential for estimating soil pH. Similarly, in December, the GNDVI with an exponential model demonstrated the highest potential for estimating soil electrical conductivity. However, all vegetation indices were unsuitable for predicting soil organic matter.

**Keywords:** soil property, land use, Sentinel-2, vegetation index

## บทคัดย่อ

การศึกษาสมบัติดินแบบดั้งเดิม ได้แก่ การเก็บตัวอย่างดิน และการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ต้องใช้แรงงานและค่าใช้จ่ายสูง รวมทั้งใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการนาน ข้อมูลรับรู้ระยะไกลซึ่งอาศัยการบันทึกค่าพลังงานสะท้อนกลับที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงคลื่น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและสุขภาพของพืช การหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเคมีดินกับค่าการสะท้อนแสงของพืชที่มีสุขภาพต่างกันในพื้นที่ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่างกันและสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อประมาณค่าความสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ข้างเคียง ซึ่งช่วยลดแรงงาน ค่าใช้จ่าย และลดระยะเวลาในการดำเนินงาน การศึกษานี้ได้ศึกษาศักยภาพของข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel 2 โดยการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ดัชนี Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) และดัชนี Normalized Difference Infrared Index (NDII) แล้วหาความสัมพันธ์กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ในอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินเค็ม อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม และอำเภอบางพลี จังหวัดนครนายก ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินกรด ผลการศึกษาพบว่าความอุดมสมบูรณ์ของดินมีความสัมพันธ์กับประเภทการใช้ที่ดินและชุดดิน และมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel 2 โดยค่า NDVI ในเดือนมีนาคม ที่มีความสัมพันธ์แบบ Logarithmic มีศักยภาพสูงที่สุดในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นแบบจำลองเพื่อประมาณค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ค่า GNDVI ในเดือนธันวาคม ที่มีความสัมพันธ์แบบ Exponential มีศักยภาพสูงที่สุดในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นแบบจำลองเพื่อประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน ขณะที่ปริมาณ

อินทรีย์วัตถุ ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด มีศักยภาพในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นแบบจำลองต่ำมาก

**คำสำคัญ:** สมบัติดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ดาวเทียม Sentinel-2 ดัชนีพืชพรรณ

## คำนำ

ดินเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งยังคงต้องใช้ที่ดินเพื่อประกอบการเกษตรอันเป็นอาชีพพื้นฐาน เนื่องจากดินเป็นปัจจัยหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารและน้ำแก่พืช เป็นที่ยึดเกาะของรากให้พืชทรงตัวอยู่ได้ และเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงจะเอื้อต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างเพียงพอ ความอุดมสมบูรณ์ของดินถูกกำหนดจากเกณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ ความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช สมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น (Research and Development for Land Management Division, n.d.) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และปริมาณธาตุที่เป็นต่างที่ติดต่อยึดไว้ เป็นสมบัติทางเคมีดินที่นิยมใช้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน อย่างไรก็ตามสมบัติทางเคมีดินต้องอาศัยกระบวนการทางเคมีในการวิเคราะห์ ซึ่งการปฏิบัติงานด้านเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีต้นทุนสูง ใช้ระยะเวลาและแรงงานมาก โดยเฉพาะการวิเคราะห์ดินรายแปลง การสร้างแบบจำลองเพื่อคาดการณ์ในการวินิจฉัยเชิงพื้นที่ของคุณลักษณะความอุดมสมบูรณ์ของดิน จึงเป็นความท้าทายและความก้าวหน้า สำหรับการทำการเกษตรแบบแม่นยำ (Molin and Tavares, 2019; Singh *et al.*, 2018) ทำให้สามารถทำการเกษตรแบบเข้มข้นและแม่นยำยิ่งขึ้น

เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลหรือรีโมทเซนซิง เป็นที่รู้จักในวงกว้างว่าเป็นวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาการตอบสนองของปฏิกิริยาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัตถุ การดูดซับช่วงคลื่นแสงถูกโดยคลอโรฟิลล์ และการสะท้อนช่วงคลื่นสามารถใช้แยกชนิดของพืชและสุขภาพพืช และสามารถใช้บ่งบอกถึงโครงสร้างเซลล์ของพืชและมวลชีวภาพ จากการวัดปริมาณค่าการสะท้อนแสงโดยพืชพรรณธรรมชาติจะสะท้อนพลังงานได้ดีในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 700-1,300 นาโนเมตร และในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้จะสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นแสงสีเขียว ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 500-600 นาโนเมตร ส่วนการสะท้อนพลังงานของดินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยบางประการในดิน เช่น ความชื้นในดิน แร่ธาตุในดิน เป็นต้น และน้ำจะไม่มีการสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Jensen, 2000) เช่น Glowienka *et al.* (2016) รายงานว่า การวิเคราะห์เชิงพื้นที่และเชิงเวลาในการกระจายความเค็มของดินและระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ในภูมิภาคโปแลนด์ ตะวันออกเฉียงใต้ในหลายช่วงปี โดยการวิเคราะห์ข้อมูลการรับรู้ระยะไกล ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าความเค็มของดินและระดับ pH มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก เช่นเดียวกับ โพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่วนใหญ่เกิดขึ้นในภาคเหนือและภาคใต้ของพื้นที่ที่ตรวจสอบ สาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ อาจเป็นเพราะน้ำท่วมซึ่งกระทบภูมิภาค Vaudour *et al.* (2019) รายงานการใช้ข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2 โดยการคำนวณดัชนี NDVI ในการประมาณค่าสมบัติดินของชั้นดินบนในเขตอบอุ่นและในแถบเมดิเตอร์เรเนียน ได้แก่ ปริมาณอนุภาคดินเหนียว ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยใช้สมการ Partial Least Squares Regressions (PLSR) พบว่าการใช้ดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์กับปริมาณอนุภาคดินเหนียวที่ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.39 ถึง 0.42 ความเป็นกรดเป็นด่าง ที่ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.08 ถึง 0.51 ปริมาณอินทรีย์วัตถุค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.04 ถึง 0.09 และค่า

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ที่ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.13 ถึง 0.48 โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมบัติดินบางประการของดินในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีพืชปกคลุมที่ต่างกันในพื้นที่เสี่ยงการเป็นดินกรดและดินเค็มภาคกลางของประเทศไทย และศึกษาศักยภาพของข้อมูลสำรวจระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียมในการศึกษาสมบัติดินบางประการในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีพืชปกคลุมที่ต่างกัน ในพื้นที่เสี่ยงการเป็นดินกรดและดินเค็มภาคกลางของประเทศไทย

### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาศักยภาพของข้อมูลเทคโนโลยีรับรู้ระยะไกล ซึ่งเป็นภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดปานกลาง จากดาวเทียม Sentinel-2 ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นดิจิทัลขึ้นโดยการคำนวณดัชนีพืชพรรณ และศึกษาความสัมพันธ์กับข้อมูลสมบัติทางเคมีดินที่ได้จากการสุ่มเก็บภาคสนาม โดยขั้นตอนและวิธีการมีรายละเอียด ดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 และแผนที่ชุดดิน ปี พ.ศ. 2562 มาตราส่วน 1:25,000 จังหวัดนครปฐมและจังหวัดนครนายก ของกรมแผนที่ดิน ทำการซ้อนทับข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินกับแผนที่ชุดดิน โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับ (Overlay) ในโปรแกรมวิเคราะห์และประมวลผลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)

2. การคัดเลือกแปลงศึกษา ทำการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินและชุดดิน และเลือกแปลงที่มีขนาด 10-50 ไร่ เพื่อให้ได้แปลงที่มีความแปรปรวนของข้อมูลน้อยที่สุด โดยสุ่มให้กระจายทั่วทั้งอำเภอ และเป็นไปตามสัดส่วนของประเภทการใช้ที่ดินและชุดดิน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 2.1 การคัดเลือกแปลงศึกษาตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยคัดเลือกเฉพาะการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มี

พืชปกคลุม และเป็นการใช้ที่ดินส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งประกอบด้วย การจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน ระดับ 2 จำนวน 4 ประเภท ได้แก่ นาข้าว (A1) พืชไร่ (A2) ไม้ยืนต้น (A3) ไม้ผล (A4) และการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินระดับ 3 จำนวน 2 ประเภท ได้แก่ ผัก (A502) และป่าละเมาะ (M102) โดยในอำเภอกำแพงแสน และอำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม มีการจัดเก็บข้อมูลในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินทั้ง 6 ประเภท ขณะที่อำเภopakพลี จังหวัดนครนายก มีการจัดเก็บข้อมูลในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน 5 ประเภท ไม่มีการเก็บในพื้นที่พืชไร่เนื่องจากมีพื้นที่น้อย

2.2 การคัดเลือกแปลงศึกษาตามชุดดิน ในอำเภอกำแพงแสน จำนวน 8 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินกำแพงแสน (Ks) ชุดดินเสนา (Se) ชุดดินนครปฐม (Np) ชุดดินน่าน (Na) ชุดดินบางเขน (Bn) ชุดดินสระบุรี (Sb) ชุดดินสิงห์บุรี

(Sin) และชุดดินอยุธยา (Ay) อำเภอบางเลน (Bl) จำนวน 7 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินกำแพงแสน (Ks) ชุดดินเสนา (Se) ชุดดินบางเขน (Bn) ชุดดินบางเลน (Bl) ชุดดินบางปะอิน (Bin) ชุดดินสิงห์บุรี (Sin) และชุดดินอยุธยา (Ay) และอำเภopakพลี จำนวน 7 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินเชียงใหม่ (Cm) ชุดดินแก่ง (Kl) ชุดดินโคราช (Kt) ชุดดินกบินทร์บุรี (Kb) ชุดดินตรัง (Tng) ชุดดินน่าน (Na) และชุดดินรังสิต (Rs) ไม่สุ่มเลือกในพื้นที่ Slope Complex (SC) เนื่องจากเป็นพื้นที่ป่าไม้ และไม่สุ่มเลือกในพื้นที่ Undifferentiated Alluvium (U.A.) และ Conluvial Complex (C.C.) เนื่องจากสมบัติดินไม่คงที่

2.3 จากการคัดเลือกแปลงศึกษาตามประเภทการใช้ที่ดินและชุดดิน ได้แปลงศึกษาในอำเภอกำแพงแสน ทั้งหมด 60 แปลง อำเภอบางเลน ทั้งหมด 52 แปลง (figure 1) และอำเภopakพลี ทั้งหมด 49 แปลง (figure 2)

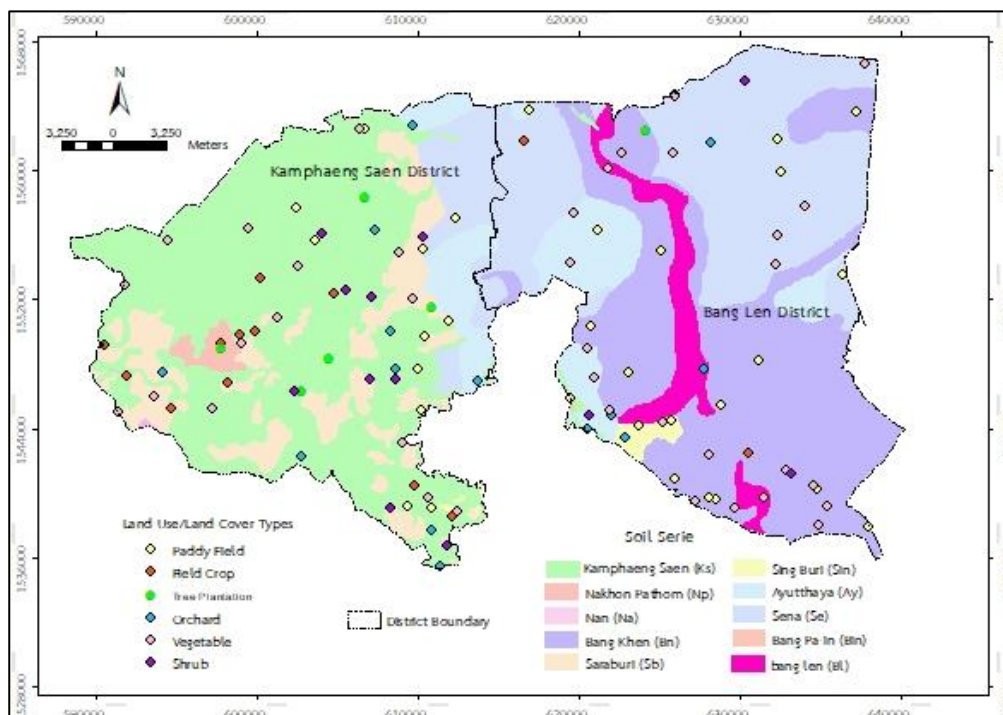


Figure 1 Soil sampling distribution varied by soil series and land use types in Kamphaeng Saen district and Bang Len district, Nakorn Pathom province

3. การเก็บข้อมูลภาคสนาม ทำการเก็บข้อมูลทั้ง 3 อำเภอ จำนวน 1 ครั้ง ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 ได้แก่

3.1 ทำการสำรวจตรวจสอบรายละเอียดสภาพการใช้ที่ดินภาคสนามในพื้นที่จริง พร้อมแก้ไขรายละเอียดให้มีความถูกต้องตรงกับสภาพปัจจุบัน

3.2 เก็บตัวอย่างดินแปลงละ 3 จุด แล้วนำมาคลุกเคล้ารวมกันแล้วส่งห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM)

4. การนำเข้าข้อมูลภาคสนามและการสร้างฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS Database) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute data) ได้แก่ ข้อมูลจากภาคสนาม ทำการปรับแก้ประเภทการใช้ที่ดินให้ตรงกับสภาพปัจจุบัน

และนำเข้าผลวิเคราะห์เคมีดินจากห้องปฏิบัติการฐานข้อมูลให้ตรงกับจุดเก็บข้อมูลที่คัดเลือกไว้

5. การรวบรวมภาพถ่ายดาวเทียม การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และดาวน์โหลดข้อมูล ดำเนินการบนเว็บไซต์กูเกิลเอิร์ธเอนจิน (Google Earth Engine) โดยมีขั้นตอน ได้แก่ คัดเลือกภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ชนิด COPERNICUS/S2 บริเวณอำเภอกำแพงแสน อำเภอบางเลน และอำเภอปากพลี ในเดือนมีนาคมและเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จากนั้นทำการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ดัชนี Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) และดัชนี Normalized Difference Infrared Index (NDII) โดยใช้สมการใน Table 1 แล้วทำการดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ที่ประมวลผลเสร็จแล้วเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์กับสมบัติทางเคมีดินต่อไป

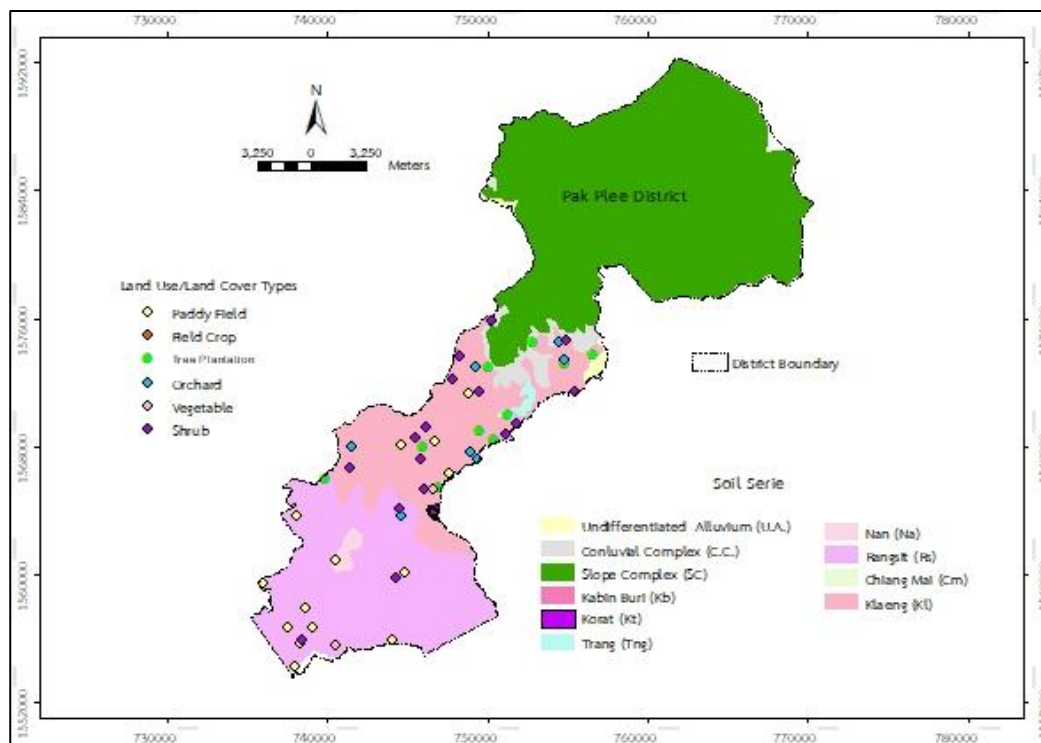


Figure 2 Soil sampling distribution varied by soil series and land use types in Pak Plee District, Nakorn Nayok province

Table 1 Vegetation indices and formula

No.	Vegetation index	Formula	Reference
1	NDVI	$(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$	Rouse <i>et al.</i> (1974)
2	GNDVI	$(\text{NIR} - \text{Green}) / (\text{NIR} + \text{Green})$	Gitelson <i>et al.</i> (1996)
3	NDII	$(\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$	Hunt and Rock (1989)

6. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่าการสะท้อนแสงกับข้อมูลวิเคราะห์ดิน โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ Regression model โดยพิจารณาค่าความสัมพันธ์จากค่า p-value และ r-square โดยใช้โปรแกรมประมวลผลทางสถิติสำเร็จรูป SPSS version 16.0

### ผลการวิจัยและวิจารณ์

#### การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกัน

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินตามประเภทการใช้ที่ดินที่มีพืชปกคลุม 6 ประเภท ในชุดดินต่าง ๆ ของ 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอกำแพงแสนและอำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม และอำเภopakพลี จังหวัดนครนายก ซึ่งทั้ง 3 อำเภอมีพื้นที่ดินที่มีศักยภาพต่ำ ได้แก่ พื้นที่ดินเค็ม และพื้นที่ดินเปรี้ยว ซึ่งการเก็บตัวอย่างดินได้สุ่มเก็บในพื้นที่ของเกษตรกร ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 แล้วส่งวิเคราะห์ค่าทางเคมีดิน 3 ประเภท ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ ผลการวิเคราะห์เฉลี่ยของค่าต่าง ๆ ใน 3 อำเภอ (Table 2 และ Figure 3) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง พืชไร่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงที่สุดเท่ากับ 7.41 รองลงมา ได้แก่ พื้นที่ปลูกผัก ปาละเมาะ ไม้ผล ไม้ยืนต้น และนาข้าว มีความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 6.43, 5.96, 5.94, 5.65 และ 5.67 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บในพื้นที่ปลูกพืชไร่ส่วนใหญ่อยู่ในชุดดินกำแพงแสน ในอำเภอกำแพงแสน ซึ่งเป็นชุดดินที่มีค่าความเป็นกรด

เป็นต่างในชั้นดินบนอยู่ในช่วง 7.0-8.0 ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงด่างอ่อน (Land Development Department, 2014a) และไม่มีจุดเก็บดินประเภทพืชไร่ในอำเภอปากพลี ขณะที่พื้นที่นาข้าวส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ในชุดดินในที่ลุ่ม ได้แก่ ชุดดินอยุธยา (Ay) และชุดดินรังสิต (Rs) ที่มีค่า pH ในชั้นดินบนอยู่ในช่วง 4.0-5.0 และชุดดินบางเขน (Bn) มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในชั้นดินบนอยู่ในช่วง 5.5-7.0 (Land Development Department, 2014a)

2. ค่าการนำไฟฟ้า พื้นที่ปลูกผักมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดเท่ากับ 0.64 dS/m รองลงมา ได้แก่ พื้นที่นาข้าว ไม้ผล พืชไร่ ไม้ยืนต้น และปาละเมาะ และมีค่า pH เท่ากับ 0.59, 0.35, 0.24, 0.20 และ 0.20 dS/m ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้าในพื้นที่ทั้ง 5 ประเภทมีความแตกต่างของข้อมูลค่อนข้างสูงเนื่องจากชุดที่ทำการศึกษา มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกันมาก พื้นที่ปลูกผักมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดเนื่องจากแปลงเก็บตัวอย่างดินส่วนใหญ่อยู่ในชุดดินกำแพงแสน (Ks) ชุดดินบางเขน (Bn) และชุดดินเสนา (Se) ซึ่งเป็นดินที่วัตฤตต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำผสมกับตะกอนทะเล พัฒนาในสภาพน้ำกร่อย (Land Development Department, 2014a)

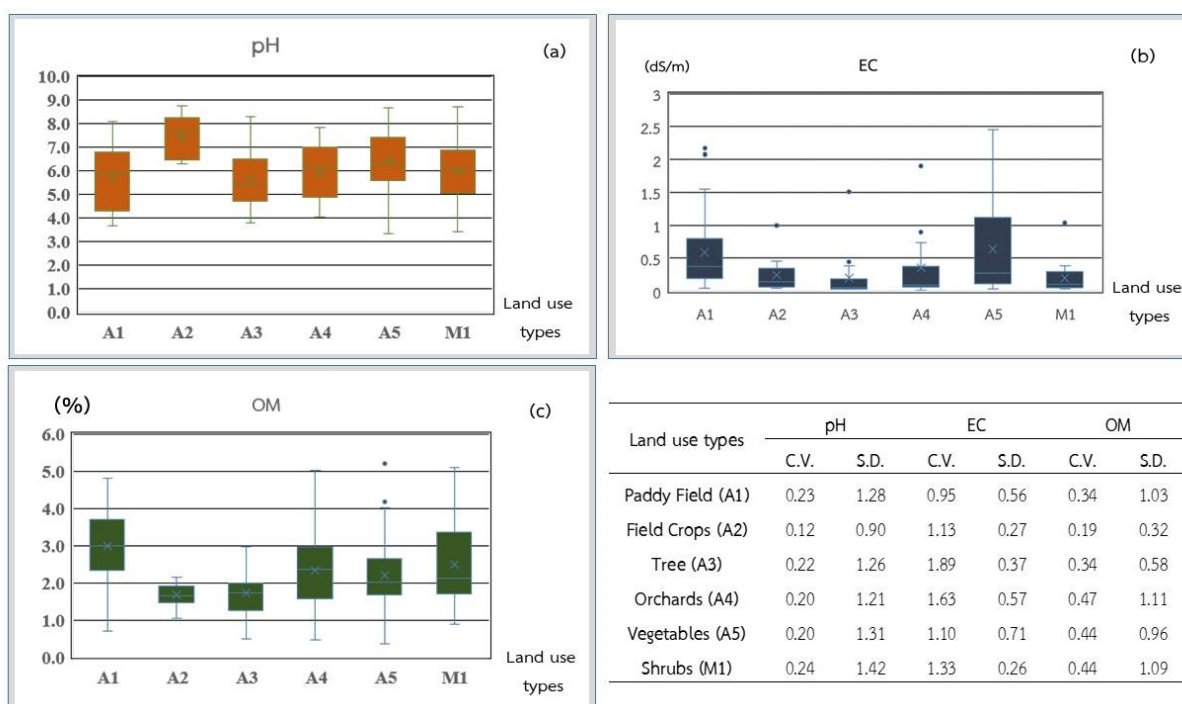
3. ค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ นาข้าวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 3.00 รองลงมา ได้แก่ ปาละเมาะ ไม้ผล ไม้ยืนต้น และพืชไร่ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับร้อยละ 2.49, 2.33, 2.20, 1.72 และ 1.68 ตามลำดับ โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุในพื้นที่ปลูกผักมีความแตกต่างของข้อมูลค่อนข้างสูง ขณะที่พื้นที่พืชไร่มีความแตกต่างของข้อมูลน้อย นาข้าวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ

สูง เนื่องจากแปลงเก็บตัวอย่างดินส่วนใหญ่อยู่ในชุดดิน บางเขน (Bn) และชุดดินรังสิต (Rs) ซึ่งเป็นดินที่อยู่ในกลุ่ม ดินใหญ่ Dystraquerts ซึ่งเป็นกลุ่มดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ อยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุปานกลาง ถึงสูงมากในดินบน (Udomsri, 2001) ขณะที่พืชไร่มี

ปริมาณ OM น้อยที่สุด เนื่องจากพื้นที่ปลูกพืชไร่ส่วนใหญ่ อยู่ในชุดดินกำแพงแสนดินบนเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง หรือดินร่วน (Land Development Department, 2014a) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในชั้นดินบนอยู่ที่ร้อยละ 2.6 (Land Development Department, 2016)

**Table 2** Averaged soil lab analysis values varied by land use types

Land use types	pH	EC (dS/m)	OM (%)
Paddy Field (A1)	5.67	0.59	3.00
Field Crops (A2)	7.41	0.24	1.68
Tree Plantation (A3)	5.65	0.20	1.72
Orchards (A4)	5.94	0.35	2.33
Vegetables (A5)	6.43	0.64	2.20
Shrubs (M1)	5.96	0.20	2.49



**Figure 3** Variation of soil (a) pH, (b) EC and (c) OM by land use types in the study area

## การศึกษาข้อมูลการรับรู้ระยะไกลในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินและสมบัติทางเคมีดินที่ต่างกัน

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณกับสมบัติทางเคมีดินทำโดยการนำค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII มาหาค่าเฉลี่ยตามประเภทการใช้ที่ดิน 6 ประเภท แล้วนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับค่าสมบัติทางเคมีดินที่เก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณอินทรียวัตถุ ทำการเฉลี่ยตามประเภทการใช้ที่ดิน 6 ประเภท (Table 3 และ Figure 4) ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

1. ดัชนี NDVI ในเดือนมีนาคม ไม้ยืนต้นมีค่า NDVI สูงที่สุด เท่ากับ 0.489 รองลงมา ได้แก่ ไม้ผล ป่าละเมาะ ผัก นาข้าว และพืชไร่ ค่า NDVI เท่ากับ 0.418, 0.405, 0.345, 0.344 และ 0.277 ตามลำดับ และในเดือนธันวาคม ไม้ยืนต้นมีค่า NDVI สูงที่สุด เท่ากับ 0.562 รองลงมา ได้แก่ ป่าละเมาะ ไม้ผล พืชไร่ ผัก และนาข้าว ค่า NDVI เท่ากับ 0.502, 0.474, 0.380, 0.351 และ 0.258 ตามลำดับ

2. ดัชนี GNDVI ในเดือนมีนาคม ไม้ยืนต้นมีค่า GNDVI สูงที่สุด เท่ากับ 0.404 รองลงมา ได้แก่ ไม้ผล ป่าละเมาะ ผัก นาข้าว และ พืชไร่ ค่า GNDVI เท่ากับ 0.353, 0.351, 0.295, 0.291 และ 0.258 ตามลำดับ และในเดือนธันวาคม ไม้ยืนต้นมีค่า GNDVI สูงที่สุด เท่ากับ 0.451 รองลงมา ได้แก่ ป่าละเมาะ ไม้ผล พืชไร่ ผัก และนาข้าว ค่า GNDVI เท่ากับ 0.412, 0.384, 0.332, 0.283 และ 0.202 ตามลำดับ

3. ดัชนี NDII ในเดือนมีนาคม ไม้ยืนต้นมีค่า NDII สูงที่สุด เท่ากับ 0.103 รองลงมา ได้แก่ ไม้ผล ผัก ป่าละเมาะ นาข้าว และพืชไร่ ค่า NDII เท่ากับ 0.035, 0.025, 0.026, 0.023 และ -0.026 และในเดือนธันวาคม ไม้ยืนต้นมีค่า NDII สูงที่สุด เท่ากับ 0.206 รองลงมา ได้แก่ ป่าละเมาะ ไม้ผล นาข้าว ผัก และพืชไร่ ค่า NDII เท่ากับ 0.141, 0.135, 0.095, 0.088 และ 0.063 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของค่า NDVI และ GNDVI มีลักษณะ

คล้ายกันทั้ง 2 เดือน คือ ค่า NDVI มีค่าสูงกว่า GNDVI ซึ่งเกิดจากดัชนี NDVI เป็นการคำนวณสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นแดงโดยใช้สมการ  $(NIR - Red) / (NIR + Red)$  และ GNDVI คำนวณสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นเขียวโดยใช้สมการ  $(NIR - Green) / (NIR + Green)$  โดยทั่วไปพืชจะสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มากกว่าช่วงคลื่นเขียวและช่วงคลื่นแดง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ แล้วจึงเห็นว่า ในบริเวณที่มีพืชปกคลุมสูงจะมีค่า NDVI สูงกว่าค่า GNDVI และค่า NDII ตามลำดับ และไม้ยืนต้น ไม้ผล และป่าละเมาะ มีค่า NDVI และ GNDVI สูงกว่า นาข้าว พืชไร่ และผัก เนื่องจากค่า NDVI และ GNDVI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับขนาดทรงพุ่ม ขนาดพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพ คือ ค่า NDVI และ GNDVI จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดทรงพุ่ม ขนาดพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น (Rouse *et al.*, 1974; Gitelson *et al.*, 1996; Simms and Ward, 2013)

อย่างไรก็ตามในเดือนมีนาคมค่า NDVI และ GNDVI ของไม้ผลสูงกว่าของป่าละเมาะ แต่ต่ำกว่าในเดือนธันวาคม ทั้งนี้อาจเกิดจากไม้ผลเป็นพืชที่เกษตรกรมีการดูแลรดน้ำตลอดทั้งปี ขณะที่ป่าละเมาะเป็นพืชที่ไม่มีการดูแลและอาศัยน้ำฝนในการเจริญเติบโตเป็นหลัก จึงทำให้ในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง ป่าละเมาะมีการเจริญเติบโตน้อยและมีการผลัดใบเนื่องจากมีน้ำไม่เพียงพอ ซึ่งคล้ายกับต้นไม้อื่นหลายชนิด เช่น ยางพารา ในช่วงเดือนที่อากาศแห้งใบสีเขียวเข้มที่ปกติจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเหลืองก่อนที่จะร่วงหล่น ทำให้ใบลดลง (Azizan *et al.*, 2021) เมื่อมีใบลดลงทำให้การดูดซับช่วงคลื่นสีแดงลดลง และพื้นที่มีช่องว่างเนื่องจากใบพืชปกคลุมน้อยลง และค่าสะท้อนแสงในบริเวณที่ว่างจะเป็นค่าสะท้อนแสงของดินซึ่งมีการสะท้อนแสงทุกช่วงคลื่นสูง ทำให้เมื่อคำนวณสัดส่วนแล้วค่าช่วงคลื่นแดงและเขียวแตกต่างจากค่าช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ไม่มากนัก จึงทำให้ค่า NDVI และ GNDVI มีค่าต่ำ ขณะที่ไม้ผลไม่มีการผลัดใบจึงทำให้ค่าไม่แตกต่างกันมากนักทั้ง 2 เดือน

ซึ่งในเดือนธันวาคมเป็นช่วงปลายฝนป่าละเมาะยังมีน้ำเพียงพอในการเจริญเติบโต และส่วนใหญ่ป่าละเมาะจะเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่กว่าไม้ผลทำให้ค่า NDVI และ GNDVI สูงกว่าป่าละเมาะ พืชที่มีอายุสั้นเช่น ผัก ข้าว และพืชไร่ โดยทั่วไปจะมีค่าดัชนี NDVI และ GNDVI ต่ำกว่าไม้ยืนต้น เกิดจากเป็นต้นไม้ที่มีขนาดเล็กมีใบน้อยทำให้การดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในน้อย แต่อย่างไรก็ตามพบว่า นาข้าวมีค่า NDVI และ GNDVI ต่ำที่สุดในเดือนมีนาคม ซึ่งเกิดจากในช่วงเวลาดังกล่าวเกษตรกรเก็บเกี่ยวข้าวเรียบร้อยแล้ว ซึ่งโดยทั่วไปพื้นที่ที่ไม่มีพืชปกคลุมหรือพืชปกคลุมน้อยจะมีค่าดัชนี NDVI และ GNDVI ต่ำ และในทำนองเดียวกันพืชไร่จะมีค่าดัชนี NDVI และ GNDVI ต่ำที่สุดในเดือนธันวาคม เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่เก็บเกี่ยวอ้อยในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม และปล่อยต่อให้งอกขึ้นมาใหม่ ซึ่งส่วนใหญ่จะเริ่มงอกใหม่ ในเดือนมีนาคม โดยในปี พ.ศ. 2564 โรงงานเริ่มเปิดหีบอ้อยตั้งแต่วันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2564 เป็นต้นไป (Prachachat Turakit, 2021)

การเปลี่ยนแปลงของค่า NDII ต่างจากค่า NDVI และ ค่า GNDVI โดยในเดือนมีนาคม ค่า NDII ของพืชไร่ นาข้าว ป่าละเมาะ ผัก มีค่าต่ำ ขณะที่ในเดือนธันวาคม พืชไร่ ผัก นาข้าว ไม้ผล มีค่าต่ำ ทั้งนี้เกิดจากดัชนี NDII เป็นดัชนีที่วัดการสะท้อนแสงโดยการหาค่า

ความแตกต่างระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น เป็นดัชนีที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในเรือนยอดของพืช (Ji *et al.*, 2011) สามารถใช้ตรวจจับความเครียดของพืชเนื่องจากปริมาณน้ำในใบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามคุณสมบัติของการสะท้อนแสงอินฟราเรดคลื่นสั้น ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำในใบ โดยการดูดซับช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้นจะมากขึ้นเมื่อปริมาณน้ำในใบมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าดัชนีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น และเนื่องจากความไวต่อปริมาณน้ำในใบพืช ค่า NDII จึงให้ข้อมูลรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับสภาพพืชมากกว่า NDVI โดย NDII แสดงความสัมพันธ์สูงกับความชื้นในดินชั้นบนบริเวณราก (Ochoa *et al.*, 2023) ซึ่งเห็นได้ว่าค่า NDII ในเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงปลายฝนจะมีค่าสูงกว่าในเดือนมีนาคมฤดูแล้ง ซึ่งพื้นที่พืชไร่ นาข้าว ผัก เกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกพืชไร่ เป็นช่วงหลังเก็บเกี่ยว และป่าละเมาะเป็นช่วงที่ต้นไม้ผลัดใบพื้นดินส่วนใหญ่แห้งเนื่องจากเป็นพืชที่ต้องอาศัยน้ำฝน แต่จะสูงกว่าในไม้ผลในเดือนธันวาคมเนื่องจากต้นไม้มีความหนาแน่นกว่า และมีใบที่ออกมาใหม่ยังไม่มีการร่วงสามารถเก็บความชื้นได้มากกว่า ไม้ผลซึ่งส่วนใหญ่ปลูกเป็นแถว มีพื้นที่ว่างเยอะกว่าความหนาแน่นของต้นพืชในพื้นที่น้อยกว่า

**Table 3** Averaged values of three vegetation indices varied by land use types in 2021

Land use types	March			December		
	NDVI	GNDVI	NDII	NDVI	GNDVI	NDII
Paddy Fields	0.344	0.291	0.023	0.258	0.202	0.095
Field Crops	0.277	0.258	-0.026	0.380	0.332	0.063
Tree Plantations	0.489	0.404	0.103	0.562	0.451	0.206
Orchards	0.418	0.353	0.035	0.474	0.384	0.135
Vegetables	0.345	0.295	0.026	0.351	0.283	0.088
Shrubs	0.405	0.351	0.025	0.502	0.412	0.141

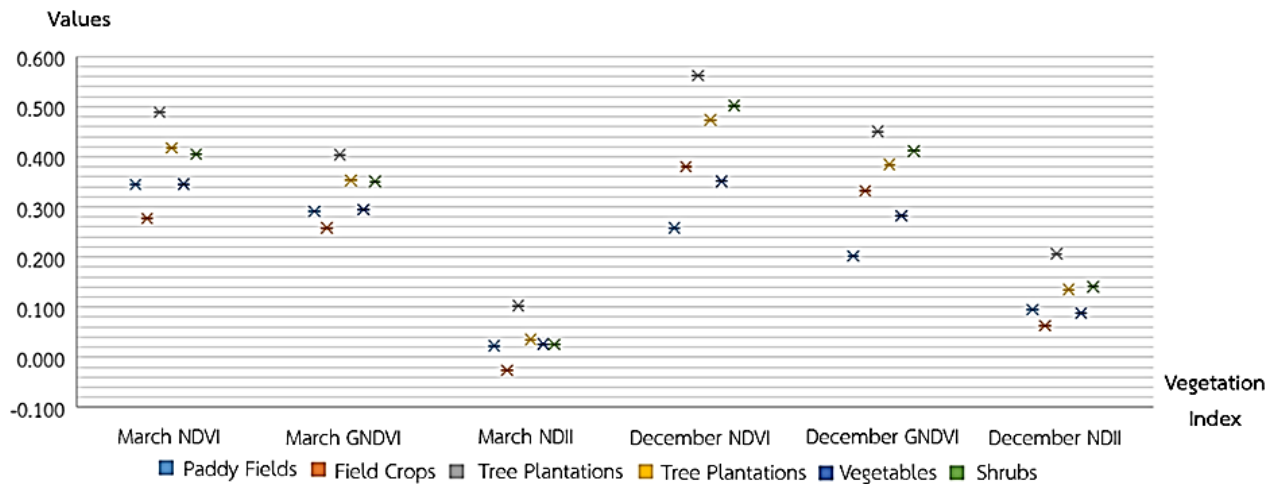


Figure 4 Averaged of vegetation indices varied by land use types in 2021

### การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณกับสมบัติทางเคมีดิน

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณกับสมบัติทางเคมีดิน ทำโดยการนำค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด มีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณกับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจากข้อมูลภาพถ่ายทั้ง 2 เดือน โดยข้อมูลภาพในเดือนมีนาคม พบความสัมพันธ์ในระดับปานกลางทั้ง 3 ดัชนี (Table 4) แต่อย่างไรก็ตามดัชนี NDVI ที่ใช้โมเดลแบบ Logarithmic ให้ค่าความสัมพันธ์ความแม่นยำสูงที่สุดโดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.66 และ p-value เท่ากับ 0.05 ขณะที่ข้อมูลภาพถ่ายในธันวาคม มีเพียงดัชนี NDII พบความสัมพันธ์ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง เมื่อใช้โมเดลแบบ Logarithmic และ Power โดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.63 และ p-value เท่ากับ 0.06 ทั้งนี้จึงอาจเป็นไปได้ว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี NDII กับ ค่า pH มีความสัมพันธ์เชิงลบ คือ เมื่อค่า NDII สูงขึ้นค่า pH มีแนวโน้มลดลง ซึ่งโดยทั่วไปค่าดัชนีพืชพรรณ

จะสามารถใช้จำแนกปริมาณของพืชและสุขภาพของพืชที่ปกคลุม และนอกจากนี้ความสัมพันธ์ของค่า NDII กับค่าความเป็นกรดเป็นด่างอาจสัมพันธ์กับการปลูกพืชซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศและชุดดิน ซึ่งทำให้สมบัติดินเหมาะสมต่อการปลูกพืชที่ต่างกัน โดยพืชไร่ซึ่งมีค่า NDII ส่วนใหญ่ต่ำ และค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูง เกิดจากตัวอย่างดินที่เก็บส่วนใหญ่อยู่ใน ชุดดินกำแพงแสน (Ks) ในอำเภอกำแพงแสน ซึ่งเป็นชุดดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในชั้นดินบนอยู่ในช่วง 7.0-8.0 ปฏิบัติการดินเป็นกลางถึงด่างอ่อน (Land Development Department, 2014a) ขณะที่ไม้ยืนต้นมีค่า NDII สูงที่สุดจะมีค่าเฉลี่ยของ pH ต่ำที่สุด ส่วนใหญ่อยู่ในชุดดินแกลง (Kl) ซึ่งเป็นชุดดินที่มีปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (Land Development Department, 2014a) จึงอาจเป็นไปได้ว่าการประมาณค่าความเป็นกรดเป็นด่างโดยใช้ค่า NDII อาจต้องคำนึงถึงลักษณะของภูมิประเทศ ชุดดิน และชนิดของพืชที่ปกคลุม และดัชนี NDII แสดงความสัมพันธ์สูงกว่า ดัชนี NDVI และ ดัชนี GNDVI อาจเกิดจาก NDII สามารถตรวจจับความเครียดของพืชได้ดีกว่า (Ochoa *et al.*, 2023)

**Table 4** Correlation between vegetation index and soil pH

Month	Vegetation Index	Model	Equation	r	r <sup>2</sup>	P value
March	NDVI	Linear	$\text{pH} = -25.472\text{NDVI} + 12.138$	0.77	0.60	0.07
		Exponential	$\text{pH} = 15.645e^{-3.99 \text{NDVI}}$	0.77	0.60	0.07
		Logarithmic	$\text{pH} = -5.973\ln(\text{NDVI}) - 2.5132$	0.81	0.66	0.05*
		Power	$\text{pH} = 1.5753\text{NDVI}^{-0.936}$	0.81	0.66	0.07
	GNDVI	Linear	$\text{pH} = -8.9301\text{GNDVI} + 9.0828$	0.71	0.51	0.11
		Exponential	$\text{pH} = 9.6221e^{-1.376\text{GNDVI}}$	0.71	0.51	0.11
		Logarithmic	$\text{pH} = -3.016\ln(\text{GNDVI}) + 2.757$	0.74	0.55	0.09
		Power	$\text{pH} = 3.635\text{GNDVI}^{-0.464}$	0.74	0.55	0.09
	NDII	Linear	$\text{pH} = -12.267x + 6.5577$	0.76	0.60	0.07
		Exponential	$\text{pH} = 6.522e^{-1.897x}$	0.77	0.58	0.08
		Logarithmic	-	-	-	-
		Power	-	-	-	-
December	NDVI	Linear	$\text{pH} = -1.4435\text{NDVI} + 6.7854$	0.24	0.06	0.64
		Exponential	$\text{pH} = 6.7525e^{-0.222\text{NDVI}}$	0.24	0.06	0.64
		Logarithmic	$\text{pH} = -0.352\ln(\text{NDVI}) + 5.8615$	0.15	0.02	0.77
		Power	$\text{pH} = 5.8623\text{NDVI}^{-0.053}$	0.15	0.02	0.78
	GNDVI	Linear	$\text{pH} = -0.9344\text{GNDVI} + 6.4987$	0.13	0.02	0.81
		Exponential	$\text{pH} = 6.4631e^{-0.145\text{GNDVI}}$	0.13	0.02	0.81
		Logarithmic	$\text{pH} = -0.074\ln(\text{GNDVI}) + 6.0965$	0.03	0.00	0.95
		Power	$\text{pH} = 6.0772\text{GNDVI}^{-0.011}$	0.03	0.00	0.95
	NDII	Linear	$\text{pH} = -9.1971x + 7.2933$	0.70	0.49	0.12
		Exponential	$\text{pH} = 7.3122e^{-1.427x}$	0.71	0.50	0.12
		Logarithmic	$\text{pH} = -1.259\ln(x) + 3.4309$	0.79	0.63	0.06
		Power	$\text{pH} = 4.0265x^{-0.194}$	0.79	0.63	0.06

2. ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity) พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณกับค่าการนำไฟฟ้าของดินจากข้อมูลภาพถ่ายทั้ง 2 เดือน (Table 5) โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในเดือน

มีนาคมพบความสัมพันธ์ในระดับต่ำทั้ง 3 ดัชนี แต่อย่างไรก็ตามดัชนี NDVI ที่ใช้โมเดลแบบ Power ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุดโดยมีค่า r<sup>2</sup> เท่ากับ 0.32 และ p-value เท่ากับ 0.24 ขณะที่ข้อมูลภาพถ่ายในธันวาคม

ดัชนี NDVI และ GNDVI พบความสัมพันธ์ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง โดย GNDVI โมเดลแบบ Exponential โดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.73 และ p-value เท่ากับ 0.03 ทั้งนี้จึงอาจเป็นไปได้ว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่า GNDVI ในเดือนธันวาคมกับค่าการนำไฟฟ้าของดิน โดยเมื่อค่า GNDVI สูงขึ้นค่าการนำไฟฟ้าของดินมีแนวโน้มลดลงจากผลการวิเคราะห์เห็นได้ว่าดัชนี NDVI และ GNDVI มีศักยภาพในการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของดินในพื้นที่ที่มีพืชปกคลุม แต่ดัชนี GNDVI อาจมีศักยภาพสูงกว่าเนื่องจากค่า GNDVI มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตสามารถนำมาใช้เพื่อตรวจสอบสถานะการเจริญเติบโตของพืชตามเวลาจริง การทำนายหรือประเมินคุณลักษณะของพืช เช่น พื้นที่ใบ มวลชีวภาพ ความสมบูรณ์ของพืช และความหนาแน่นของพืช ค่า GNDVI มีความไวต่อการแปรผันของคลอโรฟิลล์ในพืชมากกว่าค่า NDVI และมีจุดอิ่มตัวที่สูงกว่า สามารถใช้ในพืชที่มีทรงพุ่มหนาแน่นหรือในขั้นตอนการพัฒนาขั้นสูง

ในขณะที่ค่า NDVI เหมาะสำหรับการประมาณความแข็งแรงของพืชในระยะแรก ค่า GNDVI เป็นดัชนีวัดกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นดัชนีคลอโรฟิลล์และถูกนำมาใช้มากขึ้น ในการกำหนดปริมาณน้ำและไนโตรเจนในเรือนยอดของพืชเนื่องจากมีความอิ่มตัวช้ากว่าค่า NDVI เป็นดัชนีพืชชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ปริมาณคลอโรฟิลล์เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพที่สำคัญสำหรับกระบวนการทางสรีรวิทยาหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของพืช ความสามารถในการสังเคราะห์แสง และการตรวจจับความเครียด รวมถึงความเครียดจากภัยแล้ง (Gitelson *et al.*, 1996) และค่าดัชนีพืชพรรณในเดือนธันวาคมให้ค่าความสัมพันธ์สูงกว่าค่าดัชนีพืชพรรณในเดือนมีนาคม อาจเกิดจากช่วงเดือนธันวาคมส่วนใหญ่ยังมีพืชปกคลุมและไม่มีการผลัดใบจึงทำให้สามารถเห็นความแตกต่างในการดูดซับช่วงคลื่นของคลอโรฟิลล์ของพืชที่เจริญเติบโตได้ปกติในพื้นที่ที่ดิน

ไม่มีความเค็ม และพืชที่เจริญเติบโตผิดปกติมีคลอโรฟิลล์ต่ำ ในบริเวณที่ดินมีความเค็ม ซึ่งสอดคล้องกับ Cilek and Berberoglu (2018) ที่รายงานว่าการใช้ดัชนีพืชพรรณต่างช่วงเวลามีผลต่อความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช กรมการข้าว (Rice Department, n.d.) รายงานว่าการมีเกลือมากทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชต่ำ และเกลือไปยับยั้งการดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียมด้วย นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง

3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจากข้อมูลภาพถ่ายทั้ง 2 เดือน (Table 6) โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในเดือนมีนาคม พบความสัมพันธ์ในระดับต่ำมากทั้ง 3 ดัชนี ขณะที่ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในเดือนธันวาคม ดัชนี NDVI และ GNDVI พบความสัมพันธ์ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดย GNDVI โมเดลแบบ Logarithmic โดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.40 และ p-value เท่ากับ 0.18 ทั้งนี้จึงอาจเป็นไปได้ว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี GNDVI ของเดือนธันวาคมกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีความสัมพันธ์เชิงลบ คือ พบว่าเมื่อค่า GNDVI สูงขึ้นปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีแนวโน้มลดลง ซึ่งโดยทั่วไปค่าดัชนีพืชพรรณจะสามารถใช้จำแนกปริมาณของพืชและสุขภาพของพืชที่ปกคลุม โดยพืชที่มีขนาดใหญ่ มีมวลชีวภาพสูง จะมีค่าดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII สูงกว่าบริเวณที่พืชปกคลุมอยู่น้อย และพืชเป็นโรคทั้งจากการขาดธาตุอาหารและการเกิดโรคแมลง ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าบริเวณที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงแต่มีค่าดัชนีพืชพรรณต่ำกว่า ซึ่งเป็นพื้นที่นาข้าว จึงอาจเป็นไปได้ว่าการศึกษาโดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณเพื่อหาความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอาจต้องคำนึงถึงลักษณะของภูมิประเทศ ชุดดิน และชนิดของพืชที่ปกคลุม ซึ่งโดยทั่วไปนาข้าวจะอยู่ในบริเวณชุดดินที่เป็นดินเหนียวในที่ลุ่ม เป็นบริเวณที่มีการสะสม

ของอินทรีย์วัตถุสูงเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณพื้นที่ดอน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ดินร่วนหรือดินทรายในบริเวณที่ปลูกไม้ยืนต้นที่มีค่าดัชนีพืชพรรณสูง หน้าดินตื้น มีชั้น ดินน้อย มีการชะล้างหน้าดินมาก ชั้นดินบนจะบาง หรืออาจจะไม่มีชั้นดินบนเลยก็ได้ ตรงกันข้ามกับดินที่เกิดในที่ราบลุ่ม

ที่มักจะมีชั้นดินบนที่หนากว่าเนื่องจากเป็นแหล่งทับถมของตะกอน เนื้อดินละเอียดกว่า เพราะมีการเคลื่อนย้ายอนุภาคขนาดดินเหนียวจากดินชั้นบนลงไปสะสมอยู่ในดินล่าง (Land Development Department, 2014b)

**Table 5** Correlation between vegetation index and soil Electrical Conductivity

Month	Vegetation Index	Model	Equation	r	r <sup>2</sup>	P value
March	NDVI	Linear	EC = -5.7388NDVI + 1.7132	-0.38	0.15	0.46
		Exponential	EC = -5.7388NDVI + 1.7132	-0.40	0.16	0.43
		Logarithmic	EC = -1.326ln(NDVI) - 1.5584	-0.32	0.11	0.53
		Power	EC = 0.0014NDVI <sup>-3.751</sup>	-0.34	0.12	0.51
	GNDVI	Linear	EC = -1.8015GNDVI + 0.9564	-0.48	0.23	0.33
		Exponential	EC = 1.6593e <sup>-4.976GNDVI</sup>	-0.50	0.25	0.31
		Logarithmic	EC = -0.545ln(GNDVI) - 0.2483	-0.15	0.20	0.37
		Power	EC = 0.0595GNDVI <sup>-1.508</sup>	-0.47	0.22	0.35
	NDII	Linear	EC = -0.8517NDII + 0.3967	-0.18	0.03	0.74
		Exponential	EC = 0.3585e <sup>-2.805NDII</sup>	-0.22	0.05	0.68
		Logarithmic	-	-	-	-
		Power	-	-	-	-
December	NDVI	Linear	EC = -1.4275NDVI + 0.9716	-0.78	0.64	0.06
		Exponential	EC = 1.6538e <sup>-3.836NDVI</sup>	-0.81	0.65	0.05*
		Logarithmic	EC = -0.559ln(NDVI) - 0.1313	-0.80	0.64	0.06
		Power	EC = 0.086NDVI <sup>-1.495</sup>	-0.80	0.64	0.06
	GNDVI	Linear	EC = -1.8556x + 1.0084	-0.85	0.72	0.03*
		Exponential	EC = 1.8088e <sup>-4.959x</sup>	-0.85	0.73	0.03*
		Logarithmic	EC = -0.567ln(x) - 0.2541	-0.84	0.70	0.04*
		Power	EC = 0.0625x <sup>-1.508</sup>	-0.84	0.70	0.04*
	NDII	Linear	EC = -1.9799NDII + 0.6105	-0.51	0.26	0.30
		Exponential	EC = 0.6457e <sup>-5.565NDII</sup>	-0.53	0.28	0.77
		Logarithmic	EC = -0.201ln(NDII) - 0.0687	-0.42	0.18	0.41
		Power	EC = 0.0957NDII <sup>-0.566</sup>	-0.45	0.20	0.38

**Table 6** Correlation between vegetation index and soil OM

Month	Vegetation index	Model	Equation	r	r <sup>2</sup>	P value
March	NDVI	Linear	OM = 5.5705NDVI + 0.9344	-0.08	0.01	0.88
		Exponential	OM = 1.2743e <sup>2.3185 NDVI</sup>	-0.06	0.00	0.91
		Logarithmic	OM = 1.3642ln(NDVI) + 4.2228	-0.03	0.00	0.96
		Power	OM = 5.0075 NDVI <sup>0.5677</sup>	-0.03	0.00	0.96
	GNDVI	Linear	OM = -1.3025GNDVI + 2.6617	-0.14	0.02	0.79
		Exponential	OM = 2.5612e <sup>-0.478GNDVI</sup>	-0.12	0.01	0.82
		Logarithmic	OM = -0.264ln(GNDVI) + 1.9388	-0.09	0.01	0.87
		Power	OM = 2.0042GNDVI <sup>-0.079</sup>	-0.06	0.00	0.91
	NDII	Linear	OM = -1.4441 NDII + 2.2827	-0.12	0.01	0.82
		Exponential	OM = 2.2344e <sup>-0.612 NDII</sup>	-0.11	0.01	0.83
		Logarithmic	-	-	-	-
		Power	-	-	-	-
December	NDVI	Linear	OM = -2.3304NDVI + 3.2195	-0.52	0.27	0.29
		Exponential	OM = 3.3023e <sup>-0.973NDVI</sup>	-0.49	0.24	0.31
		Logarithmic	OM = -0.989ln(NDVI) + 1.3511	-0.57	0.32	0.24
		Power	OM = 1.5175NDVI <sup>-0.41</sup>	-0.53	0.28	0.29
	GNDVI	Linear	OM = -3.1864GNDVI + 3.3337	-0.59	0.34	0.22
		Exponential	OM = 3.4796e <sup>-1.343GNDVI</sup>	-0.55	0.30	0.26
		Logarithmic	OM = -1.061ln(GNDVI) + 1.0698	-0.63	0.40	0.18
		Power	OM = 1.3433GNDVI <sup>-0.445</sup>	-0.59	0.35	0.21
	NDII	Linear	OM = -1.8212NDII + 2.4589	-0.19	0.03	0.72
		Exponential	OM = 2.4054e <sup>-0.764NDII</sup>	-0.18	0.03	0.74
		Logarithmic	OM = -0.038ln(NDII) + 2.1559	-0.03	0.00	0.95
		Power	OM = 2.1645NDII <sup>-0.006</sup>	-0.01	0.00	0.98

## สรุปผลการวิจัย

ความอุดมสมบูรณ์ของดินขึ้นอยู่กับประเภทการใช้ที่ดินและชุดดิน ค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) และ Normalized Difference Infrared Index (NDII) ซึ่งคำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีศักยภาพในการนำมาประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ในบางตัวชี้วัด และขึ้นอยู่กับเดือนที่มีการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นแบบจำลองในการประมาณค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่า NDVI ในเดือนมีนาคม ที่มีความสัมพันธ์แบบ Logarithmic ซึ่งมี ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.66 และ p-value เท่ากับ 0.05 มีศักยภาพสูงที่สุด ค่าการนำไฟฟ้าของดิน ค่า GNDVI ในเดือนธันวาคม ที่มีความสัมพันธ์แบบ Exponential ซึ่งมี ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.73 และ p-value เท่ากับ 0.03 มีศักยภาพสูงที่สุด ขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดต่ำมาก จึงทำให้มีศักยภาพในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นแบบจำลองที่ต่ำมากในการศึกษาครั้งนี้

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรจัดทำแบบจำลองการความอุดมสมบูรณ์ของดินแยกตามชนิดพืช เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีช่วงการเจริญเติบโตและแสดงความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสงและสมบัติดินที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงของปี
2. การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน อาจจำเป็นต้องศึกษาและเก็บข้อมูลในช่วงเวลามีพืชปกคลุม เนื่องจากการใช้ข้อมูล

รีโมทเซนซิงอาศัยหลักการการสะท้อนแสงของพืช โดยบริเวณที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เช่น บริเวณที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำหรือค่าการนำไฟฟ้าของดินสูง จะมีการเจริญเติบโตของพืชต่ำ ส่งผลให้ค่าดัชนีพืชพรรณต่ำ ในทางตรงกันข้ามบริเวณที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง การเจริญเติบโตของพืชสูง ส่งผลให้ค่าดัชนีพืชพรรณสูง เป็นต้น

3. เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชมีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี การสุ่มเก็บข้อมูลในแต่ละปีที่ศึกษา จะทำให้สมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งใช้เป็นแบบจำลองในการประมาณค่าความอุดมสมบูรณ์มีความแม่นยำขึ้น

4. การศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่บันทึกในเดือนธันวาคม แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่าวิเคราะห์ดินที่นำมาศึกษาความสัมพันธ์เป็นค่าวิเคราะห์จากตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บในเดือนมีนาคม อาจทำให้ความแม่นยำของสมการที่ได้คลาดเคลื่อน จึงอาจจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมโดยเก็บตัวอย่างดินในเดือนธันวาคมซึ่งเป็นช่วงเดียวกันกับภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กสว.) เพื่อดำเนินงานวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 กิจกรรมวิจัยและนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาด้านการจัดการดินและที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน แผนงานวิจัย “การจัดการดินเค็มและดินกรดในพื้นที่ภาคกลางเพื่อปลูกพืชสมุนไพร”

### เอกสารอ้างอิง

- Azizan, F.A., I.S. Astuti, M.I. Aditya, T.R. Febbiyanti, A. Williams, A. Young, and A.A. Aziz. 2021. Using multi-temporal satellite data to analyse phenological responses of rubber (*Hevea brasiliensis*) to climatic variations in South Sumatra, Indonesia. **Remote Sensing**. [Online]. Available <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/15/2932> (April 10, 2022).
- Cilek, A. and S. Berberoglu. 2018. Object-based crop mapping using multi-temporal Landsat 8 Imagery. *Int. Journal of Engineering Research and Application* 8(4)(Part-II): 34-37.
- Gitelson, A.A., Y.J. Kaufman and M.N. Merzlyak. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment** 58(3): 289-298.
- Glowienka, E., K. Michalowska, A. Pekala, B. Hejmanowska. 2016. Application of GIS and remote sensing techniques in multitemporal analyses of soil properties in the Foreland of the Carpathians. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science** 44(2016): 052044. [Online]. Available <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/44/5/052044/pdf> (March 18, 2021).
- Hunt, E.R. Jr. and B.N. Rock. 1989. Detection of changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectances. **Remote Sens. Environ.** 30: 43-54. DOI:10.1016/0034-4257(89)90046-1.
- Jensen, J.R. 2000. **Remote Sensing of Environment: An Earth Resource Perspective Second edition**. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc. 592 p.
- Ji, L., L. ZHANG, B.K. WYLIE and J. ROVER. 2011. On the terminology of the spectral vegetation index (NIR-SWIR)/(NIR+SWIR). **International Journal of Remote Sensing** 32(21): 6901-6909.
- Land Development Department. 2014a. **Characteristics and Properties of Soil Series in Central Thailand**. Bangkok: Soil Resources Survey and Research Division, Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [Online]. Available [http://www.ldd.go.th/thaisoils\\_museum/](http://www.ldd.go.th/thaisoils_museum/) (January 20, 2023). [in Thai]
- Land Development Department. 2014b. **Soil and Soil Formation**. Bangkok: Soil Resources Survey and Research Division, Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [Online]. Available [https://www.ldd.go.th/thaisoils\\_museum/survey\\_1/soils.htm](https://www.ldd.go.th/thaisoils_museum/survey_1/soils.htm) (January 20, 2023). [in Thai]

Land Development Department. 2016.

**Characteristics and properties of 62 soil groups.** Bangkok: Soil Resources Survey and Research Division, Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [Online]. Available <http://oss101.ldd.go.th/soilr/product.html> (January 20, 2023). [in Thai]

Molin, J.P. and T.R. Tavares. 2019. Sensor systems for mapping soil fertility attributes: challenges, advances, and perspectives in Brazilian tropical soils. **Eng. Agric.** [Online]. Available <https://www.scielo.br/j/eagri/a/QnZPHfvRYqjVfpRH8y3J7VH/?lang=en> (March 18, 2021).

Ochoa, C.G., F. Villarreal-Guerrero, J.A. Prieto-Amparán, H.R. Garduño, F. Huang and C. Ortega-Ochoa. 2023. Precipitation, vegetation and groundwater relationships in a rangeland ecosystem in the Chihuahuan desert, Northern Mexico. **Hydrology** 10(2): 41 [Online]. Available <https://doi.org/10.3390/hydrology10020041> (December 21, 2022)

Prachachat Turakit. 2021. **Thailand Economic.** Prachachat Turakit Online, November 19, 2021. [Online]. Available <https://www.prachachat.net/economy/news-805635> (January 20, 2023). [in Thai]

Research and Development for Land Management Division. n.d.

**Soil Management.** Bangkok: Research and Development for Land Management Division Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [Online]. Available [https://www.ddd.go.th/Web\\_Soil/Page\\_02.htm](https://www.ddd.go.th/Web_Soil/Page_02.htm) (January 20, 2023). [in Thai]

Rice Department. n.d. Saline Soil, **Rice Knowledge.** Bangkok: Rice Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [Online]. Available [http://www.ricethailand.go.th/rkb3/Fertilizer\\_022.pdf](http://www.ricethailand.go.th/rkb3/Fertilizer_022.pdf) (January 20, 2023). [in Thai]

Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell and D.W. Deering. 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. pp. 309-317. *In* Freden, S.C., E.P. Mercanti, and M. Becker (eds.). **Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume I: Technical Presentations.** Washington, D.C.: NASA SP-351, NASA.

Simms, É.L. and H. Ward. 2013. Multisensor NDVI-based monitoring of the Tundra-Taiga Interface (Mealy Mountains, Labrador, Canada). **Remote Sensing.** [Online]. Available [www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing) (December 21, 2022).

Singh, G., B. Kumar, and Shashikant. 2018. Soil fertility mapping using remote sensing and GIS in NSP farms of ND University of Agriculture and Technology, Kumarganj, Faizabad, Uttar Pradesh, India. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 2018(Special Issue-7): 1394-1402.

Udomsri, S. 2001. Major Characteristics and Potential of Dystraquepts in the Central Plain of Thailand. pp. 84-91. *In Proceedings of the 39th Kasetsart University Annual Conference: Plants, Agricultural Extension and Communication*. Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]

Vaudour, E., C. Gomez, Y. Fouad, P. Lagacherie. 2019. Sentinel-2 image capacities to predict common topsoil properties of temperate and Mediterranean agroecosystems. **Remote Sensing of Environment** 223: 21-33.

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชนิดป่าของประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2561–2562  
ด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศศาสตร์  
Study of Forest Types Change in Thailand Using Geoinformatics Technology  
during 2018 to 2019

วีระภาส คุณรัตนสิริ<sup>1</sup> วิษณุ ดำรงสังข์ศิริ<sup>2</sup> นภาพร เค้ามิม<sup>3</sup> และจutamaศ ศรีคงรักษ์<sup>1\*</sup>

Weeraphart Khunrattanasiri<sup>1</sup>, Vissanu Domrongsutsiri<sup>2</sup>

Napaporn Kao-mim<sup>3</sup> and Jutamad Srikongruk<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

<sup>2</sup>ส่วนสำรวจและวิเคราะห์ทรัพยากรป่าไม้ สำนักจัดการที่ดินป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ 10900

<sup>3</sup>สำนักจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 7 ขอนแก่น 40000

<sup>1</sup>Department of Forest Management, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand 10900

<sup>2</sup>Forest Survey and Assessment Division, Forest Land Management Office, Royal Forest Department  
Bangkok, Thailand 10900

<sup>3</sup>Forest Resource Management Office No.7, Khon Kaen, Thailand 40000

\*Corresponding author: jutamad.sr@ku.th

Received: June 23, 2023

Revised: October 31, 2023

Accepted: February 06, 2024

### Abstract

Forests are characterized as an area with a high level of biodiversity. Each forest type contains a different stand structure and species composition. The purpose of this study was to examine the creation of the national forest type data set using satellite image data and to analyze the change of each forest type area during 2018–2019 in Thailand by using the GIS overlay technique.

The result showed that mangrove forest, secondary forest, peat swamp forest, teak plantation, savanna, and beach forest were increased with the total areas of 73,826.75 rai during 2018–2019. The total forest decreased area of 78,056.23 rai was found in montane forest, mixed deciduous forest, dry evergreen forest, dry dipterocarp forest, moist evergreen forest, bamboo forest, freshwater swamp forest, pine forest, vegetation on pen rock platform, and other forest plantations. An area of 4,229.48 rai was converted from forests to other land uses. Mixed deciduous forest appeared as the most decreased forest type during 2018–2019. The results from this study can be effectively used in the forest resource management plan, and they can be used also to support the biomass and carbon sequestration estimation in Thailand forest sector.

**Keyword:** Thailand forest type, satellite image, geographic information system  
data overlay technique

## บทคัดย่อ

ลักษณะพื้นที่ป่าไม้เป็นรูปแบบหนึ่งที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง และลักษณะทางสังคมพืชที่แตกต่างกันส่งผลให้โครงสร้างของแต่ละชนิดป่ามีความแตกต่างกัน การศึกษาค้นคว้าจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดทำข้อมูลชนิดป่าของประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายเทียม และเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในแต่ละชนิดป่าของประเทศไทย และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชนิดป่าของประเทศไทย 2 ช่วงเวลา โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ผลการศึกษาพบว่า ชนิดป่าที่มีพื้นที่เพิ่มขึ้นระหว่างปี พ.ศ. 2561–2562 ประกอบด้วย ป่าชายเลน ป่าที่พื้นที่พุ่มธรรมชาติ ป่าพรุ สวนป่าสัก ป่าหุบ และป่าชายหาด คิดเป็นพื้นที่รวมเท่ากับ 73,826.75 ไร่ และชนิดป่าที่มีพื้นที่ลดลง ประกอบด้วย ป่าดิบเขา ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง ป่าดิบชื้น ป่าไผ่ ป่าบึงน้ำจืด ป่าสนเขา สังคมพืชลานหิน และสวนป่าชนิดอื่นที่นอกเหนือจากสวนป่าสัก คิดเป็นพื้นที่รวมเท่ากับ 78,056.23 ไร่ โดยพื้นที่ป่าไม้ที่เปลี่ยนแปลงเป็นการใช้ประโยชน์ประเภทอื่น ๆ เท่ากับ 4,229.48 ไร่ และชนิดป่าที่มีการลดลงมากที่สุดคือ ป่าเบญจพรรณในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งการทราบขอบเขตของแต่ละชนิดป่าที่ชัดเจน จะสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรป่าไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้แต่ละชนิดจะส่งผลโดยตรงต่อค่าผลลัพธ์การคำนวณการกักเก็บคาร์บอน และปริมาณมวลชีวภาพในระดับประเทศอีกด้วย

**คำสำคัญ:** ชนิดป่าของประเทศไทย ภูมิสารสนเทศศาสตร์  
เทคนิคการซ้อนทับข้อมูล

## คำนำ

ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย ถือเป็นประเด็นสำคัญที่ทุกภาคส่วนให้ความสำคัญที่จะบรรเทาปัญหาดังกล่าว (Kitigard and Thiphanga, n.d.) ส่วนใหญ่ให้การยอมรับที่ตรงกันเกี่ยวกับพื้นที่ป่าไม้ซึ่งเป็นแหล่งรวบรวมความหลากหลายทางชีวภาพ รวมถึงเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญของประเทศ เนื่องจากต้นไม้ทำหน้าที่ในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนจากชั้นบรรยากาศไว้ในรูปของเนื้อไม้ (Timilsina *et al.*, 2014) แต่เนื่องจากป่าไม้แต่ละชนิดในประเทศไทยมีต้นไม้ต่างชนิดกันขึ้นอยู่กับความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนของแต่ละชนิดป่าแตกต่างกัน (Marod and Kutintara, 2009) และการดำรงอยู่ของป่าไม้แต่ละชนิดถือเป็นเรื่องที่ดี แต่หากป่าไม้บางชนิดมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยภัยคุกคาม หรือภัยธรรมชาติต่าง ๆ ทำให้เกิดการสูญเสียความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนลดลงเช่นเดียวกัน จึงทำการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงหรือการเคลื่อนไหวในรอบปีของพื้นที่ป่าไม้แต่ละชนิด เพื่อนำมาเป็นข้อมูลสนับสนุนในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงการกักเก็บคาร์บอนในประเทศไทย และยังสามารถนำข้อมูลไปพัฒนาต่อยอดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกได้

การจัดทำข้อมูลชนิดป่าในประเทศไทยในอดีตที่ผ่านมาเป็นการดำเนินการโดยใช้ระบบภูมิสารสนเทศศาสตร์โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติเข้าไปวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจัดทำขึ้นโดยกรมป่าไม้ เมื่อปี พ.ศ. 2543 ด้วยเทคนิคการแปลตีความชนิดป่าด้วยสายตาเป็นหลัก โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 ระบบบันทึกภาพ Thematic Mapper (TM) ความละเอียด

จุดภาพ 30 เมตร จัดทำขึ้นบนมาตราส่วน 1:50,000 ควบคู่กับการตรวจสอบความถูกต้องภาคสนาม (Royal Forest Department, 2000) ในปี พ.ศ. 2561–2562 กรมป่าไม้และศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ระบบบันทึกภาพ Operational Land Imager (OLI) ความละเอียดจุดภาพ 30 เมตร และ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ระบบบันทึกภาพ Multispectral Instrument (MSI) ความละเอียดจุดภาพ 10 เมตร มาใช้ในการจัดทำข้อมูลชนิดป่า โดยใช้ข้อมูลจากหลายหน่วยงานเข้ามาประกอบการตัดสินใจ และทำการตรวจสอบความถูกต้องของการแปลงชนิดป่าภาคสนาม (Royal Forest Department, 2018)

การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดทำข้อมูลชนิดป่าของประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ และเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในแต่ละชนิดป่าของประเทศไทยในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2561–2562 โดยใช้วิธีการซ้อนทับข้อมูลด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ผลจากการศึกษาทำให้ทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชนิดป่าไม้ในรอบปี และสามารถนำไปใช้สำหรับวางแผนบริหารจัดการทรัพยากรป่าไม้ต่อไป

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 1. รวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

1.1 ข้อมูลขอบเขตการปกครอง ที่บันทึกและจัดเก็บในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จัดทำโดยสำนักบริหารการปกครองท้องที่ กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย ปี พ.ศ. 2556

1.2 ข้อมูลขอบเขตพื้นที่ป่าไม้ ปี พ.ศ. 2559–2560 จัดเก็บเป็นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของกรมป่าไม้ โดยใช้สำหรับเป็นข้อมูลอ้างอิงประกอบการปฏิบัติงานจำแนกข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้ ปี พ.ศ. 2560–2561

1.3 ข้อมูลขอบเขตพื้นที่ป่าไม้ ปี พ.ศ. 2560–2561 จัดเก็บเป็นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของกรมป่าไม้ โดยใช้สำหรับเป็นข้อมูลอ้างอิงประกอบการปฏิบัติงานจำแนกข้อมูลชนิดป่า

1.4 ข้อมูลขอบเขตชนิดป่า ปี พ.ศ. 2543 จัดเก็บเป็นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของกรมป่าไม้ โดยใช้สำหรับเป็นข้อมูลประกอบการปฏิบัติงานจำแนกข้อมูลชนิดป่า

1.5 ข้อมูลชนิดป่าจากจุดตรวจสอบสภาพพื้นที่ป่าไม้ภาคสนาม ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2556–2560 ของสำนักจัดการที่ดินป่าไม้ กรมป่าไม้

1.6 ข้อมูลทุติยภูมิจากเว็บไซต์ของอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ที่แสดงขอบเขตป่า

1.7 ขอบเขตการจำแนกเขตการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ป่าชายเลน ปี พ.ศ. 2557 ของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง

1.8 ข้อมูลแปลงสวนป่า ขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้

1.9 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในระบบ Google Earth ในช่วงปี พ.ศ. 2561–2562 โดยใช้สำหรับเป็นข้อมูลอ้างอิงประกอบการปฏิบัติงานจำแนกข้อมูลชนิดป่า

2. การจัดหาและการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ก่อนการวิเคราะห์ข้อมูล ในการดำเนินงานได้เลือกใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม 2 ดวง ได้แก่ ดาวเทียม Sentinel-2 เลือกใช้ข้อมูลจำนวน 4 แถบความถี่ (Band) ความละเอียดจุดภาพ 10 เมตร ผลิตภัณฑ์แบบ Level-1C สามารถดำเนินงานดาวน์โหลดข้อมูลจากเว็บไซต์ <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> และ ดาวเทียม Landsat 8 เลือกใช้ข้อมูลจากระบบบันทึกภาพ OLI ความละเอียดจุดภาพ 30 เมตร ผลิตภัณฑ์แบบ L1TP สามารถดำเนินงานดาวน์โหลดข้อมูลจากเว็บไซต์ <https://earthexplorer.usgs.gov/> โดยใช้ผลการดำเนินการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตจากผู้ผลิตและให้บริการข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และใช้

หลักการสร้างภาพผสมสีเท็จในการเน้นคุณภาพของข้อมูลภาพดาวเทียม

3. การจำแนกข้อมูลชนิดป่าปี พ.ศ. 2561 จัดทำขึ้นโดยนำข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้ ของกรมป่าไม้ ที่ได้จากการประเมินความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้ มาซ้อนทับกับข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2 และ Landsat 8 ที่บันทึกภาพในปี พ.ศ. 2561 โดยใช้หลักการแปลตีความภาพดาวเทียมด้วยสายตา (Visual Interpretation) เป็นหลัก และใช้ข้อมูลประกอบการดำเนินการ ได้แก่ ข้อมูลขอบเขตชนิดป่า ปี พ.ศ. 2543 ข้อมูลชนิดป่าจากจุดตรวจสอบสภาพพื้นที่ป่าไม้ ภาคสนาม ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2556-2560 ข้อมูลตุ๊กตานิยมจากเว็บไซต์ของกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ขอบเขตการจำแนกเขตการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ป่าชายเลน ปี พ.ศ. 2557 ข้อมูลแปลงสวนป่า ขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ และข้อมูลภาพดาวเทียมในระบบ Google Earth การกำหนดนิยามของป่าแต่ละประเภท อ้างอิงจาก Kutintara (1999); Marod and Kutintara (2009); Santisuk (2012) ในการดำเนินงานได้จำแนกชนิดป่าออกเป็น 16 ชนิดป่า มีรายละเอียดของการจำแนกข้อมูลชนิดป่าดังนี้

1) ป่าดิบชื้น (Moist evergreen forest) พิจารณาจากระดับความชื้นสีของพืชพรรณ

2) ป่าดิบแล้ง (Dry evergreen forest) จะมีระดับความชื้นสีของพืชพรรณมากกว่าป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรัง

3) ป่าดิบเขา (Montane forest) จะมีระดับความชื้นสีของพืชพรรณที่คล้ายกับป่าดิบแล้ง แต่สามารถพบป่าดิบเขาในบริเวณที่เป็นยอดเขาสูง

4) ป่าสนเขา (Pine forest) ส่วนมากจะพบป่าสนเขาในบริเวณที่ติดกับทุ่งหญ้า ป่าสนเขาในพื้นที่อนุรักษ์ มีระดับความชื้นสีของพืชพรรณและรายละเอียดของเนื้อภาพต่างจากป่าชนิดอื่นที่อยู่รอบข้าง

5) ป่าพรุ (Peat swamp forest) จะพบในบริเวณที่มีน้ำท่วมขัง

6) ป่าชายเลน (Mangrove forest) ให้ผสมข้อมูลภาพดาวเทียมสีเท็จด้วยข้อมูลแถบความถี่แดงอินฟราเรดใกล้ และอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น ป่าชายเลนจะปรากฏสีส้มเข้ม แยกจากป่าชนิดอื่นชัดเจน และพิจารณาแหล่งที่ตั้งติดทะเล ปากแม่น้ำ หรือแนวชายฝั่งประกอบด้วย

7) ป่าบึงน้ำจืด (Freshwater swamp forest) จะพบบริเวณพื้นที่ราบลุ่มริมฝั่งแม่น้ำและบริเวณริมหนองน้ำ

8) ป่าชายหาด (Beach forest) พบในบริเวณชายทะเลที่เป็นหาดทรายและน้ำทะเลท่วมไม่ถึง

9) ป่าเบญจพรรณ (Mixed deciduous forest) จะมีระดับความชื้นสีของพืชพรรณน้อยกว่าป่าดิบแล้ง และในบางพื้นที่ไม่พบความชื้นสีของพืชพรรณเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีการผลัดใบ

10) ป่าเต็งรัง (Dry dipterocarp forest: DDF) จะมีระดับความชื้นสีของพืชพรรณคล้ายคลึงกับป่าเบญจพรรณ ในบางพื้นที่จะพบป่าเต็งรังมีความหยابละเอียดของภาพแตกต่างจากป่าเบญจพรรณ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีหินปะปน

11) ป่าไผ่ (Bamboo forest) ส่วนใหญ่ปรากฏระหว่างป่าเบญจพรรณและพื้นที่ริมแม่น้ำ มีระดับความชื้นสีของพืชพรรณน้อยกว่าป่าเบญจพรรณ และมีพื้นผิวสม่ำเสมอ

12) สวนป่าสัก (Teak plantation) สามารถสังเกตได้จากรูปทรง ลักษณะการเรียงตัวของแปลงปลูก และความหยابละเอียดของภาพ สวนป่าสักจะมีลักษณะพื้นผิวสม่ำเสมอในแปลงนั้น ๆ และมีระดับความชื้นสีของพืชพรรณที่แตกต่างกันในแต่ละชั้นอายุ

13) สวนป่าอื่น ๆ (Other plantations) เช่น สวนปาล์ม พารา เป็นต้น สามารถจำแนกได้โดยใช้เกณฑ์การพิจารณาเช่นเดียวกับสวนป่าสัก และมีการใช้ข้อมูลภาพดาวเทียมจากโปรแกรม Google Earth ประกอบการตัดสินใจ

14) ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ (Secondary forest) รวมถึงป่าที่ฟื้นฟูโดยมนุษย์ ส่วนใหญ่ปรากฏในพื้นที่ที่ปลูกต้นไม้ทดแทนเพียงชนิดเดียวจะปรากฏพื้นผิวราบเรียบสม่ำเสมอ และในพื้นที่ที่ปลูกต้นไม้ทดแทนหลายชนิดจะปรากฏลักษณะพื้นผิวขรุขระ

15) ป่าทุ่ง (Savanna) จะไม่แสดงให้เห็นว่าเป็นพื้นที่ป่าไม้ โดยจะปรากฏคล้ายคลึงกับพืชเกษตรหรือสนามหญ้า ป่าทุ่งจะมีพื้นผิวสม่ำเสมอ ส่วนมากปรากฏในขอบเขตพื้นที่อนุรักษ์ เช่น อุทยานแห่งชาติเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า เป็นต้น

16) สังคมพืชลานหิน (Vegetation on Pen Rock Platform) ปรากฏคล้ายคลึงกับพื้นที่เปิดโล่งส่วนมากพบปรากฏบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หรือในบริเวณที่พบป่าเต็งรัง

ทำการประเมินความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลหลังจากการแปลตีความชนิดป่า โดยมีการลงพื้นที่เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลชนิดป่าภาคสนาม ผลลัพธ์สุดท้ายของข้อมูลชนิดป่าจะถูกบันทึกและจัดเก็บในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ รูปแบบ Shape File (นามสกุลไฟล์ .shp) คือ มีการจัดเก็บแบบรูปหลายเหลี่ยมที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลอธิบาย (Attribute) กำหนดพิกัดแบบยูทีเอ็ม (UTM Coordinates) เขตโซน 47 เหนือ สเฟียร์อยด์ (Spheroid) และพื้นหลักฐาน (Datum) เป็น World Geodetic System 1984 (WGS84)

4. การจัดทำข้อมูลชนิดป่า ปี พ.ศ. 2562 จัดทำตามวิธีการเดียวกับข้อมูลชนิดป่า ปี พ.ศ. 2561 โดยนำข้อมูลชนิดป่า ปี พ.ศ. 2561 มาตรวจสอบกับข้อมูลภาพถ่ายเทียมด้วยสายตา โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายเทียม Landsat 8 และ Sentinel-2 ที่บันทึกภาพในปี พ.ศ. 2562

5. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชนิดป่าของประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2561 ถึง ปี พ.ศ. 2562 จากข้อมูลชนิดป่า ในปี พ.ศ. 2560-2561 ของสำนักจัดการที่ดินป่าไม้ กรมป่าไม้ โดยใช้วิธีการซ้อนทับ (Overlay)

ด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชนิดป่าในภาพรวมของประเทศไทย การเปลี่ยนแปลงชนิดป่าตามภูมิภาค และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในแต่ละชนิดป่า

## ผลการวิจัยและวิจารณ์

### ผลการจำแนกข้อมูลชนิดป่า ในปี พ.ศ. 2561-2562 ของประเทศไทย

1. จากข้อมูลชนิดป่า ปี พ.ศ. 2561 พบว่าป่าเบญจพรรณ มีพื้นที่ 47,194,211.82 ไร่ ปาดิบแล้ง มีพื้นที่ 13,904,871.12 ไร่ ปาดิบชื้น มีพื้นที่ 11,916,400.68 ไร่ ป่าเต็งรัง มีพื้นที่ 11,885,932.37 ไร่ ปาดิบเขา มีพื้นที่ 10,944,716.68 ไร่ ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ มีพื้นที่ 1,805,895.34 ไร่ ป่าชายเลน มีพื้นที่ 1,538,185.33 ไร่ สวนป่าสัก มีพื้นที่ 915,326.73 ไร่ ป่าสนเขา มีพื้นที่ 541,822.97 ไร่ สังคมพืชลานหิน 415,499.84 ไร่ ป่าไผ่ มีพื้นที่ 407,905.88 ไร่ ป่าทุ่ง มีพื้นที่ 386,971.31 ไร่ ป่าพรุ มีพื้นที่ 273,263.28 ไร่ ป่าบึงน้ำจืด มีพื้นที่ 263,905.58 ไร่ ป่าชายหาด มีพื้นที่ 65,840.83 ไร่ และสวนป่าอื่น ๆ มีพื้นที่ 27,552.42 ไร่ (Table 1 and Figure 1)

2. จากข้อมูลชนิดป่า ปี พ.ศ. 2562 พบว่าป่าเบญจพรรณ มีพื้นที่ 47,179,809.63 ไร่ ปาดิบแล้ง มีพื้นที่ 13,890,716.96 ไร่ ปาดิบชื้น มีพื้นที่ 11,910,107.55 ไร่ ป่าเต็งรัง มีพื้นที่ 11,872,710.87 ไร่ ปาดิบเขา มีพื้นที่ 10,923,535.26 ไร่ ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ มีพื้นที่ 1,828,071.85 ไร่ ป่าชายเลน มีพื้นที่ 1,562,102.49 ไร่ สวนป่าสัก มีพื้นที่ 920,954.63 ไร่ ป่าสนเขา มีพื้นที่ 540,821.85 ไร่ สังคมพืชลานหิน มีพื้นที่ 414,974.30 ไร่ ป่าไผ่ มีพื้นที่ 402,584.45 ไร่ ป่าทุ่ง มีพื้นที่ 389,954.52 ไร่ ป่าพรุ มีพื้นที่ 291,932.40 ไร่ ป่าบึงน้ำจืด มีพื้นที่ 261,982.05 ไร่ ป่าชายหาด มีพื้นที่ 66,293.69 ไร่ และสวนป่าอื่น ๆ มีพื้นที่ 27,520.21 ไร่ (Table 1 and Figure 1)

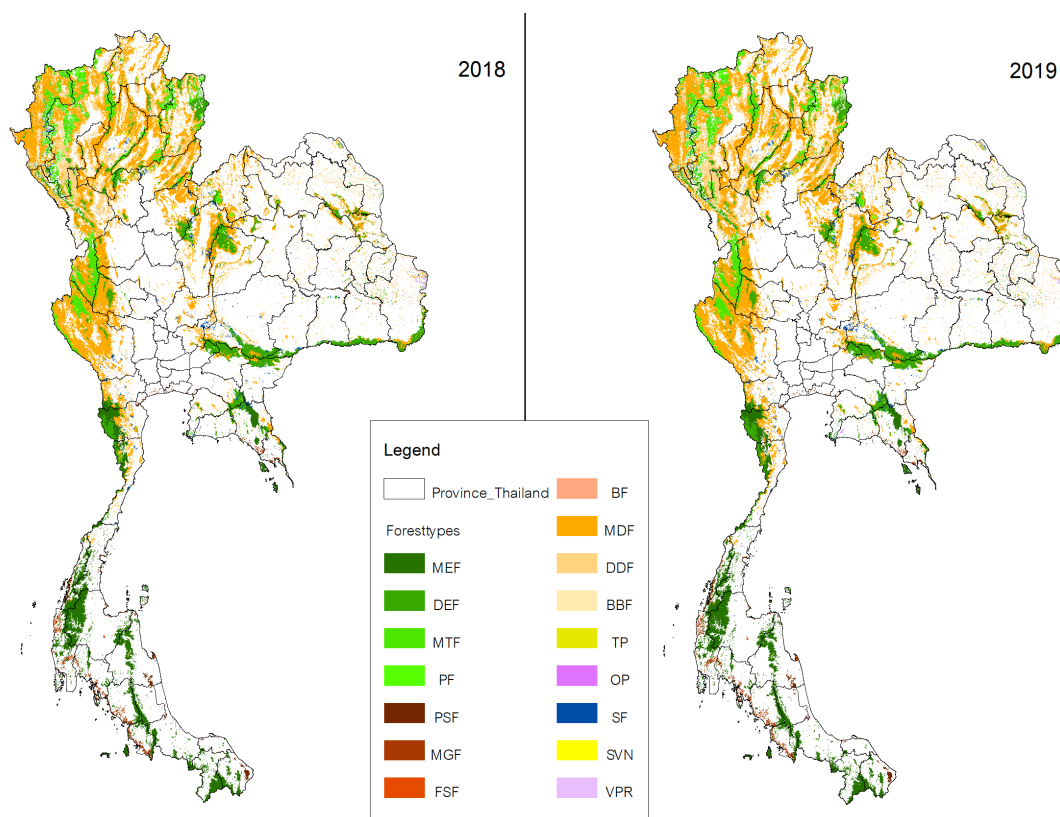


Figure 1 Classification maps of forest types between 2018 and 2019

Table 1 Change of Thailand forest types between 2018 and 2019

Forest Types	2018		2019		Changed area (km <sup>2</sup> )
	Area (km <sup>2</sup> )	%	Area (km <sup>2</sup> )	%	
Moist evergreen forest	19,066.24	3.68	19,056.17	3.68	-10.07
Dry evergreen forest	22,247.79	4.3	22,225.15	4.29	-22.65
Montane forest	17,511.55	3.38	17,477.66	3.38	-33.89
Pine forest	866.92	0.17	865.31	0.17	-1.60
Peat swamp forest	437.22	0.08	467.09	0.09	29.87
Mangrove forest	2,461.10	0.48	2,499.36	0.48	38.27
Freshwater swamp forest	422.25	0.08	419.17	0.08	-3.08
Beach forest	105.35	0.02	106.07	0.02	0.72
Mixed deciduous forest	75,510.74	14.59	75,487.70	14.58	-23.04

Table 1 (Continued)

Forest Types	2018		2019		Changed area (km <sup>2</sup> )
	Area (km <sup>2</sup> )	%	Area (km <sup>2</sup> )	%	
Dry dipterocarp forest	19,017.49	3.67	18,996.34	3.67	-21.15
Bamboo forest	652.65	0.13	644.14	0.12	-8.51
Teak plantation	1,464.52	0.28	1,473.53	0.28	9.00
Other plantations	44.08	0.01	44.03	0.01	-0.05
Secondary forest	2,889.43	0.56	2,924.91	0.57	35.48
Savanna	619.15	0.12	623.93	0.12	4.77
Vegetation on pen rock platform	664.80	0.13	663.96	0.13	-0.84
<b>Sum area</b>	<b>163,981.28</b>	<b>31.68</b>	<b>163,974.52</b>	<b>31.68</b>	<b>-6.77</b>

Table 1 แสดงการเพิ่มขึ้นและลดลงของพื้นที่ชนิดป่า ดังนี้ พื้นที่โดยรวมของชนิดป่าที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดเท่ากับ 73,826.75 ไร่ แบ่งเป็น ป่าชายเลน จำนวน 23,917.16 ไร่ ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ จำนวน 22,176.51 ไร่ ป่าพรุ จำนวน 18,669.12 ไร่ สวนป่าสัก จำนวน 5,627.90 ไร่ ป่าทุ่ง จำนวน 2,983.21 ไร่ และป่าชายหาด จำนวน 452.86 ไร่ และพื้นที่โดยรวมของชนิดป่าที่ลดลงทั้งหมด เท่ากับ 78,056.23 ไร่ แบ่งเป็น ป่าดิบเขา จำนวน 21,181.41 ไร่ ป่าเบญจพรรณ จำนวน 14,402.19 ไร่ ป่าดิบแล้ง จำนวน 14,154.16 ไร่ ป่าเต็งรัง จำนวน 13,221.50 ไร่ ป่าดิบชื้น จำนวน 6,293.13 ไร่ ป่าไผ่ จำนวน 5,321.43 ไร่ ป่าบึงน้ำจืด จำนวน 1,923.53 ไร่ ป่าสนเขา จำนวน 1,001.12 ไร่ สักมพืชลานหิน จำนวน 525.54 ไร่ และสวนป่าอื่น ๆ จำนวน 32.21 ไร่

#### ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชนิดป่าในปี พ.ศ. 2561-2562 ตามภูมิภาค

ประเทศไทยประกอบด้วย 6 ภูมิภาค โดยใช้เกณฑ์การแบ่งภูมิภาคตามคณะกรรมการภูมิศาสตร์แห่งชาติ ปี พ.ศ. 2520 ได้แก่ ภาคกลาง ภาคตะวันตก ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียง ภาคใต้ และ

ภาคเหนือ ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชนิดป่าในปี พ.ศ. 2561-2562 ตามภูมิภาค (Figure 2) พบว่า

1) ภาคกลาง ป่าที่มีพื้นที่ลดลง ได้แก่ สวนป่าอื่น ๆ 236.57 ไร่ ป่าไผ่ 20.81 ไร่ ป่าบึงน้ำจืด 15.62 ไร่ และสักมพืชลานหิน 1.98 ไร่ ป่าที่มีพื้นที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ 25,161.53 ไร่ ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ 10,582.15 ไร่ ป่าชายเลน 9,859.86 ไร่ ป่าเต็งรัง 6,102.69 ไร่ สวนป่าสัก 2,534.12 ไร่ ป่าดิบแล้ง 1,628.08 ไร่ ป่าทุ่ง 906.86 ไร่ ป่าสนเขา 834.04 ไร่ และป่าดิบเขา 104.17 ไร่

2) ภาคตะวันตก ป่าที่มีพื้นที่ลดลง ได้แก่ ป่าเต็งรัง 1,762.46 ไร่ ป่าไผ่ 1,754.81 ไร่ ป่าดิบเขา 1,000.44 ไร่ ป่าดิบแล้ง 475.50 ไร่ ป่าบึงน้ำจืด 330.74 ไร่ ป่าชายหาด 111.74 ไร่ สวนป่าสัก 97.39 ไร่ และป่าสนเขา 11.44 ไร่ ป่าที่มีพื้นที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ 13,415.01 ไร่ ป่าเบญจพรรณ 12,580.82 ไร่ ป่าชายเลน 3,684.00 ไร่ ป่าดิบชื้น 1,169.90 ไร่ ป่าทุ่ง 187.09 ไร่ สักมพืชลานหิน 98.36 ไร่ และสวนป่าอื่น ๆ 19.68 ไร่

3) ภาคตะวันออก ป่าที่มีพื้นที่ลดลง ได้แก่ ป่าดิบแล้ง 4,871.24 ไร่ ป่าดิบชื้น 2,298.59 ไร่ ป่าเบญจพรรณ 918.78 ไร่ และสวนป่าสัก 353.56 ไร่

ป่าที่มีพื้นที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ป่าชายเลน 6,619.14 ไร่ ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ 2,082.14 ไร่ ป่าชายหาด 747.88 ไร่ สักมพิชลานหิน 207.89 ไร่ ป่าพรุ 125.54 ไร่ สวนป่าอื่น ๆ 110.83 ไร่ ป่าไผ่ 54.06 ไร่ ป่าทุ่ง 24.47 ไร่ และป่าเต็งรัง 4.49 ไร่ และพบว่าป่าดิบเขาไม่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่า

4) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ป่าที่มีพื้นที่ลดลง ได้แก่ ป่าดิบแล้ง 3,721.17 ไร่ ป่าไผ่ 2,799.60 ไร่ ป่าเบญจพรรณ 1,813.29 ไร่ ป่าบึงน้ำจืด 1,558.84 ไร่ สักมพิชลานหิน 926.75 ไร่ สวนป่าสัก 219.40 ไร่ สวนป่าอื่น ๆ 31.96 ไร่ ป่าดิบเขา 6.39 ไร่ และป่าสนเขา 4.91 ไร่ ป่าที่มีพื้นที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ป่าเต็งรัง 8,446.08 ไร่ ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ 2,307.67 ไร่ และป่าทุ่ง 2,228.46 ไร่

5) ภาคใต้ ป่าที่มีพื้นที่ลดลง ได้แก่ ป่าดิบชื้น 5,164.43 ไร่ ป่าไผ่ 436.57 ไร่ ป่าเบญจพรรณ 239.35 ไร่ ป่าชายหาด 183.29 ไร่ ป่าดิบแล้ง 49.93 ไร่ และสวนป่าอื่น ๆ 4.37 ไร่ ป่าที่มีพื้นที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ป่าพรุ 18,543.58 ไร่ ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ 4,243.03 ไร่ ป่าชายเลน 3,754.16 ไร่ สักมพิชลานหิน 65.49 ไร่ และป่าบึงน้ำจืด 3.44 ไร่

6) ภาคเหนือป่าที่มีพื้นที่ลดลง ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ 49,173.12 ไร่ ป่าเต็งรัง 26,012.31 ไร่ ป่าดิบเขา 20,278.75 ไร่ ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ 10,453.50 ไร่ ป่าดิบแล้ง 6,664.40 ไร่ ป่าสนเขา 1,818.81 ไร่ ป่าไผ่ 363.70 ไร่ ป่าทุ่ง 363.68 ไร่ และป่าบึงน้ำจืด 21.77 ไร่ ป่าที่มีพื้นที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ สวนป่าสัก 3,764.13 ไร่ สวนป่าอื่น ๆ 110.18 ไร่ และสักมพิชลานหิน 31.44 ไร่

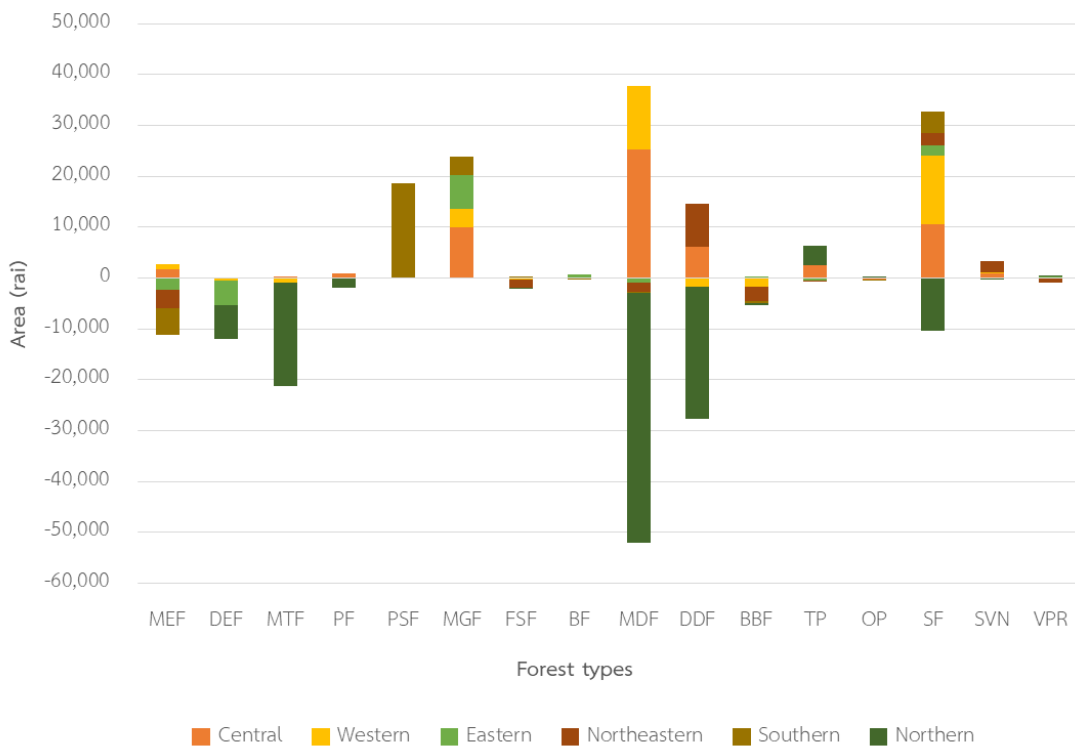


Figure 2 Change of Thailand forest types by region between 2018 and 2019

### ผลการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงพื้นที่ในแต่ละชนิดป่า

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชนิดป่าของประเทศไทย ระหว่างในปี พ.ศ. 2561–2562 จากข้อมูลชนิดป่า ในปี พ.ศ. 2561–2562 ของสำนักจัดการที่ดินป่าไม้ กรมป่าไม้ โดยใช้วิธีการซ้อนทับด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ พบว่า

1) มีพื้นที่ชนิดป่าที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนี้ ป่าดิบชื้น 11,839,284.90 ไร่ ป่าดิบแล้ง 13,860,089.11 ไร่ ป่าดิบเขา 10,900,631.57 ไร่ ป่าสนเขา 538,350.37 ไร่ ป่าพรุ 269,652.26 ไร่ ป่าชายเลน 1,504,797.33 ไร่ ป่าบึงน้ำจืด 256,511.45 ไร่ ป่าชายหาด 65,082.39 ไร่ ป่าเบญจพรรณ 46,961,629.97 ไร่ ป่าเต็งรัง 11,794,786.62 ไร่ ป่าไผ่ 398,196.16 ไร่ สวนป่าสัก 898,252.40 ไร่ สวนป่าอื่น ๆ 26,869.96 ไร่ ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ 1,754,024.91 ไร่ ป่าทุ่ง 385,157.71 ไร่ และสังคมพืชลานหิน 413,450.42 ไร่ รวมพื้นที่ที่ชนิดป่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดเท่ากับ 101,866,767.52 ไร่

2) มีพื้นที่ในปี พ.ศ. 2561 เป็นพื้นที่ป่าไม้ และในปี พ.ศ. 2562 เปลี่ยนเป็นพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่าไม้ โดยแต่ละชนิดป่ามีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ ป่าดิบชื้น 74,101.13 ไร่ ป่าดิบแล้ง 42,395.45 ไร่ ป่าดิบเขา 42,411.59 ไร่ ป่าสนเขา 3,472.60 ไร่ ป่าพรุ 3,610.87 ไร่ ป่าชายเลน 32,340.03 ไร่ ป่าบึงน้ำจืด 7,195.59 ไร่ ป่าชายหาด 526.30 ไร่ ป่าเบญจพรรณ 225,107.68 ไร่ ป่าเต็งรัง 87,130.58 ไร่ ป่าไผ่ 6,992.10 ไร่ สวนป่าสัก 13,775.60 ไร่ สวนป่าอื่น ๆ 682.46 ไร่ ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ 48,397.51 ไร่ ป่าทุ่ง 1,024.38 ไร่ และสังคมพืชลานหิน 1,739.00 ไร่

3) มีพื้นที่ในปี พ.ศ. 2561 ไม่ใช่พื้นที่ป่าไม้ และในปี พ.ศ. 2562 เปลี่ยนเป็นพื้นที่ป่าไม้ โดยมีการเปลี่ยนแปลงเป็นป่าแต่ละชนิด ดังนี้ ป่าดิบชื้น 70,747.97 ไร่ ป่าดิบแล้ง 28,960.30 ไร่ ป่าดิบเขา 19,003.27 ไร่ ป่าสนเขา 1,602.50 ไร่ ป่าพรุ 21,833.32 ไร่ ป่าชายเลน 53,890.79 ไร่ ป่าบึงน้ำจืด 5,402.76 ไร่ ป่าชายหาด 1,144.46 ไร่ ป่าเบญจพรรณ 210,866.30 ไร่ ป่าเต็งรัง

72,827.21 ไร่ ป่าไผ่ 4,230.83 ไร่ สวนป่าสัก 21,278.22 ไร่ สวนป่าอื่น ๆ 475.75 ไร่ ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ 69,552.01 ไร่ ป่าทุ่ง 3,587.12 ไร่ และสังคมพืชลานหิน 1,270.58 ไร่

4) พื้นที่ชนิดป่าระหว่างในปี พ.ศ. 2561–2562 ที่มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 2,000 ไร่ ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ เปลี่ยนเป็นป่าเต็งรัง จำนวน 3,899.29 ไร่ สวนป่าสัก เปลี่ยนเป็นป่าดิบเขา จำนวน 2,728.24 ไร่ ป่าไผ่ เปลี่ยนเป็นป่าเบญจพรรณ จำนวน 2,672.26 ไร่ ป่าเต็งรัง เปลี่ยนเป็นป่าเบญจพรรณ จำนวน 2,604.75 ไร่ ป่าดิบชื้น เปลี่ยนเป็นป่าชายเลน จำนวน 2,574.93 ไร่

ผลการศึกษาพบว่า การลดลงของพื้นที่ป่าไม้ สอดคล้องกับสถิติคดีการกระทำผิดกฎหมายเกี่ยวกับการป่าไม้ ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 – เดือนกันยายน พ.ศ. 2562 พบจำนวนคดีบุกรุกพื้นที่ป่าไม้ 1,726 คดี มีพื้นที่บุกรุก 34,491.005 ไร่ และสถิติการเกิดไฟไหม้ป่า ระหว่างเดือน มกราคม – ธันวาคม ปี พ.ศ. 2562 พบความถี่ในการเกิดไฟ 1,447 ครั้ง มีพื้นที่เสียหาย 59,378 ไร่ ซึ่งพื้นที่เกิดไฟไหม้ป่าส่วนใหญ่พบในพื้นที่ป่าเบญจพรรณ บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย (Information and Communication Technology Center, 2019)

### สรุปผลการวิจัย

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในแต่ละชนิดป่าของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2561–2562 พบว่า ป่าเบญจพรรณ เป็นชนิดป่าที่มีจำนวนพื้นที่มากที่สุดในพื้นที่ประเทศไทย ชนิดป่าที่มีพื้นที่เพิ่มขึ้นรวมทั้งหมด เท่ากับ 73,826.75 ไร่ และชนิดป่าที่มีพื้นที่ลดลงรวมทั้งหมด เท่ากับ 78,056.23 ไร่ โดยพื้นที่ป่าไม้ที่เปลี่ยนแปลงเป็นการใช้ประโยชน์ประเภทอื่น ๆ เท่ากับ 4,229.48 ไร่

การวิเคราะห์ข้อมูลชนิดป่าของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2561–2562 จำแนกตามภูมิภาค พบว่าในทุกภูมิภาคของประเทศไทย มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ชนิดป่าจากผลลัพธ์การแปลตีความภาพดาวเทียมด้วยสายตา

ยกเว้นพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งชนิดป่าที่มีการลดลงมากที่สุดคือ ป่าเบญจพรรณ มีพื้นที่เท่ากับ 49,173.12 ไร่ และในพื้นที่แต่ละภูมิภาคไม่พบชนิดป่าบางประเภท ดังนี้ ภาคกลางไม่พบพื้นที่ป่าดิบแล้ง ป่าพรุ และป่าชายหาด ภาคตะวันตกไม่พบพื้นที่ป่าพรุ ภาคตะวันออกไม่พบพื้นที่ป่าสนเขาและป่าบึงน้ำจืด ภาคตะวันออกเฉียงไม่พบพื้นที่ป่าดิบแล้ง ป่าพรุ ป่าชายเลน และป่าชายหาด ภาคใต้ไม่พบพื้นที่ป่าสนเขาและป่าบึงน้ำจืด และภาคเหนือไม่พบพื้นที่ป่าดิบชื้น ป่าพรุ ป่าชายเลน และป่าชายหาด

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชนิดป่าของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2561–2562 พบว่าพื้นที่ชนิดป่าที่ไม่มี การเปลี่ยนแปลงรวมทั้งหมดเท่ากับ 101,866,767.52 ไร่ และชนิดป่าที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือ ป่าเบญจพรรณเปลี่ยนเป็นป่าเต็งรัง

### กิตติกรรมประกาศ

คณะนักวิจัยขอขอบคุณสำนักจัดการที่ดินป่าไม้ กรมป่าไม้ สำหรับการให้ทุนในการวิจัยและการอนุเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินงาน

### เอกสารอ้างอิง

Information and Communication Technology Center. 2019. **Forest Protection**. Bangkok: Forest Information, Royal Forest Department. [Online]. Available <http://forestinfo.forest.go.th/Content.aspx?id=2> (June 15, 2022). [in Thai]

Kitigard, K. and P. Thinphanga. n.d. **Climate Change research in Thailand**. [Online]. Available <https://www.tei.or.th/thaicityclimate/public/research-47.pdf> (June 30, 2022). [in Thai]

Kutintara, U. 1999. **Ecology: Fundamental in Forestry**. Bangkok: Department of Forest Biology, Faculty of Forestry, Kasetsart University. 566 p. [in Thai]

Marod, D. and U. Kutintara. 2009. **Forest Ecology**. Bangkok: Department of Forest Biology, Faculty of Forestry, Kasetsart University. 532 p. [in Thai]

Royal Forest Department. 2000. **Standard Forest Mapping Project**. Bangkok: Forest Assessment Division, Forest Research Office, Royal Forest Department. 246 p. [in Thai]

\_\_\_\_\_. 2018. **Forest Area Status Project, 2017–2018**. Bangkok: Forest Land Management Office, Royal Forest Department. 282 p. [in Thai]

Santisuk, T. 2012. **Forest of Thailand**. Bangkok: Forest Herbarium Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. 810 p. [in Thai]

Timilsina, N., C.L. Staudhammer, F.J. Escobedo, and A. Lawrence. 2014. Tree biomass, wood waste yield, and carbon storage changes in an urban forest. **Landscape and Urban Planning** 127: 18-27.

ประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่อถังหมักปุ๋ยครัวเรือนขนาดเล็ก  
สำหรับขยะอินทรีย์และเศษอาหาร  
Efficiency and Satisfaction of Small Household Compost Bin  
for Organic and Food Waste

ฐปน ชื่นบาล และศิริภรณ์ ชื่นบาล\*

Tapana Cheunbarn and Siraporn Cheunbarn\*

สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Program in Environmental Technology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

\*Corresponding author: siraporn@mju.ac.th

Received: April 05, 2023

Revised: October 11, 2023

Accepted: November 10, 2023

**Abstract**

The objective of this research was to develop a small household compost bin for organic and food waste, to study its efficiency and the satisfaction of compost bin users. The study was divided into three treatments; T1) without core ventilation pipe compost bins, 2) core ventilation pipe compost bins and T3) core ventilation pipe compost bins and 10% immobilized microorganisms. The fermentation materials include vegetable waste, fruit waste, rice, and dried leaves in the ratio of 1:1:1:1 by weight with an initial C/N ratio of 48 were investigated. One kilogram of material was added continuously for a period of 15 days, stopped feeding for 15 days, and then started the process one more. The results showed that temperature in all treatments were not different while the pH and EC were statistically different at the 95% confidence level. After the end of the experiment, the properties of soil amendments of T3 were better than the other treatments with pH, EC and C/N at 7.2, 1.2260 dS/cm, and 18, respectively. In addition, the fermented water showed the highest humic acid content of 1.1%. The T3 condition that consisted of core ventilation pipe bin and 10% immobilized microorganisms were tested back to a sample of 10 households. After 2 months of using, the users assessed their satisfactions through questionnaires. The overall satisfaction of compost bin was  $4.5 \pm 0.8$ .

**Keywords:** compost bin, organic and food waste, soil amendments

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาถ้ำหมักปุ๋ยคั่วเร็วขนาดเล็กสำหรับขยะอินทรีย์และเศษอาหาร และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถ้ำหมักและความพึงพอใจของผู้ใช้งานถ้ำหมัก การศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ T1) ถ้ำหมักแบบไม่มีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลาง T2) ถ้ำหมักแบบมีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลาง และ T3) ถ้ำหมักแบบมีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลางและหัวเชื้อจุลินทรีย์ 10% โดยวัสดุหมัก ได้แก่ เศษผัก เศษผลไม้ ข้าว และใบไม้แห้ง ในอัตราส่วน 1:1:1:1 โดยน้ำหนัก มีค่า C/N เริ่มต้นที่ 48 ใส่วัสดุหมักจำนวน 1 กิโลกรัม อย่างต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 15 วัน ปล่อยหมักทิ้งไว้ 15 วัน และทำซ้ำเช่นเดิมอีกครั้ง ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิในถ้ำหมักทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ค่า pH และ EC มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่าคุณสมบัติของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้นั้น T3 มีคุณสมบัติที่ดีกว่าในชุดการทดลองอื่น ๆ โดยพบว่ามีค่า pH EC และ C/N ที่ 7.2, 1.2260 dS/CM และ 18 ตามลำดับ นอกจากนี้น้ำหมักมีปริมาณกรดฮิวมิก 1.1% เมื่อนำชุดการทดลอง T3 ซึ่งประกอบด้วยถ้ำหมักแบบมีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลางและเชื้อจุลินทรีย์ที่ถูกตรึง 10% ไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ครั้วเร็ว หลังจาก 2 เดือนของการใช้ ผู้ใช้งานประเมินความพึงพอใจผ่านแบบสอบถาม พบว่ามีระดับความพึงพอใจของการใช้ถ้ำหมักปุ๋ยโดยรวมอยู่ที่  $4.5 \pm 0.8$

**คำสำคัญ:** ถ้ำหมักปุ๋ย ขยะอินทรีย์และเศษอาหาร  
วัสดุปรับปรุงดิน

## คำนำ

ขยะถือได้ว่าเป็นปัญหาที่สำคัญ โดยเฉพาะขยะชุมชนที่มีเป็นปริมาณมากและมีความเกี่ยวเนื่องกับชีวิตประจำวันของประชาชนส่วนใหญ่ องค์ประกอบของขยะที่พบในชุมชนประกอบด้วย ขยะอินทรีย์ 64% ขยะรีไซเคิล 30% ขยะทั่วไป 3% และขยะอันตราย 3% (PCD, 2020) ขยะจากเศษอาหารนั้นถือว่าเป็นขยะอินทรีย์ที่มีมากที่สุดในการครัวเรือน จากรายงานดัชนีขยะอาหารปี พ.ศ. 2564 ของโครงการสิ่งแวดล้อม แห่งองค์การสหประชาชาติ (UNEP, 2021) พบว่าปริมาณขยะอาหารจากครัวเรือนของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2562 เกิดขึ้นประมาณ 5.47 ล้านตันต่อปี หรือ 79 กิโลกรัมต่อคนต่อปี โดยมีการทิ้งขยะอาหารประเภท ผลไม้ ผัก และอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต เช่น ข้าวและแป้ง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าตัวเลขปริมาณของขยะอาหารเป็นตัวเลขที่สูงมาก การนำกลับไปใช้ประโยชน์อยู่เป็นจำนวนน้อย ส่วนมากไปสิ้นสุดที่การฝังกลบ และหากมีการจัดการที่ไม่ถูกต้อง จะเกิดการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศและก่อให้เกิดก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก โดยพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการฝังกลบและการเผาขยะที่รายงานในบัญชีก๊าซเรือนกระจกปี พ.ศ. 2554 เท่ากับ 4.93 และ 0.09 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 43.10 และ 0.83 เมื่อเทียบกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากภาคของเสีย (Panitpichet, 2017) สำหรับการกำจัดขยะอินทรีย์ ณ แหล่งกำเนิดถือเป็นวิธีที่สามารถลดปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ เช่น ปัญหาในการจัดเก็บ การขนส่ง ปัญหาด้านสุขภาพและอนามัยของประชาชน เป็นต้น

สำหรับถังหมักขยะในระดับครัวเรือนนั้นสามารถนำมาใช้เพื่อตอบโจทย์เหล่านี้ได้ โดยหลักการของการทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์นั้นอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจนเพื่อช่วยในการย่อยสลาย (Aerobic compost) (Tancho, 2015; Riddech, 2013) ในการให้อากาศหรือออกซิเจนนั้นมี 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบแพสซีฟ (Passive) เป็นการให้อากาศไหลเข้าไปวัสดุหมักแบบธรรมชาติ และแบบแอคทีฟ (Active) เป็นการใช้เครื่องเติมอากาศเข้าไปในวัสดุหมัก สำหรับถังหมักที่เติมอากาศแบบแอคทีฟนั้นจะมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นแต่มีระยะเวลาการหมักที่สั้น ในขณะที่ถังหมักแบบแพสซีฟนั้นไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศ แต่ก็มีระยะเวลาที่นานกว่าแบบแอคทีฟ ทำให้มีปัญหาในเรื่องของกลิ่นได้ง่ายวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพของถังหมักปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพและมีระยะเวลาการหมักที่สั้นลง คือ การใช้จุลินทรีย์ สำหรับจุลินทรีย์ที่ใช้ในขบวนการหมักสำหรับการย่อยสลายเศษอินทรีย์นั้นมีหลายกลุ่ม ได้แก่ แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีต และเชื้อรา (Pan *et al.*, 2012; Pedro *et al.*, 2003) โดยจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการย่อยสลายเศษพืช ได้แก่ *Bacillus* sp., *Cellulomonas* sp., *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp., *Nocardia* sp., และ *Streptomyces* sp. เป็นต้น (Mala, 2003; Tancho, 2015) อย่างไรก็ตาม สำหรับการหมักเศษอาหารจากครัวเรือนนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้จุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเข้าร่วม เนื่องจากเป็นการหมักที่อยู่ในครัวเรือน ซึ่งถ้าจุลินทรีย์ที่ไม่มีประสิทธิภาพอาจทำให้เกิดกลิ่นรบกวน และเนื่องจากเศษอาหารอาจมีบางส่วนที่เป็นน้ำมันหรือไขมันปะปน อาจเป็นอุปสรรคต่อขั้นตอนในการหมักได้ สำหรับถังหมัก

ปุ๋ยครัวเรือนขนาดเล็กสำหรับขยะอินทรีย์และเศษอาหารนั้นนิยมใช้และมีจำหน่ายอย่างแพร่หลายในหลาย ๆ ประเทศ แต่มักจะมีราคาแพงและมีการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองทำให้ไม่เหมาะกับประเทศไทย จึงถูกนำมาใช้งานค่อนข้างน้อย ส่วนมากพบในงานวิจัยเป็นหลัก (Lankongpoo, 2017; Karnchanawong and Suriyanon, 2011) สำหรับการศึกษาค้นคว้านี้จะทำการศึกษาการทำงานของถังหมักเศษอาหารสำหรับครัวเรือน โดยเน้นที่ความสะดวกสบายและราคาที่ประหยัดสำหรับผู้ใช้เป็นหลัก โดยใช้ถังหมักแบบแพสซีฟ (Passive) และจุลินทรีย์จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ *Bacillus subtilis* B001, *Bacillus thuringiensis* W2A และ *Trichoderma* sp. และนำถังหมักที่ได้ไปทดสอบการใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ครัวเรือน เพื่อหาระดับความพึงพอใจ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาเพื่อการใช้งานถังหมักปุ๋ยในอนาคต

## อุปกรณ์และวิธีการ

1. สร้างถังหมักต้นแบบ: โดยองค์ประกอบและรายละเอียดของถังหมักแสดงใน Table 1 สำหรับถังหมักที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 แบบ ถังหมักแบบที่ 1 แบบไม่มีแกนกลาง และถังหมักแบบที่ 2 แบบมีแกนกลาง สำหรับแกนกลางทำจากท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว มีรูระบายอากาศอยู่รอบแกน ด้านบนของแกนมีข้อต่อ PVC ขนาด 1.5-2.0 นิ้ว สำหรับตระแกรงใส่ Activated carbon ลักษณะของถังหมัก (Figure 1A) และชุดแกนกลาง (Figure 1B)

**Table 1** components and details of composted bin

Components	Details	Bin type 1	Bin type 2
Part 1 Set of composted bins (60-liter HDPE tank)	Cover	✓	✓
	Core ventilation pipe set	X	✓
	Door for compost outlet	✓	✓
	Fermented water storage	✓	✓
	Tap for fermented water	✓	✓
Part 2 Set of stands (steel-stand)	Axis	✓	✓
	Base and wheel	✓	✓



**Figure 1** (A) External characteristic of bin and (B) Core ventilation pipe in compost bin

2. การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์: นำจุลินทรีย์จำนวน 3 ชนิด *Bacillus subtilis* B001, *Bacillus thuringiensis* W2A (ที่คัดแยกได้จากห้องปฏิบัติการ มีคุณสมบัติในการย่อยน้ำมันและไขมัน มีค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปส เท่ากับ 140.75 U/ml ) และ *Trichoderma* sp. มาเพาะเลี้ยงบนอาหารเหลว Nutrient broth บ่มที่อุณหภูมิ 37°C. เขย่าที่ความเร็วรอบ 120 rpm เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง จนได้เชื้อเริ่มต้นที่มีค่าการดูดกลืนแสง 0.2 ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร นำมาเพิ่มปริมาณโดยการผสมอัตราส่วน 1:1:1 ในอาหารตามสูตรของ Cheunbam *et al.*, (2020) และนำหัวเชื้อที่ได้มาทำการตรึงลงบน

Activated carbon โดยทำการคลุกเคล้าให้เข้ากันดีพอหมด ๑ (หัวเชื้อน้ำ 0.5 ลิตร:วัสดุ 1 กก.) อบที่อุณหภูมิ 40-45°C. เป็นเวลา 2-3 วัน หรือจนกว่าจะแห้ง โดยต้องมีความเข้มข้นของจุลินทรีย์ >10<sup>6</sup> CFU/ml ถ้าไม่ได้ให้ทำการตรึงซ้ำใหม่

3. การทดลองประสิทธิภาพของถังหมัก: แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง การทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้  
 ชุดการทดลองที่ 1 (T1): ถังหมักแบบที่ 1 ไม่มีแกนกลาง (ไม่มีที่ระบายอากาศ) และเศษอาหาร  
 ชุดการทดลองที่ 2 (T2): ถังหมักแบบที่ 2 มีแกนกลาง (มีที่ระบายอากาศ) และเศษอาหาร

ชุดการทดลองที่ 3 (T3): ถังหมักแบบที่ 2 มีแกนกลาง (มีท่อระบายอากาศ) เศษอาหาร และ เชื้อจุลินทรีย์ 10% โดยน้ำหนัก

นำวัสดุหมัก ได้แก่ เศษผัก เศษผลไม้ ข้าวสุก และใบไม้แห้ง อัตราส่วน 1:1:1:1 ปริมาณวันละ 1 กก. ใส่ลงในถังหมักต่าง ๆ แบบต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 15 วัน หลังจากนั้นปล่อยให้ทิ้งไว้ 15 วัน เริ่มใส่วัสดุหมักต่อเนื่องอีก 15 วัน และปล่อยให้ทิ้งไว้จนจบการทดลอง รวมการศึกษากลับเป็นระยะเวลา 2 เดือน ในทุกวันทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อุณหภูมิของถังหมัก บริเวณด้านล่างของถัง และอุณหภูมิภายนอกถัง สำหรับทุกเดือนตลอดการหมัก ทำการเก็บตัวอย่างปุ๋ยบริเวณชั้นล่างสุดของถังบริเวณประตูเปิด-ปิด วิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) หลังสิ้นสุดการทดลอง สุ่มตัวอย่างปุ๋ยหมักที่ได้ในแต่ละถังมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาคุณลักษณะโดยทั่วไปของปุ๋ยหมัก ประกอบด้วย C/N ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) pH ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

4. ทดสอบการใช้งานของถังหมักจากชุดการทดลองที่ให้ประสิทธิภาพมากที่สุดกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ครัวเรือน ในจังหวัดเชียงใหม่ เป็นระยะเวลา 2 เดือน ทดสอบความพึงพอใจของการใช้งานของถังหมักด้วยแบบสอบถาม

5. การวิเคราะห์ข้อมูล 1) เปรียบเทียบความแตกต่างของสถานะในการหมักของแต่ละชุดการทดลองด้วยค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 2) การทดสอบการใช้งานถังหมักจากแบบสอบถามวิเคราะห์ระดับความพึงพอใจ ใช้การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

## ผลการวิจัยและวิจารณ์

### ผลการทดลองการใช้งานของถังหมักปุ๋ยสำหรับขยะอินทรีย์และเศษอาหาร

หลังจากมีการใส่วัสดุหมัก ได้แก่ ใบไม้แห้ง เศษผลไม้ เศษผัก และข้าว ในอัตราส่วน 1:1:1:1 โดยน้ำหนัก ในถังหมักทั้ง 3 ชุดการทดลอง ทำการหมักเป็นเวลา 2 เดือน ผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

#### สถานะในการหมัก

**อุณหภูมิ** ผลการทดลองทั้ง 2 ระยะ พบว่ารูปแบบของอุณหภูมิมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน แต่ในรอบที่ 2 จะมีระยะเวลาพักตัวเริ่มต้นที่ยาวนานกว่าครั้งแรก เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้จุลินทรีย์ต้องการการพักตัวที่ยาวนานกว่า และใช้เวลาที่ยาวนานกว่าในการสิ้นสุดขบวนการหมัก โดยใช้เวลาทั้งสิ้น 18 วัน ในขณะที่รอบที่ 1 ใช้เวลาเพียง 15 วัน (Figure 2) แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของถังหมักค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในระยะครั้งที่ ซึ่งอุณหภูมิตลอดการทดลองประมาณ 37.7-42.7°ซ. ซึ่งเป็นช่วงระหว่างมีสไฟลิด ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 25-40°ซ. และช่วงต้นของเทอร์โมฟิลิด ซึ่งจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 40-70°ซ. (Ahmad *et al.*, 2007) ทั้งนี้เนื่องจากถังหมักมีขนาดเล็ก มีการใส่วัสดุหมักทุกวันอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนสู่ภายนอกได้ง่าย อีกทั้งการค่อย ๆ ใส่วัสดุหมักหรือเศษอาหารทุกวันทีละน้อยเป็นอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิของถังหมักมีค่าไม่สูงมากและอาจทำให้การหมักเป็นไปได้ช้ากว่าการใส่วัสดุเริ่มต้นจำนวนมาก ๆ ภายในครั้งเดียว (McKinley, 2008) สำหรับอุณหภูมิในช่วงนี้ถือเป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีความหลากหลายสูง และมีอัตราการย่อยสลายที่ดี แต่ไม่สามารถฆ่าเชื้อโรคหรือ

เมล็ดของพืชที่อาจเป็นเศษเหลือทิ้งจากครัวเรือนในถังหมักได้เนื่องจากมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 55°C. (Stentiford, 1996) เมื่อทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าอุณหภูมิของทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของการทดลอง ของ T1, T2 และ T3 คือ 34.91±4.03,

34.52±4.21 และ 34.61±4.68°C. ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณของถังที่มีขนาดเล็ก และมีการใส่อาหารทุกวัน ทำให้อุณหภูมิภายนอกเข้ามากระทบค่อนข้างมากต่อระบบ ทำให้อุณหภูมิของถังหมักทั้ง 3 ถังไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2)

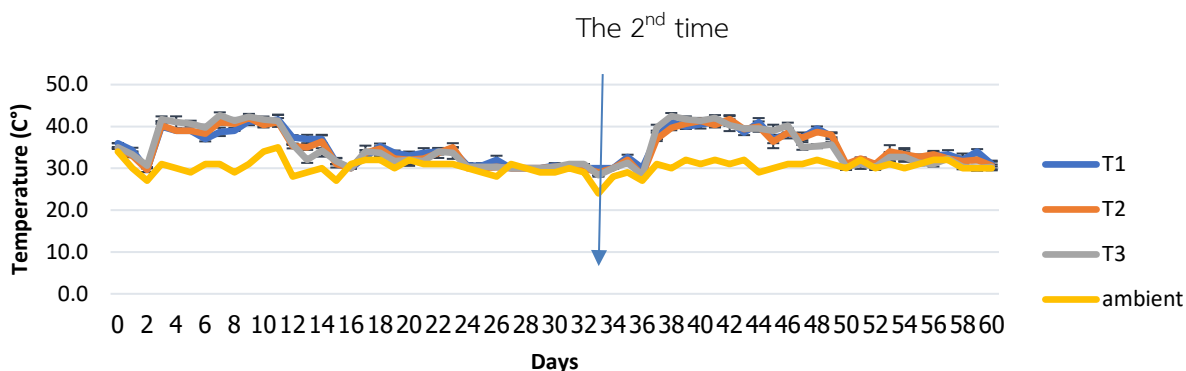


Figure 2 Temperature change during composting

Table 2 Fermentation conditions of the fermentation bins in each treatment

Treatments	Bin detail	Temperature (°C)	pH	EC (µS/cm)
T1	Plastic bin	34.91±4.03	6.61±0.66 <sup>a</sup>	995.50±249.82 <sup>a</sup>
T2	Super green bin	34.52±4.21	6.39±0.66 <sup>b</sup>	961.42±212.53 <sup>a</sup>
T3	Super green bin and microorganism	34.61±4.68	6.39±0.65 <sup>b</sup>	1285.60±250.59 <sup>b</sup>

Values with the same letters within a column were not significantly different (LSD test, P<0.05).

**ค่าความเป็นกรดต่าง (pH):** ช่วงแรกของการเริ่มระบบ พบว่าค่า pH ลดลง ซึ่งมีความคล้ายกันทั้ง 2 ช่วงของการทดลอง (Figure 3) เนื่องจากการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ทำให้วัสดุโมเลกุลขนาดใหญ่ถูกย่อยสลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก ได้แก่ กรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ (Tchobanglous *et al.*, 1993) และจากวัสดุหมักจำพวกเศษผักและเศษผลไม้ที่มีความเป็นกรด อย่างไรก็ตามหลังจากนั้น pH จะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น

เนื่องจากจุลินทรีย์ย่อยสลายธาตุไนโตรเจน ทำให้เกิดแอมโมเนีย ส่งผลให้ค่า pH ในถังหมักสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อระบบคงที่ ค่า pH จะอยู่ในช่วง 5.5-7.2 ซึ่งจะเป็นกลางที่ค่อนข้างกรดเล็กน้อย แต่พบว่าไม่กระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ เนื่องจากการปรับตัวของจุลินทรีย์ในช่วงแรกมาแล้ว สำหรับ pH ที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 6.5-8.0 แต่ระบบสามารถมี pH อยู่ได้ในช่วง 5.0-9.0 ซึ่งในระบบ

พบว่าบางครั้งมี pH 5.5 ซึ่งอาจจะทำให้การย่อยสลายช้าลง แต่เนื่องจากการผสมวัสดุหมักหลายชนิด จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อระบบการหมัก เนื่องจากในระบบหมักมีจุลินทรีย์ที่หลากหลายชนิด ที่สามารถเจริญในระดับ pH ที่แตกต่างกัน ทำให้ระบบของการหมักปุ๋ยสามารถปรับตัวได้ในที่สุด (USDA, 2019) จากผลการทดลองพบว่า ค่า pH ของชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และจากทดสอบ LSD พบว่าการทดลอง T1 เป็นถังหมักที่ไม่มีท่อระบายอากาศนั้น pH มีค่าเฉลี่ย  $6.61 \pm 0.66$

แตกต่างจากชุดการทดลอง T2 ซึ่งเป็นถังหมักที่มีท่อระบายอากาศ และ T3 ซึ่งเป็นถังหมักที่มีท่อระบายอากาศ และเชื้อจุลินทรีย์ ที่มีค่า pH เฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ  $6.39 \pm 0.66$  และ  $6.39 \pm 0.66$  ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการมีอากาศเข้าไปในถังสามารถทำให้จุลินทรีย์เจริญและทำงานได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีท่อระบายอากาศ (T1) อากาศที่เข้าไปนั้นสามารถทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ตามธรรมชาติในชุดการทดลอง T2 และจากเชื้อจุลินทรีย์ช่วยย่อยที่ใส่เพิ่มในชุดการทดลอง T3 เจริญได้ดี (Table 2)

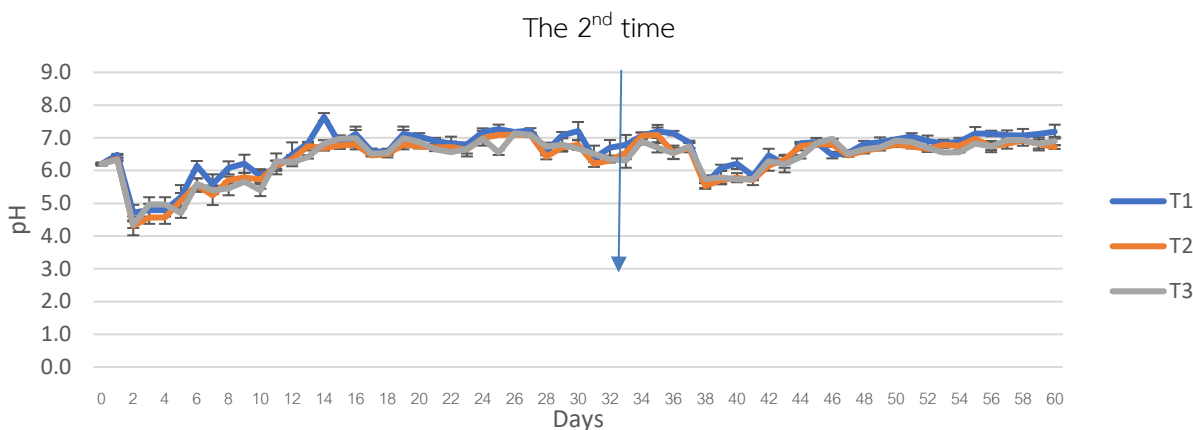


Figure 3 pH change during composting

**ค่าการนำไฟฟ้า (EC,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ):** ค่าการนำไฟฟ้านั้นแสดงถึงความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้า เกลือหรือสารเคมีอื่น ๆ ที่ละลายในน้ำ ช่วยให้ทราบถึงปริมาณของสารอาหารที่มีอยู่ เมื่อความเข้มข้นของแร่ธาตุในน้ำสูงจะทำให้ EC สูงขึ้น เนื่องจากปริมาณไอออนของสารอนินทรีย์อยู่ในสารละลายที่สูงขึ้น จากผลการทดลองพบว่าค่า EC มีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบเดียวกับอุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิเริ่มสูงขึ้น ค่า EC จะเริ่มสูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลงค่า EC ก็จะลดตามลงไปด้วย โดย T3 มีค่า EC ที่เพิ่มขึ้นชัดเจน ทั้งนี้เกิดการทำงานของจุลินทรีย์ตั้งต้นที่ใส่ลงไปในระบบ โดยมีค่ามากที่สุดเฉลี่ยที่  $1,285.60 \pm 250.59 \mu\text{S}/\text{cm}$  ในขณะที่ T1 และ T2 มีค่า

$995.50 \pm 249.82 \mu\text{S}/\text{cm}$  และ  $961.42 \pm 212.53 \mu\text{S}/\text{cm}$  ตามลำดับ (Figure 4) จะเห็นได้ว่าค่า EC ที่ได้จากถังหมักปุ๋ยทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าต่ำ ซึ่งสามารถนำไปเพาะปลูกพืชสวนครัวบางชนิดที่ต้องการ EC ปริมาณน้อย ๆ ได้ เช่น ผักกาดหอมและสลัดใบอ่อน มีค่า EC อยู่ระหว่าง  $1,000-1,500 \mu\text{S}/\text{cm}$  สำหรับใบโหระพา มีค่า EC อยู่ระหว่าง  $1,000-1,600 \mu\text{S}/\text{cm}$  เป็นต้น แต่ถ้าจะปลูกพืชชนิดอื่น ๆ ที่ต้องการธาตุอาหารและค่า EC สูง เช่น พริก มีค่า EC อยู่ระหว่าง  $1,800-2,000 \mu\text{S}/\text{cm}$  แตงกวา มีค่า EC อยู่ระหว่าง  $1,700-2,500 \mu\text{S}/\text{cm}$  นั้น อาจจะต้องมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อื่น ๆ เสริมลงไปด้วย โดยค่า EC ของพืชแต่ละชนิดศึกษาได้จาก Ezgarden

(2023) จากการทดลองพบว่าค่า EC ของชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และจาก LSD พบว่าชุดการทดลอง T3 มีค่า EC สูงที่สุด และแตกต่างจากชุดการทดลอง T2 และ

T1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดการทดลอง T3 ที่มีอากาศและหัวเชื้อจุลินทรีย์นั้นสามารถที่จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์และเศษอาหารต่าง ๆ ได้ดี ทำให้สารอาหารและแร่ธาตุ มีปริมาณมากกว่าใน T1 และ T2 (Table 2)

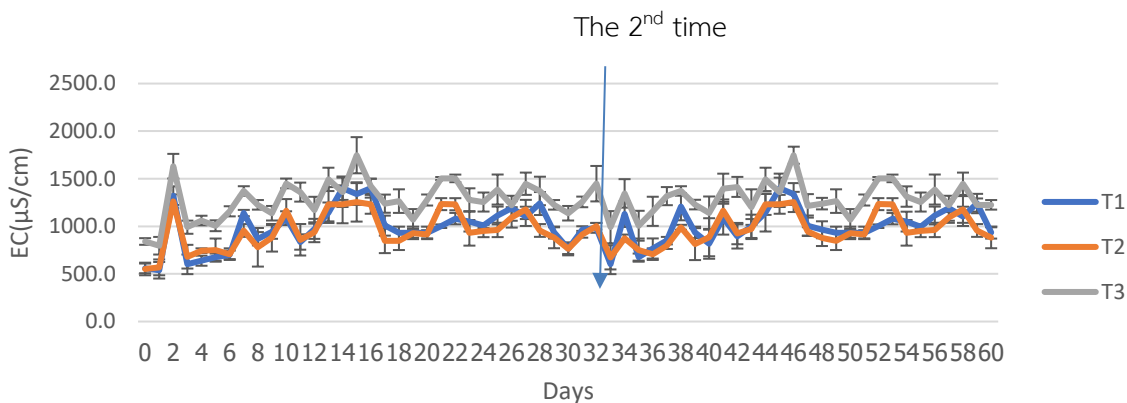


Figure 4 EC change during composting

**อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio):**  
 C/N เป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่มีส่วนสำคัญในกระบวนการหมักปุ๋ย โดยค่าที่เหมาะสมในการหมักประมาณ 30 เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการใช้คาร์บอน 30 ส่วนต่อไนโตรเจน 1 ส่วนในการย่อยสลายวัตถุดิบอินทรีย์ สำหรับวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ เศษผัก เศษผลไม้ ข้าว และใบไม้แห้ง โดยมีอัตราส่วน 1:1:1:1 โดยน้ำหนัก ให้เศษผลไม้ เศษผัก และข้าว เป็นตัวแทนของเศษอาหาร ในครัวเรือนที่มีไนโตรเจน ในขณะที่ใบไม้แห้งเป็นส่วนของคาร์บอนในวัสดุหมัก C/N มีค่าเริ่มต้น 48 ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง ซึ่งนอกจากเพื่อความสมดุลของการหมักแล้ว การใส่เศษอาหารมากเกินไปจะทำให้วัสดุหมักมีส่วนผสมของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ จะเกิดการสูญเสีย

ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียสู่บรรยากาศ และจะเกิดกลิ่นเหม็นได้ (Chandenduang, 2007) ซึ่งจะเป็นปัญหาอย่างมากต่อการใช้งานถังหมักปุ๋ยในครัวเรือน ดังนั้นในการหมักจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงสมดุลของ C/N เป็นสำคัญ สำหรับอุณหภูมิของถังหมักพบว่าอยู่ในระดับปานกลางหรืออยู่ในช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic phase) โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 25-40°C. และช่วงต้นของเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic phase) 40-70°C. เป็นส่วนใหญ่ ทำให้การย่อยสลายเป็นไปได้ค่อนข้างช้า รวมไปถึงปริมาณของใบไม้แห้งค่อนข้างมากเนื่องจากมีน้ำหนักที่เบา ค่า C/N จึงสูง ในขณะที่อาหารสดอื่น ๆ พบว่าจะย่อยสลายไปภายใน 2 สัปดาห์ ผลของ C/N ในถังหมักแสดงใน Figure 5

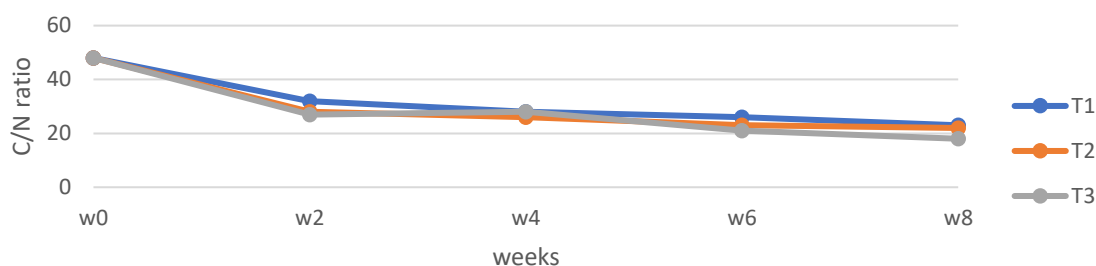


Figure 5 Changes of C/N ratio during the composting process

ถังหมักปุ๋ยที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ใช้กระบวนการหมักแบบใช้อากาศ (Aerobic) โดยให้อากาศแบบพาสซีฟ (Passive) ผ่านเข้าไปทางท่อแกนกลางของถังที่เจาะรูระบายอากาศไว้โดยรอบในชุดการทดลอง T2 และ T3 ทำให้จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศเหล่านี้เจริญได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลอง T1 ที่ไม่มีท่อระบายอากาศ โดยผลผลิตเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และปุ๋ยหรือวัสดุหมักที่เสถียร แต่ถ้ามีอากาศไม่เพียงพออาจทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้ไม่ดีและเกิดเป็นการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic) ขึ้นได้ ทำให้เกิดก๊าซมีเทนและก๊าซไข่เน่า ซึ่งจะทำให้ถังหมักปุ๋ยเกิดปัญหาเรื่องกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ขึ้นได้ (Tchobanoglous *et al.*, 1993) นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ถูกคัดเลือกทั้ง 3 ชนิดในชุดการทดลอง T3 ได้แก่ *Bacillus subtilis* B001, *Bacillus thuringiensis* W2A และ *Trichoderma* sp. นั้นจากคุณสมบัติในการย่อยสลายเซลลูโลส น้ำมัน และไขมันได้ดี สามารถที่จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์และเศษอาหารต่าง ๆ จากครัวเรือนได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ T1 ที่ไม่มีท่อระบายอากาศ หรือ T2 ที่ได้รับเพียงเชื้อจากธรรมชาติเท่านั้น เนื่องจากเชื้อจากธรรมชาติมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้ไม่ดีเท่ากับจุลินทรีย์ที่ถูกคัดเลือก โดย Saththep (2009) พบว่าการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดเลือกที่เหมาะสมทำไ้ระยะเวลาในการหมักปุ๋ยสั้นกว่าการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้จากท้องตลาดหรือที่ไม่ได้เติมจุลินทรีย์

### คุณลักษณะของปุ๋ยหมัก

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า วัสดุหมักที่ได้จากทุกชุดการทดลองมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน มีค่าค่อนข้างเป็นกลาง โดย pH ของ T1, T2 และ T3 มีค่า 6.9, 6.7 และ 7.2 ตามลำดับ และอยู่ในค่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรที่ pH อยู่ในช่วง 5.5-8.5 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง T3 มีปริมาณ C/N 18 ในขณะที่ T1 และ T2 มีค่า 23 และ 22 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมักที่ 20 เล็กน้อย ในทางปฏิบัติแล้วถือว่าปุ๋ยหมักที่มีค่า C/N สูงไปบ้างเล็กน้อยนั้น ไม่ได้ทำให้เกิดผลเสียหายต่อพืช เพียงแต่คุณสมบัติในการปรับปรุงดินอาจลดน้อยลง (Rangseesuriyachai and Saricheewin, 2017) อย่างไรก็ตามถ้าปุ๋ยหมักที่มีค่า C/N มากกว่า 25 นั้นพบว่าไม่เหมาะสมต่อการนำไปคลุมดิน ทั้งนี้เนื่องจากการย่อยสลายยังไม่สมบูรณ์ แต่สามารถนำไปคลุมดินในแปลงปลูกเพื่อรักษาความชื้น และค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่ดินได้ (Tancho, 2015) จากคุณสมบัติของปุ๋ยที่ได้พบว่ายังมีค่าด้อยอยู่โดยเฉพาะ N และ OM สำหรับ EC มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกชุดการทดลอง (Table 3) จากคุณสมบัติเหล่านี้อาจจะไม่สามารถเรียกว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ต่ำกว่าคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ (LDD, 2013) ทั้งนี้หลังจากการหมักเศษขยะอินทรีย์ในครัวเรือนแม้พบว่ามีธาตุอาหารที่ไม่มากนัก แต่ก็ยังมีธาตุอาหารที่หลงเหลืออยู่ จึงเหมาะสำหรับการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เพื่อเพิ่มคุณภาพของดินให้ดีขึ้น

ช่วยให้ดินมีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูก โดยช่วยให้ดินเก็บกักน้ำได้ดี ระบายอากาศได้ดี ผลพลอยได้อีกชนิดหนึ่งคือ น้ำหมัก โดยน้ำหมักที่ได้มีลักษณะใส มีสีน้ำตาลคล้ำ ไม่มีกลิ่น pH อยู่ในช่วง  $6.5 \pm 0.5$  ซึ่งค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของปุ๋ยน้ำหมักที่ต้องไม่เกิน 4.0 เนื่องจากน้ำหมักที่ได้นั้นไม่ได้มาจากการหมักกากน้ำตาลหรือผักผลไม้ จึงเกิดกรดแลคติกไม่มากนัก โดยสามารถนำไปใช้ได้

ในทันทีโดยไม่ต้องคำนึงถึงการปรับ pH สำหรับกรดฮิวมิกของ T1, T2 และ T3 ได้เป็น 0.7, 1.0 และ 1.1% ตามลำดับ โดยค่ามาตรฐานของปริมาณกรดฮิวมิกของน้ำหมักนั้นต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 (LDD, 2013) โดยทั่วไปแล้วน้ำหมักจากพืชผักจะมีกรดฮิวมิกอยู่ระหว่าง 0.48-1.07% (Tancho, 2006 )

**Table 3** Characteristics of final compost under tree difference types of treatments

Treatments	pH	C/N	N (%)	OM (%)	EC (dS/cm)	The standard of compost under The Fertilizer Act.*
T1	6.9	23	0.5	19.4	0.9343	pH (5.5-8.5)
T2	6.7	22	0.5	19.9	0.9567	C/N ( $\leq 20$ ), EC ( $\leq 10$ dS/cm)
T3	7.2	18	0.5	15.2	1.2260	OM ( $\geq 30\%$ ), N (1%)

\*LDD (2013)

เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้ของ T3 พบว่ามีคุณสมบัติที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ โดยเฉพาะ ค่าของ C/N ในระยะเวลาการหมัก 2 เดือน มีค่า 18 รวมทั้งน้ำหมักที่ได้มีกรดฮิวมิกมากที่สุดคือ 1.1% ดังนั้นในการทดสอบการใช้งานจึงใช้การหมักในรูปแบบ T3 โดยเป็นถังหมักปุ๋ยแบบมีแกนกลาง (มีท่อระบายอากาศ) และเชื้อจุลินทรีย์ สำหรับการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

#### ทดสอบการใช้งานของถังหมักปุ๋ยและจุลินทรีย์กับตัวอย่างกลุ่มทดลอง จำนวน 10 ครั้วเรือน

จากผลการสำรวจระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานถังหมักปุ๋ย พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ที่  $4.5 \pm 0.8$  โดยหัวข้อลำดับที่ 3 การใช้ประโยชน์ของน้ำหมัก และลำดับที่ 9 รูปลักษณะของถัง (โดยรวม) ได้ระดับความพึงพอใจมากที่สุด โดยมีความพึงพอใจเท่ากันคือ  $4.7 \pm 0.5$  อยู่ในเกณฑ์ดีมาก ในขณะที่หัวข้อลำดับที่ 6 ไม่มีปัญหาเรื่องของแมลง มีระดับ

ความพึงพอใจที่น้อยที่สุดคือ  $3.9 \pm 1.4$  อยู่ในเกณฑ์ดี ผลการสำรวจแสดงใน Table 3 โดยทุกครั้วเรือนมีความพึงพอใจในน้ำหมักค่อนข้างมาก เนื่องจากใช้เวลาน้อย โดยสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยน้ำหมักสำหรับผลผลิตในครั้วเรือนซึ่งให้ผลผลิตที่ดี สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำหมักที่ได้จากชุดการทดลอง T3 พบว่ามีกรดฮิวมิกอยู่มาก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี อีกทั้งผู้ใช้งานส่วนใหญ่จะได้รับข่าวสารจากสื่อต่าง ๆ เกี่ยวกับคุณสมบัติของปุ๋ยน้ำหมักอยู่แล้ว ทำให้มีความคุ้นชินในการใช้ปุ๋ยน้ำหมัก จึงถือเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ได้รับความพึงพอใจในระดับสูง และระดับความพึงพอใจต่อรูปลักษณะของถัง (โดยรวม) ในหัวข้อที่ 9 มีระดับความพึงพอใจในระดับสูงเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากรูปลักษณะที่ดูแปลกใหม่ สำหรับในหัวข้อลำดับที่ 6 ไม่มีปัญหาเรื่องแมลงนั้น ได้คะแนนน้อยที่สุด เนื่องจากในบางครั้วเรือนมีปัญหาเรื่องแมลง ได้แก่ แมลงวันและแมลงหวี่ จึงได้ทำการแก้ปัญหาเป็น 2 หัวข้อที่สำคัญ ได้แก่ การป้องกันไม่ให้แมลงเข้าถัง และการแก้ไขปัญหามี

แมลงจำนวนมาก โดยเน้นการตัดวงจรชีวิตของแมลงเป็นสำคัญ ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

จากการสำรวจเหตุผลในการที่จะเลือกใช้งานถังหมักปุ๋ยในการกำจัดขยะเศษอาหารในครัวเรือน พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนมากเลือกใช้ถังหมักเพื่อตอบโจทยปัญหาเรื่องการกำจัดขยะจากเศษอาหารเป็นอันดับแรก ในขณะที่รูปลักษณะภายนอกเป็นเรื่องรองลงไป และสำหรับช่วยในเรื่องของการรักษาสภาพโลกมาเป็นอันดับสุดท้าย ผลสำรวจยังพบว่า ผู้ใช้งานส่วนมากไม่ต้องการขั้นตอนที่ยุ่งยาก

และไม่ต้องการทำความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานของถัง ดังนั้นในการปรับปรุงถังหมักเพื่อสามารถตอบโจทยหรือความต้องการของผู้ใช้เหล่านี้ได้ จำเป็นต้องเน้นถังหมักที่มีการทำงานที่ง่าย สะดวกต่อการใช้งาน การดูแลรักษาที่ง่าย โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีความรู้หรือเทคนิคทางการหมักก็สามารถใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพ การใช้คำโฆษณาหรือแนวคิดรักษาสภาพโลกมีความสำคัญที่น้อยต่อแนวคิดของการตัดสินใจใช้ถังหมักเพื่อกำจัดเศษอาหารในครัวเรือน

**Table 3** Satisfaction of 10 families sample group for using compost bins with immobilize microorganism

No.	Issue	$\bar{x}$	S.D.	Meaning
1	Food waste and organic waste disposal	4.5	0.7	Excellent
2	Utilization of the compost	4.4	0.8	Excellent
3	Utilization of the fermented water	4.7	0.5	Excellent
4	Suitable fermentation time	4.5	0.8	Excellent
5	No smell problems	4.3	0.9	Excellent
6	No insect problems	3.9	1.4	Good
7	No disease-carrying animals	4.6	0.7	Excellent
8	Bin style	4.4	0.8	Excellent
9	Bin appearance (overall)	4.7	0.5	Excellent
10	Out come from using bin (overall)	4.6	0.7	Excellent
<b>Total</b>		<b>4.5</b>	<b>0.8</b>	<b>Excellent</b>

### สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการพัฒนาถังหมักปุ๋ยครัวเรือนขนาดเล็กสำหรับขยะอินทรีย์และเศษอาหารในครั้งนี้ได้ทำการศึกษากลังหมักปุ๋ยโดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ T1) ถังหมักแบบไม่มีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลาง T2) ถังหมักแบบมีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลาง และ T3) ถังหมักแบบมีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลางและหัวเชื้อจุลินทรีย์ 10% จากผลการทดลองสภาวะในการหมักนั้นพบว่า อุณหภูมิในถังหมักทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

โดยมีอุณหภูมิตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 37.7-42.7°C. ในขณะที่ค่า pH และ EC มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าการทดลอง T1 มี pH เฉลี่ย  $6.61 \pm 0.66$  ซึ่งแตกต่างจากชุดการทดลอง T2 และ T3 ซึ่ง pH เฉลี่ยใกล้เคียงกัน  $6.39 \pm 0.66$  และ  $6.39 \pm 0.66$  ตามลำดับ สำหรับ T3 นั้นพบว่า EC มีค่ามากที่สุดเฉลี่ย  $1,285.60 \pm 250.59 \mu\text{S/cm}$  ในขณะที่ T1 และ T2 มีค่าเฉลี่ย  $995.50 \pm 249.82 \mu\text{S/cm}$  และ  $961.42 \pm 212.53 \mu\text{S/cm}$  ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าคุณสมบัติของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้นั้น T3 มีคุณสมบัติที่ดีกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ โดยพบว่ามี pH, EC และ C/N เท่ากับ

7.2, 1.2260 dS/cm และ 18 ตามลำดับ โดยเฉพาะน้ำหมักที่มีปริมาณกรดฮิวมิก 1.1% ในขณะที่ N เท่ากับ 0.5% และมี OM เท่ากับ 15.2% เมื่อนำชุดการทดลอง T3 ซึ่งประกอบด้วยถังหมักแบบมีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลาง และเชื้อจุลินทรีย์ที่ถูกตรึง 10% ไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ครีวเรือน หลังจาก 2 เดือนของการใช้ ผู้ใช้งานประเมินความพึงพอใจผ่านแบบสอบถามพบว่า มีระดับความพึงพอใจของการใช้ถังหมักปุ๋ย โดยรวมอยู่ที่  $4.5 \pm 0.8$  โดยหัวข้อการใช้ประโยชน์ของน้ำหมัก และหัวข้อรูปลักษณะของถัง (โดยรวม) ได้ระดับความพึงพอใจมากที่สุด ซึ่งถือได้ว่าเป็นข้อดีของถังหมัก แต่อย่างไรก็ตาม ข้อด้อยของถังหมักนั้น ได้แก่ วัสดุปรับปรุงดินที่ได้จากถังหมักมีธาตุอาหารไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเศษอาหารในครัวเรือน ดังนั้นธาตุอาหารจะขึ้นอยู่กับชนิดของเศษอาหารเป็นสำคัญ แต่ก็ถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่สามารถกำจัดเศษอาหารในครัวเรือนที่ได้ผลดี และยังได้ผลพลอยได้เป็นวัสดุปรับปรุงดินไว้ใช้ในครัวเรือนอีกด้วย แต่อาจจะต้องมีการใส่ปุ๋ยอื่น ๆ ลงไปด้วยถ้าต้องการให้พืชได้รับสารอาหารมากขึ้น อย่างไรก็ตาม อาจจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับธาตุอาหารอื่น ๆ เพิ่มเติม รวมไปถึงคุณสมบัติอื่น ๆ ของน้ำหมักอีกด้วย

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำหรับทุนอุดหนุนเพื่อการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2565 รหัสโครงการวิจัย มจ.1-65-04365

### เอกสารอ้างอิง

- Ahmad, R., G. Jilani, M. Arshad, Z. Zahir and A. Khalid. 2007. Bio-conversion of organic wastes for their recycling in agriculture: an overview of perspectives and prospects. *Annals of Microbiology* 57(4): 471-479.
- Chandenduang, C. 2007. Composting. *Design & Manufacturing* 48: 48-54. [in Thai]
- Cheunbarn, T., S. Cheunbarn and R. Rinaphat. 2020. *Handbook on Technology Transfer for the Utilization of Agricultural Microorganisms*. 14 p. In Research Report. Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]
- Ezgardien. 2023. **Article: EC and pH of each plant**. [Online]. Available <http://www.ezgardien.net> (February 10, 2023). [in Thai]
- Karnchanawong, S. and N. Suriyanon. 2011. Household organic waste composting using bins with different types of passive aeration resources. *Conservation and Recycling* 55(5): 548-553.
- Land Development Department (LDD). 2013. **Regulations on the use of agricultural production factors standard certification marks**. [Online]. Available <https://osd101.ddd.go.th/q/manual/A02.pdf> (February 10, 2023). [in Thai]

- Lankongpoon, T. 2017. **Effective Air Inlet and Outlet Pattern for Passive Composting Bin**. Master Thesis. Prince of Songkla University. 106 p.
- Mala, T. 2003. **Organic fertilizers; biofertilizers; production technology and utilization**. [Online]. Available [https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr\\_es/index.php?/kukr/search\\_detail/result/184338](https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/index.php?/kukr/search_detail/result/184338) (October 11, 2023). [in Thai]
- McKinley, S.P. 2008. **Physical Chemical Process and Environmental Impacts Associated with Home Composting**. Doctoral Dissertation. University of Southampton. 222 p.
- Pan, L., B. Dam and S.K. Sen. 2012. Composting of common organic wastes using microbial inoculants. **Biotech.** 2: 127-134.
- Panitpichet, P. 2017. **Greenhouse gas reduction from solid waste management**. [Online]. Available [http://conference.tgo.or.th/download/tgo\\_or\\_th/Article/2017/Waste\\_GHG.pdf](http://conference.tgo.or.th/download/tgo_or_th/Article/2017/Waste_GHG.pdf) (February 10, 2023). [in Thai]
- Pedro, M.S., S. Haruta, K. Nakamura, M. Hazaka, M. Ishii and Y. Igarashi. 2003. Isolation and characterization of predominant microorganisms during decomposition of waste materials in a field-scale composter. **J. Biosci Bioeng.** 95: 368-373.
- Pollution Control Department (PCD). 2020. Report on the Situation of Municipal Solid Waste in Thailand 2016. [Online]. Available <https://www.pcd.go.th/publication/3811> (February 10, 2023). [in Thai]
- Rangseesuriyachai, T. and K. Saricheewin. 2017. Study of organic waste composting with aeration and use of crude enzyme. **Journal of Engineering, RMUT** 16(2): 1-12. [in Thai]
- Riddech, N. 2013. What should we consider before making compost? **KKU Science Journal** 41(3): 595-606. [in Thai]
- Saithep, N. 2009. **Selection of Bio-degrading Microorganism for Short-term Composting Process**. Doctoral Dissertation. Chiang Mai University. 186 p.
- Stentiford, E.T. 1996. Composting Control: Principle and Practice. pp. 49-59. *In* de Bertoldi, M., P. Sequi, B. Lemmes, T. Papi (eds.). **The Science of Composting: Past I**. London: Chapman & Hall.
- Tancho, A. 2006. **Applied Natural Agriculture: Principles, Concepts, and Practices of Thailand**. Pathum Thani: National Science and Technology Development Agency. 300 p. [in Thai]
- \_\_\_\_\_. 2015. Principles of high quality industrial organic fertilizer production. **Thai Journal of Soil and Fertilizer** 37(1-4): 30-39. [in Thai]

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 41(2): 185-198

Tchobanoglous, G., H. Theisen and S. Vigil.  
1993. **Integrated Solid Waste  
Management: Engineering Principles  
and Management Issues**. Singapore:  
McGraw-Hill. 978 p.

United Nations Environment Programme (UNEP).  
2021. **UNEP Food Waste Index Report  
2021**. [Online]. Available <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/35280;jsessionid=B711DBAF2A01BD795E689595F65C04CF> (August 1, 2022).

USDA. 2019. **Principles of Composting**.  
Part 637 National Engineering Handbook.  
Chapter 2. [Online]. Available  
<https://directives.sc.egov.usda.gov/viewerFS.aspx?id=3850> (February 10, 2023).

ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคการผลิตข้าวของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่เป็นสมาชิกและไม่ใช้สมาชิก  
กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน  
Technical Efficiency of Rice Planting Farmer who are Member and Non-member  
of Large-scale in the Upper Northern Region

อารีย์ เชื้อเมืองพาน<sup>1\*</sup> มนตรี สิงหาวาระ<sup>1</sup> และอัศวิน เผ่าอำนวยวิทย์<sup>2</sup>

Aree Cheamuangphan<sup>1\*</sup>, Montri Singhavara<sup>1</sup> and Aussawin Phaoumnuaywit<sup>2</sup>

<sup>1</sup>คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

<sup>2</sup>ส่วนวางแผนและประเมินผล สำนักงานสรรพากรพื้นที่นครปฐม 2 นครปฐม 73210

<sup>1</sup>Department of Economics, Faculty of Economics, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

<sup>2</sup>Division of Planning and Evaluating, Revenue Office of Nakhonpathom 2, Nakhonpathom, Thailand 73210

\*Corresponding author: areech@maejo.mju.ac.th

Received: December 09, 2022

Revised: August 04, 2023

Accepted: September 12, 2023

### Abstract

The objective of this study was to measure the technical efficiency of rice production among the farmers who were members of large field groups and those who were not members. The study was conducted by employing the Data Envelopment Analysis (DEA) model with one output factor and eight production factors, and the efficiency level was divided into five levels (lowest – highest). The results showed that the economies of scale of both groups fell in decreasing returns to scale range. In addition, the rice farmers who were members of the large plot group had slightly higher production efficiency than that of the non-members (0.9213 > 0.9065). Notwithstanding that the majority of farmers from both groups had the highest efficiency, the study conducted found that both groups of farmers should reduce the use of production factors, namely the number of workers in production and their agricultural monetary investment.

**Keywords:** technical efficiency, production rice, farmer, large scale rice field

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดประสิทธิภาพเชิงเทคนิคการผลิตข้าวของเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่และเกษตรกรที่ไม่ใช้สมาชิก โดยใช้แบบจำลอง Data Envelopment Analysis (DEA)

ด้วยปัจจัยด้านผลผลิต 1 ตัวแปร และปัจจัยการผลิต 8 ตัวแปร แบ่งระดับประสิทธิภาพออกเป็น 5 ระดับ (น้อยที่สุด – มากที่สุด) ผลการศึกษาพบว่า ผลได้ต่อขนาด (Economy of scale) ทั้งสองกลุ่มอยู่ในระยะผลได้ต่อขนาดลดลง โดยเกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่มีประสิทธิภาพการผลิตสูงกว่าเกษตรกรผู้ปลูก

ข้าวที่ไม่ใช่สมาชิกเล็กน้อย ( $0.9213 > 0.9065$ ) ซึ่งเกษตรกรทั้งสองกลุ่มส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพระดับมากที่สุด แต่การปลูกข้าวทั้งสองกลุ่มควรปรับลดปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิต ได้แก่ จำนวนแรงงานคนในการผลิต และเงินลงทุนทางการเกษตร

**คำสำคัญ:** ประสิทธิภาพทางเทคนิค การผลิตข้าว  
เกษตรกร นาแปลงใหญ่

### คำนำ

ข้าวเป็นธัญพืชอาหารและเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีการเพาะปลูกกันทั่วประเทศ ในปีการเพาะปลูกนาปี พ.ศ. 2561/62 มีพื้นที่ปลูกข้าวทั้งประเทศรวม 59.98 ล้านไร่ ได้ผลผลิตรวม 25.18 ล้านตัน ข้าวเปลือก ในขณะที่ปีการเพาะปลูกนาปี พ.ศ. 2562/63 มีพื้นที่การเพาะปลูก 61.20 ล้านไร่ เพิ่มขึ้น 1.22 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.03 ส่วนผลผลิตรวมเท่ากับ 24.06 ล้านตัน ข้าวเปลือก ลดลง 1.12 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 4.45 และเป็นที่น่าสังเกตว่าผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ลดลง โดยปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2561/62 ได้ผลผลิตเฉลี่ย 420 กก./ไร่ แต่ในปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2562/63 ได้ผลผลิตเฉลี่ย 393 กก./ไร่ ลดลง 27 กก./ไร่ (Office of Agricultural Economics, 2019) ปัญหาส่วนใหญ่ของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวมาจากปัญหาภัยธรรมชาติ ปัญหาการขาดทุน เพราะต้นทุนการผลิตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ราคาข้าวมีแนวโน้มลดลง เกษตรกรหลายรายหันไปประกอบอาชีพรับจ้าง เพราะมีความแน่นอนในเรื่องของรายได้ ทำให้พื้นที่การปลูกข้าวของประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง

โดยการประสบปัญหาการขาดทุนของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวนั้นมีสาเหตุมาจาก **1) ประสิทธิภาพการผลิตของเกษตรกรต่ำ** มีการใช้ปัจจัยการผลิตที่ไม่เหมาะสม ทำให้ไม่เกิดการประหยัดต่อขนาด ซึ่งพบว่าเกษตรกรผู้ปลูกข้าวมีการใช้ปัจจัยการผลิตมากเกินไป เช่น เกษตรกรต้องลดการใช้ปุ๋ยเคมี 400.33 บาท/ไร่ สารเคมี

121.05 บาท/ไร่ และเมล็ดพันธุ์ 58.16 บาท/ไร่ ในภาพรวมเกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ถึง 579.54 บาท/ไร่ (Cheamuangphan *et al.*, 2016) สาเหตุที่เกษตรกรใช้ปัจจัยส่วนเกินมาก เพราะเกษตรกรผู้ปลูกข้าวส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรายย่อยมีพื้นที่เพาะปลูกไม่มากนัก โดยเฉลี่ย 17.94 ไร่/ครัวเรือน และมีครัวเรือนเกษตรกรถึงร้อยละ 97.43 มีพื้นที่น้อยกว่าจำนวน 10 ไร่ **2) ผลผลิตไม่มีคุณภาพ** เกษตรกรผู้ปลูกข้าวมีพื้นที่ปลูกไม่มากและแต่ละรายก็มีเป้าหมายที่จะให้ได้ผลผลิตสูงที่สุด โดยไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพข้าว ผลผลิตที่ได้จึงเป็นข้าวคุณภาพต่ำซึ่งราคาจะต่ำด้วยเช่นกัน ส่งผลทำให้เกษตรกรผู้ปลูกข้าวประสบผลขาดทุน (Cheamuangphan *et al.*, 2016)

ภาคเหนือเป็นอีกภาคหนึ่งที่เกษตรกรมีพื้นที่การปลูกข้าวและได้รับผลผลิตมากเป็นอันดับสองรองจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยในปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2562/63 มีพื้นที่การเพาะปลูกรวมทั้งสิ้น 14.14 ล้านไร่ เพิ่มขึ้นจากปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2561/62 จำนวน 0.33 ล้านไร่ ในขณะที่ปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2561/62 ได้รับผลผลิตรวม 7.85 ล้านตัน ในขณะที่ปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2562/63 ได้รับผลผลิตมีจำนวน 7.52 ล้านตัน ลดลง 0.33 ล้านตัน (Office of Agricultural Economics, 2019) อย่างไรก็ตามปัญหาของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในเขตภาคเหนือก็เช่นเดียวกับเกษตรกรผู้ปลูกข้าวภาคอื่น คือ ประสิทธิภาพการผลิตและราคาข้าวเปลือกที่ต่ำ ทำให้เกษตรกรประสบปัญหาการขาดทุน มีภาระหนี้สินเพิ่มขึ้นทุกปี และจำนวนเกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่ไม่มีความสามารถในการชำระหนี้คืนแหล่งเงินกู้ก็เพิ่มสูงขึ้น

เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวทั้งระบบการปลูกข้าว รัฐจึงได้กำหนดยุทธศาสตร์ปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตข้าว โดยส่งเสริมให้เกษตรกรรวมกลุ่มกันทำเกษตรแปลงใหญ่ โดยมีเป้าหมาย คือ 1) เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตการปลูกข้าว 2) ลดต้นทุนการผลิตโดยยึดหลักการประหยัดต่อขนาด 3) เพิ่มผลผลิตและอำนาจการต่อรอง

แต่ที่ผ่านมามีการดำเนินงานให้เกษตรกรรวมตัวกันเพื่อทำนาแปลงใหญ่ยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร โดยปัจจุบันประเทศไทยมีเกษตรกรแปลงใหญ่จำนวน 208 แปลง คิดเป็นพื้นที่ 0.17 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.29 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด ด้วยเหตุนี้จึงเป็นประเด็นคำถามว่าประสิทธิภาพการผลิตข้าวของเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่มีประสิทธิภาพดีกว่าเกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกหรือไม่ หากประสิทธิภาพการผลิตของเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่สูงกว่าเกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกจะทำให้เกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่ไม่ใช่สมาชิกสนใจและจะเข้าร่วมโครงการมากขึ้น อันจะส่งผลให้เกิดแนวทางในการพัฒนาศักยภาพการผลิตข้าวของพื้นที่ภาคเหนือตอนบนเพิ่มมากขึ้น และทำให้เป้าหมายการปฏิรูปการผลิตข้าวของรัฐประสบความสำเร็จ

### วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกข้าวในจังหวัดเชียงรายและพะเยา ซึ่งถือเป็นจังหวัดที่มีเพาะปลูกข้าวมากที่สุดสองอันดับแรกของภาคเหนือตอนบน โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบจงใจ (Purposive sampling) จากฐานข้อมูลทะเบียนเกษตรกรผู้ปลูกข้าวของศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดเชียงรายและจังหวัดพะเยา จำนวน 1,200 ราย แบ่งเป็นเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่จำนวน 600 ราย และเกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ 600 ราย โดยกระจายกลุ่มตัวอย่างตามสัดส่วนของเกษตรกรในแต่ละอำเภอ ทั้งนี้เป็นการสำรวจข้อมูลในรอบปีการเพาะปลูกข้าวในปี พ.ศ.2562/2563 ซึ่งมีขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าประสิทธิภาพของการผลิตข้าว (Technical Efficiency: TE) วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคของ Non-parametric ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของ (Data Envelopment Analysis: DEA) (Coelli and Battese 1996) เนื่องจากสามารถวิเคราะห์การใช้ปัจจัยส่วนเกินโดยเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างอื่น มีตัวแปร Output

คือ ผลผลิตข้าว (กก.) สำหรับตัวแปร Input ได้แก่ จำนวนที่ดิน เงินลงทุนส่วนตัว เงินกู้ ปริมาณเมล็ดพันธุ์ ปริมาณปุ๋ยเคมี มูลค่าสารเคมี มูลค่าทรัพย์สินที่ใช้ลงทุนในการผลิต และจำนวนแรงงาน (Omonona *et al.*, 2010; Bates and Flordeliza 2010; Jabbar and Akter, 2008; Saima *et al.*, 2010) ดังแบบจำลองต่อไปนี้

$$\text{เป้าหมาย} \quad \max Z = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} \quad (1)$$

$$\text{ข้อจำกัด} \quad \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1 \quad (4)$$

$$\mu_r, v_j \geq 0 \quad (5)$$

โดยที่ Z คือ คะแนนประสิทธิภาพการผลิตรวมของเกษตรกรทั้งหมด  $Y_{rj}$  คือ ผลผลิตชนิดที่ r ของเกษตรกรรายที่ j และ  $r$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของผลผลิตชนิดที่ r เมื่อ  $r = 1, 2, \dots, s$  ส่วน  $X_{ij}$  คือ ปัจจัยการผลิตชนิดที่ i ของครัวเรือนเกษตรกรที่ j และ  $i$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยการผลิตชนิดที่ i เมื่อ  $i = 1, 2, \dots, m$  โดยในขั้นตอนนี้นอกจากจะทราบระดับประสิทธิภาพการผลิตแล้วยังทราบถึงจำนวนปัจจัยการผลิตส่วนเกิน (Input slack) ที่ได้จากแบบจำลองภายใต้เป้าหมาย คือ ได้รับผลผลิตเท่าเดิม (Output oriented)  $\mu$  คือ สัมประสิทธิ์ของผลผลิตตัวที่ r และ  $v$  คือ สัมประสิทธิ์ของปัจจัยการผลิตตัวที่ i

ขั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตของเกษตรกรในแต่ละกลุ่ม โดยจะพิจารณาการใช้ปัจจัยการผลิต ปัจจัยส่วนเกิน ผลผลิตส่วนเพิ่ม รวมถึงผลได้ต่อขนาดของการผลิต เพื่อนำมาวิเคราะห์ความเหมาะสมของการใช้ปัจจัยการผลิต และจำแนกตามระดับประสิทธิภาพ 5 ระดับ ได้แก่ ประสิทธิภาพมากที่สุด (0.8001-1.0000

คะแนน) ประสิทธิภาพมาก (0.6001-0.8000 คะแนน)  
ประสิทธิภาพปานกลาง (0.4001-0.6000 คะแนน)  
ประสิทธิภาพน้อย (0.2001-0.4000 คะแนน) และ  
ประสิทธิภาพน้อยที่สุด (0.0000-0.2000 คะแนน)

ขั้นตอนที่ 3 เปรียบเทียบผลได้ต่อขนาด (Return to scale) ของการผลิต โดยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะผลได้ต่อขนาดเพิ่มขึ้น (Increasing Return to Scale: IRS) ระยะผลได้ต่อขนาดคงที่ (Constant Return to Scale: CRS) ระยะผลได้ต่อขนาดลดลง (Decreasing Return to Scale: DRS)

### ผลการวิจัย

#### ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตข้าว ระหว่างเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่และเกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกจะใช้ตัวแปรด้านผลผลิตจำนวน 1 ตัวแปร คือ ปริมาณผลผลิตข้าว (Y) ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรเบื้องต้นทำให้ทราบว่า เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษามีผลผลิตรวมสูงสุดเท่ากับ 69,000 กก. ปริมาณผลผลิตรวมต่ำสุดเท่ากับ 800 กก. คิดเป็นปริมาณเฉลี่ย 6,141.34 กก. และใช้ตัวแปรด้านปัจจัยการผลิตจำนวน 8 ตัวแปร ได้แก่ ขนาดที่ดิน ( $X_1$ ) ใช้พื้นที่ปลูกข้าวสูงสุดถึง 115 ไร่ และใช้พื้นที่น้อยที่สุดเท่ากับ 1.75 ไร่ ซึ่งเป็นปริมาณการใช้ของ

เกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ โดยคิดเป็นขนาดพื้นที่เฉลี่ย 11.31 ไร่/ราย เงินลงทุน ( $X_2$ ) มีมูลค่าเงินลงทุนสูงสุดเท่ากับ 327,000 บาท ขณะที่เกษตรกรบางรายไม่มีการใช้เงินลงทุนเริ่มต้น ทำให้มีมูลค่าเงินลงทุนเฉลี่ยเท่ากับ 21,118.50 บาท เงินกู้เพื่อการเกษตร ( $X_3$ ) มีมูลค่าการกู้เงินสูงสุดเท่ากับ 1,000,000 บาท ขณะที่เกษตรกรบางรายไม่มีการกู้เงินมาเพื่อใช้ในการเกษตร ทำให้มีมูลค่าเงินกู้เฉลี่ยเท่ากับ 19,948.75 บาท/ราย มูลค่าทรัพย์สิน ( $X_4$ ) มีมูลค่าสูงสุดเท่ากับ 4,596,400 บาท มูลค่าทรัพย์สินเฉลี่ย เท่ากับ 130,448.63 บาท/ราย ปริมาณเมล็ดพันธุ์ข้าว ( $X_5$ ) ใช้ปริมาณสูงสุดถึง 1,600 กก. ซึ่งเป็นปริมาณการใช้ของเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ ขณะที่ปริมาณการใช้ต่ำที่สุดเท่ากับ 20 กก. โดยคิดเป็นปริมาณการใช้เมล็ดพันธุ์เฉลี่ย 120.38 กก./ราย ปริมาณปุ๋ยเคมี ( $X_6$ ) มีปริมาณการใช้สูงสุดเท่ากับ 5,250 กก. ขณะที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวบางรายไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมีเลย ทำให้มีปริมาณปุ๋ยเคมีเฉลี่ยเท่ากับ 348.06 กก./ราย มูลค่าสารเคมี ( $X_7$ ) มีมูลค่าการใช้สูงสุดเท่ากับ 7,800 บาท ขณะที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวบางรายไม่มีต้นทุนดังกล่าว ทำให้มีมูลค่าสารเคมีเฉลี่ยเท่ากับ 219.05 บาท/ราย และจำนวนแรงงาน ( $X_8$ ) มีการใช้แรงงานสูงสุด 51 คน ขณะที่เกษตรกรบางรายได้มีการใช้แรงงานนั้นคือการจ้างทุกขั้นตอน ทำให้จำนวนแรงงานในการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 9.53 คน/ราย (Table 1)

**Table 1** Variables of technical efficiency analysis

Variables	Maximum	Minimum	Average	S.D.
<b>Output</b>				
Y <sub>1</sub> : Rice yields (Kg.)	69,000.00	800.00	6,141.34	5,812.17
<b>Input</b>				
X <sub>1</sub> : Land (rai)	115.00	1.75	11.31	9.66
X <sub>2</sub> : Investment (Baht)	327,000.00	0.00	21,118.50	24,914.96
X <sub>3</sub> : Loan for agriculture (Baht)	1,000,000.00	0.00	19,948.75	77,191.89
X <sub>4</sub> : Value assets (Baht)	4,594,400.00	0.00	130,448.63	330,803.07
X <sub>5</sub> : Seed (kg)	1,600.00	20.00	120.38	173.07
X <sub>6</sub> : Chemical fertilizer (kg)	5,250.00	0.00	348.06	434.04
X <sub>7</sub> : Chemical substance (Baht)	7,800.00	0.00	219.05	687.36
X <sub>8</sub> : Labor (person)	51.00	0.00	9.53	7.52

Source: Calculation

**ประสิทธิภาพการผลิตข้าว**

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตข้าวระหว่างเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่และไม่ใช่มสมาชิก พบว่าการผลิตข้าวของเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่มีประสิทธิภาพมากกว่าเกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ ซึ่งจะเห็นได้จากค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพ (TE) ของเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่เท่ากับ 0.9213 ขณะที่เกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่มีค่าประสิทธิภาพ (TE) เฉลี่ยเท่ากับ 0.9065 โดยเกษตรกรส่วนใหญ่ของการปลูกข้าวแต่ละกลุ่มมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด รองลงมาคือ

อยู่ในระดับมากและปานกลาง ตามลำดับ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ (TE) จำนวนเกษตรกรหรือสัดส่วนของเกษตรกรในแต่ละระดับประสิทธิภาพ เกษตรกรทั้งสองกลุ่มมีค่าประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าประสิทธิภาพของเกษตรกรนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตของเกษตรกรทั้งสองกลุ่มร่วมกันในภาพรวม ทำให้ทราบว่าเกษตรกรในภาคเหนือตอนบนมีประสิทธิภาพการผลิตในระดับมากที่สุดด้วยค่า TE เฉลี่ยเท่ากับ 0.9139 (Table 2)

Table 2 Level of efficiency

Efficiency		Average technical efficiency		
Level of score	Meaning	Large-scale rice field member	Large-scale rice field non-member	Total
0.8001-1.0000	Highest	0.9527	0.9465	0.9497
0.6001-0.8000	High	0.7216	0.7382	0.7303
0.4001-0.6000	Medium	0.5093	0.5291	0.5232
0.2001-0.4000	Low	0.3950	0.2400	0.3175
<b>Total</b>		<b>0.9213</b>	<b>0.9065</b>	<b>0.9139</b>

Source: Calculation

### ปัจจัยส่วนเกินในการผลิต

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตพบว่าเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ควรลดปัจจัยการผลิตส่วนเกินลงจำนวน 405 ราย คิดเป็นร้อยละ 67.50 โดยเกษตรกรส่วนใหญ่ควรปรับลดปัจจัยส่วนเกิน 2 ปัจจัย และ 3 ปัจจัย มีจำนวน 120 ราย และ 129 ราย หรือคิดเป็นร้อยละ 20.00 และ 21.50 ของจำนวนเกษตรกรในแต่ละกลุ่ม ตามลำดับ ทั้งนี้เกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ควรปรับลดปัจจัยมากที่สุดถึง 6 ปัจจัย มีจำนวน 6 ราย คิดเป็นร้อยละ 1.00 ทำให้เหลือเกษตรกรที่ไม่ต้องปรับลดปัจจัยส่วนเกินเพียง 195 ราย คิดเป็นร้อยละ 32.50

สำหรับเกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ส่วนใหญ่ควรปรับลดปัจจัยส่วนเกินจำนวน 2 ปัจจัย และ 3 ปัจจัย เช่นเดียวกับกลุ่มนาแปลงใหญ่ ซึ่งมีเกษตรกร

ที่ต้องปรับลดจำนวน 186 ราย และ 108 ราย คิดเป็นร้อยละ 31.00 และ 18.00 ตามลำดับ โดยจำนวนปัจจัยส่วนเกินที่ต้องลดมากที่สุด คือ จำนวน 5 ปัจจัยเท่านั้น จึงเหลือเกษตรกรที่ไม่ต้องปรับลดปัจจัยการผลิตส่วนเกินเพียง 138 ราย หรือคิดเป็นร้อยละ 23.00 เท่านั้น

ดังนั้นในภาพรวมของเกษตรกรในพื้นที่ศึกษาจะต้องลดปัจจัยการผลิตส่วนเกินลงถึง 5 ปัจจัย และส่วนใหญ่จะต้องลดปัจจัยการผลิตส่วนเกิน 2 ปัจจัย ซึ่งมีจำนวนรวมทั้งสิ้น 306 ราย คิดเป็นร้อยละ 25.50 รองลงมาคือ ลดปัจจัยการผลิตส่วนเกิน 3 ปัจจัย จำนวน 237 ราย คิดเป็นร้อยละ 19.75 ถัดมาคือ ลดปัจจัยส่วนเกิน 4 ปัจจัย จำนวน 177 ราย คิดเป็นร้อยละ 14.75 ทำให้มีเกษตรกรที่ไม่ต้องปรับลดปัจจัยการผลิตส่วนเกินจำนวน 333 ราย คิดเป็นร้อยละ 27.75 (Table 3)

**Table 3** Number of input slack

Number of input slack	Large-scale rice field member		Large-scale rice field non-member		Total	
	No.	%	No.	%	No.	%
	1 input slack	54	9.00	60	10.00	114
2 input slack	120	20.00	186	31.00	306	25.50
3 input slack	129	21.50	108	18.00	237	19.75
4 input slack	81	13.50	96	16.00	177	14.75
5 input slack	15	2.50	12	2.00	27	2.25
6 input slack	6	1.00	0	0.00	6	0.50
<b>Farmer need to reduce</b>	<b>405</b>	<b>67.50</b>	<b>462</b>	<b>77.00</b>	<b>867</b>	<b>72.25</b>
<b>Farmer don't to reduce</b>	<b>195</b>	<b>32.50</b>	<b>138</b>	<b>23.00</b>	<b>333</b>	<b>27.75</b>

Source: Calculation

**การลดปัจจัยส่วนเกินในการผลิต**

จากการประเมินระดับประสิทธิภาพการผลิตข้าวของเกษตรกรด้วยการเปรียบเทียบการใช้ปัจจัยการผลิตของเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างด้วยกันเองนั้น ทำให้ทราบว่า มีเกษตรกรควรลดปัจจัยการผลิตลงโดยให้ได้รับผลผลิตเท่าเดิม เกษตรกรในแต่ละระดับประสิทธิภาพจึงควรปรับลดขนาดของปัจจัยการผลิต ดังนี้

1) ที่ดิน มีเกษตรกรที่ต้องปรับลดขนาดที่ดินสำหรับการเพาะปลูกลงร้อยละ 18.75 ของเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด โดยเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจำนวน 87 ราย คิดเป็นร้อยละ 14.50 ควรปรับลดขนาดพื้นที่เพาะปลูกลงเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 ไร่/ราย ขณะที่เกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพการผลิตระดับมากที่สุดจำนวน 111 ราย คิดเป็นร้อยละ 18.50 ควรปรับลดปัจจัยส่วนเกินเฉลี่ย 3.50 ไร่/ราย ทั้งนี้การปรับลดที่ดินเกิดจากขนาดที่ดินที่เพิ่มขึ้นไม่สามารถทำให้ปริมาณผลผลิตข้าวเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเกษตรกรที่มีขนาดที่ดินต่ำกว่าได้อย่างเป็นสัดส่วนที่เหมาะสม

2) เงินลงทุน มีเกษตรกรที่ต้องปรับลดเงินลงทุนลงร้อยละ 36.75 ของเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด โดยเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจำนวน 162 ราย คิดเป็นร้อยละ 27.00 ควรปรับลดเงินลงทุนลงเฉลี่ยเท่ากับ 5,299.45 บาท/ราย กลุ่มที่มีประสิทธิภาพการผลิตระดับมาก จำนวน 15 ราย คิดเป็นร้อยละ 2.50 ต้องปรับลดเงินลงทุนลงเฉลี่ย 13,698.73 บาท/ราย ขณะที่เกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพการผลิตระดับมากที่สุดจำนวน 219 ราย คิดเป็นร้อยละ 36.50 ควรปรับลดเงินลงทุนเฉลี่ย 7,171.93 บาท/ราย

3) เงินกู้ มีเกษตรกรที่ต้องปรับลดจำนวนเงินกู้ลงร้อยละ 10.00 ของเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด โดยเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจำนวน 72 ราย คิดเป็นร้อยละ 12.00 ควรปรับลดจำนวนเงินกู้ลงเฉลี่ยเท่ากับ 30,878.44 บาท/ราย ขณะที่เกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพการผลิตระดับมากควรปรับลดเงินกู้เฉลี่ยสูงถึง 175,555.56 บาท/ราย รองลงมาคือ เกษตรกรที่มี

ประสิทธิภาพการผลิตระดับมากที่สุดควรปรับลดเงินกู้เฉลี่ย 19,915.61 บาท/ราย โดยเกษตรกรที่มีการกู้เงินส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์ในการกู้เพื่อนำมาซื้อทรัพย์สินทางการเกษตรและเป็นเงินทุนหมุนเวียน

4) มูลค่าทรัพย์สินทางการเกษตร เช่น รถไถ เครื่องสูบน้ำ รถบรรทุกทางการเกษตร ซึ่งมีเกษตรกรที่ต้องปรับลดทรัพย์สินลงร้อยละ 29.25 ของเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด โดยเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจำนวน 168 ราย คิดเป็นร้อยละ 28.00 ควรปรับลดทรัพย์สินทางการเกษตรลงเฉลี่ยเท่ากับ 283,153.99 บาท/ราย เกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพระดับมากที่สุดควรปรับลดปัจจัยการผลิตลงเฉลี่ย 207,173.86 บาท/ราย ขณะที่เกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพการผลิตระดับมากที่สุดจำนวน 147 ราย คิดเป็นร้อยละ 24.50 ควรปรับลดทรัพย์สินส่วนเกินลงเฉลี่ยเท่ากับ 141,705.12 บาท/ราย

5) ปริมาณเมล็ดพันธุ์ มีเกษตรกรที่ต้องปรับลดปริมาณเมล็ดพันธุ์ลงร้อยละ 19.50 ของเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด โดยเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจำนวน 111 ราย คิดเป็นร้อยละ 18.50 ควรปรับลดเมล็ดพันธุ์ลงเฉลี่ยเท่ากับ 107.99 กก./ราย เกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพระดับมากที่สุดจำนวน 15 ราย คิดเป็นร้อยละ 2.50 ควรปรับลดเมล็ดพันธุ์ลงเฉลี่ย 5.94 กก./ราย ขณะที่เกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพการผลิตระดับมากที่สุดจำนวน 90 ราย คิดเป็นร้อยละ 15.00 ควรปรับลดเมล็ดพันธุ์เฉลี่ย 61.73 กก./ราย เกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพระดับมากที่สุดจำนวน 18 ราย คิดเป็นร้อยละ 3.00 ควรปรับลดเมล็ดพันธุ์ลงเฉลี่ย 115.15 กก./ราย

6) ปริมาณปุ๋ยเคมี สำหรับการเพาะปลูกของเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพระดับมากที่สุดจำนวน 108 ราย คิดเป็นร้อยละ 18.00 ควรปรับลดเฉลี่ยเท่ากับ 166.60 กก./ราย ขณะที่

เกษตรกรที่มีประสิทธิภาพการผลิตระดับมากที่สุดจำนวน 3 ราย คิดเป็นร้อยละ 0.50 ควรปรับลดปริมาณปุ๋ยเคมีเฉลี่ยเพียง 0.50 กก./ราย สำหรับเกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพการผลิตระดับมากที่สุดจำนวน 81 ราย คิดเป็นร้อยละ 13.50 ควรปรับลดปริมาณปุ๋ยเคมีเฉลี่ยเท่ากับ 174.32 กก./ราย ขณะที่เกษตรกรที่มีประสิทธิภาพระดับมากที่สุดควรปรับลดปุ๋ยเคมีเฉลี่ยเท่ากับ 217.06 กก./ราย โดยภาพรวมเกษตรกรทั้งหมดควรปรับลดปุ๋ยเคมีเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 180.89 บาท/ราย

7) ค่าสารเคมี ได้แก่ สารเคมีกำจัดวัชพืชและศัตรูพืช เกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่จำนวน 75 ราย คิดเป็นร้อยละ 12.50 ควรปรับลดต้นทุนสารเคมีโดยเป็นเกษตรกรที่มีประสิทธิภาพระดับมากที่สุด ซึ่งควรลดต้นทุนค่าสารเคมีเฉลี่ยเท่ากับ 656.43 บาท/ราย ขณะที่เกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจำนวน 102 ราย คิดเป็นร้อยละ 17.00 ควรลดค่าสารเคมีเฉลี่ยเท่ากับ 831.31 บาท/ราย เกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพระดับมากที่สุดจำนวน 9 ราย คิดเป็นร้อยละ 1.50 ควรปรับลดค่าสารเคมีเฉลี่ย 554.02 บาท/ราย

8) จำนวนแรงงานคนในการผลิต เป็นปัจจัยการผลิตที่มีความจำเป็นจะต้องปรับลดเนื่องจากมีมูลค่าในการปรับลดที่ค่อนข้างสูง โดยเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพในระดับมากที่สุดควรปรับลดต้นทุนแรงงานลงมากถึง 12.89 คน รองลงมาคือเกษตรกรที่มีประสิทธิภาพในระดับมากที่สุดควรปรับลดต้นทุนแรงงานเฉลี่ยเท่ากับ 6.61 คน/ราย ขณะที่เกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีประสิทธิภาพระดับมากที่สุดควรปรับลดต้นทุนแรงงานการผลิตลงเฉลี่ยเท่ากับ 8.37 คน/ราย รองลงมาคือเกษตรกรที่มีประสิทธิภาพระดับมากที่สุดควรปรับลดเฉลี่ยเท่ากับ 6.21 คน/ราย ส่วนเกษตรกรที่มีประสิทธิภาพระดับปานกลางควรปรับลดต้นทุนแรงงานเฉลี่ยเพียง 2.93 คน/ราย

### ผลได้ต่อขนาด (Economy of Scale) ของการผลิต

จากการวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตระหว่างเกษตรกรผู้ปลูกข้าวทั้งสองกลุ่ม (Table 4) พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มีการผลิตอยู่ในช่วงของผลได้ต่อขนาดที่ลดลง (DRS) แสดงให้เห็นถึงการใช้จ่ายการผลิตส่วนเกินที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์หรือไม่ก่อให้เกิดผลผลิตที่เพิ่มขึ้น โดยเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่จำนวน 255 ราย คิดเป็นร้อยละ 42.50 มีการผลิตอยู่ในช่วงของผลได้ต่อขนาดลดลง (DRS) ซึ่งเป็นเกษตรกรที่มีประสิทธิภาพการผลิตอยู่ในระดับมากที่สุดถึงมากที่สุดจำนวน 231 และ 24 ราย ตามลำดับ รองลงมาคือเกษตรกรมีผลได้ต่อขนาดเพิ่มขึ้น (IRS) จำนวน 207 ราย คิดเป็นร้อยละ 34.50 ซึ่งกระจายตัวอยู่ในระดับน้อยจนถึง

มากที่สุด ขณะที่เกษตรกรที่มีผลได้ต่อขนาดคงที่ (CRS) มีจำนวน 138 ราย คิดเป็นร้อยละ 23.00 ซึ่งเป็นเกษตรกรที่มีประสิทธิภาพการผลิตอยู่ในระดับมากที่สุด

ทำนองเดียวกันเกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่จำนวน 279 ราย คิดเป็นร้อยละ 46.50 มีการผลิตอยู่ในช่วงของผลได้ต่อขนาดลดลง (DRS) โดยเป็นเกษตรกรที่มีประสิทธิภาพการผลิตอยู่ในระดับมากที่สุดถึงมากที่สุดจำนวน 249 และ 30 ราย ตามลำดับ รองลงมาคือเกษตรกรมีผลได้ต่อขนาดเพิ่มขึ้น (IRS) จำนวน 237 ราย คิดเป็นร้อยละ 39.50 ซึ่งกระจายตัวอยู่ในระดับน้อยจนถึงมากที่สุด ขณะที่เกษตรกรที่มีผลได้ต่อขนาดคงที่ (CRS) มีจำนวน 84 ราย คิดเป็นร้อยละ 14.00 ซึ่งเป็นเกษตรกรที่มีประสิทธิภาพการผลิตอยู่ในระดับมากที่สุด

**Table 4** Economy of Scale (Unit: Number of farmer)

Level of Efficiency	Large-scale rice field member			Large-scale rice field non-member			Total		
	CRS	IRS	DRS	CRS	IRS	DRS	CRS	IRS	DRS
	Highest	138	162	231	84	180	249	222	342
High	0	33	24	0	33	30	0	66	54
Medium	0	9	0	0	21	0	0	30	0
Low	0	3	0	0	3	0	0	6	0
Lowest	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>138</b>	<b>207</b>	<b>255</b>	<b>84</b>	<b>237</b>	<b>279</b>	<b>222</b>	<b>444</b>	<b>534</b>
<b>Percent</b>	<b>23.00</b>	<b>34.50</b>	<b>42.50</b>	<b>14.00</b>	<b>39.50</b>	<b>46.50</b>	<b>18.50</b>	<b>37.00</b>	<b>44.50</b>

Source: Calculation

### วิจารณ์ผลการวิจัย

ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคการผลิตข้าวของเกษตรกรในพื้นที่ศึกษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.9139 อยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ Rayasawath (2018) ที่พบว่าประสิทธิภาพทางเทคนิค

การผลิตเฉลี่ย 0.9167 อยู่ในระดับสูงมาก อีกทั้งยังระบุว่าการลดต้นทุนค่าแรงงาน ลดการใช้จ่ายปุ๋ยเคมีลง จะช่วยให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ดียิ่งขึ้น สำหรับระดับผลได้ต่อขนาดของการผลิตของเกษตรกรในภาคเหนือตอนบนอยู่ในระยะที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sansri *et al.* (2014) ที่ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตเชิงเทคนิค

ของการผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่พบว่าประสิทธิภาพการผลิตข้าวของเกษตรกรมีระดับสูง ได้คะแนนประสิทธิภาพเท่ากับ 0.8018 และผลได้ต่อขนาดของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอยู่ในระยะลดลงเช่นกัน และยังสอดคล้องกับ Tanavang *et al.* (2015) ที่ระบุว่าความยืดหยุ่นของผลผลิตต่อปัจจัยการผลิตเป็นแบบยืดหยุ่นน้อย นั่นคือ การเพิ่มปัจจัยการผลิตร้อยละ 1 ผลผลิตข้าวต่อไร่จะเพิ่มน้อยกว่าร้อยละ 1 ทั้งนี้เกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่แม้ว่าการรวมกลุ่มเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ แต่ควรปรับลดขนาดพื้นที่เพาะปลูก เนื่องจากการบริหารจัดการสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ยังไม่ดีนัก และเป็นกลุ่มที่ไม่เข้มแข็งเท่าที่ควร เป็นผลสืบเนื่องมาจากหน่วยงานภาครัฐมีกำหนดระยะเวลาในการเข้าไปให้การสนับสนุนการจัดตั้งกลุ่ม ขณะที่ปริมาณปุ๋ยเคมีและสารเคมีของเกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ควรปรับลดมากกว่าเกษตรกรนาแปลงใหญ่ เนื่องจากพื้นที่น้อยกว่าทำให้ซื้อปัจจัยการผลิตในราคาที่สูงประกอบกับการใช้ปัจจัยการผลิตตามความเคยชินด้วยการคาดคะเน ทำให้ปัจจัยการผลิตเกินความเหมาะสมกับพื้นที่

### สรุปผลการวิจัย

เกษตรกรส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพการผลิตอยู่ในระดับมากที่สุด โดยเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่มีประสิทธิภาพการผลิตสูงกว่าเกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ ทำให้จำนวนเกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกต้องปรับลดปัจจัยการผลิตส่วนเกินมากกว่าเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ แต่เกษตรกรกลุ่มนาแปลงใหญ่ต้องลดปัจจัยการผลิตส่วนเกินสูงสุดถึง

6 ปัจจัย ขณะที่เกษตรกรที่ไม่ใช่สมาชิกควรลดปัจจัยส่วนเกินลง 5 ปัจจัย ซึ่งเกษตรกรทั้งสองกลุ่มส่วนใหญ่ต้องปรับลดปัจจัยส่วนเกิน 2-3 ปัจจัย สำหรับปัจจัยการผลิตที่ควรปรับลดมากที่สุด คือ จำนวนแรงงานคนในการผลิต เนื่องจากเกษตรกรใช้การจ้างแรงงานเป็นหลักมากกว่าใช้แรงงานในครัวเรือนหรือแรงงานแลกเปลี่ยน โดยแรงงานที่ควรปรับลดเฉลี่ยสูงสุดถึง 10.18 คน/ไร่ และปัจจัยด้านจำนวนเงินลงทุนของเกษตรกรควรปรับลดเฉลี่ยสูงสุด 11,284.48 บาท/ไร่ เป็นของเกษตรกรที่มีประสิทธิภาพระดับมาก ส่วนการวิเคราะห์ถึงผลได้ต่อขนาดนั้นแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการผลิตข้าวของเกษตรกรมีผลได้ต่อขนาดลดลง (DRS) ดังนั้น หน่วยงานของภาครัฐ ได้แก่ สำนักงานเกษตรจังหวัด ศูนย์วิจัยข้าวจังหวัด ควรส่งเสริมให้เกษตรกรที่เป็นเกษตรกรรายย่อยเข้าร่วมกลุ่มเพื่อเป็นสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยให้ข้อมูลสนับสนุนเกษตรกรที่เป็นสมาชิกถึงการใช้จ่ายการผลิตอย่างเหมาะสม เพื่อให้ประสิทธิภาพการผลิตของเกษตรกรอยู่ในระยะผลได้ต่อขนาดเพิ่มขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

บทความเรื่องนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพการผลิตข้าวแปลงใหญ่ของเกษตรกรในเขตภาคเหนือตอนบน โดยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จึงทำให้การศึกษาสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จนกระทั่งสามารถทำให้เกิดองค์ความรู้ต่าง ๆ และนำมาเสนอเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

### เอกสารอ้างอิง

- Bates, M.B. and A.L. Flordeliza. 2010. Factors affecting yield performance of banana farms in Oriental Mindoro, Philippines. **Journal of International Society for Southeast Asian agriculture science** 1: 1-7.
- Cheamuangphan, A., R. Kongtanajaruanun and A. Phaoumnuaywit. 2016. **Effectiveness of Rice Production between Transplanting and Direct Seeded Method for Rice in Upper Northern Region.** In Research Report. Chiang Mai: Maejo University. 52 p. [in Thai]
- Coelli, T. and G. Battese. 1996. Identification of factors which influence the technical inefficiency of Indian farmers. **Australian Journal of Agricultural Economics** 40: 103-28.
- Jabbar, M.A. and S. Akter. 2008. Market and other factors influencing farm specific production efficiency in pig production in Vietnam. **International Journal of Food and Agribusiness Marketing** 20: 29-54.
- Office of Agricultural Economics. 2019. **Agricultural use area.** [Online]. Available <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/prcaidata/files/major%20rice%2061%20dit.pdf> (November 24, 2021).
- Omonona, B.T., O.A. Egbetokun and A.T. Akanbi. 2010. Farmers resource use and technical efficiency in cowpea production in Nigeria. **Econ.Anal. Policy** 40: 1-5.
- Rayasawath, C. 2018. Technical efficiency analysis of rice production in Nakhon Ratchasima. **NRRU Community Research Journal** 12 (2): 63-70. [in Thai]
- Saima, A., H. Zakir, H. Maqbool. 2010. Role of credit on production efficiency of farming sector in Pakistan. **World Academy of Science, Engineering and Technology** (66): 880-885.
- Sansri, B., O. Srisompun, S. Chitchamnong and P. Siritrakulsak. 2014. Technical efficiency of Khao Dawk Mali 105 rice production in Roi-Et province. **Khon Kaen Agriculture Journal** 42(Suppl.1): 136-141. [in Thai]
- Tanavang, P., M. Chaowakul and S. Nettayanun. 2015. An efficiency analysis of rice production in the beneficial area of the Kwaee Noi Bum Roong Dan Dam using panel data crop year 2008, 2010 and 2012. **Journal of Business, Economics and Communications** 11(1): 112-137. [in Thai]

## ข้าวเหนียวเดอกริล: การพัฒนาวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ในยุคดิจิทัล

### Khaw Neaw De Grill (De Grill Glutinous Rice): A Development of Organic Rice Community Enterprise in The Digital Era

ธัญลักษณ์ เมืองโคตร<sup>1</sup> บุษกร ครจางงค์<sup>1</sup> เปรมฤดี จิตรเกื้อกุล<sup>1</sup> ศิริินนา คำทะเนตร<sup>1</sup>  
พัชรารณณ์ ถิ่นจันทร์<sup>2</sup> ตติยาภรณ์ ศิริศักดิ์กุล<sup>3</sup> กุลวดี แก้วก่า<sup>4</sup> พัดชา เศรษฐธากา<sup>4</sup>  
รุ่งทิวี ผดากาล<sup>5</sup> และมยุรกาญจน์ เดชกัญชร<sup>4\*</sup>

Thanyalak Mueangkhoh<sup>1</sup>, Butsakorn Khornjamnong<sup>1</sup>, Premruedee Jitkuekul<sup>1</sup>, Sirinna khamtanet<sup>1</sup>  
Patcharaporn Tinchan<sup>2</sup>, Tatiyaporn Sirisakdakul<sup>3</sup>, Kunwadee Kaewka<sup>4</sup>, Patcha Sattaka<sup>4</sup>  
Rungtawee Padakan<sup>5</sup> and Mayoorkarn Dechkunchorn<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>คณะศิลปศาสตร์และวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ สกลนคร 47000

<sup>2</sup>คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

<sup>3</sup>Faculty of Economics, University of Porto, Porto, Portugal 4099-002

<sup>4</sup>คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ สกลนคร 47000

<sup>5</sup>คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ สกลนคร 47000

<sup>1</sup>Faculty of Arts and Management, Kasetsart University Chalermprakiat, Sakon Nakorn Campus, Thailand 47000

<sup>2</sup>Faculty of Agriculture, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, Thailand 73140

<sup>3</sup> Faculty of Economics, University of Porto, Porto, Portugal 4099-002

<sup>4</sup>Faculty of Natural Resource and Agricultural Industry, Kasetsart University Chalermprakiat, Sakon Nakorn Campus, Thailand 4700

<sup>5</sup>Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University Chalermprakiat, Sakon Nakorn Campus, Thailand 4700

\*Corresponding author: mayoorkarn.d@ku.th

Received: June 13, 2023

Revised: December 25, 2023

Accepted: January 17, 2024

#### Abstract

This study aimed to increase the potentiality of organic rice entrepreneurs by applying participatory research. This participatory research study engaged 50 Dao Lom Deuan community enterprise members in Sakon Nakhon province. The participants were learn transferred to enhance their entrepreneurship through training, demonstrating, study visiting, and documentation. Four operational learning courses were introduced: low cost organic rice production, glutinous rice product processing, digital marketing, and sufficiency economy lifestyle. The community enterprise members were closely followed up and advised by experts, enabling them to create a management system to produce and sell organic rice, rice cereal bars, giant rice crispy cereal, and Vietnamese steamed glutinous rice in online and offline markets. Furthermore, the existing products of this community were also developed through this process to improve market sales, such as Hang rice, organic glutinous rice, and organic jasmine rice. The results revealed that the targeted members had gained knowledge and increased their

entrepreneurship after knowledge transfer. They could produce processing products to earn better income after the harvest season. The average monthly income of participants had shifted from 2,368 Baht per person to 2,818 Bahts per person, accounting for 450 Baht per person or 19%.

**Keywords:** glutinous rice, learning, enterprise, organic rice, digital marketing

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีเป้าหมายในการเพิ่มศักยภาพผู้ประกอบการข้าวอินทรีย์ ด้วยกระบวนการวิจัยแบบมีส่วนร่วมกับวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวอินทรีย์กลุ่ม “ดาวล้อมเดือน” ในจังหวัดสกลนคร จำนวน 50 ราย ผ่านกระบวนการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการโดยใช้การฝึกอบรม การสาธิต การศึกษาดูงาน และการใช้เอกสารคู่มือ เพื่อยกระดับความเป็นผู้ประกอบการใน 4 หลักสูตร ได้แก่ การผลิตข้าวอินทรีย์ต้นทุนต่ำ การแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว การตลาดดิจิทัล และการดำเนินชีวิตตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง ผู้ประกอบการได้รับการติดตามและให้คำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญอย่างใกล้ชิด ให้สามารถผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ข้าวอินทรีย์ สร้างงานสร้างรายได้ และสร้างระบบการบริหารจัดการให้ผู้ประกอบการสามารถผลิตและจำหน่าย ซีเรียลบาร์ข้าว (ธัญพืชชนิดแห้ง) ข้าวเกรียบว่าวธัญพืช และข้าวต้มมัดญวน ในตลาดทั้งออนไลน์และออฟไลน์ได้ อีกทั้งผู้ประกอบการได้รับคำปรึกษาเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เดิมให้สามารถจำหน่ายในตลาดมากขึ้น ได้แก่ ข้าวฮาง ข้าวเหนียวอินทรีย์ ข้าวหอมมะลิอินทรีย์ ผลการดำเนินงานพบว่า หลังการถ่ายทอดความรู้กลุ่มเป้าหมายทั้งหมดมีความรู้ความสามารถเพื่อเป็นผู้ประกอบการเพิ่มขึ้น เกิดผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อเพิ่มรายได้หลังฤดูกาลทำนา และสมาชิกมีรายได้เฉลี่ยเพิ่มขึ้น จากรายได้เฉลี่ย 2,368 บาท/คน/เดือน เพิ่มขึ้น 2,818 บาท/คน/เดือน รายได้เพิ่มขึ้น 450 บาท/คน/เดือน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 19

**คำสำคัญ:** ข้าวเหนียว การเรียนรู้ ผู้ประกอบการข้าวอินทรีย์ การตลาดดิจิทัล

## คำนำ

ตามนโยบายการพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ พ.ศ. 2560–2564 ได้ถูกถ่ายทอดสู่การปฏิบัติในระดับจังหวัด (National Organic Agriculture Development Board, 2017) จังหวัดสกลนครเป็นหนึ่งในจังหวัดที่มีนโยบายส่งเสริมการผลิตสินค้าเกษตรอินทรีย์ จนเกิดความร่วมมือในการทำเกษตรอินทรีย์ร่วมกับผู้แทนกลุ่มเกษตรกร และหน่วยงานภาครัฐภายใต้คำขวัญ “การพัฒนาเกษตรอินทรีย์วิถีสกลนคร” ข้าว เป็นพืชเป้าหมายของสกลนคร มีพื้นที่การเพาะปลูกข้าวทั้งสิ้น 2.1 ล้านไร่ ปลูกข้าวเจ้าประมาณ 5 แสนไร่ และข้าวเหนียว 1.5 ล้านไร่ ผลผลิตข้าวเหนียวเฉลี่ย 358 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวอินทรีย์ 34,710 ไร่ มีพื้นที่ข้าวเหนียวอินทรีย์มากที่สุดร้อยละ 70 (Sakon Nakhon Provincial Agriculture Office, 2019) นโยบายดังกล่าวก่อให้เกิดผลกระทบในภาคการเกษตรในตำบลเชิงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ซึ่งมีพื้นที่ปลูกข้าวอินทรีย์มากที่สุด การผลักดันเพื่อการพัฒนาข้าวเหนียวอินทรีย์ ต้องได้รับการส่งเสริมตลอดห่วงโซ่ ดังนั้นวิสาหกิจชุมชนข้าวเหนียวจำเป็นต้องยกระดับการเรียนรู้เสริมทักษะเป็นผู้ประกอบการที่เหมาะสมกับชุมชนข้าวเหนียวอินทรีย์ ได้แก่ การส่งเสริมการตลาดต้นทุนการผลิตข้าว แปรรูปผลิตภัณฑ์ตามความต้องการตลาด และการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ให้เข้าถึงกลุ่มเป้าหมายยุคดิจิทัล และที่สำคัญกระบวนการเรียนรู้ดังกล่าวต้องได้รับการถ่ายทอดด้วยวิธีการที่เหมาะสมตามมาตรฐานบนพื้นฐานความต้องการของชุมชนเพื่อสร้างงานสร้างรายได้ให้ผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนข้าวเหนียวอินทรีย์ทั้งในฤดูกาลและนอกฤดูกาลทำนา ยิ่งไปกว่านั้นการพัฒนาทักษะผู้ประกอบการชุมชน

ข้าวอินทรีย์ในทุกมิติ เป็นการสร้างความมั่นคงในอาชีพ และความยั่งยืนในชุมชนต่อไป

## วิธีดำเนินการวิจัย

### ข้าวเหนียวเดอกริล

ตั้งอยู่ที่ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร จัดทะเบียนวิสาหกิจชุมชนในชื่อ วิสาหกิจชุมชนเมล็ดพันธุ์ข้าวอินทรีย์ดาวล้อมเดือน มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวอินทรีย์ของจังหวัดสกลนคร สมาชิกสามารถผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียวผ่านมาตรฐานการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวและมาตรฐานอินทรีย์ แม้ว่าการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียวจำหน่ายจะสามารถสร้างรายได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 12 เฉพาะช่วงฤดูทำนา สมาชิกร้อยละ 50 เมล็ดพันธุ์ไม่ผ่านมาตรฐาน ดังนั้นจึงได้ขยายเครือข่ายการทำงานร่วมกับวิสาหกิจชุมชนปลูกข้าว พืชผักสมุนไพรอินทรีย์ และเกษตรกรในพื้นที่ตำบลเชียงเครือ สร้างรายได้เสริมจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากปลา ทำขนมผักปลอดภัย ทอผ้า และเพื่อสานต่อกิจกรรมการผลิตข้าวเหนียวอินทรีย์เพื่อลดต้นทุนการผลิต และสร้างงานสร้างรายได้เสริมหลังฤดูกาลทำนา จากการประชุมร่วมกับชุมชน ได้ข้อสรุปแนวทางการดำเนินงาน โดยนำผลผลิตข้าวเหนียวอินทรีย์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานเมล็ดพันธุ์ข้าวอินทรีย์และเป็นส่วนเกินจากการบริโภคในครัวเรือนมาจำหน่ายในรูปข้าวสารอินทรีย์และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ควบคู่กันไป ดังนั้นจึงได้ดำเนินการวิจัย โดยใช้กระบวนการวิจัยแบบมีส่วนร่วม มีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. ประชากรในการศึกษา คือ สมาชิกวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ดาวล้อมเดือน ซึ่งเป็นเกษตรกรผู้ปลูกข้าวและพืชผักสมุนไพรอินทรีย์ ในพื้นที่ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร จำนวน 50 คน ที่มี

คุณสมบัติตรงตามที่กำหนด ได้แก่ เป็นผู้ว่างงาน หรือเป็นแรงงานนอกระบบที่มีรายได้น้อยกว่า 6,500 บาทต่อเดือน ตามข้อกำหนดของกองทุนเพื่อความเสมอภาคทางการศึกษา

2. การเตรียมความพร้อมของชุมชน โดยร่วมหารือเพื่อวางแผนการดำเนินงานและสร้างความเข้าใจร่วมกันในการทำงานให้บรรลุเป้าหมาย ภาควิชาการดำเนินการประกอบด้วย วิสาหกิจชุมชนเมล็ดพันธุ์ข้าวอินทรีย์ดาวล้อมเดือน เทศบาลตำบลเชียงเครือ กลุ่ม Young smart farmer สกลนคร ผู้นำชุมชนในตำบลเชียงเครือ จังหวัดสกลนคร และกองทุนเพื่อความเสมอภาคทางการศึกษา เพื่อสร้างความเข้าใจและขอรับคำแนะนำในการดำเนินงานในพื้นที่ โดยได้ข้อสรุปร่วมกัน คือ ชุมชนต้องเสริมทักษะอาชีพการผลิตข้าวครบวงจร ตั้งแต่กระบวนการต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ การเพิ่มทักษะบริหารจัดการ และการส่งเสริมทัศนคติการดำเนินชีวิต เพื่อให้กลุ่มเป้าหมายสามารถพัฒนาสู่การเป็นผู้ประกอบการข้าวรุ่นใหม่ในยุคดิจิทัล ผ่านกระบวนการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ การศึกษาดูงาน และการปฏิบัติจริงในพื้นที่ของชุมชน โดยให้มีคณะทำงานตรวจติดตามและให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิด ทั้งนี้ได้ร่วมกำหนดหลักสูตรที่สร้างการเรียนรู้สู่การปฏิบัติเพื่อให้เกิดรายได้จำนวน 4 หลักสูตร ได้แก่

2.1 หลักสูตรการผลิตข้าวอินทรีย์ต้นทุนต่ำจำนวน 6 ชั่วโมง เพื่อหนุนเสริมความรู้การผลิตข้าวอินทรีย์ โดยเฉพาะเรื่องการลดต้นทุนการผลิตข้าว เนื้อหาประกอบด้วย การผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว การตรวจสอบคุณภาพ การลดต้นทุนการผลิตข้าว การผลิตปุ๋ยอินทรีย์สังเคราะห์ และสารชีวภัณฑ์เพื่อการผลิตข้าว

2.2 หลักสูตรการแปรรูปข้าว จำนวน 24 ชั่วโมง เนื้อหาประกอบด้วย ซีเรียลบาร์ข้าว (ธัญพืชชนิดแห้ง) ข้าวเกรียบว่าวธัญพืช และข้าวต้มมัดญวน

2.3 หลักสูตรการตลาดดิจิทัล (Digital marketing) จำนวน 24 ชั่วโมง เนื้อหาประกอบด้วย ความรู้เบื้องต้นหลักการตลาด (4P's) การสร้างตราสินค้า การพัฒนารูปแบบบรรจุภัณฑ์ (Packaging) การเรียนรู้ เทคนิคการสร้างเรื่องราว (Content marketing) การถ่ายภาพ เพื่อการประชาสัมพันธ์และการโฆษณา และการเรียนรู้ การจัดการการตลาดดิจิทัล (Digital marketing) ในแพลตฟอร์ม ที่เหมาะสมกับชุมชน

2.4 หลักสูตรการดำเนินชีวิตตามแนวคิด เศรษฐกิจพอเพียง จำนวน 16 ชั่วโมง เนื้อหาประกอบด้วย การจัดการระบบฟาร์มตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง การจัดทำบัญชีและงบการเงินเบื้องต้น รวมทั้งการศึกษาดูงานผู้ที่ประสบความสำเร็จ

### 3. การดำเนินงานร่วมกับชุมชน

3.1. สสำรวจข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 50 คน เพื่อทราบสถานภาพของกลุ่มเป้าหมาย และนำมาวิเคราะห์เพื่อจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมสู่การยอมรับและเกิดการเปลี่ยนแปลง

3.2. ประชุมร่วมกับกลุ่มเป้าหมายและภาคี เครือข่าย เพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับสมาชิก ประเมินปัญหาและตรวจสอบความต้องการของชุมชน (Need assessment) รวมทั้งประเมินความเป็นไปได้ ด้านทรัพยากร (Resource assessment)

3.3. ถ่ายทอดความรู้ผ่านกระบวนการ ฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการและแลกเปลี่ยนรู้ คณะทำงาน จัดรูปแบบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ การสาธิต การศึกษาดูงาน พร้อมจัดทำคู่มือสำหรับ 4 หลักสูตร ดัง ข้อที่ 2

3.4 นำความรู้สู่การปฏิบัติเพื่อสร้างอาชีพ เมื่อกลุ่มเป้าหมายผ่านกระบวนการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ แล้วกลุ่มเป้าหมายนำความรู้ไปใช้เพื่อประกอบอาชีพ บนพื้นฐานของทุนชุมชนเดิม ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่จะนำมา จำหน่ายเพื่อสร้างอาชีพและรายได้ ต้องประกอบไปด้วย

2 ส่วน คือ สินค้าจากการถ่ายทอดความรู้ของโครงการ (ประกอบด้วยข้าวต้มมัดผญวน ซีเรียลบาร์ข้าว (ธัญพืชชนิดแห้ง) ข้าวเกรียบว่าวธัญพืช) และสินค้าของชุมชนที่มีอยู่เดิม

3.5 ควบคุมการผลิตให้ได้มาตรฐานเดียวกัน โดยการลงพื้นที่ดูสภาพจริงของการผลิตในชุมชนจนแน่ใจ ได้ว่าสามารถผลิตได้ จากนั้นใช้วิธีการติดตามผ่าน Line application โดยแต่ละรอบการผลิต ผู้ผลิตต้อง บันทึกภาพหรืออัดวิดีโอส่งให้คณะผู้ทำงานตรวจสอบ นอกจากนั้นคณะผู้ทำงานลงสู่ตรวจในพื้นที่

3.6 พัฒนาทักษะอาชีพกลุ่มเป้าหมายที่มี ผลิตภัณฑ์ของตนเอง มีการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อนำมาพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น โดยร่วมกันกับกลุ่มเป้าหมาย เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้กับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน ที่จำหน่ายในท้องตลาด เมื่อพบปัญหาและข้อบกพร่อง ผู้เชี่ยวชาญได้ถ่ายทอดความรู้เพื่อนำไปปรับในกระบวนการ ผลิตให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพมากขึ้น สามารถแข่งขัน ในตลาดได้

3.7 การสร้างรายได้ของกลุ่มเป้าหมาย โดย เลือกผลิตภัณฑ์ที่สามารถจำหน่ายได้อย่างสม่ำเสมอ มาเป็นผลิตภัณฑ์หลัก เพื่อสร้างรายได้พร้อมจดบันทึก ทุกรอบการผลิต ในขณะที่เดียวกันผลิตภัณฑ์อื่นที่ต้องการ ความชำนาญหรือทักษะเพิ่มเติมพิเศษ จะให้กลุ่มเป้าหมาย เป็นผู้ตัดสินใจเลือกผลิตภัณฑ์ด้วยตนเองตาม ความต้องการและความถนัด จากนั้นมีผู้เชี่ยวชาญลงพื้นที่เพื่อให้ คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด

3.8 ขยายตลาด โดยสร้างภาคีเครือข่าย ได้แก่ หน่วยงานท้องถิ่น หน่วยงานราชการในจังหวัด ร้านค้าของฝาก และกลุ่มคนทั่วไป

4. ติดตามและประเมินผลการดำเนินงาน โดย เน้นกระบวนการติดตามอย่างใกล้ชิด ทั้งในรูปแบบ รายบุคคล กลุ่ม และการติดตามผ่าน Application โดย เครื่องมือในการติดตามประเมินผลประกอบด้วย แบบสอบถามการเรียนรู้เกี่ยวกับทักษะด้านอาชีพ (โดยใช้

แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน) แบบฟอร์มติดตามการดำเนินงานรายบุคคล บันทึกข้อมูลการผลิตและการจัดจำหน่าย และการประเมินจากคุณภาพผลิตภัณฑ์ในแต่ละรอบการผลิต โดยดูจากข้อคิดเห็นของลูกค้าและการสุ่มตรวจคุณภาพผลิตภัณฑ์

**5. วิเคราะห์ข้อมูล** โดยการวิเคราะห์เนื้อหาของการประชุมกลุ่มย่อย ซึ่งเป็นการระดมความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้เสียในโครงการและทีมพี่เลี้ยงจากกองทุนเพื่อความเสมอภาคทางการศึกษา ทั้งทีมพี่เลี้ยงกลาง ทีมพี่เลี้ยงภาค และพี่เลี้ยงประจำกลุ่ม ร่วมกับการใช้สถิติพรรณนาเพื่อประเมินผลการดำเนินงานก่อนและหลังกระบวนการวิจัย และการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation) ของวิธีการในการพัฒนาผู้ประกอบการให้มีความรู้เพิ่มมากขึ้น

**ผลการวิจัย**

**การพัฒนากระบวนการเรียนรู้ผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ในยุคดิจิทัล**

1. กระบวนการเรียนรู้ในการดำเนินงานวิจัยแบบมีส่วนร่วม ตั้งแต่การวางแผน การถ่ายทอดความรู้ การดำเนินงาน การติดตามอย่างใกล้ชิดในการนำองค์ความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการประกอบอาชีพของกลุ่มเป้าหมายผ่านการอบรม จำนวน 4 หลักสูตร (ได้แก่ หลักสูตรการผลิตข้าวอินทรีย์ต้นทุนต่ำ หลักสูตรการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าว หลักสูตรการตลาดดิจิทัล (Digital marketing) และหลักสูตรการดำเนินชีวิตตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง) รวมจำนวนชั่วโมงการเรียนรู้ทั้งสิ้น 70 ชั่วโมง ระยะเวลา 9 วัน โดยใช้การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการการสาธิต และการศึกษาดูงาน ทำให้เกิดผู้ประกอบการชุมชนที่เป็นกลุ่มเป้าหมายสามารถจำหน่ายสินค้าผ่านระบบออนไลน์ และสร้างอาชีพหลังฤดูกาลทำนา

**Table 1** The knowledge score of participants in community enterprises

Knowledge	Before	After
	(65 scores)	(65 scores)
Reduce organic rice production cost (20 scores)	13	18
Processing of rice products (20 scores)	12	18
Digital marketing (15 scores)	7	13
Sufficiency Economy Theory (10 scores)	5	8
<b>Scores</b>	<b>37</b>	<b>57</b>

n=50

จากการวัดผลการเรียนรู้ก่อนและหลังร่วมโครงการใน Table 1 กลุ่มเป้าหมายมีความรู้เพื่อพัฒนาสู่การเป็นผู้ประกอบการมากขึ้น มีการประเมินปัญหาอุปสรรคในการเรียนรู้ของผู้เรียนเพื่อรับแก้ไขปัญหในการถ่ายทอดความรู้ได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้พบว่ากลุ่มเป้าหมายมีความรู้เพิ่มมากขึ้นจากเดิมร้อยละ 100

โดยมีค่าคะแนนการทดสอบก่อนเรียนเฉลี่ย 37 คะแนนเพิ่มเป็น 57 คะแนน หลังเข้าร่วมโครงการ (คะแนนเต็ม 65 คะแนน) เมื่อคำนวณร้อยละของคะแนนเฉลี่ยที่เพิ่มพบว่ากลุ่มเป้าหมายมีค่าคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 57 เป็นร้อยละ 88

**Table 2** The correlation coefficient of the variables

	Participation	Understanding level				Knowledge
		Training	Demonstration	Study visit	Documents	
Participation	1.000	0.290*	0.158	0.329*	0.145	0.602**
Knowledge	0.290*	1.000	0.563**	0.449**	0.322*	0.068
Training	0.158	0.563**	1.000	0.618**	0.538**	0.157
Demonstration	0.329*	0.449**	0.618**	1.000	0.477**	0.032
Study Visit	0.145	0.322*	0.538**	0.477**	1.000	0.310*
Documents	0.602**	0.068	0.157	0.032	0.310*	1.000

\*\*Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). \*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

2. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเรียนรู้ของผู้ประกอบการ จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลใน Table 2 พบว่ากลุ่มเป้าหมายที่มีส่วนร่วมกิจกรรมของโครงการอย่างสม่ำเสมอ ( $P$ -value = 0.00) มีการใช้เอกสารคู่มือ ( $P$ -value = 0.02) การศึกษาดูงาน ( $P$ -value = 0.03) มีความสัมพันธ์กับความรู้ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และพบว่าการเข้าร่วมกิจกรรมมีความสัมพันธ์กับความรู้ความเข้าใจจากกระบวนการฝึกอบรม ( $P$ -value = 0.04) และการสาธิต ( $P$ -value = 0.02) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กลุ่มเป้าหมายที่มีส่วนร่วมกิจกรรมของโครงการอย่างสม่ำเสมอ (ทั้งกระบวนการฝึกอบรม การสาธิต การศึกษาดูงาน และการใช้เอกสารคู่มือ) มีความสัมพันธ์กับความรู้ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Table 2 เมื่อกลุ่มเป้าหมายได้รับการถ่ายทอดความรู้ผ่านกระบวนการฝึกอบรม ทำให้เกษตรกรมีความต้องการเรียนรู้จากการสาธิตสู่ภาคปฏิบัติ และต้องการศึกษาดูงานในสถานที่ที่ประสบความสำเร็จ เพื่อให้มั่นใจว่าสิ่งที่ตนสนใจสามารถทำได้และเห็นผลจริง และกลุ่มเป้าหมายใช้เอกสารคู่มือการเรียนรู้เป็นเครื่องมือในการนำไปทบทวนความรู้เพื่อฝึกปฏิบัติ จึงทำให้มีความสัมพันธ์กับความรู้ที่เพิ่มขึ้น

### การเรียนรู้เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์

1. พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากข้าวเหนียว ได้แก่ เหนียวมัด (ข้าวต้มมัดญวน) พองกรุบ (ซีเรียลบาร์ธัญพืช) และมินิโป่ง (ข้าวโป่งธัญพืช) กลุ่มเป้าหมายได้ร่วมกำหนดแผนการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าการเปิดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ สินค้าเป็นที่รู้จักมากขึ้นภายใต้ “ข้าวเหนียวเดอกริล” และมีหน่วยงานเข้ามาเยี่ยมชมศึกษาดูงาน มีร้านฝากจำหน่าย ทั้งในและนอกพื้นที่ที่สกลนครมากขึ้น นอกจากนี้กลุ่มเป้าหมายมีร้านค้าออนไลน์ที่เป็นส่วนกลางในแพลตฟอร์ม Facebook ชื่อ “ข้าวเหนียวเดอกริล” ร้านค้า E-marketplace ใน Lazada และร้านค้าที่เป็นออฟไลน์เป็นร้านขายของฝากในพื้นที่ กลุ่มเป้าหมายสามารถผลิตและจำหน่ายได้ด้วยตนเองโดยไม่ต้องผ่านร้านค้าส่วนกลางของกลุ่ม และได้ร่วมกันกำหนดตารางการผลิตในแต่ละรอบเพื่อสลับการผลิตตามยอดการสั่งซื้อ โดยทำการผลิต 2 ครั้ง/สัปดาห์ กลุ่มเป้าหมายสามารถบริหารรับคำสั่งซื้อสินค้า ผลิตและจัดส่งถึงมือลูกค้าได้ตามเวลา รวมถึงการติดตามความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์ จากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวทำให้กลุ่มเป้าหมายมีรายได้เฉลี่ยเพิ่มขึ้น จากเดิมมีรายได้เฉลี่ย 2,368 บาท/คน/เดือน และ

มีรายได้เพิ่มขึ้นเป็น 2,818 บาท/คน/เดือน เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 450 บาท/คน/เดือน คิดเป็นรายได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 19 อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีข้อจำกัดเกี่ยวกับอายุ การเก็บรักษา จึงได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เก็บได้นานขึ้น และยื่นขอใบรับรองมาตรฐานการผลิตอาหารได้สำเร็จ ในปี พ.ศ. 2564 เพื่อให้สามารถขยายช่องทางการตลาด ได้มากขึ้น ทำให้เกิดความเข้มแข็งของผู้ประกอบการชุมชน

2. ต่อยอดพัฒนาผลิตภัณฑ์เดิม กลุ่มเป้าหมายสามารถนำความรู้จากหลักสูตรเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้ ทำให้ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค เช่น เหนียวมัดไส้กล้วย เหนียวมัดไส้มันม่วง ข้าวโป่งดอกอัญชัน เป็นต้น พร้อมทั้งสามารถทำตลาดออนไลน์ได้ด้วยตนเอง นอกจากนี้ยังได้พัฒนาผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่แล้วให้จูงใจลูกค้าและจำหน่ายได้ในตลาดออนไลน์และออฟไลน์ เช่น ข้าวหอมมะลิ “ภูหอม” ข้าวฮางในชื่อ “ภูฮาง” เป็นต้น

3. สร้างอาชีพภายในชุมชนตามความถนัดของกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ กลุ่มเป้าหมายจำนวน 15 ราย สามารถเป็นผู้ประกอบการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าวเหนียวผ่านตลาดออนไลน์ กลุ่มเป้าหมายจำนวน 15 ราย มีความสามารถในการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ผ่านตลาดชุมชนและตลาดออฟไลน์ รวมถึงส่งให้ร้านค้าส่วนกลางของกลุ่ม กลุ่มเป้าหมายจำนวน 10 ราย เป็นกลุ่มที่ต่อยอดพัฒนาผลิตภัณฑ์เดิมของชุมชนตนเองสามารถจำหน่ายในตลาดออนไลน์ได้มากขึ้น กลุ่มเป้าหมายจำนวน 10 ราย เป็นกลุ่มที่ผลิตวัตถุดิบและเป็นแรงงานผลิตของกลุ่ม

### วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษางานวิจัยการพัฒนาผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ในยุคดิจิทัล กรณีศึกษาชุมชนดาวล้อมเดือน จังหวัดสกลนคร ภายใต้ผลิตภัณฑ์ “ข้าวเหนียวเดอกริล” จากการศึกษาสรุปและอภิปรายผลได้ดังนี้ กระบวนการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม ทั้งการฝึกอบรม

การสาธิตสู่การฝึกปฏิบัติ การศึกษาดูงาน และการศึกษาเอกสารคู่มือ ด้วยการเรียนรู้ใน 4 หลักสูตร ได้แก่ หลักสูตรการผลิตข้าวอินทรีย์ต้นทุนต่ำ หลักสูตรการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าว หลักสูตรการตลาดดิจิทัล และหลักสูตรการค้าเงินชีวิตตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง ทำให้กลุ่มเป้าหมายมีความรู้เพิ่มขึ้น และสร้างรายได้เพิ่มหลังฤดูกาลทำนา และพบว่าความรู้ของผู้ประกอบการมีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมในกิจกรรม และการถ่ายทอดความรู้ผ่านกระบวนการอบรม การสาธิต การศึกษาดูงาน และเอกสารคู่มือ สอดคล้องกับการศึกษาของ Sawangjit (2021) ที่ระบุว่าในการพัฒนาเกษตรกรรุ่นใหม่ควรพัฒนาทั้งความรู้พื้นฐานการเกษตร การจัดการการผลิตตลอดห่วงโซ่ การดำรงชีวิตร่วมกับชุมชน และการบริหารจัดการด้านการตลาดและเครือข่าย จากกระบวนการทำงานแบบมีส่วนร่วมตั้งแต่การวางแผนการทำงาน การผลิต และการจัดจำหน่ายผ่านตลาดออนไลน์และออฟไลน์ ทำให้กลุ่มเป้าหมายเกิดการเรียนรู้เป็นอันดับแรก ต่อมาทำให้เห็นศักยภาพของกลุ่มเป้าหมายในการเข้ามาเป็นผู้นำในการบริหารจัดการกลุ่ม โดยสมาชิกเป้าหมายที่สามารถเป็นผู้จำหน่ายจะเป็นผู้จัดการจัดการทั้งกระบวนการผลิตจนถึงจำหน่าย และช่วยตรวจสอบและติดตามการผลิตสินค้าให้ได้คุณภาพ ทำให้กลุ่มสามารถบริหารจัดการได้ด้วยตนเอง นอกจากนั้นยังสอดคล้องกับ Pratumswan and Phansiri (2021) ที่ระบุว่าการยกระดับขีดความสามารถของวิสาหกิจชุมชนเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คือ การพัฒนาระบบคิดและทักษะการเป็นผู้ประกอบการ โดยนักวิจัยได้สนับสนุนองค์ความรู้ ผ่านการฝึกอบรม การให้คำปรึกษา และร่วมกันพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าวเหนียวเพื่อสร้างรายได้เสริม ทั้งผลิตภัณฑ์ใหม่และต่อยอดผลิตภัณฑ์เดิม ซึ่งการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างจากเดิมสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน เป็นปัจจัยสำคัญของการเป็นผู้ประกอบการ และเป็นปัจจัยสำคัญเพื่อสร้างความแตกต่างที่ส่งผลต่อการดำเนินงานที่ดีขึ้นได้ (Nakruang and Donkwa, 2018) จากการดำเนินงานเกิดผลกระทบ

ขยายสู่บุตรหลานของกลุ่มเป้าหมายในการได้รับความรู้จากการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยการเข้าร่วมกิจกรรมกับผู้ปกครองหรือญาติ รวมถึงการเข้ามาช่วยในการผลิตสินค้าทำให้เกิดความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างครอบครัว และเกิดการเรียนรู้สู่การขยายผลการดำเนินงานสู่ระดับครัวเรือน เช่น มีบุตรของกลุ่มเป้าหมายที่เข้ามาเรียนรู้การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าว และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากโครงการในส่วนที่บุตรหลานเป็นผู้ผลิตถูกนำไปจำหน่ายต่อให้เพื่อนที่โรงเรียน พร้อมรับคำสั่งซื้อมาให้ผู้ปกครองผลิตเพื่อนำไปจำหน่าย เป็นต้น และที่สำคัญข้าวเหนียวเดอกริลได้เป็นแหล่งเรียนรู้การผลิตข้าวอินทรีย์ครบวงจร ตั้งแต่การผลิตเมล็ดพันธุ์ การจำหน่าย และการแปรรูป โดยมีหน่วยงานในพื้นที่ จังหวัดสกลนครและพื้นที่ต่างจังหวัดเข้ามาร่วมเรียนรู้การทำงาน รวมถึงเป็นแหล่งถ่ายทอดเทคโนโลยีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าว โดยวิสาหกิจชุมชนเป็นผู้บริหารจัดการด้วยตนเอง ตั้งแต่การเป็นวิทยากรบรรยายถ่ายทอดความรู้ การสาธิต แก่ผู้สนใจอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับ Kongtanajaruanun and Cheamuangphan (2021) ที่ระบุว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ประกอบด้วย การมีส่วนร่วม และการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชน

### สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ในยุคดิจิทัลโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม ทำให้กลุ่มเป้าหมายสามารถพัฒนาตนเองจากผู้ผลิตข้าวเพื่อการบริโภคในครัวเรือน และสามารถยกระดับสู่การเป็นผู้ประกอบการในชุมชนได้ ผ่านการสร้างกระบวนการเรียนรู้ของชุมชนทั้งการฝึกอบรม การสาธิต การฝึกปฏิบัติ การศึกษาดูงาน และการศึกษาเอกสารคู่มือเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเรียนรู้ของผู้ประกอบการที่เพิ่มขึ้น จากการออกแบบ 4 หลักสูตรการเรียนรู้ที่เหมาะสมบนพื้นฐานความต้องการของชุมชน

ตั้งแต่การผลิตข้าวต้นทุน การแปรรูป การตลาดดิจิทัล และการดำเนินชีวิตตามแนวเศรษฐกิจพอเพียง นอกจากนี้ การเรียนรู้ด้านการตลาดเลือกใช้เทคโนโลยีดิจิทัลผ่านแพลตฟอร์ม Facebook ที่เหมาะสมทำให้ง่ายต่อการเรียนรู้ อีกทั้งการพัฒนาแปรรูปผลิตภัณฑ์ใหม่และต่อยอดพัฒนาผลิตภัณฑ์เดิมให้หลากหลายตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ส่งผลให้มีรายได้เพิ่มมากขึ้น สิ่งสำคัญของการดำเนินงานการพัฒนาผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ คือ การมีระบบติดตามและประเมินผลการทำงานอย่างใกล้ชิดจากพี่เลี้ยงที่ปรึกษา เพื่อจะได้ผลิตสินค้าและบริการให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ รวมถึงการสร้างเครือข่ายในการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนให้เข้มแข็งทั้งจากภาครัฐและเอกชน

### ข้อเสนอแนะ

จากข้อค้นพบกระบวนการเรียนรู้การฝึกอบรม การสาธิต การศึกษาดูงาน และการใช้เอกสารคู่มือ นำไปสู่การพัฒนาผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนข้าวเหนียวอินทรีย์ ผ่านการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม ตั้งแต่การเรียนรู้หลักสูตรการผลิตข้าวเหนียวต้นทุนต่ำ การแปรรูปข้าวเหนียว การตลาดดิจิทัล และการดำเนินชีวิตตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง ทั้ง 4 หลักสูตร เพื่อสร้างกระบวนการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วมได้อย่างเข้มแข็งและยั่งยืน จากผลการวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในครั้งต่อไปและข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ดังนี้

- 1) ในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการเรียนรู้ร่วมด้วย เช่น ปัจจัยด้านแรงจูงใจในการเรียนรู้ของผู้ประกอบการ วิธีการเรียนรู้ แหล่งการเรียนรู้และปัจจัยต่าง ๆ เป็นต้น รวมถึงอาจมีการแบ่งการศึกษากลุ่มการเรียนรู้ตามพันธุ์ข้าวเหนียวและแหล่งการผลิตข้าวเหนียว เพื่อให้เห็นภาพความสัมพันธ์ที่ชัดเจนยิ่งขึ้น
- 2) ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการจัดการพัฒนาวิสาหกิจชุมชนข้าวเหนียวอินทรีย์เพื่อให้เป็นแหล่งเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์ มีบริการให้คำแนะนำการผลิต การแปรรูป

การตลาดดิจิทัล ตามศักยภาพการเรียนรู้ของผู้ประกอบการวิสาหกิจ ส่งเสริมให้มีการคิดพัฒนาการแปรรูปข้าวเหนียวเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ที่ตรงความต้องการตลาด และให้มีการใช้ Social media เพื่อสื่อสารการตลาด เพื่อให้เกิดความยั่งยืนและเกิดกระบวนการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง ในการพัฒนาโครงสร้างระบบการบริหารจัดการงานให้เกิดอาชีพภายในชุมชนเพื่อการกระจายรายได้สู่สมาชิกอย่างทั่วถึง

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนพัฒนาอาชีพที่ใช้ชุมชนเป็นฐาน โดยกองทุนเพื่อความเสมอภาคทางการศึกษาที่ให้การสนับสนุนทุนในการดำเนินงานโครงการ และให้คำแนะนำจนสามารถทำงานให้บรรลุเป้าหมายได้ด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

Kongtanajaruanun, R. and A. Cheamuangphan. 2021. The strength of farmer groups participating in large agricultural land plots on rice farming in Chiang Rai province. **Journal of Agricultural Research and Extension** 38(3): 182-193. [in Thai]

Nakruang, D. and K. Donkwa. 2018. The causal factors influencing innovation performance of small and medium enterprises in Nakhon Ratchasima province. **University of the Thai Chamber of Commerce Journal** 38(2): 17-34. [in Thai]

National Organic Agriculture Development Board. 2017. **National Organic Agriculture Development Strategy (2014-2018)**. Bangkok: Office of The Permanent Secretary for Ministry of Agriculture and Cooperatives. 12 p. [in Thai]

Pratumsuwan, K. and P. Phansiri. 2021. Social enterprise based on cultural capital for sustainable development. **University of the Thai Chamber of Commerce Journal** 41(3): 88-101. [in Thai]

Sakon Nakhon Provincial Agriculture Office. 2019. **Sakon Nakhon province agricultural development plan 2020-2021**. [Online]. Available <http://www.sakonnakhon.doae.go.th/> (October 25, 2023). [in Thai]

Sawangjit, W. 2021. The farmer competency development towards new generation of farmers. **Journal of Agricultural Research and Extension** 38(1): 126-134. [in Thai]

การออกแบบตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชีวก้าวอบแห้งสำหรับวิสาหกิจชุมชน  
กลุ่มผู้ผลิตปลาชีวก้าวเพื่อจำหน่าย จังหวัดอุบลราชธานี  
Brand Design and Product Packaging of Dried Fish (*C. aesarneis*) Product  
for Community Enterprises, Thai River Sprat Fish Producers for Sale  
in Ubon Ratchathani Province

รัชดา อู๋ยีนยงค์ และกิตติวัช บุญทวี\*

Ratchada Auyyuenyong and Kittawat Boonthawee\*

สาขาวิชาธุรกิจอาหารและโภชนาการ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34000

Department of Food Business and Nutrition, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani Rajabhat University

Ubon Ratchathani, Thailand 34000

\*Corresponding author: kittawat.b@ubru.ac.th

Received: April 26, 2023

Revised: January 05, 2024

Accepted: January 17, 2024

### Abstract

The objective of this investigation was to develop brand design and packaging for dried fish products, which were produced by a community enterprise group of Thai River Sprat fish producers for sale situated in Ubon Ratchathani province. The study also sought to investigate the nutritional composition of these dried fish products and closely examine the linked production costs. Brand designs were developed in three distinct formats, and packaging designs were crafted, considering factors such as color schemes, graphical elements, and nutritional information. Nutritional labels, in both comprehensive and Guideline Daily Amounts (GDAs) formats, were devised for three different packaging options. Consumer satisfaction was evaluated through a randomly selected group of 100 participants. The outcomes of this research reveal that the second brand design format, which represents the community enterprise group of Thai Sprat Fish producers for sale, adeptly conveys the narrative and identity of the group. Regarding packaging format, the first alternative garnered the highest satisfaction rating, scoring  $4.26 \pm 0.77$ . This particular packaging design featured an aluminum foil bag measuring 16x24 cm, encompassing 150 grams of dried fish. In terms of nutritional analysis for labeling purposes, the study identified that per 100 grams of the product, there was 1,941.170 milligrams of calcium, constituting 60% of the Thai Recommended Daily Intake (RDI). In addition, the examination of contaminants demonstrated the absence of cadmium, lead, or arsenic. Mercury was detected in a minute amount of 0.072 milligrams per kilogram, which adhered to the criteria stipulated by the Thai Industrial Standards Institute regulations (TISI 6/2006). The estimated

production cost for the dried fish product approximated at 31 Baht per bag. The inclusion of a transparent window on the packaging significantly heightened consumer satisfaction, resulting in a score of  $4.80 \pm 0.31$ .

**Keywords:** brand design, packaging, dried fish

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบตราสินค้า และออกแบบบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง ที่ผลิตโดยวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชิวแก้วเพื่อจำหน่าย จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง และต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง โดยทำการออกแบบตราสินค้า จำนวน 3 รูปแบบ และออกแบบบรรจุภัณฑ์ โดยสี กราฟิก และข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ที่วิเคราะห์ได้ จัดทำรูปแบบฉลากโภชนาการแบบเต็ม และฉลากโภชนาการแบบจีดีเอลงบนบรรจุภัณฑ์ จำนวน 3 รูปแบบ โดยการสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 100 คน จากการสุ่มโดยบังเอิญ ผลการวิจัยพบว่าตราสินค้านี้รูปแบบที่ 2 สมาชิกวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชิวแก้วเพื่อจำหน่าย เห็นว่าสามารถสื่อถึงเรื่องราวและอัตลักษณ์ของกลุ่มได้ดีที่สุด สำหรับรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ พบว่ารูปแบบที่ 1 ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด  $4.26 \pm 0.77$  โดยเป็นถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด  $16 \times 24$  ซม. ปริมาณบรรจุปลาชิวแก้วอบแห้งสุทธิ 150 กรัม/ถุง ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ เพื่อกำหนดในฉลากโภชนาการ พบว่าผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้งในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม มีปริมาณแคลเซียม 1,941.170 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 60 ของ Thai RDI การวิเคราะห์สารปนเปื้อนพบว่า ตรวจไม่พบแคดเมียมปรอท และสารหนู และพบตะกั่วมีปริมาณ 0.072 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยมีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (TISI 6/2006) ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้งอยู่ที่ 31 บาทต่อถุง และ

เมื่อทำการเจาะช่องใสบนถุงทำให้มองเห็นสินค้าภายในของบรรจุภัณฑ์ ทำให้ได้รับคะแนนความพึงพอใจเพิ่มขึ้นเป็น  $4.80 \pm 0.31$

**คำสำคัญ:** การออกแบบตราสินค้า บรรจุภัณฑ์ ปลาอบแห้ง

### คำนำ

ปลาชิวแก้ว (Thai River Sprat) มีชื่อเรียกอื่น ๆ เช่น ปลาแก้ว ปลาแดบแก้ว หรือปลาแปบควาย เป็นต้น มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Clupeichthys aesarnensis* อยู่ในอันดับ Clupeiformes เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งอยู่ในวงศ์ Engraulidae เป็นปลาขนาดเล็ก รูปร่างเพรียวยาว ตัวใสที่ริมฝีปากมีขากรรไกร เป็นแผ่นแบน และมีเขี้ยวแหลมโค้งขนาดเล็กมาก เกล็ดบางมากและหลุดร่วงได้ง่าย ครีบกันมี 2 ตอน ตอนท้ายเห็นเป็นติ่งเล็ก ๆ แยกออกมา ลำตัวใสสีอมเหลืองอ่อน มีแถบสีเงินคาดกลางลำตัว หัวมีสีคล้ำเล็กน้อยออกสีเขียวอ่อน มีขนาดลำตัวประมาณ 4-6 ซม. (Kerdsraeng, 2008) พบเฉพาะในแม่น้ำโขง ลำน้ำสาขาเท่านั้น และอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ได้แก่ เขื่อนสิรินธร เขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนลำปาว และเขื่อนสิริกิติ์ (Auyyuenyong *et al.* 2023)

โดยเขื่อนสิรินธรเป็นเขื่อนดินเอนกประสงค์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ตั้งอยู่ในตำบลนิคมสร้างตนเองลำโดมน้อย อำเภอสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี อยู่ในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) นอกจากประโยชน์ในการผลิตกำลังไฟฟ้าแล้วยังให้ประโยชน์ทางด้านการชลประทาน การเกษตร และแหล่งประมงที่สำคัญของจังหวัดอุบลราชธานี (Electricity

Generating Authority of Thailand, 2021) โดยมีชาวประมงที่ใช้ประโยชน์จากอ่าวบริเวณรอบเขื่อนการจับปลาชีวแก้วมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้ไฟล่อปลาในคืนเดือนมืด การทอดแห และการยกยอ ซึ่งสามารถทำประมงปลาชีวแก้วได้เพียง 6 เดือนเท่านั้น คือ ช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนเมษายน นิยมทำการแปรรูปปลาชีวแก้วโดยวิธีการตากแห้งโดยใช้แสงแดด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สำหรับขายส่งพ่อค้าคนกลาง และจากการลงพื้นที่พบว่าปัญหาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชีวแก้วเพื่อจำหน่าย คือ บรรจุกฎหมายที่ไม่ได้มาตรฐานส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาสั้นและไม่มีเอกลักษณ์ส่งผลต่อการจัดจำหน่ายและสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับผลิตภัณฑ์สู่ผู้บริโภค การสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้กับลูกค้าด้วยการตระหนักถึงการให้ความสำคัญกับคุณค่าของลูกค้า เนื่องจากในปัจจุบันลูกค้าไม่ได้ซื้อสินค้าหรือบริการเพียงต้องการอรรถประโยชน์หลักของสินค้าหรือบริการเท่านั้น แต่ลูกค้าต้องการคุณค่าเชิงสัญลักษณ์ในด้านอื่น ๆ เช่น บรรจุกฎหมาย การสร้างอัตลักษณ์ของตนเอง การแสดงถึงวัฒนธรรมการบริโภค การแสดงออกถึงความเป็นตัวตน ดังนั้น ตราสินค้าและบรรจุกฎหมายที่มีอัตลักษณ์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการจัดจำหน่ายสินค้าและบริการ การพัฒนาบรรจุกฎหมายจะทำให้องค์กรธุรกิจสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มและความแข็งแกร่งของตราสินค้าสามารถแข่งขันได้ในทุกสถานการณ์

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Buatongrueng and Boonkuer (2018) พบว่าการพัฒนาสินค้าและบริการอาหารทะเลแปรรูปให้เป็นเอกลักษณ์โดยใช้ทรัพยากรในชุมชน ซึ่งลักษณะของอาหารทะเลแปรรูปที่ลูกค้าเลือกซื้อจะพิจารณาจากความสวยงามของบรรจุกฎหมาย เมื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของตลาดส่งผลให้ต้นทุนสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันสามารถขายสินค้าได้ในราคาที่สูงขึ้น และ Chousukum and Sujkird (2021) พบว่าการออกแบบตราสินค้าและบรรจุกฎหมายน้ำพริกแกงเผ็ดเพื่อส่งเสริมสินค้าของวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดปทุมธานี

ทำให้ผู้บริโภคสนใจซื้อเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อยอดขายน้ำพริกแกงเผ็ด มีปริมาณมากกว่าเดือนที่ผ่านมา ทำให้มีรายได้เพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเครื่องมือที่สำคัญในการสร้างอัตลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ คือ การออกแบบกราฟิกที่เป็นตัวอักษรและสัญลักษณ์ (Phunpaisan and Chomkitichai, 2021) โดยตรา หมายถึง ชื่อ คำสัญลักษณ์การออกแบบหรือส่วนผสมของสิ่งดังกล่าวเพื่อระบุถึงสินค้าและบริการของผู้ขายรายใดรายหนึ่งหรือกลุ่มของผู้ขาย เพื่อแสดงถึงลักษณะที่แตกต่างจากคู่แข่ง (Kotler and Armstrong, 2014) และบรรจุกฎหมายไม่ได้มีหน้าที่เพียงแค่สิ่งปกป้องสินค้า เพียงอย่างเดียว แต่จะมีหน้าที่สื่อสารเนื้อหาที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ช่วยให้เกิดความสะดวกต่อการใช้ผลิตภัณฑ์ ช่วยในด้านกระบวนการจัดจำหน่าย และป้องกันไม่ให้ ผิดประเภทหรือวัตถุประสงค์ (Kunthonbut, 2015) ดังนั้น ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบตราสินค้าผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง 2) เพื่อออกแบบบรรจุกฎหมายผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจต่อบรรจุกฎหมายผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง 4) เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง และ 5) เพื่อศึกษาต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง

นอกจากนี้ โครงการวิจัยยังได้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชนบริเวณรอบเขื่อนสิรินธร เพื่อให้เกิดความร่วมมือกันในการบวนการผลิตและการแปรรูป ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการยกระดับมาตรฐานคุณภาพและความปลอดภัยของสินค้าได้ ทำให้ผู้บริโภคมีความเชื่อมั่นในคุณภาพสินค้าชุมชน อีกทั้งเป็นการช่วยพัฒนาอาชีพให้ชุมชนมีความเข้มแข็งและสร้างรายได้ที่มั่นคงในอนาคต ซึ่งนับเป็นการพัฒนาเศรษฐกิจระดับชุมชนเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับสินค้าส่งผลให้ชุมชนตระหนักถึงการอนุรักษ์ทรัพยากรสัตว์น้ำบริเวณรอบเขื่อน ที่มีความสำคัญต่อรายได้และการยังชีพของเกษตรกรผู้หาปลาบริเวณรอบเขื่อนอีกประการหนึ่ง

## วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ปลาชีวแก้ว  
อบแห้ง กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชีวแก้วเพื่อ  
จำหน่าย จังหวัดอุบลราชธานี เป็นการศึกษาวิจัยเชิง  
ปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมของชุมชน (Participatory  
Action Research: PAR) (Creswell and Clark, 2007)  
เพื่อออกแบบตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ให้มีเอกลักษณ์  
และอัตลักษณ์เป็นของตนเอง สำหรับเป็นสินค้าเพื่อ  
จำหน่ายและของที่ระลึกจากจังหวัดอุบลราชธานี  
ทำการศึกษาทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ซึ่งดำเนินการ  
เก็บข้อมูลโดยวิธีด้านคุณภาพ ด้วยการสัมภาษณ์  
ตลอดจนการสนทนากลุ่มกับผู้ให้ข้อมูลหลัก ซึ่ง  
ประกอบด้วยสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลา  
ชีวแก้วเพื่อจำหน่าย และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย  
(กฟผ.) เก็บข้อมูลเชิงปริมาณด้วยแบบสอบถามความ  
พึงพอใจในตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ วิเคราะห์ข้อมูล  
เชิงคุณภาพโดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา ข้อมูลเชิงปริมาณ  
โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา โดยมีระเบียบวิธีวิจัย ดังต่อไปนี้

### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ผู้ให้ข้อมูลหลัก ได้แก่ สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจ  
ชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชีวแก้วเพื่อจำหน่าย พนักงานการ  
ไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) และผู้บริโภคร  
ทั่วไป โดยพื้นที่เป้าหมาย คือ อำเภอสิรินธร จังหวัด  
อุบลราชธานี

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถาม/การสนทนากลุ่ม (Focus  
group)/แนวคำถามในการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth  
interview guideline)/สมุดบันทึกภาคสนาม (Field  
note)/อุปกรณ์เสริมช่วยในการเก็บข้อมูล เช่น กล้อง  
ถ่ายรูป โทรศัพท์

### ตัวอย่างที่ใช้

ปลาชีวแก้วเป็นปลาที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ ใน  
เขตรอบเขื่อนสิรินธร ทำการจับโดยวิธีการใช้ไฟล่อปลา  
นำมาล้างและอบแห้งปลาชีวแก้วด้วยโดมอบแห้งพลังงาน  
แสงอาทิตย์ (Parabola dryer)

### ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

#### ชี้แจงทำความเข้าใจกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิต ปลาชีวแก้วเพื่อจำหน่าย จังหวัดอุบลราชธานี

1) จัดเวทีชี้แจงโครงการ เชิญกลุ่มเป้าหมาย  
ประกอบด้วย กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชีวแก้ว  
เพื่อจำหน่าย จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 30 คน และ  
ตัวแทนจาก กฟผ. เพื่อแนะนำตัวและชี้แจงวัตถุประสงค์  
ของโครงการ เป้าหมายของโครงการ และกระบวนการ  
ดำเนินงาน รวมทั้งกระตุ้นให้ทุกคนเข้ามามีส่วนร่วม  
ในการศึกษาวิจัย

2) ให้ชุมชนและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกคนเล่าถึง  
ความเป็นมาของการจัดตั้งกลุ่ม และบริบททั่วไปของพื้นที่  
เท่าที่ทราบพอสังเขป (ในขั้นตอนนี้จะใช้วิธีการจดบันทึก  
และเก็บประเด็นในการพูดคุยของผู้เข้าร่วมเวที) หลังจากนั้น  
ก็จะนำข้อมูลที่ได้ มาใช้สำหรับสัมภาษณ์เก็บข้อมูล  
เชิงลึกจากสมาชิกในกลุ่มแต่ละคนอีกครั้ง

#### สร้างและพัฒนาเครื่องมือในการเก็บข้อมูล

1) นักวิจัยออกแบบและสร้างเครื่องมือในการ  
เก็บข้อมูลภาคสนาม

2) การหาคุณภาพของเครื่องมือ

(1) การหาค่าความเที่ยงตรงตามเนื้อหา  
(Content validity) โดยนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3  
ท่าน พิจารณาและตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา  
โดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective  
Congruence: IOC) ใช้เกณฑ์ที่มีค่ามากกว่า 0.5 ทั้งนี้  
ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ได้เท่ากับ  
0.97 ซึ่งถือได้ว่าข้อคำถามมีความเที่ยงตรงของเนื้อหา  
ตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้และสามารถนำไปใช้ได้

(2) การหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบสอบถาม โดยการนำแบบสอบถามที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดสอบ (Try out) กับผู้บริโภครวม 30 คน จากนั้นจึงนำมาทดสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของ ครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient;  $\alpha$ ) ได้ค่าระดับความเชื่อมั่นของแบบสอบถามเท่ากับ 0.94 ซึ่งถือได้ว่าอยู่ในระดับดีมาก หมายถึง แบบสอบถามมีความน่าเชื่อถือ (Kamket, 2012)

### การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง

การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง นำผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้งวิเคราะห์องค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้งในปริมาณที่กินได้ 100 กรัม คำนวณหาปริมาณพลังงานทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ (AOAC, 1993) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 1993) โปรตีน (AOAC 981.10, 2019) กรดไขมัน (AOAC 948.15, 2019) คลอเรสเตอรอล (AOAC 976.26, 2019) โยอาหาร (AOAC 985.29, 2019) เกล็ด (AOAC 920.153, 2019) เหล็ก โซเดียม และแคลเซียม (AOAC 984.27, 2019) และสารปนเปื้อน (ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม โดยวิธี Analyst, August 1994, Vol.119 1683–1686 และสารหนู โดยวิธี AOAC Ch.9, 959.53 และ 999.10, 2000) เพื่อใช้ในการจัดทำฉลากโภชนาการ

### การศึกษาต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้งจะคิดต้นทุนที่เกิดจากผลิต รูปแบบ และชนิดของบรรจุภัณฑ์ หมายถึง ต้นทุนการผลิตปลาชิวแก้วอบแห้ง และบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ผ่านการออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์แล้ว

### วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1) ลงพื้นที่เพื่อศึกษาบริบททั่วไป ณ ตำบลคันไร่ อำเภอสิรินคร จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องราวของปลาชิวแก้ว โดยการสัมภาษณ์ปลายเปิดแบบมีโครงสร้างเป็นรายบุคคล ผู้ให้ข้อมูลประกอบด้วย ประธานกลุ่ม กรรมการ และสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชิวแก้วเพื่อจำหน่าย โดยมีประเด็นการสัมภาษณ์เกี่ยวกับเรื่องราวของปลาชิวแก้ว ความต้องการด้านการออกแบบตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ที่สามารถยกระดับของผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง ร่วมกับการใช้แบบสอบถาม ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป จำนวน 7 ข้อ

ส่วนที่ 2 ความคิดเห็นและความพึงพอใจด้านกราฟิกของบรรจุภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง จำนวน 6 ข้อ

ส่วนที่ 3 ความต้องการการพัฒนาตราสินค้าและรูปลักษณ์บรรจุภัณฑ์ใหม่ของผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง จำนวน 7 ข้อ

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์ และสังเคราะห์สรุปผลการศึกษาเพื่อนำไปใช้เป็นแนวคิดประกอบการออกแบบตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์เพื่อการยกระดับผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง

2) การออกแบบและพัฒนาตราสินค้าผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง จากข้อมูลการลงพื้นที่โดยการสนทนากลุ่ม สัมภาษณ์เชิงลึก และเก็บรวบรวมแบบสอบถาม ทำให้สามารถออกแบบตราสินค้าได้จำนวน 3 แบบ จากนั้นนำไปสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ จำนวน 30 คน ด้วยแบบสอบถามการประเมินความพึงพอใจต่อตราสินค้าผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง จำนวน 5 ข้อ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ตราสินค้าที่มีความเป็นเอกลักษณ์สามารถสื่อสารถึงเรื่องราวของผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้งได้มากที่สุด จากนั้นนำตราสินค้าที่ได้รับการคัดเลือกมาทำการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันอีกครั้งผ่านการจัดเวที เพื่อการ

ออกแบบและพัฒนาตราสินค้าตามข้อเสนอแนะให้เกิดความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

3) การออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง จากข้อมูลการลงพื้นที่โดยการสนทนากลุ่ม สัมภาษณ์เชิงลึก และเก็บรวบรวมแบบสอบถาม รวมถึงรูปแบบของตราสินค้าที่ได้รับการพัฒนาแล้วและข้อมูลโฆษณาการ ทำให้สามารถออกแบบบรรจุภัณฑ์ได้จำนวน 3 แบบ โดยมีเป้าหมายคือ ต้องเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถสื่อสารถึงเรื่องราวของปลาชีวแก้วจากเขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี รวมถึงรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ สี วัสดุที่ใช้ และความปลอดภัยของอาหาร เป็นต้น จากนั้นนำไปสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ จำนวน 30 คน และพนักงาน กฟผ. จำนวน 5 คน ด้วยแบบสอบถามการประเมินความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง จำนวน 10 ข้อ รูปแบบของบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับการคัดเลือกมาทำการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันอีกครั้งผ่านการจัดเวที เพื่อการออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ตามข้อเสนอแนะให้เกิดความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

4) การประเมินความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง นำรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับการคัดเลือกและปรับปรุงแก้ไขแล้ว โดยผ่านการจัดเวที ไปสอบถามความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้งในผู้บริโภคทั่วไป จำนวนครั้งละ 100 คน โดยการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental sampling) โดยมีขั้นตอน ดังนี้

ครั้งที่ 1 ประเมินความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง จำนวน 10 ข้อ วิเคราะห์ข้อมูลและปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะ ออกแบบบรรจุภัณฑ์และสอบถามความพึงพอใจอีกครั้ง

ครั้งที่ 2 ประเมินความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง จำนวน 10 ข้อ แบบประเมินความพึงพอใจ 5 ระดับ กำหนดให้ระดับคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด จนถึงระดับ 5 หมายถึง ชอบ

มากที่สุด และมีเกณฑ์การแปลความหมายตามแนวทางของ Best (1977) ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.51-5.00 มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.51-4.50 มีความพึงพอใจในระดับมาก

คะแนนเฉลี่ย 2.51-3.50 มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.51-2.50 มีความพึงพอใจในระดับน้อย

คะแนนเฉลี่ย 1.00-1.50 มีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

#### การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้ ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมได้จากแบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างนำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ซึ่งผลการศึกษาที่ได้อยู่บนพื้นฐานของข้อมูลตามแบบสอบถาม ร่วมกับการวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) เพื่อหาข้อสรุปการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลร่วมกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ แสดงผลด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

#### ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้แบ่งผลการศึกษออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

##### ส่วนที่ 1 ผลการศึกษาข้อมูลในพื้นที่

จากการลงพื้นที่ตำบลคันไร่ อำเภอสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับแนวคิดในการออกแบบตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง พบว่าวัตถุดิบที่นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง มากจากแหล่งน้ำธรรมชาติบริเวณรอบเขื่อนสิรินธร ชาวประมงจับปลาชีวแก้วเฉพาะในช่วง

เดือนกันยายนถึงพฤษภาคมในคืนข้างแรม (Waning) เท่านั้น การจัดทำหน่วยผลิตภัณฑ์มีการจัดตั้งกลุ่มวิสาหกิจชุมชนภายในพื้นที่หลายกลุ่ม โดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชีวแก้วเพื่อจำหน่าย มีขั้นตอนในการออกแบบปลาชีวแก้วโดยอบด้วยโดมพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ใส่วัสดุกันเสีย บรรจุสินค้าในถุงพลาสติกใส PE (Polypropylene) ข้อมูลเกี่ยวกับการยกระดับสินค้าผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้งนั้น มีแนวคิดในการสร้างตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง โดยได้ข้อสรุปเพื่อนำไปออกแบบ คือ ตราสินค้าต้องบ่งบอกความเป็นเอกลักษณ์ของกลุ่ม เข้าใจง่าย และสามารถรับประกันคุณภาพได้ว่าเป็นปลาชีวแก้วอบแห้งที่มีคุณภาพ บรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยล์เติมก๊าซไนโตรเจนเพื่อป้องกันความชื้นและอากาศได้ ขนาด 16X24 ซม. ปริมาณสุทธิ 150 กรัม/ถุง สามารถมองเห็นสินค้าภายในส่วนรายละเอียดของบรรจุภัณฑ์ต้องบอกเรื่องราวของผลิตภัณฑ์ (Product storytelling) ตราสินค้า ชื่อผลิตภัณฑ์ ฉลากโภชนาการแบบเต็ม ฉลากโภชนาการแบบจิติเอ สถานที่ผลิตและจัดจำหน่าย วิธีการเก็บรักษา สีของบรรจุภัณฑ์ต้องดูสบายตา จากข้อสรุปดังกล่าว นักวิจัยนำไปใช้เพื่อเป็นแนวคิดในการออกแบบตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้งต่อไป

## ส่วนที่ 2 ผลการออกแบบและพัฒนาตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง

### 1) การออกแบบและพัฒนาตราสินค้า

การออกแบบตราสินค้าผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้งตามข้อสรุปจากการลงพื้นที่ คือ ตราสินค้าต้องบ่งบอกความเป็นเอกลักษณ์ของกลุ่ม เข้าใจง่าย และ

สามารถรับประกันคุณภาพได้ว่าเป็นปลาชีวแก้วอบแห้งที่มีคุณภาพ โดยได้ออกแบบภายใต้แนวคิดการสร้างมาตรฐานตราสินค้าอาหาร และหลักการออกแบบตราสินค้าได้แบบร่างทั้งหมด จำนวน 3 แบบ ดัง Figure 1 และผลการประเมินความพึงพอใจของตราสินค้าผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง (Table 1) พบว่ารูปแบบที่ 2 มีคะแนนสูงสุด มีความพึงพอใจในระดับมาก มีค่าอยู่ที่  $\bar{X}=4.19$  โดยสามารถลำดับค่าคะแนนตามข้อคำถามได้ดังนี้ ลำดับที่ 1 การเลือกใช้ตัวอักษรประกอบตราสินค้ามีความเหมาะสม มีค่าอยู่ที่  $\bar{X}=4.27$  ลำดับที่ 2 ตราสินค้าสื่อความหมายและมีความสอดคล้องกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ มีค่าอยู่ที่  $\bar{X}=4.23$  ลำดับที่ 3 ตราสินค้ามีเอกลักษณ์เฉพาะตน มีค่าอยู่ที่  $\bar{X}=4.20$  ลำดับที่ 4 ตราสินค้าจดจำง่ายและดึงดูดใจผู้พบเห็น มีค่าอยู่ที่  $\bar{X}=4.17$  และลำดับที่ 5 การเลือกใช้สีมีความเหมาะสมอย่างสร้างสรรค์ มีค่าอยู่ที่  $\bar{X}=4.10$  ตามลำดับ

รูปแบบที่ 2 แสดงตราสินค้ามีลักษณะเป็นภาพปลาชีวแก้วแนวตั้ง บริเวณกลางลำตัวปลา มีคำว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชีวแก้วเพื่อจำหน่าย และรูปโดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยออกแบบให้ตัวปลาชีวแก้วเป็นสีน้ำเงินสื่อถึงความน่าเชื่อถือ ความจริงรักภักดี และมีความศรัทธาในคุณภาพสินค้าและบริการ ส่วนคำว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชีวแก้วเพื่อจำหน่ายใช้อักษรสีแดงสื่อถึงความรัก ความหลงใหล ความสนใจ และความเป็นผู้นำในธุรกิจแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วอบแห้ง และรูปโดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สื่อถึงการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตโดยใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณภาพ

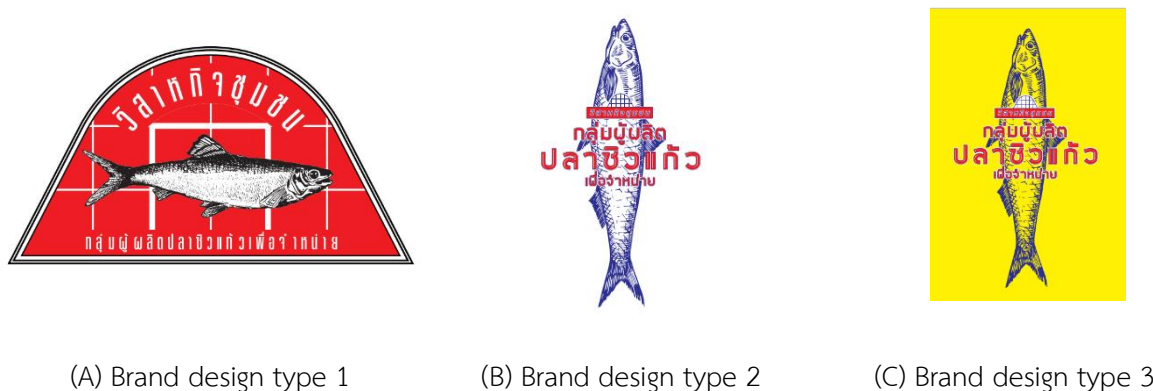


Figure 1 Brand design of the Thai River Sprat product from the community participation

Table 1 The results of the brand designs satisfaction survey of the Thai River Sprat product (N=30)

List	Satisfaction level		
	Type 1 ( $\bar{x} \pm S.D.$ )	Type 2 ( $\bar{x} \pm S.D.$ )	Type 3 ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
1. An easily recognizable and visually appealing brand design	3.30±0.57	4.17±0.87	3.23±0.94
2. The brand design possesses a unique identity.	3.43±0.73	4.20±0.85	3.47±0.86
3. The brand design conveys meaning and aligns with the community enterprise group.	3.37±0.61	4.23±0.82	3.27±0.87
4. Selecting colors creatively and thoughtfully	3.47±0.51	4.10±0.76	3.37±0.81
5. Choosing complementary typography for the brand design	3.40±0.62	4.27±0.58	3.33±1.03
<b>Total</b>	<b>3.43±0.61</b>	<b>4.19±0.78</b>	<b>3.33±0.90</b>

2) การออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์  
 การออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง ได้แนวคิดจากข้อสรุปในการลงพื้นที่คือ บรรจุภัณฑ์สามารถป้องกันความชื้นและอากาศได้ ขนาด 16X24 ซม. ปริมาณสุทธิ 150 กรัม/ถุง และมี

รายละเอียดบนบรรจุภัณฑ์ เช่น เรื่องราวของผลิตภัณฑ์ตราสินค้า ชื่อผลิตภัณฑ์ ฉลากโภชนาการแบบเต็ม ฉลากโภชนาการแบบจีดีเอ สถานที่ผลิตและจัดจำหน่าย วิธีการเก็บรักษา สีของบรรจุภัณฑ์ต้องดูสบายตา ได้แก่ สีขาว สีส้ม และสีเหลือง เป็นต้น (Figure 2)



(A) Packaging type 1

(B) Packaging type 2

(C) Packaging type 3

**Figure 2** The packaging design of the dried fish (*C. aesamensis*) product in 3 types; (A) packaging type 1, (B) packaging type 2 and (C) packaging type 3

3) ผลการประเมินความพึงพอใจของบรรจุกฎภัณฑ์  
ผลิตภัณฑ์ปลาชีวกัวอบแห้ง

ผลการประเมินความพึงพอใจต่อบรรจุกฎภัณฑ์  
ผลิตภัณฑ์ปลาชีวกัวอบแห้ง ครั้งที่ 1 ประเมินโดย  
ผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 100 คน (Table 2) พบว่า  
ผู้บริโภคมีคะแนนความพึงพอใจบรรจุกฎภัณฑ์แบบที่ 1  
มากที่สุด โดยมีระดับคะแนนความพึงพอใจระหว่าง 4.10 -  
4.47 คะแนน หากพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า เปิดบริโภค  
และเก็บสินค้าส่วนที่เหลือได้สะดวก มีคะแนนมากที่สุด  
4.47 รองลงมา ได้แก่ รูปทรงมีความเหมาะสมในการใช้  
งาน มีคะแนนมากที่สุด 4.42 คะแนน สื่อถึงเอกลักษณ์  
ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชีวกัวเพื่อ  
จำหน่ายเพื่อให้ผู้บริโภคจดจำได้ง่าย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

4.26 บรรจุกฎภัณฑ์มีความน่าสนใจ สะดุดตาและจดจำตรา  
สินค้าได้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.24 ใช้ภาพประกอบเพื่อสร้าง  
ความน่าพอใจให้กับสินค้า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.24 มีความ  
สวยงามของสี ลวดลายบรรจุกฎภัณฑ์ โดดเด่น น่าซื้อ  
มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.22 การตั้งราคาเหมาะสมกับลักษณะ  
สีและรูปแบบบรรจุกฎภัณฑ์ที่ใช้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.22  
รูปแบบและขนาดอักษรที่ใช้ในบรรจุกฎภัณฑ์ เพื่อให้สามารถ  
มองเห็นอย่างชัดเจน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.22 ความสัมพันธ์  
กันระหว่างผลิตภัณฑ์ ปลาแกวอบแห้งกับกราฟิก  
ที่ออกแบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.17 และออกแบบให้สามารถ  
มองเห็นผลิตภัณฑ์ภายในซองได้อย่างชัดเจน มีค่าเฉลี่ย  
เท่ากับ 4.10 ตามลำดับ

**Table 2** The first of graphic designs satisfaction survey in packaging of the Thai River Sprat product (N=100)

List	Graphic designs satisfaction ( $\bar{X} \pm S.D.$ )		
	Type 1	Type 2	Type 3
1. The packaging design are attractive, eye-catching and the brand styling create recognition.	4.24±0.72 <sup>a</sup>	3.90±0.99 <sup>b</sup>	3.74±0.95 <sup>b</sup>
2. Suitable shape for using	4.42±0.72 <sup>a</sup>	4.04±0.91 <sup>b</sup>	4.00±0.89 <sup>c</sup>
3. The correlation between graphic design and product	4.17±0.78 <sup>a</sup>	4.83±0.96 <sup>b</sup>	3.75±0.80 <sup>c</sup>
4. It conveys the identity of the community enterprise group for consumers to easily recognizable	4.26±0.72	3.79±0.90	3.75±0.86
5. Colors and graphic designs can convince customers to purchase a product.	4.22±0.73	3.84±0.95	3.71±0.90
6. Suitable price for the colors and characteristics of packaging	4.22±0.78	4.03±0.86	3.83±0.88
7. Format and font size on the packaging are clearly readability.	4.22±0.73	3.92±0.94	3.68±0.92
8. Packages offer consumer convenience, easy opening, and the ability to keep after opened.	4.47±0.75	4.06±0.91	3.99±0.95
9. Clear materials that customers can see the product inside.	4.10±1.03	3.90±1.00	3.62±0.99
10. Enhancing product satisfaction by using illustrations	4.24±0.78	3.93±1.00	3.72±0.88

Value are showed as mean±S.D.

ผลการประเมินความพึงพอใจของบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง ครั้งที่ 2 (Table 3) เป็นการนำบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1 จากข้อเสนอแนะ ได้แก่ เปิดบริโภคและเก็บสินค้าส่วนที่เหลือได้สะดวก รูปทรงมีความเหมาะสมในการใช้งาน สื่อถึงเอกลักษณ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชิวแก้วเพื่อจำหน่ายให้ผู้บริโภคได้ง่าย (Figure 3) มาออกแบบและพัฒนาให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จากนั้นนำไปประเมินความพึงพอใจเพื่อยืนยันจากผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 100 คน ผลการศึกษา

พบว่า ผู้บริโภคมีความพึงพอใจโดยรวมต่อบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้งในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.88 เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุดทุกข้อ เรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยจากมากไปน้อย คือ รูปทรงมีความเหมาะสมในการใช้งาน มีความพึงพอใจระดับมากที่สุด ( $\bar{X}=4.96$ ) มีความสวยงามของสี ลวดลายบรรจุภัณฑ์ โดดเด่น น่าซื้อ ( $\bar{X}=4.94$ ) รูปแบบและขนาดอักษรที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้สามารถมองเห็นอย่างชัดเจน ( $\bar{X}=4.94$ ) เปิดบริโภคและเก็บสินค้า

ส่วนที่เหลือได้สะดวก ( $\bar{X}$ =4.94) ความสัมพันธ์กันระหว่าง  
ผลิตภัณฑ์ปลาแก้วอบแห้งกับกราฟิกที่ออกแบบ  
( $\bar{X}$ =4.92) สื่อถึงเอกลักษณ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่ม  
ผู้ผลิตปลาชีวแก้วเพื่อจำหน่ายเพื่อให้ผู้บริโภคจดจำได้ง่าย  
( $\bar{X}$ =4.88) การตั้งราคาเหมาะสมกับลักษณะ สีและ  
รูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ( $\bar{X}$ =4.88) ออกแบบให้สามารถ  
มองเห็นผลิตภัณฑ์ภายในช่องได้อย่างชัดเจน ( $\bar{X}$ =4.80)  
ใช้ภาพประกอบเพื่อสร้างความน่าพอใจให้กับสินค้า  
( $\bar{X}$ =4.78) และบรรจุภัณฑ์ที่มีความน่าสนใจ สะดุดตาและ  
จดจำตราสินค้าได้ ( $\bar{X}$ =4.78) ตามลำดับ

**Table 3** The second of packaging satisfaction survey in the Thai River Sprat product (N=100)

List	$\bar{X}$	S.D.	Description
1. The packaging design are attractive, eye-catching and the brand styling create recognition.	4.78	0.41	Highly satisfied
2. Suitable shape for using	4.96	0.19	Highly satisfied
3. The correlation between graphic design and product	4.92	0.27	Highly satisfied
4. It conveys the identity of the community enterprise group for consumers to easily recognizable.	4.88	0.32	Highly satisfied
5. Colors and graphic designs can convince customers to purchase a product.	4.94	0.24	Highly satisfied
6. Suitable price for the colors and characteristics of packaging	4.88	0.32	Highly satisfied
7. Format and font size on the packaging are clearly readability.	4.94	0.30	Highly satisfied
8. Packages offer consumer convenience, easy opening, and the ability to keep after opened.	4.94	0.24	Highly satisfied
9. Clear materials that customers can see the product inside.	4.80	0.40	Highly satisfied
10. Enhancing product satisfaction by using illustrations	4.78	0.41	Highly satisfied
<b>Total</b>	<b>4.88</b>	<b>0.31</b>	<b>Highly satisfied</b>



Figure 3 The final approved packaging design of the Thai River Sprat product

4) ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์เพื่อตรวจหาคุณค่าทางโภชนาการ จากบริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาขอนแก่น ผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง ในปริมาณที่กินได้ 100 กรัม มีปริมาณแคลเซียม 1,941.170 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 60 ของ Thai RDI พลังงานทั้งหมด 432.22 กิโลแคลอรี ไขมันทั้งหมด 22.38 กรัม โคเลสเตอรอล 548.29 มิลลิกรัม โปรตีน 57.40 กรัม

คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 0.30 กรัม เหล็ก 1.883 มิลลิกรัม และเถ้า 11.69 กรัม (Table 4) และได้จัดทำรูปแบบฉลากโภชนาการแบบเต็มและฉลากโภชนาการแบบจีดีเอ (GDA) ผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง (Figure 4) และผลการตรวจวิเคราะห์สารปนเปื้อน พบว่าตรวจไม่พบแคดเมียมปรอท และสารหนูในรูปอนินทรีย์ และพบตะกั่ว มีปริมาณ 0.072 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสารปนเปื้อนทุกตัวที่ทำการศึกษา มีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (TISI 6/2006) (Table 5)

Table 4 Nutritive values in the Thai River Sprat product

Nutrient	Per 100 gram	Amount per serving	%RDI
Total calories (kcal)	432.22	110	-
Colories from fat (kcal)	201.42	50	-
Total fat (g)	22.38	6	9
Saturated fat (g)	11.41	3	15
Cholesterol (mg)	548.29	135	45
Protein (g)	57.40	14	-
Total carbohydrate (g)	0.30	0	0

Table 4 (Continued)

Nutrient	Per 100 gram	Amount per serving	%RDI
Dietary fiber (g)	0.21	0	0
Sugar (g)	0.00	0	-
Sodium (mg)	252.139	65	3
Vitamin A (µg)	Not detected	(0.00)	0
Vitamin B1 (mg)	Not detected	(0.00)	0
Vitamin B2 (mg)	Not detected	(0.00)	0
Calcium (mg)	1,941.170	(485.29)	60
Iron (mg)	1.883	(0.47)	4
Ash (g)	11.69	-	-
Moisture (g)	8.23	-	-

ข้อมูลโภชนาการ			
หนึ่งหน่วยบริโภค : 1 ตัวสด (25 กรัม)			
จำนวนหน่วยบริโภคต่อถุง : 6			
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค			
พลังงานทั้งหมด 110 กิโลแคลอรี (พลังงานจากไขมัน 50 กิโลแคลอรี)			
ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน *			
ไขมันทั้งหมด 6 ก.	9%		
ไขมันอิ่มตัว 3 ก.	15%		
โคเลสเตอรอล 135 มก.	45%		
โปรตีน 14 ก.			
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 0 ก.	0%		
ใยอาหาร 0 ก.	0%		
น้ำตาล 0 ก.			
โซเดียม 65 มก.	3%		
ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน *			
วิตามินเอ 0%	วิตามินบี 0%		
วิตามินบี 2 0%	แคลเซียม 60%		
เหล็ก 4%			
* ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนโตอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thailand RDI) อิงจากค่าความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี			
ความต้องการพลังงานของแต่ละบุคคลแตกต่างกัน ผู้ที่ต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ควรได้รับสารอาหารต่าง ๆ ดังนี้			
ไขมันทั้งหมด	น้อยกว่า 65 ก.		
ไขมันอิ่มตัว	น้อยกว่า 20 ก.		
โคเลสเตอรอล	น้อยกว่า 300 มก.		
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	300 ก.		
ใยอาหาร	25 ก.		
โซเดียม	น้อยกว่า 2000 มก.		
พลังงาน(กิโลแคลอรี) คอเลสเตอรอล - ไขมัน = 9, โปรตีน = 4, คาร์โบไฮเดรต = 4			

(Nutrition facts label)

คุณค่าทางโภชนาการต่อ 1 ถุง			
ควรแบ่งกิน 6 ครั้ง			
พลังงาน	น้ำตาล	ไขมัน	โซเดียม
660	0	36	390
กิโลแคลอรี	กรัม	กรัม	มิลลิกรัม
*33%	*0%	*55%	*20%

\* คิดเป็นร้อยละของปริมาณสูงสุดที่บริโภคได้ต่อวัน

(Guideline Daily Amounts (GDA) label)

Figure 4 Nutrition facts and guideline daily amounts (GDA) labels of the dried fish (*C. aesarnesis*) product

**Table 5** Analysis of inorganic contaminants and residues in the Thai River Sprat product

Heavy metals	Limits of quantification*	Thai River Sprat product (mg/kg)
Cadmium (Cd)	< 2 mg/kg	Not detected
Lead (Pb)	< 1 mg/kg	0.072
Mercury (Hg)	< 0.5 mg/kg	Not detected
Inorganic Arsenic (As)	< 2 mg/kg	Not detected

\*TISI. (2006).

5) ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง ปลาชิวแก้วอบแห้ง จำนวน 1,333 ถุง พบว่า ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้งอยู่ที่ 31 บาทต่อถุง ในปริมาณขาย 150 กรัม หรือ 207 บาท/กิโลกรัม หากต้องการขายเพื่อเอากำไรที่ร้อยละ 20 ควรขายอยู่ที่ 37 บาทต่อถุง หรือ 250 บาท/กิโลกรัม (Table 6)

**Table 6** Calculation of raw material costs of the Thai River Sprat product

List	Amount (Baht)
Raw materials: minnow (fresh) 1,000 kg, 30 Baht/kg	30,000
Packaging 4.90 Baht/piece (1,333 piece x 4.90 Baht)	6,531.70
<b>Total</b>	<b>36,531.70</b>
Direct cost (labor cost)	3,600
Other expenditures (water supply, electricity, rent)	120
<b>Total production cost</b>	<b>40,251.70</b>

ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย

$$= \frac{\text{ต้นทุนการผลิตรวม}}{\text{ปริมาณการผลิต}}$$

ต้นทุนการผลิตปลาชิวแก้วอบแห้งต่อถุง

$$= \frac{40,251.70}{1,333} = 30.19 \text{ บาท}$$

การกำหนดราคาจำหน่ายปลาชิวแก้วอบแห้งต่อถุง

ต้องการกำไรร้อยละ 20

ราคาปลาชิวแก้วอบแห้งต่อถุง

$$= \text{ต้นทุนปลาชิวแก้วอบแห้ง} \times (1 + 0.20) = 30.19 \times 1.20 = 36.22 \text{ บาท}$$

ดังนั้น จะต้องกำหนดราคาจำหน่ายปลาชิวแก้วอบสมุนไพรต่อถุง = 37 บาท

### วิจารณ์ผลการวิจัย

บรรจุภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้งต้นแบบสามารถใช้งานได้จริง และผู้ประเมินคุณภาพมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์ว่ามีข้อมูลด้านโภชนาการที่ดีต่อสุขภาพผู้บริโภค ผลการวิเคราะห์เพื่อตรวจหาคุณค่าทางโภชนาการ ผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้งในปริมาณที่กินได้ 100 กรัม มีปริมาณแคลเซียม 1,941.170 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 60 ของ Thai RDI ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ. 2541 เรื่องหลักเกณฑ์ในการกล่าวอ้างทางโภชนาการบนฉลากอาหาร ด้ระบุว่าการกล่าวอ้างถึงผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณแคลเซียมสูง (High in calcium) หรืออุดมด้วยแคลเซียม (Rich in calcium) นั้นจะต้องมีปริมาณแคลเซียมไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของ Thai RDI ต่ออาหาร 100 กรัม ซึ่งผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้งสามารถที่จะกล่าวอ้างถึงระดับของแคลเซียมได้ว่า “มีปริมาณแคลเซียมสูง (High in calcium)” ได้ตามที่กฎหมายกำหนดไว้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Phunpaisan and Chomkitichai (2021) ที่กล่าวว่า การมีข้อมูลด้านโภชนาการที่ดีต่อสุขภาพ ผู้บริโภคสามารถเลือกส่วนบริโภคได้ นอกจากนี้ข้อดีของบรรจุภัณฑ์

ที่ออกแบบใหม่ คือ สามารถมองเห็นสินค้าภายใน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าบรรจุภัณฑ์ที่สามารถมองเห็นสินค้าภายในสามารถสร้างความมั่นใจถึงความใหม่ สด สะอาด ไม่มีสิ่งแปลกปลอม และแนวคิดการออกแบบโดยนำอัตลักษณ์ของชุมชนที่เชื่อมโยงกับบรรจุภัณฑ์ เช่น ภาพเขียนสีโบราณผาแต้ม เพื่อนำมาสร้างเป็นภาพลักษณ์ที่โดดเด่นและแตกต่างอย่างลงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้ง เพื่อแสดงตัวตนของสินค้าในรูปแบบที่มีเอกลักษณ์พื้นถิ่นที่แตกต่าง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruethamrong (2018) ลวดลายกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์นำเอกลักษณ์สับประตูกุ้ง ซึ่งเป็นพืชได้รับการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (GI) มีความเป็นเอกลักษณ์ของจังหวัดภูเก็ต มาผสมผสานกับบริบทพื้นที่ การปลูกสับประตูกุ้ง แสดงถึงเอกลักษณ์ของจังหวัดภูเก็ต

ต้นแบบบรรจุภัณฑ์ปลาชิวแก้วอบแห้งจากงานวิจัยนี้ได้ขยายผลสู่การนำไปใช้จริงในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชิวแก้วเพื่อจำหน่าย โดยคณะผู้วิจัยได้ส่งมอบบรรจุภัณฑ์และต้นแบบบรรจุภัณฑ์ให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) และผู้ประกอบการกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชิวแก้วเพื่อจำหน่าย (Figure 5)



Figure 5 Delivery and transfer technical knowledge to operate the continuous sealer nitrogen filling machine

### สรุปผลการวิจัย

การออกแบบตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชีวแกวบแห้งสำหรับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชีวแกวบเพื่อจำหน่าย จังหวัดอุบลราชธานีสามารถรับประกันคุณภาพของสินค้าได้ โดยแนวทางการออกแบบได้มาจากการมีส่วนร่วมของชุมชน โดยตราสินค้าที่ออกแบบสื่อถึงความเป็นเอกลักษณ์ของกลุ่ม ในส่วนของบรรจุภัณฑ์เน้นการออกแบบให้มีความเรียบง่ายเป็นอัตลักษณ์ สื่อถึงเรื่องราวของกลุ่มและอัตลักษณ์ของภาพเขียนสีโบราณผาแต้ม บรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยล์เติมก๊าซไนโตรเจน ขนาด 16X24 ซม. ปริมาณสุทธิ 150 กรัม/ถุง สามารถมองเห็นสินค้าภายในเพื่อสร้างความมั่นใจถึงความใหม่ สด สะอาด ไม่มีสิ่งแปลกปลอม การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการผลิตภัณฑ์ปลาชีวแกวบแห้ง พบว่ามีปริมาณแคลเซียม 1,941.170 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 60 ของ Thai RDI ต่ออาหาร 100 กรัม การวิเคราะห์สารปนเปื้อน พบว่าตรวจไม่พบแคดเมียมปรอท และสารหนูในรูปอนินทรีย์ และพบตะกั่วมีปริมาณ 0.072 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสารปนเปื้อนทุกตัวที่ทำการศึกษามีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (TISI 6/2006) และผลการประเมินความพึงพอใจของบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปลาชีวแกวบแห้งมีความพึงพอใจมากที่สุด ( $\bar{X}$ =4.88, S.D.=0.31)

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มความหลากหลายของขนาดบรรจุของบรรจุภัณฑ์ เพื่อเพิ่มโอกาสในการสร้างยอดขายและเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคได้เลือกตามปริมาณที่ต้องการ
2. การศึกษาและพัฒนาตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น มะม่วงกวน ปลาร้า เพื่อเป็นการประกันคุณภาพสินค้าที่จัดจำหน่ายของกลุ่มเกษตรกรให้เกิดการยกระดับมาตรฐานการผลิตอาหารที่สูงขึ้น และ

3. การคำนวณต้นทุนและกำหนดราคาขายผู้ประกอบการอาจใช้เทคนิคอื่น ๆ เข้ามาร่วมด้วย เช่น การตั้งราคาเชิงจิตวิทยา การตั้งราคาโดยกำหนดส่วนลด การตั้งราคาเพื่อตัดดวง การตั้งราคาเพื่อเจาะตลาด เป็นต้น

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยได้รับการสนับสนุนจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ทุนวิจัยและพัฒนานวัตกรรม ปีงบประมาณ 2564 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้บริหารโรงไฟฟ้าพลังน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตปลาชีวแกวบเพื่อจำหน่าย ผู้บริโภคทั่วไป และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี รวมทั้งผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำงานวิจัยสำเร็จ ล่วงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 1993. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 14th. Washington DC.: A O A C International. 624 p.
- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 17th. Gaithersburg: A O A C International. 2200 p.
- AOAC. 2019. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 21st. Washington DC: A O A C International. 672 p.
- Auyyuenyong, R., K. Boonthawee and K. Wangdee. 2023. Shelf-life evaluation of dehydrated Thai River Sprat (*Clupeichthys aesamensis*) product in packaging with nitrogen gas using accelerated testing method. **Journal of Food Technology, Siam University** 18(1): 10-20. [in Thai]

- Best, J.W. 1977. **Research in Education**. 3<sup>rd</sup> ed. New Jersey: Prentice Hall, Inc. 403 p.
- Buatongrueng, K and S. Boonkuer. 2018. **Income strategy from products and services development for developing sustainable community economy at Libong community, Trang province** [Abstract]. [Online]. <https://www.repository.rmutsv.ac.th/handle/123456789/3518?show=full> (October 28, 2023). [in Thai]
- Chousukum, W. and A. Sujkird. 2021. Product and packaging development of community enterprises in Pathum Thani province. **Journal of Management Science Review** 23(2): 85-94. [in Thai]
- Creswell, J.W. and V.P. Clark. 2007. **Designing and Conducting Mixed Methods Research**. Thousand Oaks, C.A.: Sage Publications. 520 p.
- Electricity Generating Authority of Thailand. 2021. **Pin 10 check-in points at Sirindhorn Dam, Ubon Ratchathani, Thailand**. [Online]. Available <http://www.egat.co.th/home> (October 28, 2023). [in Thai]
- Kamket, W. 2012. **Research Methodology in Behavioral Sciences**. 3<sup>rd</sup> ed. Bangkok: Chulalongkorn University. 565 p.
- Kerdsaeng, P. 2008. Thai River Sprat fish and processing. **Kasetsart Extension Journal** 53(3): 55-62. [in Thai]
- Kotler, P. and G. Armstrong. 2014. **Principle of Marketing**. 15<sup>th</sup> ed. USA: Pearson Education. 658 p.
- Kunthonbut, S. 2015. **Modern Principle Marketing**. 6<sup>th</sup> ed. Bangkok: Chulalongkorn University. 318 p.
- Panpaisan U. and W. Chomkitichai 2021. Logo and packaging design for enhancement of Huai Mun pineapple fruits by using the data of correlation between peel color and taste. **Academic Journal Uttaradit Rajabhat University** 16(2): 57-76. [in Thai]
- Ruethamrong, P. 2018. Design of Identity on the packages for the community enterprise of Phuket pineapple products of Thalang district, Phuket province. **Walailak Abode of Culture Journal** 8(1): 137-159. [in Thai]
- Thai Industrial Standard Institute (TISI). 2006. **Dried Fish: Thai Community Product Standard, TCPS 6/2006**. Bangkok: Thai Industrial Standard Institute. 10 p. [in Thai]

ความพึงพอใจของผู้ประกอบการต่อบัณฑิตของสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร  
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

The Entrepreneur's Satisfaction Towards Graduates  
from Agricultural Technology Program, Faculty of Agro-industrial Technology  
Rajamangala University of Technology Tawan-ok

กฤษฎา เจริญมูล\* กมลมนัส วัฒนา และพัชรา บำรุง

Krudsada Charoenmoon\*, Kamolmanus Wattana and Patchara Bamrung

คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จันทบุรี 22210

Faculty of Agro-industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi, Thailand 22210

\*Corresponding author: krudsakub@gmail.com

Received: June 08, 2023

Revised: December 18, 2023

Accepted: January 17, 2024

### Abstract

The characteristics of graduates that satisfy employers are an essential consideration for universities, as it contributes to the successful cultivation of students into graduates meeting the expectations of businesses. Therefore, this research focused on studying employer satisfaction and comparing the satisfaction of employers with graduates exhibiting different characteristics. Data was collected through questionnaires from representatives of 117 agricultural technology-related enterprises affiliated with the Faculty of Agro-industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok. Statistical analyses, including descriptive statistics, t-tests, and F-tests, were employed to compare data categorized into two and more than two groups. The research findings revealed that the sample group of employers consisted of 53.00% males and 47.00% females, with 75.20% from private organizations, 53.80% being business owners, and 54.70% collaborating with graduates for 6 months to 1 year. Overall, employers expressed high satisfaction with graduates majoring in Agricultural Technology ( $\bar{X}=4.32$ ). When examined by specific skill areas, interpersonal and responsibility-related skills received the highest satisfaction scores ( $\bar{X}=4.58$ ), while skills in numerical analysis, communication, and information technology usage were rated at the lowest level ( $\bar{X}=3.97$ ). However, significant statistical differences in satisfaction were found between employers of different genders and those with varying relationships with graduates in different statuses at a 0.01 significance level.

**Keywords:** satisfaction, entrepreneur, graduate of agricultural technology program

## บทคัดย่อ

คุณลักษณะของบัณฑิตที่สถานประกอบการพึงพอใจนั้นเป็นประเด็นที่มหาวิทยาลัยควรให้ความสำคัญเพื่อเป็นการบ่มเพาะนักศึกษาให้สำเร็จการศึกษาไปเป็นบัณฑิตที่สถานประกอบการต้องการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาความพึงพอใจ และเปรียบเทียบความพึงพอใจของผู้ประกอบการต่อบัณฑิตที่มีลักษณะแตกต่างกันบางประการ เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามจากตัวแทนสถานประกอบการหรือนายจ้างของบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จำนวน 117 ราย วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา การทดสอบ t-test และ F-test เพื่อศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลที่จำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม และมากกว่า 2 กลุ่ม ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างผู้ประกอบการเป็นเพศชาย (ร้อยละ 53.00) และหญิง (ร้อยละ 47.00) ในสัดส่วนใกล้เคียงกัน โดยสามในสี่ (ร้อยละ 75.20) เป็นหน่วยงานเอกชน มากกว่าครึ่งหนึ่ง (ร้อยละ 53.80) เป็นเจ้าของกิจการ และทำงานร่วมกับบัณฑิตมา 6 เดือน ถึง 1 ปี (ร้อยละ 54.70) ผู้ประกอบการมีความพึงพอใจต่อบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X}=4.32$ ) โดยเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า ด้านทักษะการมีความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบอยู่ในระดับสูงที่สุด ( $\bar{X}=4.58$ ) ในขณะที่ด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศอยู่ในระดับต่ำที่สุด ( $\bar{X}=3.97$ ) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างพบว่า ผู้ประกอบการที่มีเพศแตกต่างกัน จะมีความพึงพอใจต่อบัณฑิตด้านคุณธรรมจริยธรรมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 ในขณะที่ผู้ประกอบการที่มีความสัมพันธ์กับบัณฑิตในสถานะที่ แตกต่างกันมีความพึงพอใจต่อบัณฑิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**คำสำคัญ:** ความพึงพอใจ ผู้ประกอบการ  
บัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

## คำนำ

ความเจริญก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในโลกปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้บทบาทและสภาพของคนในสังคมมีการเปลี่ยนแปลงไปมาก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงยิ่งเร็วมากเท่าใดสังคมในยุคปัจจุบันจึงเป็นสังคมที่เต็มไปด้วยการแข่งขันต่อสู้ดิ้นรน เพื่อให้ได้มาในสิ่งที่ต้องการ ทั้งนี้การศึกษาจึงเป็นเรื่องที่มีการแข่งขันกันสูงเช่นเดียวกัน (Wongyai, 2011) เนื่องจากการศึกษาเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาคนให้มีความรู้ ความสามารถ สติปัญญา ที่จะทำให้มนุษย์เป็นบุคคลที่สมบูรณ์ และความสามารถทำให้เกิดรายได้ในการดำเนินชีวิตในสังคม (Ministry of Education, 2000) จึงทำให้การจัดการศึกษาในระดับอุดมศึกษามีความสำคัญมากต่อการพัฒนาคน ดังนั้น สถาบันอุดมศึกษาจึงเป็นแหล่งผลิตบุคลากรให้มีความรู้ขั้นสูงเพื่อส่งต่อบัณฑิตให้กับองค์กรภาครัฐและองค์กรภาคเอกชน ซึ่งการผลิตบัณฑิตถือเป็นภารกิจหลักที่สำคัญยิ่งของสถาบันอุดมศึกษา โดยความสำเร็จของภารกิจนี้ คือ การผลิตบัณฑิตให้สอดคล้องกับความต้องการของสังคม ประเทศชาติ สถาบันอุดมศึกษาจึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการจัดการส่งเสริมคุณภาพบัณฑิตให้ได้มาตรฐาน ตลอดจนความต้องการของผู้บังคับบัญชา/ผู้ว่าจ้าง หรือตลาดแรงงาน ล้วนมีความต้องการบัณฑิตที่มีความเข้มแข็งทางวิชาการ สามารถปรับตัวให้เข้ากับสังคมพร้อมก้าวสู่โลกยุคใหม่ เจริญเติบโตตามเทคโนโลยีควบคู่กับการมีมนุษยสัมพันธ์ มีคุณธรรม จริยธรรม ขยัน อดทน ซื่อสัตย์ ตรงต่อเวลา มีระเบียบวินัย กระตือรือร้น รับผิดชอบ เสียสละ มีปฏิภาณไหวพริบ และสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีความสุข เพื่อสังคมจะได้มีบุคลากรที่สามารถพัฒนาประเทศในอนาคตได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลประการหนึ่ง คือ มุ่งหวังให้สถาบันอุดมศึกษา พัฒนาศักยภาพของนักศึกษาให้เป็นพลังที่จะขับเคลื่อนสังคมและการเตรียมความพร้อมให้กับนักศึกษาเมื่อจบหลักสูตรแล้วจะได้เป็นบัณฑิตที่มีความสมบูรณ์พร้อมมีคุณลักษณะที่เหมาะสม รู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงของโลก และสามารถนำความรู้ที่ได้มาพัฒนาสังคมและประเทศชาติ (Ministry of Higher Education Science Research and Innovation, 2021)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกเป็นสถาบันอุดมศึกษาอยู่ในสังกัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ได้กำหนดปรัชญาของมหาวิทยาลัยว่า “บัณฑิตนักปฏิบัติ” การจัดการการศึกษาของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มุ่งมั่นที่จะผลิตบัณฑิตที่อุดมไปด้วยปัญญา อดทน และสู้งาน โดยจะต้องเป็นบัณฑิตที่มีคุณธรรมและจริยธรรม เพื่อส่งเสริมด้านการเกษตรที่เป็นรากฐานสำหรับคนในประเทศ โดยเน้นไปที่การพัฒนาองค์ความรู้ การปรับใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมอย่างเหมาะสมในบริบทของการต่อยอดองค์ความรู้เดิมและเพิ่มเติมองค์ความรู้ใหม่ เพื่อผลิตบัณฑิตนักพัฒนาที่มีความรู้ความสามารถในเชิงบูรณาการศาสตร์ต่าง ๆ ทั้งภูมิปัญญาท้องถิ่น นวัตกรรมสมัยใหม่ แนวความคิดด้านการเกษตรอินทรีย์ และน้อมนำหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงมาปรับใช้ในการดำเนินงานเพื่อเตรียมความพร้อมในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต อีกทั้งการเน้นผลิตบัณฑิตนักปฏิบัติที่มีความรู้และประสบการณ์การทำงานจริงจากการปฏิบัติงานในสถานประกอบการ สามารถแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าได้อย่างเหมาะสม และมุ่งเน้นการพัฒนาบัณฑิตให้มีทักษะในงานวิจัยเพื่อการพัฒนาองค์ความรู้อย่างสร้างสรรค์ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในภาคธุรกิจได้อย่างเหมาะสม โดยกำหนดคุณลักษณะบัณฑิตให้มีความสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้บัณฑิต ท้องถิ่น และสังคม ซึ่งประกอบด้วยคุณลักษณะ 6 ด้าน ได้แก่ 1) ด้าน

คุณธรรมจริยธรรม 2) ด้านความรู้ 3) ด้านทักษะปัญญา 4) ด้านทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ 5) ด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ และ 6) คุณลักษณะบัณฑิตอันเป็นอัตลักษณ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก (Thai Qualifications Framework for Higher Education, TQF: HEd) (Ministry of Higher Education Science Research and Innovation, 2015) สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มุ่งผลิตบัณฑิตนักปฏิบัติที่สามารถใช้ความรู้และเทคโนโลยีให้เหมาะสม เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่และพึ่งพาตนเองได้ ตลอดจนสามารถเป็นที่พึ่งหรือเป็นผู้นำในการพัฒนาด้านการเกษตรในระดับท้องถิ่นจนถึงระดับประเทศได้ นอกจากนี้ต้องมีศักยภาพสูงในการพัฒนาตนให้เข้ากับลักษณะงานทั้งด้านวิชาชีพ วิชาการและเทคโนโลยี รวมถึงเข้าใจผลกระทบของเศรษฐกิจต่อภาคเกษตรกรรมเป็นอย่างดี ซึ่งสอดคล้องตามนโยบายการปฏิรูปการศึกษาที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติ การศึกษาแห่งชาติ โดยกำหนดจุดมุ่งหมายของการจัดการศึกษาไว้ว่า “ต้องเป็นไปเพื่อพัฒนาคนไทยให้เป็นมนุษย์ที่สมบูรณ์ทั้ง ร่างกาย จิตใจ สติปัญญา ความรู้ และคุณธรรม จริยธรรม และวัฒนธรรม ในการดำรงชีวิตสามารถอยู่ร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีความสุข” (Ministry of Education, 2000)

อย่างไรก็ตามการผลิตบัณฑิตเข้าสู่ตลาดวิชาชีพทางเทคโนโลยีการเกษตรที่ ผ่านมา สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร ยังไม่ได้มีการติดตามข้อมูลด้านความพึงพอใจจากผู้ใช้บัณฑิตอย่างเป็นรูปธรรม อีกทั้งการที่บัณฑิตจบออกไปแล้วได้เข้าทำงาน สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปพัฒนาองค์กรได้มากนักน้อยเพียงใด รวมไปถึงความต้องการของผู้ประกอบการ ตลาดแรงงานโดยทั่วไปแล้วมีความต้องการบัณฑิตที่มีคุณสมบัติแบบใด ทางผู้วิจัยจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาว่าบัณฑิตทุกคนมีความเข้มแข็งทางวิชาการ สามารถปรับตัวให้เข้าสู่โลกยุคใหม่ ก้าวทัน

เทคโนโลยีควบคู่กับการมีมนุษยสัมพันธ์ มีคุณธรรม จริยธรรม ขยัน อดทน ซื่อสัตย์ ตรงต่อเวลา มีระเบียบ วินัย กระตือรือร้น รับผิดชอบ เสียสละ มีปฏิภาณไหวพริบ และสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีความสุขเพื่อส่งผลให้องค์กรจะได้มีบุคลากรที่สามารถปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นส่วนสำคัญต่อการพัฒนาหลักสูตรเทคโนโลยีการเกษตรให้มีความสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้บัณฑิต และให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและต้องทันสมัยอยู่ตลอดเวลา และที่สำคัญเพื่อให้ทันต่อความเปลี่ยนแปลงทางสังคมและวัฒนธรรม

ดังนั้นเพื่อสำรวจว่าผู้ประกอบการมีความพึงพอใจต่อบัณฑิตของสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรอย่างไร ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเรื่องความพึงพอใจของผู้ประกอบการต่อบัณฑิตของสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ในมุมมองของกลุ่มผู้ประกอบการ ได้แก่ หน่วยงานหรือผู้ประกอบการต่าง ๆ ที่จะสะท้อนคุณลักษณะอันพึงประสงค์ของบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรและเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเชิงประจักษ์เกี่ยวกับคุณลักษณะบัณฑิต และความพึงพอใจของผู้ประกอบการ ที่จะนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงหลักสูตรวางแผนพัฒนาคุณภาพบัณฑิต ตลอดจนพัฒนาการเรียนการสอนให้มีคุณภาพและประสิทธิภาพต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์การศึกษาดังนี้ เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ประกอบการที่มีต่อบัณฑิตของสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก และศึกษาเปรียบเทียบความพึงพอใจของผู้ประกอบการต่อบัณฑิตที่มีลักษณะแตกต่างกันบางประการ

## วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ ใช้ระเบียบวิธีการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research) โดยจากปัญหาและคำถามการวิจัยเชื่อมโยงสู่การกำหนดวัตถุประสงค์การวิจัย ผู้วิจัยจึงได้กำหนดวิธีการศึกษาไว้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้เป็นหน่วยวิเคราะห์ (Unit of analysis) ในการศึกษาเรื่องนี้ ได้แก่ ผู้ประกอบการที่เป็นนายจ้างของบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2565 ซึ่งบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรที่จบปี พ.ศ. 2560-2565 มีจำนวนทั้งหมด 117 ราย โดยการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้วิจัยทำการเลือกจากบัณฑิตที่จบทั้ง 117 ราย ซึ่งบัณฑิตทั้ง 117 รายมีงานทำทั้งหมด โดยเลือกแบบเจาะจงเลือกทั้งหมดทุกคน จากนั้นจึงทำการส่งแบบสอบถามไปยังผู้ประกอบการที่บัณฑิตทำงานอยู่กรอกและตอบข้อมูลโดยจำแนกสถานประกอบการที่บัณฑิตทำงานอยู่ คือ ทำงานอยู่หน่วยงานของรัฐ จำนวน 29 ราย นอกนั้นทำงานของหน่วยงานเอกชน จำนวน 88 ราย

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ แบบสอบถาม ซึ่งสร้างขึ้นมาจากแนวคิด หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบไปด้วยข้อคำถามแบบปลายปิด (Close-ended questions) และปลายเปิด (Open-ended questions) โดยสามารถแบ่งแบบสอบถามออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ประกอบการ ได้แก่ เพศ ประเภทของหน่วยงาน ความเกี่ยวข้องกับบัณฑิต และระยะเวลาที่ทำงานร่วมกับบัณฑิต

ตอนที่ 2 ความพึงพอใจของผู้ประกอบการต่อการปฏิบัติงานและคุณลักษณะของบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษาจากสาขาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกใน 6 ด้าน คือ 1) ด้านคุณธรรม จริยธรรม 2) ด้านความรู้ 3) ด้านทักษะทางปัญญา 4) ด้านทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ 5) ด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ และ 6) ด้านวิชาชีพ โดยข้อคำถามเป็นแบบมาตราส่วน (Rating scale) 5 ระดับ ได้แก่ 5=พึงพอใจมากที่สุด 4=พึงพอใจมาก 3=พึงพอใจปานกลาง 2=พึงพอใจน้อย และ 1=พึงพอใจ โดยการแปลผลระดับของความพึงพอใจโดยใช้เกณฑ์ค่าเฉลี่ยโดยวิธีของลิเคิร์ต (Likert, 1932) ดังนี้

4.51 - 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจมากที่สุด

3.51 - 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจมาก

2.51 - 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจปานกลาง

1.51 - 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อย

1.00 - 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ ทำการตรวจสอบเนื้อหาเพื่อหาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) ทดลองใช้กับผู้ประกอบการที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน หาค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability) โดยวิธีหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha-coefficient) (Cronbach, 1984) ได้ค่าความเชื่อมั่นจากแบบสอบถามทั้ง 6 ด้าน เท่ากับ 0.942

### การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลการทำวิจัยในครั้งนี้เป็นแบบปฐมภูมิ (Primary data) โดยทำการตรวจสอบรายชื่อบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกที่สำเร็จการศึกษาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2565

ทุกคน จำนวน 117 ราย และทำการติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับบัณฑิตที่ได้ให้ข้อมูลไว้กับทางสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร โดยทำหนังสือขอความอนุเคราะห์พร้อมทั้งคำชี้แจงในการเก็บข้อมูลถึงผู้ประกอบการของบัณฑิต จากนั้นทำการส่งหนังสือขอความอนุเคราะห์พร้อมทั้งแบบสอบถามให้กับผู้ประกอบการกรอกข้อมูลเมื่อผู้ใช้บัณฑิตส่งกลับมาจึงนำแบบสอบถามที่มีความสมบูรณ์ของข้อมูลมาวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักสถิติ

### การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ประกอบการและความพึงพอใจของผู้ประกอบการต่อบัณฑิต โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก ส่วนที่ 2 ได้แก่ การทดสอบ t-test เพื่อศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลที่จำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม และ F-test สำหรับข้อมูลที่จำแนกมากกว่า 2 กลุ่ม

### ผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่องความพึงพอใจของผู้ประกอบการต่อบัณฑิตของสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ประกอบการ พบว่าผู้ประกอบการมีจำนวนทั้งหมด 117 ราย กลุ่มตัวอย่างผู้ประกอบการเป็นเพศชาย (ร้อยละ 53.00) และหญิง (ร้อยละ 47.00) ในสัดส่วนใกล้เคียงกัน โดยสามในสี่ (ร้อยละ 75.20) เป็นหน่วยงานเอกชนที่เหลือ (ร้อยละ 24.80) ทำงานรัฐบาล กลุ่มตัวอย่างมากกว่าครึ่งหนึ่ง (ร้อยละ 53.80) เป็นเจ้าของกิจการ รองลงมา (ร้อยละ 32.50) เป็นหัวหน้างาน และ (ร้อยละ 13.70) เป็นผู้จัดการ ระยะเวลาที่ร่วมทำงานร่วมกับบัณฑิต 6 เดือนถึง 1 ปี (ร้อยละ 54.70) (Table 1)

**Table 1** The personal data of the respondents

Personal data	Frequency	Percentage
<b>Gender</b>		
Male	62	53.00
Female	55	47.00
<b>Types of organization</b>		
Government	29	24.80
Private	88	75.20
<b>The relationship to graduate</b>		
Supervisors	38	32.50
Entrepreneurs	63	53.80
Managers	16	13.70
<b>The working period to together with graduate</b>		
> 6 months	44	37.60
6 months – 1 year	64	54.70
1 – 2 year	9	7.7

ส่วนที่ 2 ความพึงพอใจของผู้ประกอบการที่มีต่อบัณฑิตของสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก พบว่าผู้ประกอบการมีความพึงพอใจต่อคุณลักษณะบัณฑิตของสาขาเทคโนโลยีการเกษตรด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์

ในภาพรวมอยู่ในระดับ มาก ( $\bar{X}$ =4.32) โดยผู้ประกอบการมีความพึงพอใจสูงสุดที่คุณสมบัติบัณฑิตในด้านทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ ( $\bar{X}$ =4.58) และด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ อยู่ในระดับต่ำที่สุด ( $\bar{X}$ =3.97) (Table 2)

**Table 2** Entrepreneur's satisfaction towards graduate characteristics

Graduate characteristics	$\bar{x}$	S.D.	Level
1. Ethics	4.43	0.52	High
2. Knowledge	4.47	0.42	High
3. Cognitive skills	4.19	0.59	hHigh
4. Interpersonal skills and responsibility	4.58	0.63	Very High
5. Numerical analysis, and information and communication skills	3.97	0.69	High
6. Moral and professional ethics	4.30	0.61	High
<b>Total</b>	<b>4.32</b>	<b>0.57</b>	<b>High</b>

ส่วนที่ 3 การศึกษาเปรียบเทียบระดับความพึงพอใจของผู้ประกอบการเพศชายและเพศหญิง ต่อบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรใน 6 คุณลักษณะ ผลการศึกษาพบว่า ผู้ประกอบการเพศชาย กับผู้ประกอบการเพศหญิงมีคะแนนเฉลี่ยระดับความพึงพอใจที่แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 ในคุณลักษณะด้านคุณธรรมจริยธรรมเพียงด้านเดียว โดยผู้ประกอบการเพศหญิงมีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจต่อบัณฑิตด้านคุณธรรมจริยธรรมสูงกว่าผู้ประกอบการเพศชาย (Table 3)

**Table 3** Comparison of the satisfaction level of male and female entrepreneurs towards graduates' characteristics

Graduate characteristics	Gender				t	P
	Male (n=62)		Female (n=55)			
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.		
1. Ethics	4.31	0.54	4.57	0.46	-2.66	0.009**
2. Knowledge	4.45	0.41	4.49	0.43	-0.55	0.582
3. Cognitive skills	4.16	0.63	4.23	0.55	-0.67	0.499
4. Interpersonal skills and responsibility	4.48	0.66	4.68	0.58	-1.69	0.092
5. Numerical analysis, and information and communication skills	3.91	0.70	4.04	0.69	-0.95	0.340
6. Moral and professional ethics	4.25	0.64	4.35	0.59	-0.84	0.403

ส่วนที่ 4 การศึกษาเปรียบเทียบระดับความพึงพอใจของผู้ประกอบการที่มีความเกี่ยวข้องในการทำงานเป็นหัวหน้างาน เจ้าของกิจการ และผู้จัดการ ต่อบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรใน 6 คุณลักษณะ

ผลการศึกษาพบว่า ผู้ประกอบการที่มีความเกี่ยวข้องในการทำงานกับบัณฑิตที่แตกต่างกัน จะมีความพึงพอใจต่อบัณฑิตใน 6 คุณลักษณะที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4)

**Table 4** Comparison of the satisfaction level of entrepreneurs having difference relationship to graduates towards graduates' characteristics

Graduate characteristics	The relationship of entrepreneurs to graduates						F
	Supervisors (n=38)		Entrepreneurs (n=63)		Managers (n=16)		
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	
1. Ethics	4.37	0.49	4.56	0.55	4.46	4.99	0.417
2. Knowledge	4.48	0.45	4.45	0.40	4.51	0.42	0.140
3. Cognitive skills	4.16	0.60	4.21	0.59	4.20	0.60	0.070
4. Interpersonal skills and responsibility	4.54	0.64	4.60	0.64	4.57	0.61	0.122
5. Numerical analysis, and information and communication skills	4.00	0.67	3.95	0.70	4.02	0.76	0.096
6. Moral and professional ethics	4.25	0.60	4.31	0.62	4.37	0.67	0.261

### วิจารณ์ผลการวิจัย

1. ความพึงพอใจของผู้ประกอบการที่มีต่อบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 6 ด้าน พบว่าผู้ประกอบการมีความพึงพอใจที่มีต่อบัณฑิตในด้านทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ สูงที่สุดมากกว่าทุกด้าน ( $\bar{X}=4.48$ ) ทั้งนี้เพราะว่าทางสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรจัดกิจกรรมทั้งภายในสาขาวิชา และภายนอกสาขาวิชาให้กับนักศึกษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นการเสริมสร้างให้นักศึกษารู้จักการทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ดี และยังเป็นการฝึกให้นักศึกษารู้จักทำความเข้าใจและเคารพกฎระเบียบของโครงการที่สาขาวิชาจัด และ

กฎระเบียบของสังคม จึงทำให้นักศึกษามีการปฏิบัติตามกฎระเบียบของหน่วยงาน/สังคมได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับ Songserm (2012) กล่าวสรุปไว้ว่า การจัดการเรียนการสอนให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการทำงานเป็นกลุ่มจะทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะทางสังคม ทำให้เข้าใจกฎระเบียบของการทำงานกลุ่ม เป็นผลทำให้เกิดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ผู้ประกอบการมีความพึงพอใจที่มีต่อบัณฑิตในด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ต่ำที่สุด ( $\bar{X}=3.97$ ) เหตุผลที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากบัณฑิตใช้ทักษะด้านการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ โดยเฉพาะทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ เฉพาะบางรายวิชาที่เรียนซึ่งถือว่าอย่างน้อย อีกทั้งบัณฑิต



คุณลักษณะที่พึงประสงค์ของนักศึกษาฝึกงานในทัศนะของผู้บริหารสถานประกอบการด้านการท่องเที่ยว พบว่าผู้บริหารสถานประกอบการด้านการท่องเที่ยวที่มีเพศ อายุ ระดับการศึกษา และประสบการณ์ในการทำงานต่างกัน มีทัศนะต่อคุณลักษณะที่พึงประสงค์ของนักศึกษาฝึกงานไม่แตกต่างกัน กล่าวโดยสรุปได้ว่าสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรสามารถจะทำการมุ่งเน้นหรือพัฒนาคุณลักษณะของบัณฑิตในเรื่องใดเรื่องหนึ่งนั้นให้สอดคล้องกับบริบททางสังคม เพื่อให้บัณฑิตสามารถรับใช้สังคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ย่อมสามารถพัฒนาไปในประเด็นนั้น ๆ โดยไม่รู้สึกลังความแตกต่างที่เกี่ยวข้องกับบัณฑิตของผู้ใช้บัณฑิต

### สรุปผลการวิจัย

1. ความพึงพอใจของผู้ประกอบการที่มีต่อบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 6 ด้าน พบว่าผู้ประกอบการมีความพึงพอใจสูงสุด ( $\bar{X}=4.48$ ) ด้านทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ ทั้งนี้เพราะว่าทางสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรจัดกิจกรรมเพื่อเป็นการเสริมสร้างให้นักศึกษารู้จักการทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ ส่วนผู้ประกอบการมีความพึงพอใจที่มีต่อบัณฑิตในด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศต่ำที่สุด ( $\bar{X}=3.97$ ) เหตุผลที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากบัณฑิตฝึกฝนการใช้ทักษะด้านการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศน้อย

2. ผลการเปรียบเทียบระดับความพึงพอใจของผู้ประกอบการ โดยจำแนกตามเพศ พบว่าผู้ประกอบการเพศชายและเพศหญิง มีคะแนนเฉลี่ยระดับความพึงพอใจที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.01 จำนวน 1 ประเด็น คือ ด้านคุณธรรมจริยธรรม โดยผู้ประกอบการเพศหญิง

มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจต่อบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรสูงกว่าผู้ประกอบการเพศชาย ซึ่งอาจเป็นเพราะพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักศึกษาหญิงมีการเก็บรายละเอียดในแง่ความดีได้โดดเด่นมากกว่านักศึกษาชาย

3. ผลการเปรียบเทียบระดับความพึงพอใจของผู้ประกอบการ โดยจำแนกตามความเกี่ยวข้องกับบัณฑิตของผู้ประกอบการ พบว่าผู้ประกอบการที่มีความเกี่ยวข้องกับบัณฑิต คือ หัวหน้างาน เจ้าของกิจการ และผู้จัดการ มีคะแนนเฉลี่ยระดับความพึงพอใจต่อบัณฑิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกประเด็น เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรทำการมุ่งเน้นหรือพัฒนาคุณลักษณะของบัณฑิตในเรื่องใดเรื่องหนึ่งนั้นให้สอดคล้องกับบริบททางสังคม เพื่อให้บัณฑิตสามารถรับใช้สังคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถพัฒนาไปในประเด็นนั้น ๆ ได้ โดยไม่รู้สึกลังความแตกต่างที่เกี่ยวข้องกับบัณฑิตของผู้ใช้บัณฑิต

### ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร 1) เพิ่มเติมด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข 2) เพิ่มเติมด้านทักษะการสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

2. ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ประกอบการ ผู้ประกอบการควรเข้ามามีส่วนร่วมในการพัฒนาหลักสูตร ร่วมกับทางสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรเพื่อให้บัณฑิตที่จบไปมีคุณสมบัติตรงกับความต้องการของผู้ประกอบการ

3. ข้อเสนอแนะในครั้งต่อไป

หากมีการปรับปรุงหลักสูตรเพื่อให้ตรงกับผู้ใช้บัณฑิตตามข้อเสนอแนะที่กล่าวมาแล้ว ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรมีการสำรวจความพึงพอใจหลักสูตรที่ปรับปรุงแล้วต่อการใช้บริการของนักศึกษา เพื่อนำผลที่ได้ต่อยอดให้หลักสูตรมีคุณภาพต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก และขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือคณะผู้วิจัย ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ตลอดจนคำปรึกษา คำแนะนำ ในการศึกษาวิจัย และการติดต่อประสานงานในการ ดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด

### เอกสารอ้างอิง

- Conbach, L.J. 1984. **Essential of Psychology and Education**. New York: Mc-Graw Hill. 726 p.
- Crampton, S.M. and J.M. Mishra. 1999. Women in Management. **Public Personnel Management** 28(1): 87-106.
- Jungprawate, P. 2017. Desired characteristics of student trainees as perceived by executives of tourism entrepreneurs. **RMUTP Research Journal Humanities and Social Science** 2(1): 11-21. [in Thai]
- Likert, R.A. 1932. Technique for the measurement of attitudes. **Arch Psychological** 25(140): 1-55.
- Ministry of Education. 2000. **National Education Act of 1999**. Bangkok: Buddhism Printing. 28 p. [in Thai]
- Ministry of Higher Education Science Research and Innovation. 2015. **Announcement of the Higher Education Commission on reform guidelines according to the National Higher Education Quality Standards Framework**. 3<sup>rd</sup>ed. Bangkok: Ministry of Higher Education Science Research and Innovation. 5 p. [in Thai]
- \_\_\_\_\_. 2021. **Education and Human Capital Development Policy and Guidelines**. Bangkok: Ministry of Higher Education Science Research and Innovation. 55 p. [in Thai]
- Sanpayao, K., I. Totest and K. Wongwatthanaphong. 2022. Skills needed by government workers in the future world. **Journal of Administration and Social Science Review** 5(3): 131-140. [in Thai]
- Songserm, U. 2012. **The Development of Year Undergraduate Students in Curriculum Development Subject Taught by Cooperative Learning in Team Game Tournament Technique, Faculty of Education Silpakorn University, Major Field: Curriculum and Supervision**. Bangkok: Department of Curriculum and Instruction N.P. 214 p. [in Thai]

Journal of Agri. Research & Extension 41(2): 236-247

Srisaphonphusitti, T. 2017. The satisfactory study of graduate users on the graduates' characteristics of communication arts program, Faculty of management sciences, Surindra Rajabhat university. **Journal of Management Science Research, Surindra Rajabhat University** 1(1): 19-31. [in Thai]

Wongyai, W. 2011. **The Development of Higher Education Curriculum.** 2<sup>nd</sup> ed. Bangkok: R&N Print Company Limited. 239 p. [in Thai]

การพัฒนาโมเดลข้อบัญญัติท้องถิ่นเพื่อควบคุมกิจกรรมทางการเกษตร  
ที่ก่อให้เกิดมลพิษทางแสง

Developing a Local Ordinance Model to Control Agricultural Activities  
that Cause Light Pollution

พิทักษ์ ศศิสุวรรณ

Pitak Sasisuwan

คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย 57100

Faculty of Law, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, Thailand 57100

\*Corresponding author: pitak.sas@crru.ac.th

Received: October 20, 2023

Revised: February 13, 2024

Accepted: April 10, 2024

Abstract

Environmental work was the challenging factors to the distribution of administration authority, which was the fundamental roots of nation. The enacting of legislation or policy making for environment such as light pollution from agricultural activities which affected the health of human and animals including ecosystem within the designated area. However, there was no law regarding the protection of environment in such matter. The related direct legislation covered only human part. The current legislative enactment still lacks legal sense in protecting new forms of pollution to accommodate future problems. Author suggests the to elevate the issues to the national level and define the “agricultural light pollution” with nominal standard of the lighting level which caused hazard based on each local area. There should be registration channel for complaints and remedy of the certain environmental issue in a promptly manner, including rules of penalty, fines and fees regarding the agricultural business which causes light pollution including the cost of environmental recovery in which the source needs to pay (Polluters Pay Principle: PPP).

**Keywords:** suggestive policy, agricultural activity, light pollution, local law

บทคัดย่อ

งานด้านสิ่งแวดล้อมเป็นความท้าทายสำคัญต่อการกระจายอำนาจการปกครองลงสู่ท้องถิ่นซึ่งเป็นรากฐานสำคัญของชาติที่ระงับยับยั้งภัยอันเกิดจาก

สิ่งแวดล้อมระดับล่างสุด การตราข้อบัญญัติหรือการสร้างนโยบายเพื่อคุ้มครองสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะมลพิษทางสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการใช้แสงทางการเกษตร อาจก่อให้เกิดโทษภัยต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ รวมถึงระบบนิเวศในพื้นที่กิจกรรมดังกล่าว แต่กลับไม่มีข้อ

กฎหมายที่บัญญัติคุ้มครองสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับการเกษตรที่ก่อมลพิษทางแสงโดยตรงมีเพียงกฎหมายที่คุ้มครองสุขภาพของมนุษย์เท่านั้น การตรากฎหมายในปัจจุบันยังขาดนิติสำนึกในการคุ้มครองมลพิษรูปแบบใหม่เพื่อรองรับปัญหาในอนาคต ผู้เขียนจึงมีข้อเสนอแนะเชิงนโยบายต่อการกำหนดข้อบัญญัติท้องถิ่นสำหรับการเกษตรที่ก่อมลพิษทางแสงให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในอนาคตควรมีกฎหมายในระดับชาติให้นิยามคำว่า “มลพิษทางแสงจากการเกษตร” มีการกำหนดค่ามาตรฐานของแสงที่ก่อให้เกิดภัยอันตรายจากการเกษตร ตามบริบทสภาพแวดล้อมของแต่ละท้องถิ่น ควรมีช่องทางตามกฎหมายท้องถิ่นสำหรับขึ้นทะเบียน รวมกลุ่มประชาคมเกษตรกรที่ก่อมลพิษทางแสงเพื่อง่ายต่อการควบคุม ทั้งช่องทางสำหรับการร้องทุกข์ตลอดจนระบุวิธีการเยียวยาและวิถีทางในการบำบัดป้องกันมลพิษทางแสงจากการเกษตรเบื้องต้น เพื่อให้เจ้าหน้าที่ท้องถิ่นสามารถเข้าไปดำเนินการระงับยับยั้งภัยอันเกิดจากมลพิษทางแสงได้อย่างทันท่วงทีและมีประสิทธิภาพ ควรมีการระบุโทษค่าปรับ ค่าใช้จ่าย ตลอดจนค่าธรรมเนียมสำหรับธุรกิจการเกษตรที่มีการก่อมลพิษทางแสง รวมถึงค่าใช้จ่ายเพื่อฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกิจกรรมทางการเกษตรที่ก่อมลพิษทางแสง “โดยถือหลักผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย” (Polluters Pay Principle: PPP)

**คำสำคัญ:** ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย กิจกรรมการเกษตร มลพิษทางแสง ข้อบัญญัติท้องถิ่น

### คำนำ

บทความนี้เป็นบทความวิชาการมีวัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นเตือนให้สังคมตระหนักถึงความสำคัญของการบริหารจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีที่มาจากกิจกรรมทางการเกษตรก่อให้เกิดแสงเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในระดับท้องถิ่นซึ่งเป็นหน่วยงานระดับฐานรากที่จะต้องบังคับใช้กฎหมายเพื่อบริหารจัดการปัญหา

เชิงพื้นที่ งานปกครองส่วนท้องถิ่นจึงเป็นกลุ่มเป้าหมายหลักที่ผู้เขียนต้องการสื่อสารให้เห็นถึงความสำคัญในการนิตินบัญญัติระดับท้องถิ่น เนื่องจากภารกิจสำคัญประการหนึ่งของชาติเป็นตัวจักรสำคัญในการพัฒนาประเทศ เริ่มจากระดับรากหญ้า คือ ระดับตำบลหรือเทศบาลที่ผู้บริหารระดับพื้นที่ได้รับอาณัติ (Mandate) จากประชาชนโดยตรง ในเมื่อประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีทั้งการประกอบการเกษตรครัวเรือนและธุรกิจการเกษตรในลักษณะอุตสาหกรรม การทำการเกษตรยุคใหม่มักก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมในลักษณะต่าง ๆ เมื่อท้องถิ่นแต่ละแห่งประสบปัญหาสิ่งแวดล้อมและมลพิษต่อประชาชนอันมีที่มาจากจากการทำการเกษตรดังกล่าว จึงมีความจำเป็นต้องตราข้อบัญญัติท้องถิ่นขึ้นเพื่อเป็นการป้องกัน ระงับยับยั้ง ตลอดจนบำบัด บรรเทาเยียวยาความเสียหายอันเกิดจากมลพิษปนเปื้อนสู่ประชาชน และระบบนิเวศ (Ecosystem)

Ministry of Agriculture and Cooperatives (2021) ให้คำนิยามถึงการเป็น “เกษตรสร้างสรรค์” ว่าหมายถึงความถึงการเกษตรที่ให้ความสำคัญในการอนุรักษ์รักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ทำให้คนกับธรรมชาติสามารถอยู่ร่วมกันได้อย่างลงตัว มีการแลกเปลี่ยนทดแทนคุณประโยชน์ระหว่างกันอย่างไม่สิ้นสุด การจะเป็นเกษตรสร้างสรรค์ได้มนุษย์จะต้องตระหนักถึงในเบื้องต้นก่อนการใช้สอยทรัพยากรธรรมชาติว่า กำหนดให้ภายใต้วิถีเกษตรยุคใหม่ต้องส่งเสริมให้เกษตรกรเคารพในวิถีธรรมชาติขับเคลื่อนด้วย “5 ยุทธศาสตร์เกษตร” ประกอบด้วย 1) ยุทธศาสตร์ตลาดนำการผลิต 2) ยุทธศาสตร์เทคโนโลยีเกษตร 4.0 3) ยุทธศาสตร์ “3’s” (Safety-Security-Sustainability) เกษตรปลอดภัย เกษตรมั่นคง และเกษตรยั่งยืน 4) ยุทธศาสตร์การบริหารเชิงรุกแบบบูรณาการกับทุกภาคส่วนโดยเฉพาะโมเดล “เกษตร-พาณิชย์ทันสมัย” และ 5) ยุทธศาสตร์เกษตรกรรมยั่งยืนตามแนวทางศาสตร์พระราชา อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงวิถีเกษตรที่กำลังดำเนินไปในสังคมไทยมักก่อให้เกิดมลพิษต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อม จึงเป็นการเกษตรที่ไม่พึงประสงค์และไม่สร้างสรรค์ ซึ่งปฏิเสธมิได้ว่ามลพิษทางการเกษตรเกิดขึ้นในทุกวัน

ในปัจจุบันอาชีพทางการเกษตรของเกษตรกรและอุตสาหกรรมทางการเกษตรมักก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมตามมา อาทิ มลพิษทางดินทำให้ดินเสียขาดความอุดมสมบูรณ์ ตลอดจนเกิดความเป็นพิษในดินไม่สามารถเพาะปลูกสิ่งใดได้ รวมถึงมลพิษที่ตกค้างในผลผลิตทางการเกษตร มลพิษทางน้ำทั้งน้ำผิวดินและใต้ดิน ที่ได้รับผลกระทบจากการทำการเกษตรที่ไม่คำนึงถึงการปล่อยมลพิษลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตามธรรมชาติหรือแหล่งน้ำใช้สอยของมนุษย์เกิดเป็นพิษใช้การไม่ได้ มลพิษทางอากาศการก่อกมลพิษในรูปแบบนี้มักเกิดจากการเผาไหม้วัสดุหรือสิ่งเหลือใช้ทางการเกษตร อาทิเช่น ตอซังข้าวหรือข้าวโพดก่อกให้เกิดควันพิษหมอกควันมลพิษที่เป็นภัยต่อมนุษย์และสัตว์ (Sasisuwan, 2020) มลพิษทางแสงเป็นการปล่อยหรือเปล่งแสงออกมาจากการประกอบการเกษตรซึ่งการเกษตรบางประเภท ก่อกให้เกิดแสง อาทิ การใช้แสงในการเกษตรการปลูกพืช ใช้แสงในการเลี้ยงสัตว์ใช้แสง ตลอดจนการเผาไหม้ที่มีลักษณะก่อแสงจ้าเกิดความร้อนและแสงที่เป็นอันตรายต่อดวงตาของคนในชุมชนและสัตว์ในธรรมชาติโดยเฉพาะสัตว์ป่า ทั้งทำให้ระบบนิเวศโดยเฉพาะที่อยู่พื้นที่ใกล้เคียงป่าเสียหาย

สำหรับด้านการเกษตร การที่ยังไม่มีการบังคับมาตรการทางกฎหมายระดับชาติ และระดับท้องถิ่นเพื่อบริหารจัดการมลพิษทางแสงเป็นการเฉพาะ ย่อมทำให้เมื่อพิจารณารายละเอียดการปฏิบัติกิจกรรมการเกษตรในแต่ละท้องถิ่น เกิดสภาพต่างคนต่างทำในการปฏิบัติการเพื่อควบคุมมลภาวะทางแสง (Fragment of the practical approaches) อันอาจทำให้ขาดการบูรณาการหรือบรรดนโยบายและการปฏิบัติการระหว่างหน่วยงานของรัฐด้วยกัน หรือระหว่างท้องถิ่นด้วยกัน เพื่อป้องกันมลภาวะทางแสง (Youyuenyong, 2014) หากกล่าวโดยเฉพาะการคุ้มครองสวัสดิภาพของสัตว์ที่อยู่ในธรรมชาติในประเด็นอันตรายจากมลพิษทางแสงยังมีผู้ให้ความสนใจน้อย

ในบทความนี้ผู้เขียนจึงมุ่งเน้นให้ความสำคัญต่อมาตรการทางด้านนิติศาสตร์ที่เข้ามาช่วยควบคุมกิจกรรม

ทางการเกษตรให้มีความรัดกุม ปลอดภัย และสามารถส่งเสริมสร้างสรรค์อาชีพเกษตรกรไทย การมีกฎหมายที่ระบุกว้างขวาง และมีได้กำหนดชัดถึงวิธีการระงับยับยั้งปัญหา แสดงให้เห็นถึงการมองเรื่องดังกล่าวว่าไม่เป็นปัญหาที่พึงแก้ไข โดยเฉพาะในพื้นที่ท้องถิ่นอันห่างไกลควรมีการวางกฎหมาย ระเบียบ หรือกติกาชุมชนให้สามารถสร้างผลผลิตทางการเกษตรได้ โดยเป็นมิตรต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อม ผู้เขียนจึงมุ่งเน้นศึกษาถึงนโยบายอันเหมาะสมสำหรับการสร้างข้อบัญญัติท้องถิ่นเพื่อแก้ไขอย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

### แนวคิดเกี่ยวกับมลพิษอันมีที่มาจากแสง

นักวิชาการด้านกฎหมายเกี่ยวกับมลพิษทางแสง Youyuenyong (2013) ได้ให้คำอธิบายมลภาวะหรือมลพิษทางแสงว่า ได้แก่ การใช้งานแสงสว่างที่มีความส่องสว่าง (Illuminance) ที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่นั้น หรือไม่เหมาะสมกับประเภทการใช้งานของแสงในแต่ละสถานที่ และการใช้งานแสงสว่างที่มีลักษณะไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Non-eco friendly lighting) โดยรอบสถานที่ที่มีการใช้งานแสงสว่างนั้น ๆ การใช้งานแสงสว่างที่ก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานโดยใช้เหตุอีกด้วย มลภาวะทางแสงที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบนิเวศสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ย่อมมีสาเหตุมาจากการออกแบบ (Design) หรือติดตั้ง (Fixture) หลอดไฟฟ้าหรือโคมไฟที่ไม่ได้มาตรฐานการใช้งาน หรือไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานไฟส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ มลภาวะหรือมลพิษทางแสงจึงถือเป็นภัยอันตรายต่อทั้งคน สัตว์ และสิ่งแวดล้อมนิเวศต่าง ๆ อาทิ การออกหากินของสัตว์ไม่เป็นไปตามปกติ การเจริญเติบโตของพืชไม่เป็นไปตามธรรมชาติเนื่องจากได้รับผลกระทบจากแสงที่ไม่เป็นไปตามธรรมชาติ (กลางวัน-กลางคืน)

ส่วนในวิถีเกษตรที่มีการใช้ไฟฟ้าในระบบปลูกพืชในรูปแบบใช้แสงไฟฟ้าเพื่อส่องสว่างพื้นที่ปลูกพืชหรือเพื่อสร้างแสงเพิ่มเติมในสภาพแวดล้อมที่มีแสงน้อยหรือไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ระบบนี้ใช้ไฟฟ้า

เพื่อเปิดหรือปิดไฟที่ติดอยู่บนโคมไฟหรือระบบส่องสว่างอื่น ๆ เพื่อสร้างแสงส่องให้พืชได้รับประโยชน์ อย่างไรก็ตาม การใช้ไฟฟ้าในการปลูกพืชในระบบดังกล่าวอาจมีผลกระทบต่อระบบนิเวศทางธรรมชาติ เนื่องจากการใช้แสงไฟฟ้ในระยะเวลาอาจส่งผลให้เกิดมลพิษทางแสงที่อาจมีผลกระทบต่อสัตว์ต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมเหล่านั้น อีกทั้งการใช้ไฟฟ้าในวิถีเกษตรดังกล่าวอาจส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของภูมิประเทศและระบบนิเวศ อาจมีผลกระทบต่อความสมดุลของอินทรีย์วัตถุในดินและระบบน้ำ รวมถึงคุณภาพและปริมาณน้ำในพื้นที่ใกล้เคียง ส่วนการเพาะเลี้ยงสัตว์ที่มีการใช้ระบบไฟส่องเพื่อสร้างแสงให้สัตว์ได้รับประโยชน์ ในระยะเวลาอาจมีผลกระทบต่อทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางแสงเมื่อมีการดูแลรักษาสัตว์ดังกล่าวด้วยแสงตลอดเวลา ในระยะเวลาอาจเพิ่มการปล่อยมลพิษทางแสงเข้าสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อสัตว์ที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้น อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในพฤติกรรมการเจริญเติบโตและกิจกรรมของสัตว์ ผลกระทบดังกล่าว อาทิ อาจมีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของสัตว์ อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สามารถส่งผลกระทบต่อความหลากหลายทางพันธุกรรมของสายพันธุ์นั้น ๆ อาจส่งผลให้เกิดความเครียดและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์ เนื่องจากระบบไฟส่องทางอาจสร้างการเปลี่ยนแปลงในระบบการนอนหลับและตื่นการออกหากินของสัตว์กลางคืน (Darksky, 2010) เป็นต้น

ตัวอย่างที่พอจะเทียบเคียงได้ถึงความคุ้มครองพันธุ์สัตว์จากการรบกวนต่าง ๆ ได้แก่ ในประเทศอเมริกามีข้อกำหนดกำหนดให้เจ้าหน้าที่รัฐบาลต้องพิจารณาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสัตว์ป่าที่อยู่ในสถานการณ์เสี่ยง หรือที่อาจได้รับการคุ้มครองภายใต้กฎหมาย (NOAA Fisheries, 1973) เป็นการป้องกันและคุ้มครองสัตว์จากกิจกรรมต่าง ๆ ที่ดำเนินไปในเขตรักษาพันธุ์ของสัตว์ป่า รวมถึงมลพิษทางแสงที่เป็นผลพวงมาจากการสะสมแสง หรือการส่องแสงที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สัตว์ป่าอาศัยอยู่หรือพฤติกรรมการดำเนินชีวิตของสัตว์ป่า

ส่วนในประเทศอังกฤษมีกฎหมายที่พยายามควบคุมอันตรายจากมลพิษทางแสงที่เกิดขึ้นในชุมชนครอบคลุมกรณีการละเมิดจากการก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญจากแสงในกฎหมาย โดยกฎหมายรักษาความสะอาดบริเวณพื้นที่ของเพื่อนบ้านและสิ่งแวดล้อม (Legislation.gov.uk., 2005) ที่นักวิชาการ Youyuenyong (2012) เห็นว่ากฎหมายของอังกฤษฉบับนี้จำเป็นต้องมีการปรับปรุงให้ผู้ใช้มีส่วนได้เสีย หรืออาจได้รับผลกระทบอันเนื่องมาจากมลภาวะทางแสง เช่น รัฐบาลอังกฤษ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น ผู้ผลิตหลอดไฟฟ้าและโคมไฟ ผู้ค้าปลีกอุปกรณ์ไฟฟ้า และประชาชน เป็นต้น ควรมีส่วนร่วมในการผลักดันและแก้ไขกฎหมายที่เกี่ยวข้องให้สามารถจัดและป้องกันมลภาวะทางแสงประเภทต่าง ๆ และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากมลภาวะทางแสงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

แนวคิดหลักที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมมลพิษทางแสงที่มีประสิทธิภาพ ได้มีสมาคมอนุรักษ์ท้องฟ้ามืดสากล (International Dark-Sky Association หรือ IDA) ที่เข้ามามีบทบาทสำคัญในการเริ่มต้นการแสวงหาการประสบความสำเร็จในการลดมลพิษทางแสง และส่งเสริมการอนุรักษ์แสงธรรมชาติในท้องฟ้ากลางคืน เป็นผู้ที่เริ่มค้นพบนำเสนอเพื่อชี้แจงปัญหา และผลกระทบของมลพิษทางแสง พร้อมกับแนะนำแนวทางแก้ไขในการลดมลพิษทางแสง เพื่อสนับสนุนงานวิจัยและการส่งเสริมการศึกษาเกี่ยวกับมลพิษทางแสง รวมถึงการสร้างตระหนักรู้ในประชาชนเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดจากแสง การประเมินผลของมลพิษทางแสง คือ ควรเน้นความสำคัญของการประเมินผลของมลพิษทางแสงต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ โดยมีการวิเคราะห์ผลกระทบทางสุขภาพและการตอบสนองของสัตว์น้ำและสัตว์ป่า จะถูกนำเสนอเพื่อให้มีการตัดสินใจที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่มีอยู่เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับนโยบายและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมมลพิษทางแสง แล้วจึงวางกรอบกฎหมายและนโยบายในการควบคุมมลพิษทางแสง อันเป็นการเสนอกรอบกฎหมายและนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการ

ควบคุมมลพิษทางแสง โดยรวมถึงการกำหนดกฎหมายที่ชัดเจนและนโยบายการใช้แสงในพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อลดปัญหามลพิษทางแสงที่เกิดขึ้น อันนำไปสู่การวางแผนทางและเครื่องมือในการดำเนินการควบคุมมลพิษทางแสงในภาคสนาม เช่น การออกแบบและการติดตั้งระบบสนับสนุนการใช้แสงอย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบหลอดไฟที่มีคุณสมบัติสำหรับลดมลพิษทางแสง เป็นต้น

สำหรับการเยียวยาความเสียหายอันเกิดจากมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันมักมีการเยียวยาผลร้ายอันเกิดจากผู้ก่อมลพิษทางสิ่งแวดล้อมโดยยึดหลัก “ผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย” (Polluter Pays Principle-PPP) เป็นหลักที่กำหนดว่าผู้ก่อมลพิษควรรับผิดชอบทางการเงินหรือการแก้ไขสภาพแวดล้อมที่เสื่อมโทรมโดยผลต่อกฎหมาย หลักนี้กำหนดว่าผู้ก่อมลพิษต้องรับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของตน และต้องรับผิดชอบต่อในการกำจัดมลพิษหรือแก้ไขสภาพแวดล้อมที่เสื่อมโทรม และรับผิดชอบต่อทางการเงินสำหรับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อเป็นการชดเชยสำหรับประชากรที่ได้รับผลกระทบจากมลพิษ หลักผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่ายนี้จึงมีความสำคัญในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมให้เกิดความยุติธรรม ทั้งยังส่งเสริมให้ผู้ก่อมลพิษมีความตระหนักรู้และรับผิดชอบต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของตนเอง โดยหลักนี้สามารถนำมาใช้ในการกำหนดค่าเสียหายทางสิ่งแวดล้อม การคืนค่าใช้จ่ายหรือการชดเชยให้กับผู้ที่ได้รับผลกระทบจากมลพิษ และส่งเสริมให้ผู้ก่อมลพิษดำเนินกิจกรรมที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมอย่างระมัดระวังและมีความรับผิดชอบต่อ (Munir, 2013)

### วิพากษ์สภาพปัญหาภารกิจส่วนท้องถิ่นในการตรากฎหมายเพื่อควบคุมดูแลสิ่งแวดล้อมจากการเกษตรที่ก่อมลพิษทางแสง

สำหรับการเกษตรที่ก่อมลพิษทางแสงในท้องถิ่น มีตัวอย่างปัญหาที่เกิดขึ้นแล้วที่จังหวัดเชียงใหม่ นายรุ่งหรือรัฐ ห้วยหน้าอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ กรม

อุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช กล่าวว่า “หลายพื้นที่บนดอยอินทนนท์ มีปัญหาเรื่องความสว่างที่มีมากและยาวนานเกินไป บางจุดสว่างตลอด 24 ชั่วโมง เพราะชาวบ้านที่ปลูกดอกเบญจมาศต้องใช้แสงสว่างเข้าไปในตัวต้นเบญจมาศ เพราะแสงสว่างมีผลต่อความสมบูรณ์ของดอกเบญจมาศ หากกลางวันยาวก้านดอกเบญจมาศจะยาวพอดี แต่หากกลางวันสั้นหรือเป็นไปตามธรรมชาติกลางวันแค่ 12 ชั่วโมง ดอกเบญจมาศจะบานและก้านจะสั้นทำให้ขายไม่ได้ราคา จึงต้องเพิ่มแสงให้สว่างตลอด 24 ชั่วโมง การกระทำดังกล่าว ทำให้พื้นที่บางจุดบนดอยอินทนนท์ สว่างเจิดจ้าตลอดเวลา เช่น ที่บริเวณกัวแม่ปานนั้น แสงสว่างบนดอยเพียงจุดเดียวไม่เกิน 100 ไร่ มีมากเท่ากับ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ ทั้งอำเภอโดยแสงส่วนใหญ่กระจุกขึ้นบนฟ้า ซึ่งเป็นความสูญเสียทางพลังงานโดยใช่เหตุ นอกจากนี้พฤติกรรมของสัตว์หลายชนิดเปลี่ยนไป เช่น ค้างคาว เกิดความสับสน บินไปบินมา จนหมดแรงร่วงลงมากกลางอากาศ สัตว์ที่ต้องหากินตอนกลางคืน ไม่มีที่หลบภัย หรือไม่ออกมาหากินเพราะความสว่าง ดอกไม้กลางคืนหลายชนิดไม่บาน ไม่ส่งกลิ่นและไม่ยอมออกดอก เหล่านี้เป็นเพียงตัวอย่างที่เห็นได้ง่าย ๆ แต่ผมเชื่อว่าหากเราได้เก็บข้อมูลและทำวิจัยจริงจังก็จะเห็นถึงความเสียหายจากเรื่องนี้มากขึ้น” (Prachachat, 2018)

ปัญหาดังกล่าวมีการนำเสนอข่าว เกี่ยวกับการปลูกดอกเบญจมาศในพื้นที่ดอยอินทนนท์ ที่ต้องปลูกในโคมพลาสติก และต้องเปิดไฟตอนกลางคืนเพื่อใช้แสง “หลอก” ต้นไม้วางเป็นเวลากลางวันอยู่เพื่อให้ก้านดอกนั้นยาว และผลิดอกได้มากขึ้น มีผลผลิตที่ดีขึ้น การเปิดไฟของเกษตรกร คือ การนำหลอดฟลูออเรสเซนต์มาเปิดในลักษณะไม่มีโคมไฟบังแสงที่ขึ้นสู่ด้านบน ปัจจุบันมีโครงการปรับเปลี่ยนหลอดไฟให้กับเกษตรกรฟรี โดยได้ทดลองใช้หลอดไฟแอลอีดีที่มีกำลังวัตต์ต่ำกว่า 3 เท่า ติดตั้งให้แสงส่องลงเฉพาะแปลงไม่กระจายแสงขึ้นท้องฟ้า ซึ่งผลที่ได้ก็คือ ประสิทธิภาพการผลิตไม่แตกต่างไปจาก

ตลอดเต็มได้ผลผลิตดีดั้งเดิม แต่สามารถประหยัดพลังงานมากกว่า 3 เท่า และเป็นการลดปริมาณแสงที่ส่องขึ้นท้องฟ้าได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ (Post Today, 2017)

ส่วนข้อกฎหมายเกี่ยวกับมลพิษทางแสงในระดับชาตินั้น ยังไม่มีความชัดเจนถึงการป้องกันและยับยั้งการใช้แสงอย่างผิดวิธี ผู้เขียนวิเคราะห์ว่าเนื่องจากผู้คนขาด “นิติสำนึก” (Legal consciousness) คนในประเทศยังมองไม่เห็นอันตรายที่มากับแสง จึงยังไม่ตระหนักถึงภัยของปัญหาจนถึงขั้นร่างบัญญัติเป็นกฎหมายที่จริงจังต่อการแก้ไขปัญหามลพิษทางแสง แนวทางการใช้กฎหมายนี้ยังรวมไปถึงการใช้ข้อบัญญัติท้องถิ่นในระดับเทศบาลหรือองค์การบริหารส่วนตำบลที่ในบางตำบล หรือบางเทศบาลมีการระบุถึงมลพิษทางแสงว่าเป็นภัยที่ต้องควบคุมจากการประกอบธุรกิจบางประเภทที่มีลักษณะคุ้มครองอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์เท่านั้น<sup>1</sup> แต่มีได้ระบุดังกล่าวไปว่ากิจกรรมการเกษตรที่ก่อภัยเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมทั้งพืชและสัตว์ ที่ได้รับผลกระทบจากมลพิษทางแสงนั้นจะได้มีมาตรการลงโทษ ชดใช้ หรือเยียวยาในระดับท้องถิ่นอย่างไร

คำตอบของคำถามนี้ คือ ปัจจุบันหน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่นจึงยังไม่จัดทำข้อกำหนดหรือวางมาตรการสำหรับการเกษตรที่ใช้หรือก่อให้เกิดแสงสว่างโดยจัดทำข้อบัญญัติท้องถิ่นหรือแผนบริหารจัดการแสงอันเกิดจากการเกษตรให้สอดคล้องกับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรโดยเฉพาะ ซึ่งมีความจำเป็นจะต้องริเริ่มจัดทำตั้งแต่ขั้นตอนการจำแนกประเภทพื้นที่ใช้งานแสงสว่างให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) การจำแนกพื้นที่ในลักษณะเช่นว่านี้รัฐบาลหน่วยงานของรัฐและท้องถิ่น ต้องจำแนกพื้นที่ให้สอดคล้องกับบริบทของวัตถุประสงค์การใช้ประโยชน์ที่ดิน

<sup>1</sup> อาทิเช่น เทศบัญญัติเทศบาลตำบลหนองหญ้าลาดว่าด้วยควบคุมกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พ.ศ. 2565 ข้อ 4 “มลพิษทางแสง” หมายความว่า สภาวะของแสงอันเกิดจากการประกอบกิจการของสถานประกอบกิจการที่ทำให้มีผลกระทบหรืออาจมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เทศบัญญัติเทศบาลตำบลโคกเคียน เรื่อง การควบคุมกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พ.ศ. 2563 ข้อ 4 “มลพิษทางแสง” หมายความว่า สภาวะของแสงอันเกิดจากการประกอบกิจการของสถานประกอบกิจการที่ทำให้มีผลกระทบหรืออาจมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

เพื่อกิจกรรมการเกษตรซึ่งมีความแตกต่างหลากหลายในแต่ละท้องถิ่น อาทิ บางท้องที่อยู่ติดป่า บางท้องที่อยู่ติดแม่น้ำบึงคลอง บางท้องที่เป็นเขตเมือง หรือบางท้องที่เป็นเรือสวนไร่นาบนพื้นที่ชนบทห่างไกล เป็นต้น โดยมุ่งคุ้มครองสิ่งแวดล้อมจากภัยอันเกิดจากการใช้แสงอันเกินทางการเกษตรที่มีบริบทความแตกต่างเชิงพื้นที่

เหตุที่มีความจำเป็นต้องตราข้อบัญญัติท้องถิ่นให้สอดคล้องกับบริบทดังกล่าวมานั้น เพราะหากมองในแง่วัตถุประสงค์ของการเป็นองค์ปกครองส่วนท้องถิ่นในประเทศเกษตรกรรม ผู้เขียนเห็นว่าหน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่นมีภารกิจที่สำคัญในงานด้านดูแลสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะสิ่งแวดล้อมที่อาจตกอยู่ในความเสียหายที่จะเสียหายจากธุรกิจทางการเกษตร ทั้งนี้ในภารกิจของแต่ละท้องถิ่นย่อมแตกต่างกันไปมีอัตลักษณ์ในการดำเนินงานแตกต่างกันไปตามแต่ละท้องที่ ซึ่งอาจต้องตราข้อบัญญัติท้องถิ่นในลักษณะแตกต่างกันไป บางท้องที่เป็นพื้นที่การเกษตรเป็นส่วนใหญ่ บางท้องที่งานท้องถิ่นมุ่งเน้นพัฒนางานด้านการท่องเที่ยวและศิลปวัฒนธรรม แต่ในบางท้องที่งานท้องถิ่นเป็นงานบริการ “คนเมือง” โดยเกี่ยวข้องกับวิถีทางการเกษตรเพียงเล็กน้อย และหากเป็นพื้นที่ที่ทำการเกษตรงานปกครองส่วนท้องถิ่นดังกล่าวมีภารกิจเชิงรุกในการส่งเสริมและสนับสนุนกิจกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ในวิถีทางกฎหมายขององค์ปกครองส่วนท้องถิ่นส่วนใหญ่แล้วยังถือว่าปฏิบัติหน้าที่ “ในเชิงตั้งรับ” พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 มาตรา 4 มิได้บัญญัติถึงมลพิษทางแสงไว้ในนิยามเป็นการเฉพาะ ทำให้การตรากฎระเบียบระดับท้องถิ่นยังคงมีปัญหาในทางปฏิบัติ ส่งผลให้วิถีการปฏิบัติเมื่อมีการตรากฎระเบียบ เกี่ยวกับการป้องกันและ

เทศบัญญัติเทศบาลตำบลคลองสวน เรื่อง ควบคุมกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พ.ศ. 2561 ข้อ 3 “มลพิษทางแสง” หมายความว่า สภาวะของแสงอันเกิดจากการประกอบกิจการ ของสถานประกอบกิจการที่ทำให้มีผลกระทบ หรืออาจมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของสาธารณชน เทศบัญญัติเทศบาลตำบลหนองไผ่ เรื่อง ควบคุมกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พ.ศ. 2562 ข้อ 5 “มลพิษทางแสง” หมายความว่า สภาวะของแสงอันเกิดจากการประกอบกิจการของ สถานประกอบกิจการ ที่ทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เป็นต้น

รักษาสภาพแวดล้อมในแต่ละท้องถิ่นจึงยังไม่มีอัตลักษณ์ในการตรากฎหมายใช้บังคับกับ “สิ่งแวดล้อมเฉพาะถิ่น” เป็นของตนเอง อาทิ กฎระเบียบบางประการถูกตราในลักษณะ “เลียนแบบ” (Copy) กฎหมายของท้องถิ่นอื่น อาทิ ท้องที่ของตนเองมีอัตลักษณ์ในการทำการเกษตรในรูปแบบหนึ่ง แต่กลับนำต้นแบบของเทศบาลจากท้องถิ่นอื่นมาเป็นต้นแบบในการร่างกฎหมาย การร่างกฎระเบียบในลักษณะนี้จึงมีลักษณะ “ผิดตัวผิดฝา” ขาดนิติสำนึกในการบัญญัติกฎหมายให้สอดคล้องกับอัตลักษณ์ของท้องถิ่นตน กล่าวคือ ผู้เขียนพบว่าเมื่อศึกษากฎระเบียบในการคุ้มครองระบบนิเวศในการประกอบกิจกรรมทางการเกษตร กฎระเบียบในท้องถิ่นต่าง ๆ ที่จำเป็นจะต้องร่างเพื่อควบคุมมลพิษ และรักษาสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมเฉพาะพื้นที่กลับไม่ได้มีการร่างขึ้นมาใช้ แต่ในทางกลับกันกฎระเบียบที่ควบคุมมลพิษอันไม่เกี่ยวข้องกับบริบททางพื้นที่ของตนกลับมีการระบุไว้ในข้อบัญญัติท้องถิ่น แต่ไม่ได้มีการใช้บังคับจริงในทางปฏิบัติ ข้อกฎหมาย หรือระเบียบที่สร้างขึ้น “ลือ” ต้นแบบท้องถิ่นอื่นตามกันมา โดยไม่มีอัตลักษณ์ของตน

สำหรับข้อกฎหมายเกี่ยวกับการบริหารจัดการมลพิษทางแสงที่อาจก่ออันตรายต่อ “มนุษย์” ปัจจุบันมีการกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียงโดยกำหนดเป็นกฎกระทรวง (Ministry of Labour, 2016) ภายใต้อำนาจพระราชบัญญัติ โดยสรุปข้อกำหนดในกฎกระทรวงนี้กำหนดให้นายจ้างต้องจัดให้สถานประกอบการมีความเข้มของแสงสว่างไม่ต่ำกว่ามาตรฐานที่อธิบดีประกาศกำหนด และนายจ้างต้องใช้หรือจัดให้มีฉาก แผ่นฟิล์มกรองแสง หรือมาตรการอื่นที่เหมาะสม และเพียงพอเพื่อป้องกันมิให้แสงตรงหรือแสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสงหรือดวงอาทิตย์ที่มีแสงจ้าส่องเข้านัยน์ตาลูกจ้างโดยตรงในขณะที่ทำงาน ในกรณีที่ไมอาจป้องกันได้ ต้องจัดให้ลูกจ้างสวมใส่อุปกรณ์ คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลตามที่กำหนด คือ ให้สวมใส่

แว่นตาลดแสงหรือกระบังหน้าลดแสงตลอดเวลาที่ทำงาน ส่วนในมาตรการควบคุมแสงในการประกอบการ กฎกระทรวงได้กำหนดให้นายจ้างต้องจัดให้มีการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียงภายในสถานประกอบการตลอดจนให้นายจ้างจัดให้มีการตรวจสุขภาพลูกจ้างที่ทำงานในสภาวะการทำงานที่อาจได้รับอันตรายจากความร้อน แสงสว่าง หรือเสียง และรายงานผล รวมทั้งดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสุขภาพของลูกจ้างตามพระราชบัญญัติความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้น การคุ้มครองประชาชนในภาคแรงงานได้มีการกำหนดค่าของแสงที่เป็นอันตรายโดยเฉพาะกิจกรรมของ “แรงงาน” ด้านต่าง ๆ ในประเทศไทยมีการตราประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง พ.ศ. 2561 เพื่อกำหนด “ความเข้มของแสงสว่าง” หมายถึง ปริมาณแสงที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร ซึ่งในประกาศนี้ใช้หน่วยความเข้มของแสงสว่างเป็นลักซ์ (lux) โดยนายจ้างต้องจัดให้สถานประกอบการมีความเข้มของแสงสว่างไม่ต่ำกว่ามาตรฐานตามประกาศนี้ (Department of Labour Protection and Welfare, 2018) อย่างไรก็ตามประกาศนี้เพียงกำหนดมาตรฐานที่เป็นอันตรายต่อการประกอบการธุรกิจอันมีลักษณะอุตสาหกรรม หรือเป็นงานในเมือง แต่ไม่ได้บัญญัติครอบคลุมไปถึงกิจกรรมทางการเกษตรแต่ประการใด

ในการดูแลสุขภาพอันมีที่มาจากเหตุเดือตร้อน รังสีความร้อนและอันตรายจากกิจกรรมที่เป็นอันตราย โดยเฉพาะมลพิษจากแสง กฎหมายที่ให้อำนาจรัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขประกาศกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ คือ พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 มีการระบุเฉพาะเหตุร้ายกาจที่เจ้าหน้าที่ท้องถิ่นสามารถเข้าระงับเหตุได้ (Department of Health, Ministry of Public Health, 1992) ท้ายที่สุดเจ้าพนักงานท้องถิ่น เจ้าพนักงานสาธารณสุข หรือผู้ได้รับการแต่งตั้งจาก

เจ้าพนักงานท้องถิ่นก็จะใช้ปฏิบัติการและใช้อำนาจระงับเหตุรำคาญด้วยการออกคำสั่งให้นำแก้ไขเหตุรำคาญจากแสงประดิษฐ์ ซึ่งถ้าผู้ก่อเหตุรำคาญดังกล่าวไม่ยอมดำเนินการแก้ไขเหตุรำคาญดังกล่าว ก็ต้องออกคำสั่งทางปกครองและแจ้งสิทธิอุทธรณ์คำสั่งทางปกครองให้กับผู้ก่อเหตุรำคาญดังกล่าว หากผู้ก่อเหตุรำคาญจากแสงประดิษฐ์ไม่ยอมปฏิบัติตามคำสั่งทางปกครองหรือยังไม่ได้ปรับแก้ไขแหล่งกำเนิดแสงในลักษณะที่ระงับยับยั้งการก่อเหตุรำคาญจากแสงประดิษฐ์ เจ้าพนักงานที่เกี่ยวข้องอาจใช้อำนาจเปรียบเทียบปรับและดำเนินคดีต่อไป ส่วนข้อกฎหมายเกี่ยวกับกิจการอันก่อให้เกิดมลพิษทางแสงมีการประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่องกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พ.ศ. 2558 ซึ่งแม้จะมีการระบุถึงกิจการต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และมีกิจกรรมการเกษตรบางประการที่ถูกระงับไว้ แต่ไม่ได้มีการระบุถึงกิจกรรมการเกษตรที่มีลักษณะก่อให้เกิดอันตรายจากแสง หรือก่อมลพิษทางแสงโดยตรง (Department of Health, Ministry of Public Health, 2015) ซึ่งก็ถือว่าเป็นการคุ้มครองสุขภาพประชาชนจากกิจการที่ได้มีการประกาศไว้แล้วเท่านั้น กล่าวโดยสรุปในประเด็นนี้ผู้ร่างกฎหมายมิได้มีเจตนารมณ์คุ้มครองสุขภาพมากเกินไปกว่าที่ได้ประกาศไว้ การประกาศประเภทกิจการที่เป็นอันตรายดังกล่าว ในทางตรงกันข้ามจึงหมายถึงหากกิจการใดมิได้ถูกกล่าวถึงก็จะมีได้รับการคุ้มครองตามกฎหมายข้างต้นหรือไม่? ทั้งความเสียหายที่เกิดต่อพืช สัตว์ หรือสิ่งแวดล้อมก็มิได้ถูกคุ้มครองไว้โดยตรงเช่นกันในกฎหมายดังกล่าว

ผู้เขียนเห็นว่ากฎหมายไทยที่บัญญัติเกี่ยวกับมลพิษทางแสงแม้จะมีการบัญญัติคุ้มครองไว้ แต่ก็เป็นการคุ้มครองเฉพาะมนุษย์ และคุ้มครองมนุษย์เพียงบางกิจกรรม หรือในการทำงานในบางประเภทเท่านั้น หากได้คุ้มครองไปถึงสภาพแวดล้อมหรือระบบนิเวศไม่ ปัญหานี้จึงสามารถสรุปได้ว่านิติสำนักของผู้คนในชาติยังไม่ตระหนักถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นในระยะยาวต่อสิ่งแวดล้อมและการทำการเกษตรก่อแสงแม้ก่อมลพิษต่อระบบนิเวศ แต่ก็ยังไม่เห็นว่าเป็นเรื่องสำคัญจนถึงขั้นบัญญัติกฎหมาย

หรือมีแนวนโยบายจริงจังสำหรับบริหารจัดการปัญหาในอนาคตจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาโมเดลข้อบัญญัติท้องถิ่นเพื่อควบคุมกิจกรรมทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดมลพิษทางแสงเพื่อป้องกัน และแก้ไขปัญหามาประเทศไทยไม่มีการกำหนดบทบัญญัติว่าด้วยการจัดการเหตุรำคาญจากการใช้งานแสงประดิษฐ์เอาไว้เป็นการเฉพาะหรืออาจเรียกว่าไม่มีการกำหนดบทบัญญัติเอาไว้เป็นพิเศษในระบบกฎหมายไทยแต่ประการใด จึงควรมีบทบัญญัติของรัฐที่ถือว่าการกระทำดังกล่าวเป็นความผิดทั้งต่อชีวิต ร่างกาย อนามัย หรือทรัพย์สิน ของประชาชน (Youyuenyong, 2019)

อย่างไรก็ตามผู้เขียนเห็นว่าการบัญญัติกฎหมายเพื่อแก้ไขปัญหามลพิษทางแสงจากกิจกรรมทางการเกษตรทั้งในระดับชาติและระดับท้องถิ่น กว่าจะสำเร็จลุล่วงได้อาจมีกระบวนการยุ่งยากซับซ้อนใช้เวลานาน อาจไม่ทันต่อการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษในระยะสั้น เมื่อพิจารณาถึงทิศทางออกของปัญหานี้ผู้เขียนเห็นว่าชุมชนและท้องถิ่นสามารถใช้บทบัญญัติรัฐธรรมนูญพุทธศักราช 2560 แก้ไขปัญหาไปพลางได้ โดยมาตรา 43 ความว่า “บุคคลและชุมชนย่อมมีสิทธิ

(1) อนุรักษ์ ฟื้นฟู หรือส่งเสริมภูมิปัญญา ศิลปวัฒนธรรม ขนบธรรมเนียม และจารีตประเพณี อันดีงามทั้งของท้องถิ่นและของชาติ

(2) จัดการบำรุงรักษาและใช้ประโยชน์จากทรัพยากร ธรรมชาติ สิ่งแวดล้อม และความหลากหลายทางชีวภาพอย่างสมดุลและยั่งยืน ตามวิธีการที่กฎหมายบัญญัติ

(3) เข้าชื่อกันเพื่อเสนอแนะต่อหน่วยงานของรัฐให้ดำเนินการใดอันจะเป็นประโยชน์ต่อประชาชนหรือชุมชนหรืองดเว้นการดำเนินการใด อันจะกระทบต่อความเป็นอยู่อย่างสงบสุขของประชาชนหรือชุมชน และได้รับแจ้งผลการพิจารณาโดยรวดเร็ว ทั้งนี้ หน่วยงานของรัฐต้องพิจารณาข้อเสนอแนะนั้นโดยให้ประชาชนที่เกี่ยวข้องมีส่วนร่วมในการพิจารณาด้วย ตามวิธีการที่กฎหมายบัญญัติ

(4) รัฐจัดให้มีระบบสวัสดิการของชุมชน สิทธิของบุคคลและชุมชนตาม (1) ถึง (4) หมายความว่ารวมถึงสิทธิที่จะร่วมกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหรือรัฐในการดำเนินการ ดังกล่าวได้ด้วย” (The Secretariat of The Senate, 2017)

การที่ผู้เขียนวิพากษ์ถึงบทบัญญัติรัฐธรรมนูญดังกล่าวนี้ เพื่อเป็นการอาศัยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนในการออกแบบกติกาการดำเนินการทางการเกษตรสำหรับแต่ละท้องถิ่น ซึ่งอาจเป็นส่วนหนึ่งในการบรรเทาสภาพปัญหาในระหว่างการพัฒนาโมเดลกฎหมายเพื่อป้องกัน และแก้ไขปัญหาที่กำลังดำเนินไป ควบคู่กับการแก้ไขปัญหาของภาครัฐ ซึ่งตัวอย่างที่เป็นรูปธรรมในกรณีนี้คือ การที่ผู้เขียนได้มีโอกาสเข้าไปมีส่วนร่วมในการจัดทำประชาคมท้องถิ่นให้กับกลุ่มชาวบ้านเกี่ยวกับการใช้พื้นที่ป่าชุมชน และอยู่ร่วมกับระบบนิเวศของป่าได้อย่างยั่งยืน พื้นที่ตำบลบ้านสาง อำเภอมะนัง จังหวัดยะลา เนื่องจากเดิมเกิดสภาพปัญหาการบุกรุก และใช้ประโยชน์จากพื้นที่ป่าชุมชนในลักษณะทำลายสิ่งแวดล้อมของชาวบ้านโดยยังไม่มียกติกายอมรับได้จากทุกฝ่าย ผู้เขียนจึงได้ทำการประชุมประชาคมผู้เกี่ยวข้อง อาทิ นายกองการบริหารส่วนตำบลบ้านสาง สมาชิกสภาตำบลกำนันผู้ใหญ่บ้าน สมาชิกป่าชุมชนบ้านสาง ตลอดจนชาวบ้านผู้เกี่ยวข้อง เพื่อระดมความคิดเห็นสู่การแก้ไขปัญหาการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ป่าชุมชนอย่างเหมาะสมและยั่งยืน โดยทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องได้เสนอแนะวิถีประชาที่สามารถยอมรับร่วมกันได้เกี่ยวกับการใช้พื้นที่ป่าชุมชนโดยไม่กระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวม ทั้งได้กำหนดบทลงโทษหากมีผู้ฝ่าฝืนสัญญาประชาคม ซึ่งแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้เป็น “สัญญาของชาวบ้าน โดยชาวบ้านและเพื่อชาวบ้าน” การร่างสัญญาประชาคมในที่นี้ผู้เขียนใช้แนวทางการมีส่วนร่วมของประชาชนภายใต้รัฐธรรมนูญที่รับรองสิทธิการรวมตัวกันของประชาคมเพื่อบริหารจัดการพื้นที่ และดำเนินวิถีประชาภายใต้กรอบ

ของกฎหมาย ถือเป็นการส่งเสริมให้ประชาชนเป็นศูนย์กลางของการเมืองการปกครองบูรณาการภาคประชาสังคมและภาครัฐในลักษณะ “รัฐสัญญาประชาคม” (Sasisuwan, 2023) ซึ่งอาจเป็นแบบอย่างสำหรับการแก้ไขปัญหามลพิษทางแสงจากการเกษตรในอนาคตได้

## บทสรุป

โดยสรุปสภาพปัญหาการเขียนกฎหมายท้องถิ่นเกี่ยวกับการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมและสวัสดิภาพของชุมชนยังมีลักษณะการเขียนแบบ “แยกส่วน” หรือ “แยกเรื่อง” ในการเขียน กล่าวคือ ไม่มีความเป็นเอกภาพในการกล่าวถึงประเด็นที่ต้องการจะคุ้มครองกรณี จึงเป็นไปในการทำว่าเมื่อเกิดปัญหาขึ้นมาจึงเขียนกฎหมายขึ้นมาครั้งหนึ่ง แต่กลับมิได้มองภาพรวมหรือบูรณาการปัญหาตั้งแต่ต้นจนจบ อาทิ พระราชบัญญัติความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 คุ้มครองเฉพาะบุคคลผู้ได้รับอันตรายจากการทำงาน หรือพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ก็เป็นการคุ้มครองประชาชนจากอันตรายจากเหตุอันตรายจากการประกอบกิจกรรมที่อาจเป็นอันตรายเพียงกิจกรรมทั่วไปเท่านั้น เมื่อกกล่าวถึงการกำหนดบทบัญญัติว่าด้วยการจัดการเหตุรำคาญจากการใช้งานแสงประดิษฐ์เป็นการเฉพาะ ประเทศไทยไม่ได้มีการกำหนดบทบัญญัติว่าด้วยการจัดการเหตุรำคาญจากการใช้งานแสงประดิษฐ์เอาไว้เป็นการเฉพาะหรืออาจเรียกว่าไม่มีกำหนดบทบัญญัติเอาไว้เป็นพิเศษในระบบกฎหมายไทยแต่ประการใด จึงควรมีบทบัญญัติของรัฐที่ถือว่าการกระทำความดังกล่าวเป็นความผิดทั้งต่อชีวิต ร่างกาย อนามัย ทรัพย์สิน ของประชาชน ทั้งประเด็นเกี่ยวกับปัญหาการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมตามบทความนี้ก็มีได้มีกฎหมายบัญญัติคุ้มครองไปถึงสัตว์หรือระบบนิเวศ (Ecosystem) และสิ่งแวดล้อมเป็นการเฉพาะดังกล่าวแล้วข้างต้น

### ข้อเสนอสำหรับการพัฒนาโมเดลข้อบัญญัติท้องถิ่นเพื่อควบคุมกิจกรรมทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดมลพิษทางแสง

จากการวิพากษ์ถึงสภาพปัญหาดังกล่าว ผู้เขียนมีความเห็นว่าในอนาคตการบัญญัติข้อกฎหมายในระดับท้องถิ่นจำเป็นที่จะต้องเข้มงวดถึงการบริหารจัดการการใช้แสงในการเกษตร ผู้เขียนจึงมีข้อเสนอรูปแบบข้อบัญญัติท้องถิ่นที่เหมาะสมเกี่ยวกับปัญหาดังกล่าว ดังนี้

1. เริ่มจากกฎหมายในระดับชาติควรมีการนิยามคำว่า “มลพิษทางแสงจากการเกษตร” (กำหนดลักษณะการใช้แสงที่พึงประสงค์) ใหม่ทั้งในกฎหมายระดับพระราชบัญญัติ และควรบัญญัติกฎหมายท้องถิ่นให้สอดคล้องต้องกัน ซึ่งต้องเปิดช่องทางมอบหมายอำนาจให้พนักงานฝ่ายท้องถิ่นสามารถกำหนดขอบเขตการใช้แสงในแต่ละท้องถิ่นที่ได้โดยบูรณาการศาสตร์ ทั้งนิติศาสตร์ นักวิชาการเกษตร และนักวิชาการด้านสุขภาพเข้ามาร่วมกันนิยามความหมาย ภัยหรือมลพิษทางแสง ของแต่ละท้องถิ่น เพื่อจำกัดนิยามและออกแบบกติการ่วมกันในการดำเนินการกับความรับผิดชอบธุรกิจการเกษตรที่มีแนวโน้มในการปล่อยมลพิษทางแสงในอนาคตว่าควรมีลักษณะอย่างไร และอย่างไรถือว่าเป็นมลพิษทางแสงอย่างไรจึงถือว่าไม่เป็นมลพิษทางแสง เป็นต้น

2. มีการร่วมจัดทำแผนบริหารจัดการความเสี่ยงอันเกิดจากมลพิษทางแสงในแต่ละท้องถิ่น ให้สอดคล้องกับกฎหมายหรือกติกาที่จัดทำขึ้น และมีการประเมินผลอย่างสม่ำเสมอ ในการตรวจประเมินควรตราในลักษณะกำหนดว่าการกระทำใดถือว่าเป็นอันตรายเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่อย่างไร เมื่อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานแล้ว จึงระบุข้อห้ามและการควบคุม ตลอดจนวิธีการเข้าตรวจสอบ ตกเตือน การจัดการปัญหาหรือวิกฤตเบื้องต้นโดยเจ้าหน้าที่ จะทำให้แก้ปัญหาล้างแวล้อมได้อย่างทันท่วงที

3. ควรมีการกำหนดค่ามาตรฐานของแสงที่ก่อให้เกิดภัยอันตราย โดยเฉพาะในธุรกิจการเกษตร หรือมีการจำแนกพื้นที่ทางการเกษตร ซึ่งแต่ละท้องถิ่นอาจมีการกำหนดค่ามาตรฐานของแสงที่แตกต่างกันไปได้

เนื่องจากบริบทของท้องถิ่นในแต่ละท้องถิ่นนั้นแตกต่างกัน บางท้องถิ่นอาจต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของคนเป็นสำคัญ บางท้องถิ่นอาจปลอดภัยแต่อาจต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของสัตว์ (สัตว์ป่า) หรือพันธุ์พืชป่าเป็นสำคัญ ดังนั้น ค่ามาตรฐานของแสงที่กำหนดในข้อบัญญัติท้องถิ่นนั้น ควรแตกต่างหลากหลายไปตามสภาพแวดล้อมของแต่ละท้องถิ่น และนักกฎหมายหรือนิติกรท้องถิ่นจะต้องได้รับการอบรมประเด็นเกี่ยวกับการตรากฎหมายให้สอดคล้องกับวิถีท้องถิ่นของตน มิใช่ตราโดยลอกเลียนแบบจากท้องถิ่นอื่นมา

4. ควรมีช่องทางตามกฎหมายท้องถิ่นสำหรับร้องทุกข์ ตลอดจนระบุวิธีการเยียวยาและวิถีทางในการบำบัดป้องกันมลพิษทางแสงจากการเกษตรเบื้องต้น เพื่อให้เจ้าหน้าที่ท้องถิ่นสามารถเข้าไปดำเนินการระงับยับยั้งภัยอันเกิดจากมลพิษทางแสงได้อย่างทันท่วงที และมีประสิทธิภาพ

5. ควรมีการระบุโทษ ค่าปรับ ค่าใช้จ่าย ตลอดจนค่าธรรมเนียมสำหรับธุรกิจการเกษตรที่มีการก่อมลพิษทางแสง รวมถึงค่าใช้จ่ายเพื่อฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกิจกรรมทางการเกษตรที่ก่อมลพิษทางแสง โดยถือหลัก “ผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย” (Polluter Pays Principle - PPP) เพื่อสมทบให้ท้องถิ่นสามารถนำค่าใช้จ่ายส่วนนี้ไปบูรณะซ่อมแซมแก้ไขเยียวยาความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการก่อมลพิษทางแสงในการเกษตรในอนาคต

6. ควรมีการตรากฎระเบียบในลักษณะขึ้นทะเบียนเกษตรกรในท้องถิ่นที่มีลักษณะเสี่ยงที่จะก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรือชุมชน เพื่อง่ายต่อการควบคุมและการบริหารจัดการในอนาคต

7. เพื่อเป็นการเสริมสร้างสิทธิชุมชน และเป็นการสร้างกติการ่วมกันระหว่างประชาชนในท้องถิ่นโดยอาศัยตามรัฐธรรมนูญ พุทธศักราช 2560 ซึ่งให้อำนาจประชาชนกำหนดวิถีชีวิตของตน นอกเหนือจากกฎหมายบ้านเมืองที่ท้องถิ่นจะต้องเป็นฝ่ายริเริ่มดังกล่าวมาแล้ว ควรมีการเริ่มจัดทำประชาคมเกษตรกรท้องถิ่นในพื้นที่ โดยการสนับสนุนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เพื่อไว้ใช้

เป็นพื้นที่ในการเสนอแนะสภาพปัญหา ประชุมทำความเข้าใจ ออกแบบกติการ่วมกันประชาสัมพันธ์กฎระเบียบ ตลอดจนเป็นพื้นที่ทำความเข้าใจความตกลงระหว่างเกษตรกรและผู้ประกอบการแบบครบวงจร ผู้เขียนเห็นว่าการทำประชาคมในลักษณะนี้จะมีประสิทธิภาพในการป้องกันและระงับยับยั้งภัยอันเกิดจากมลพิษทางการเกษตรได้

8. เมื่อมีการสร้างประชาคมตามสิทธิชุมชนในแต่ละท้องที่ตามข้อที่แล้ว ในการตรากฎระเบียบท้องถิ่นมักประสบปัญหา คือ ประชาชนเข้าไม่ถึงกฎหมาย ไม่เข้าใจสาระสำคัญที่ผู้บริหารท้องถิ่นได้บัญญัติขึ้น ดังนั้นนอกจากมีการประกาศ ณ เทศบาลหรือประกาศตามกฎหมายแล้ว จำเป็นที่หน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น จะต้องมีการเรียกประชุมประชาคม แกนนำ หรือเกษตรกรผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง เพื่อทำความเข้าใจถึงกฎระเบียบที่ตราขึ้นเป็นการสื่อสารอย่างสร้างสรรค์ แน่ใจว่าโดยหลักแล้วประชาชนจะอ้างความไม่รู้กฎหมายเพื่อพ้นความรับผิดชอบไม่ได้ แต่ในโลกยุคใหม่การตรากฎระเบียบและการใช้กฎหมายจำเป็นที่จะต้องเชื่อมโยงกับสังคมตามแนวคิด “นิติศาสตร์เพื่อสังคม” ทั้งรัฐและภาคประชาสังคมไม่ควรแยกต่างหากจากกัน การสร้างกฎระเบียบต่าง ๆ ไม่ควรเป็นในทำนองสั่งการจากรัฐสู่ประชาชนแบบ “แนวตั้ง” แต่ควรเกิดจากพื้นฐานการทำประชาคม และการทำความเข้าใจยอมรับกฎระเบียบจากประชาคม จึงจะเป็นกฎระเบียบที่สร้างสรรค์และใช้บังคับได้จริง

9. ในอนาคตจำเป็นต้องมีการทำวิจัยเกี่ยวกับประเด็นนี้เพิ่มเติม เพื่อพัฒนาเครื่องมือในการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะประเด็นมลพิษทางแสงจากการเกษตรให้มีความรัดกุมเข้มงวดสามารถเป็นเครื่องมือในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

ในการใช้กฎหมายเพื่อสังคมแน่นอนว่านักนิติศาสตร์จะต้องคิดให้ล้าหน้าก้าวไกลสู่นาคต บางครั้งนักนิติศาสตร์จำเป็นต้องวิเคราะห์ทำนายปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ความพยายามของผู้เขียนในบทความนี้ก็เช่นกัน ผู้เขียนพยายามสื่อสารไปถึงสังคมโดยเฉพาะ

สังคมผู้ประกอบการกิจการเกษตร และผู้บริหารท้องถิ่นให้ตระหนักถึงภัยปัญหาที่มากับภาวะการใช้แสงอย่างสิ้นเกินเป็นอันตรายต่อมนุษย์ และก้าวไกลไปถึงก่อให้เกิดมลพิษต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม เป็นการกระตุ้นเตือนให้ภาคประชาสังคมหันมาสนใจปัญหาการก่อมลพิษทางแสงอย่างจริงจัง ทำให้ผู้อ่านเห็นซึ่งถึงปัญหาในลักษณะชี้ให้เห็นปัญหาที่กำลังจะเกิดในอนาคต และผู้เขียนได้เสนอแนะทางออกของปัญหา

### กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ ผู้เขียนได้รวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยได้รับความกรุณาข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติเทพ อยู่ยืนยง คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ นักวิชาการผู้ทุ่มเทให้กับงานวิชาการกฎหมายเกี่ยวกับมลพิษทางแสงของประเทศไทย

### เอกสารอ้างอิง

- Darksky. 2010. **Light pollution harms wildlife and ecosystems.** [Online]. Available <https://www.darksky.org/light-pollution/wildlife/> (June 13, 2023).
- Department of Health, Ministry of Public Health 1992. **Act Public Health.** Bangkok: Department of Health, Ministry of Public Health. 33 p. [in Thai]
- Department of Labour Protection and Welfare. 2018. **Notification of the Department of Labour Protection and Welfare Re: Lighting Intensity Standard, 2018.** Bangkok: Department of Labour Protection and Welfare. 7 p. [in Thai]

- Department of Health, Ministry of Public Health. 2015. **Notification of the Ministry of Public Health on Hazardous to Health, 2015**. Bangkok: Department of Health, Ministry of Public Health. 8 p. [in Thai]
- Legislation.gov.uk. 2005. **Clean Neighborhoods and Environment Act, 2005**. [Online]. Available. <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2005/16/contents> (June 19, 2023).
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2021. **Ministry of Agriculture and Cooperatives Propel "Creative Agriculture" Adds Value to Build Agricultural Products Brands**. [Online]. Available <https://www.moac.go.th/news-preview-431091792392>. (June 19, 2023). [in Thai]
- Ministry of Labour. 2016. **The Ministerial Regulation Sets Standards for the Administration, Management and Operation of Safety: Occupational Health and Working Environment on Heat, Lighting and Noise, 2016**. Bangkok: Ministry of Labour. 29 p. [in Thai]
- Munir, M. 2013. **History and evolution of the polluter pays principle: How an economic idea became a legal principle?**. [Online]. Available [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2322485](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2322485) (June 19, 2023).
- NOAA Fisheries. 1973. **Endangered Species Act, 1973**. [Online]. Available. <https://www.fisheries.noaa.gov/national/endangered-species-conservation/endangered-species-act> (June 19, 2023).
- Post Today. 2017. **Light pollution, a threat we never knew about**. [Online]. Available <https://www.posttoday.com/lifestyle/528675> (June 20, 2023). [in Thai]
- Pracha chat. 2018. **Light crisis...Doi Inthanon follows the needs of Fa Sawang 24 hours a day: the bat is dizzy and can't go anywhere!**. [Online]. Available <https://www.prachachat.net/general/news-118733> (October 10, 2023). [in Thai]
- Sasisuwan, P. 2020. Analysis of Law Enforcement to Breaking the Trouble of Air Pollution in Chiang Rai Province. pp. 49-60. *In Proceedings of the 2 Law CMU national Conference "Re – Imaging Thai Legal Landscape"*. Chiang Mai: Chiang Mai University. [in Thai]
- \_\_\_\_\_. 2023. The Transition of Experienced Socio-legal Services to Law for Environment. pp. 392-405. *In The 3rd National and 1st International Academic Conference*. Phrae: Maejo University Phare Campus. [in Thai]
- The Secretariat of The Senate. 2017. **Constitution, 2017**. Bangkok: The Secretariat of The Senate. 99 p. [in Thai]

Youyuenyong, P. 2012. Legal problems related to light pollution in England. **Journal of Environmental Management** 8(1): 79-94. [in Thai]

\_\_\_\_\_. 2013. Illumination technology and light pollution law. **Panyapiwat Journal** 5(1): 171. [in Thai]

\_\_\_\_\_. 2014. Light pollution control awareness in Japan. **Thammasat Journal of Japanese Studies** 31(2): 53. [in Thai]

\_\_\_\_\_. 2019. **Legal Measures for Controlling Light Pollution**. 118 p. *In* Research Report. Chiang Mai: Chiang Mai University. [in Thai]

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร เป็นวารสารราย 4 เดือน กำหนดออกปีละ 3 ฉบับ โดยเริ่มฉบับที่ 1 ในเดือนมกราคม ฉบับที่ 2 ในเดือนพฤษภาคม และฉบับที่ 3 ในเดือนกันยายน มีจุดประสงค์หลักเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ และองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตรทั่วประเทศ โดยมีการเผยแพร่ออนไลน์ (Journal Online) ในรูปวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (E-ISSN 2630-0206) สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตร เรื่องที่จะตีพิมพ์ในวารสาร นอกจากบทความวิจัยแล้ว บทความทางวิชาการอื่น ๆ ที่เป็นการแสดงความคิดเห็นใหม่ หรือสมมุติฐานใหม่ที่มีหลักฐานอ้างอิง หรือเป็นการแสดงความคิดเห็นอย่างกว้างขวางหรือลึกซึ้งในสาขาวิชาการใดสาขาวิชาการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร หรือเป็นการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ก็มีสิทธิ์ได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องกับบทความนั้น ๆ อย่างน้อย 3 ท่าน พิจารณาให้ลงตีพิมพ์ได้เช่นเดียวกัน

## การเตรียมต้นฉบับ

1. **ต้นฉบับ** เผยแพร่บทความเป็นภาษาไทย โดยใช้ตัวอักษร TH Sarabun NEW ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา ในส่วนของหัวข้อเรื่อง และขนาดตัวอักษร 15 ตัวปกติ ในส่วนของเนื้อหา พิมพ์หน้าเดียว เว้นขอบทั้ง 4 ด้าน 1 นิ้ว (2.5 ซม.) พร้อมระบุเลขหน้า ความยาวของเนื้อเรื่อง รวมรูปภาพ ตาราง และเอกสารอ้างอิงต้องไม่เกิน 10 หน้า
2. **ชื่อเรื่อง** ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกระชับและตรงกับเนื้อเรื่อง ขนาดตัวอักษร 18 ตัวหนา
3. **ชื่อผู้แต่ง และสถานที่ติดต่อ** ต้องมีชื่อเต็ม-นามสกุลเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 15 ตัวหนา และระบุหน่วยงานหรือสถาบันที่สังกัด ของผู้แต่งหลักและผู้แต่งร่วมทุกคน และ E-mail address ของผู้แต่งหลักไว้ด้วย ขนาดตัวอักษร 12 ตัวปกติ
4. **บทคัดย่อ (Abstract)** บทความวิจัย/บทความทางวิชาการอื่น ๆ จะต้องมีย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด โดยเขียนให้กะทัดรัด ตรงประเด็น และให้สาระสำคัญ
5. **คำสำคัญ (Keywords)** ต้องมีคำสำคัญทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา อย่างละไม่เกิน 5 คำ
6. **เนื้อเรื่อง**

- (1) **คำนำ** อธิบายความสำคัญของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการวิจัย อาจรวมการตรวจเอกสารเข้าไว้ด้วย ในการอ้างอิงเอกสารให้เขียนชื่อผู้แต่ง และปีที่ตีพิมพ์ อยู่ในวงเล็บเดียวกัน หรือเขียนชื่อผู้แต่ง แล้วเขียนปีที่ตีพิมพ์ ไว้ในวงเล็บแล้วแต่กรณี **เฉพาะภาษาอังกฤษ** ดังนี้ “.....โรคใบหงิกมีพบทั่วไปในประเทศบังคลาเทศ จีน อินเดีย อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา ไต้หวัน ไทย (Boccardo and Milne, 1984; Ling *et al.*, 1978) ในประเทศไทยนั้น นอกจากก่อความเสียหายกับข้าวปลูกทั้งชนิด Japonica และ Indica (*Oryza sativa*) พันธุ์ต่างๆ แล้ว Thawat (2001) ยังพบว่า ทำความเสียหายได้กับข้าวไร่และข้าวป่าต่างๆ.....”
- (2) **อุปกรณ์และวิธีการ/วิธีดำเนินการวิจัย** อธิบายเครื่องมือ พร้อมระบุวิธีการวิจัย วิธีการเก็บข้อมูล ระยะเวลาและปีที่ทำการวิจัย รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ให้บรรยายโดยสรุปและไม่จำเป็นต้องระบุวิธีการที่เป็นที่รู้จักทั่วไป
- (3) **ผลการวิจัย** ไม่จำเป็นต้องแสดงวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ แต่ให้เสนอในรูปแบบของตาราง และรูปภาพโดยสรุปหลังจากวิเคราะห์ทางสถิติแล้ว ทั้งนี้ **คำอธิบายและรายละเอียดต่าง ๆ ของตารางและรูปภาพ ต้องเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น** โดยมีความชัดเจน กะทัดรัด และมีหมายเลขกำกับด้านบนของตารางและด้านล่างของรูปภาพ และเมื่ออ้างอิงในเนื้อหาให้ใช้เป็นคำว่า Table และ Figure
- (4) **การวิจารณ์ผล การสรุปผล และข้อเสนอแนะ** ควรวิจารณ์ผลการวิจัยพร้อมทั้งสรุปประเด็น และสาระสำคัญของงานวิจัย หรือให้ข้อเสนอแนะบนพื้นฐานของผลการวิจัย

**หมายเหตุ:** หน่วยวัดตามระบบต่างๆ ให้ใช้ตัวย่อตามมาตรฐานในการเขียนที่กำหนดไว้ เช่น เซนติเมตร = ซม. ตารางเมตร = ตร.ม. มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม = มก./กก. แต่ถ้าเป็นหน่วยวัดที่มีพยางค์เดียวให้ใช้คำเต็มตามปกติ เช่น เมตร กรัม ลิตร

7. **กิตติกรรมประกาศ** เพื่อแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ทุนวิจัย หรือผู้ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิจัย
8. **เอกสารอ้างอิง** รายชื่อเอกสารที่ใช้เป็นหลักในการค้นคว้าวิจัยและมีการอ้างถึงในเนื้อหา **ต้องแสดงเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น กรณีที่อ้างอิงจากเอกสารภาษาไทยหรือภาษาอื่นๆ ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษ โดยมีวงเล็บกำกับท้ายเอกสาร [in Thai]** หรือภาษาอื่นๆ ตามคำแนะนำวิธีการเขียน ดังนี้

## การเขียนเอกสารอ้างอิง

### การเขียนอ้างอิงภายในเนื้อหา

ในการอ้างอิงเอกสารให้ใช้นามสกุลผู้แต่ง และปีที่ตีพิมพ์ อยู่ในวงเล็บเดียวกัน หรือเขียนนามสกุลผู้แต่ง แล้วเขียนปีที่ตีพิมพ์ ไว้ในวงเล็บแล้วแต่กรณี โดยเป็นภาษาอังกฤษ ดังนี้

“.....โรคใบหงิกมีพบทั่วไปในประเทศบังคลาเทศ จีน อินเดีย อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา ไต้หวัน ไทย (Boccardo and Milne, 1984; Ling *et al.*, 1978) ในประเทศไทยนั้น นอกจากก่อความเสียหายกับ ข้าวปลูกทั้งชนิด Japonica และ Indica (*Oryza sativa*) พันธุ์ต่างๆ แล้ว Thawat (2001) ยังพบว่า ทำความเสียหายได้กับข้าวไร่และข้าวป่าต่างๆ.....”

### 1. บทความจากวารสารวิชาการมาตรฐาน

#### 1.1 ผู้เขียนคนเดียวหรือหลายคน

ชื่อผู้เขียนบทความคนที่ 1/ผู้เขียนบทความคนที่ 2/และผู้เขียนบทความคนสุดท้าย./ปีที่พิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร/  
เลขปีที่(เลขฉบับที่):/เลขหน้า.

Koiprasert, H. and P. Niranatlumpong. 2004. Investigation of method for stainless steel welding wire as a replacement for arc wire consumables. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 27(1): 91-100. [in Thai]

Nadeem, M.Y. and M. Ibrahim. 2002. Phosphorus management in wheat-rice cropping system. *Pak. J. Soil Sci.* 21(4): 21-23.

Chowdhury, M.A.H., R. Begum, M.R. Kabit and H.M. Zakir. 2002. Plant and animal residue decomposition and transformation of S and P in soil. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 5(7): 736-739.

### 2. หนังสือ

#### 2.1 ผู้เขียนคนเดียวหรือหลายคน

ชื่อผู้แต่งคนที่ 1/ผู้แต่งคนที่ 2/และผู้แต่งคนสุดท้าย./ปีที่พิมพ์./ชื่อหนังสือ./ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)./สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์./  
จำนวนหน้า.

Peyachoknagu, S. 2000. *Pan Thu Vis Sa Wa Kum*. Bangkok: Kasetsart University Press. 256 p. [in Thai]

Aksornkoae, S. 1999. *Ecology and Management of Mangroves*. Bangkok: Kasetsart University Press. 198 p.

Rajeshwar, K. and J.G. Ibanez. 1997. *Environmental Electrochemistry*. San Diego: Academic Press. 327 p.

#### 2.2 บทหนึ่งในหนังสือ

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่พิมพ์./ชื่อบทความ./น./เลขหน้าที่ปรากฏเรื่อง./ใน/ชื่อผู้รับผิดชอบ./ชื่อหนังสือ./รายละเอียดอื่นๆ (ถ้ามี).  
//ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)./สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.

Hill, S.E. 1996. Emulsions. pp. 153-185. *In* Hall, G.M. (ed.). *Methods of Testing Protein Functionality*. London: Chapman & Hall.

Jacober, L.F. and A.G. Rand. 1982. Biochemical of Seafood. pp. 347-365. *In* Martin, R.E., G.J. Flick, C.E. Hebard and D.R. Ward (eds.). *Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products*. Westport: AVI Inc.

#### 2.3 หนังสือที่มีผู้รับผิดชอบในหน้าที่เป็นผู้รวบรวม ผู้เรียบเรียง หรือบรรณาธิการ

ชื่อผู้รับผิดชอบ./ในหน้าที่รับผิดชอบ./ปีที่พิมพ์./ชื่อเรื่อง./ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)./สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์./จำนวนหน้า.

Tosirichok, K. (Editor). 1994. *Karn Rak Sa Doi Sa Moon Pri*. 1st. Bangkok: Mayik Publisher. 172 p. [in Thai]

Byrappa, K. and M. Yoshimura. (eds.). 2001. *Handbook of Hydrothermal Technology*. New Jersey: Noyes Publication. 854 p.

### 3. เอกสารอื่นๆ

#### 3.1 วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง./ปีที่พิมพ์./ชื่อวิทยานิพนธ์./ระดับของวิทยานิพนธ์./ชื่อสถาบันการศึกษา./จำนวนหน้า.

Soitongcome, P. 1987. **Tannin Extraction from Rhizophora's Bark for Retanning.** Master Thesis. Kasetsart University. 113 p. [in Thai]

Saiklao, W. 2002. **Adaptive Bandwidth Allocation Control for Virtual Paths in Broadband Networks.** Doctoral Dissertation. Georgia Institute of Technology. 86 p.

#### 3.2 รายงานการประชุมวิชาการ รายงานการสัมมนา ปาฐกถา รายงานประจำปี

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่พิมพ์./ชื่อบทความ./น./เลขหน้าที่ปรากฏเรื่อง./ใน/ชื่อการประชุม./รายละเอียดอื่นๆ (ถ้ามี)./ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)./สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

Summadee, P. and B. Leenanon. 2013. Production of Probiotic Kefir Product. p. 109-116 *In Proceedings of the 12th MJU Annual Conference (Poster).* Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]

Coates, J. 2013. Clinical Trial for Canine Degenerative Myelopathy. pp. 29-31. *In Proceedings of ACVIM Specialty Symposium (Pre-forum) 12-15 June 2013.* Seattle: American College of Veterinary Internal Medicine (ACVIM).

#### 3.3 รายงานผลการวิจัย

ชื่อผู้เขียนงานวิจัย./ปีที่พิมพ์./ชื่องานวิจัย./จำนวนหน้า./ใน/รายงานผลการวิจัย./สถานที่พิมพ์./ชื่อหน่วยงาน.

Pooprompan, P., K. Duangsong and R. Sribaopern. 2001. **DNA fingerprinting of Thai native orchid *Vanda coerulea*.** 62 p. *In Research Report.* Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]

Theraumpon, N. 2003. **Automatic Classification of White Blood Cells in Bone Marrow Images.** 74 p. *In Research Report.* Chiang Mai: Chiang Mai University.

#### 3.4 บทความจากวารสาร

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่ตีพิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./ปีที่ของนิตยสาร(เล่มที่): เลขที่หน้าที่อ้างอิง.

Srinuansom, K. 2018. Half-artificial breeding of *Monopterus albus*. **Maejo Vision** 18(4): 33-37. [in Thai]

#### 3.5 บทความจากหนังสือพิมพ์

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่ตีพิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อหนังสือพิมพ์./ (เดือน/วันที่/ปี): เลขที่หน้าที่อ้างอิง.

Manapaisarn, S. 2006. Kra Sate Tra Korn Thai Nai A Na Koth. **Thai Rath.** (January 10, 2006): 7. [in Thai]

#### 3.6 บทความออนไลน์

##### - มีเลข DOI (Digital Object Identifier)

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่ตีพิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร// ปีที่/หน้าเริ่มต้น-สิ้นสุด. Doi:/xxxxxxxxxxxxx

Rodcharoen, E., N.L. Bruce and P. Pholpunthin. 2017. *Cirolana phuketensis*, a new species of marine isopod (Crustacea, Isopoda, Cirolanidae) from the Andaman sea coast of Thailand. **ZooKeys** 695(2): 1-17. DOI: 10.3897/zookeys.695.13771.

##### - ไม่มีเลข DOI (Digital Object Identifier)

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่ตีพิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./ ปีที่/หน้าเริ่มต้น-สิ้นสุด./[Online]./Available [http://www.xxxxxxxxxx/\(วันที่สืบค้น\)](http://www.xxxxxxxxxx/(วันที่สืบค้น)).

Hasler, K., S. Bröring, S.W.F. Omta and H.W. Olf. 2015. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. **European Journal of Agronomy** 69: 41-51. [Online]. Available <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001> (March 20, 2020)

#### 4. แหล่งข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

ผู้แต่งหรือผู้รับผิดชอบ//ปีที่บันทึกข้อมูล//ชื่อเรื่อง//[ระบบออนไลน์]//แหล่งที่มา/ระบุแหล่งการติดต่อเครือข่าย หรือการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล ชื่อแฟ้มข้อมูล/ (เดือน/วันที่/ปี ที่ค้นข้อมูล).

Maythiyanon, T., N. Piriyaungroj and S. Soponarit. 2004. Novel vortex-fluidized bed combustor with two combustion chambers for rice-husk fuel. **SJST** 26(6): 875-893. [Online]. Available <http://www2.psu.ac.th/PresidentOffice/EduService/Journal/Firstpage.htm> (September 22, 2005). [in Thai]

National Economic and Social Development Board (NESDB). 2001. **Input-output tables of Thailand**. [Online]. Available <http://www.nesdb.go.th> (August 8, 2001).

Singh, M. and R.P. Singh. 2001. **Siderophore producing bacteria-as potential biocontrol agents of mushroom disease**. [Online]. Available <http://www.uio.no/conferences/June2000.htm#Samuels> (July 3, 2001).

## Guide for Authors

Manuscripts submitted for publication should be of high academic merit and are accepted on condition that they are contributed solely to the Journal of Agricultural Research and Extension. Manuscripts, parts of which have been previously published in conference proceedings, may be accepted if they contain additional material not previously published and not currently under consideration for publication elsewhere.

Submission of a multi-authored manuscript implies the consent of all the participating authors. All manuscripts considered for publication will be peer-reviewed by at least 2 independent referees.

### Submission checklist

Manuscript submission must include title page, abstract, keywords, text, tables, figures, acknowledgments, reference list and appendices (if necessary). The title page of this file should include the title of the article, full names, official name and affiliations of all authors, E-mail address, telephone and fax numbers and full postal address of the corresponding author.

### Preparation and Submission of Manuscripts

Authors submitting manuscripts for consideration for publication should follow the following guidelines.

1. Manuscript texts must be written using high-quality language. For non-native English language authors, the article should be proof-read by a language specialist before it is sent to Journal.
2. Manuscript texts should not exceed than 10 pages and the combined number of figures and tables. The inclusion of more figures and tables will reduce the word allowance, and vice versa.
3. The manuscript text and tables should be created using Microsoft Word.
4. Manuscript texts should be prepared single column, with sufficient margins (1.0 inch) for editorial and proof-reader's marks. 15 pt TH Sarabun NEW font should be used throughout and all pages numbered consecutively.
5. Abstracts should not exceed than 200 words. About 5 keywords should also be provided.
6. All measures in the text should be reported in abbreviation
7. Tables and figures should each be numbered consecutively.
8. Acknowledgments should be as brief as possible, in a separate section before the references, not in the text or as footnotes.
9. Citations of published literature in the text should be given in the form of author and year in parentheses; (Hoffmann *et al.*, 2001), or, if the name forms part of a sentence, it should be followed by the year in parenthesis; Hoffmann *et al.* (2001). All references mentioned in the reference list must be cited in the text, and vice versa. The references section at the end of the manuscript should list all and only the references cited in the text in alphabetical order of the first author's surname. The following are examples of reference writing.

### Reference to a journal article:

Chowdhury, M.A.H., R. Begum, M.R. Kabir and H.M. Zakir. 2002. Plant and animal residue decomposition and transformation of S and P in soil. **Pak. J. Bio. Sci.** 5: 736-739.

### Reference to article or abstract in a conference proceedings:

Coates, J. 2013. Clinical Trial for Canine Degenerative Myelopathy. pp. 29-31. **In Proceedings of ACVIM Specialty Symposium (Pre-forum) 12-15 June 2013.** Seattle: American College of Veterinary Internal Medicine (ACVIM).

### Reference to a book:

Rajeshwar, K. and J.G. Ibanez. 1997. **Environmental Electrochemistry.** San Diego: Academic Press. 327 p.

### Reference to an edited book:

Hill, S.E. 1996. Emulsions. pp. 153-185. **In** Hall, G.M. (ed.). **Methods of Testing Protein Functionality.** London: Chapman & Hall.

### Reference to journal online:

Rodcharoen, E., N.L. Bruce and P. Pholpunthin. 2017. *Cirolana phuketensis*, a new species of marine isopod (Crustacea, Isopoda, Cirolanidae) from the Andaman sea coast of Thailand. **ZooKeys** 695(2): 1-17. DOI: 10.3897/zookeys.695.13771.

Hasler, K., S. Bröring, S.W.F. Omta and H.W. Olf. 2015. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. **European Journal of Agronomy** 69: 41-51. [Online]. Available <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001> (March 20, 2020)

**Reference to an electronic data source (used only when unavoidable):** Supplier/Database name (Database identifier or number)/Item or accession number (Access date) should be included  
National Economic and Social Development Board (NESDB). 2001. **Input-output tables of Thailand**. [Online]. Available <http://www.nesdb.go.th> (August 8, 2001).

10. Submission of manuscript must conform to the format of the Journal of Agricultural Research and Extension and cover letter to the editor. All should be directed to the editor at the <http://tc-thaijo.org/index.php/MJUJN/index> or <http://www.jare.mju.ac.th>

### การส่งต้นฉบับ การตรวจสอบเบื้องต้น และการแก้ไข

1) ส่งไฟล์ต้นฉบับ ให้มีรายละเอียดครบตรงตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ และส่งพร้อมใบลงทะเบียนวารสาร โดยส่งผ่านระบบ ThaiJo ของวารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร หรือลิ้งค์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index> เท่านั้น

2) กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความในเบื้องต้น ในกรณีที่ต้องแก้ไขจะแจ้งให้เจ้าของบทความทำการแก้ไข ก่อนนำส่งต่อให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาในลำดับต่อไป สำหรับบทความที่ไม่ได้รับการพิจารณาให้ดำเนินการต่อจะส่งต้นฉบับคืนให้เจ้าของบทความ

3) บทความที่ได้รับการพิจารณาจากกองบรรณาธิการให้ดำเนินการต่อ จะได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ อย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน ที่เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องกับบทความนั้น ๆ และบทความที่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะส่งข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ พร้อมทั้งต้นฉบับให้เจ้าของบทความปรับปรุงแก้ไข

4) บทความที่ได้รับการตีพิมพ์จะมีการเผยแพร่ออนไลน์ (Journal Online) ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index>

# JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

- Honorable Consultants:** President of Maejo University  
Asst. Prof. Pawin Mono chai  
Vice Director The Office of Agricultural Research and Extension –  
Academic Service  
Vice Director The Office of Agricultural Research and Extension –  
Research Affairs
- Editor-in Chief:** Assoc. Prof. Dr. Kriangsak Sri-Ngernyuang
- Associate Editor:** Asst. Prof. Dr. Witchaphart Sungpalee
- Assistant Editor:** Asst. Prof. Dr. Sutteera Hermhuk  
Dr. Chuthamat Atnaseo
- Editorial Board:**
- |                                                |                                |
|------------------------------------------------|--------------------------------|
| Prof. Emeritus Dr. Anurak Panyanuwat           | Chiang Mai University          |
| Prof. Emeritus Dr. Aree Wiboonpongse           | Chiang Mai University          |
| Prof. Emeritus Dr. Danai Boonyakiat            | Chiang Mai University          |
| Prof. Emeritus Dr. Sanchai Jaturasitha         | Chiang Mai University          |
| Prof. Dr. Dokrak Marod                         | Kasetsart University           |
| Prof. Dr. Uthairat Na-Nakorn                   | Kasetsart University           |
| Prof. Dr. Pranom Chantaranothai                | Khon Kaen University           |
| Prof. Dr. Prisarn Sithigorngul                 | Srinakharinrajwiroj University |
| Prof. Dr. Siriwat Wongsiri                     | Maejo University               |
| Prof. Dr. Tanongkiat Kiatsirirot               | Chiang Mai University          |
| Prof. Chalernpol Sampet                        | Chiang Mai University          |
| Assoc. Prof. Dr. Wallratat Intarucamporn       | Chiang Mai University          |
| Assoc. Prof. Dr. Boonmee Siri                  | Khon Kaen University           |
| Assoc. Prof. Dr. Wandee Wattanachaiyingcharoen | Naresuan University            |
| Assoc. Prof. Dr. Jaruntorn Boonyanuphap        | Naresuan University            |
| Assoc. Prof. Dr. Yanin Opatpatanakit           | Maejo University               |
| Assoc. Prof. Dr. Prasert Janyasupab            | Maejo University               |
| Assoc. Prof. Dr. Aphinun Suvarnaraksha         | Maejo University               |
| Assoc. Prof. Aomtip Mekruksawannich-Kampe      | Maejo University               |
| Assoc. Prof. Prawit Puddhanon                  | Maejo University               |
| Asst. Prof. Dr. Piyawan Suttiapan              | Chiang Mai University          |
| Asst. Prof. Dr. Piyanch Niamsup                | Maejo University               |
| Asst. Prof. Teerapong Sawangpanyangkura        | Maejo University               |
- Operation committee:** Mrs. Thipsuda Pookmanee Ms. Rungsima Ampawan  
Ms. Ampar Sansai Ms. Ranrana Kayun
- PR and Publishing:** Mr. Prinya Painusa

**Journal of Agricultural Research and Extension** is a publication of the Office of Agricultural Research and Extension, Maejo University, and is intended to make available the results of technical work in the agricultural and related social sciences. Articles are contributed by MJU faculty members as well as by relevant general public. The paper must be considered by at least 3 peer reviewers. **Journal of Agricultural Research and Extension** is published three times per year, the first issue is on January, the second and the third issue are on May and September, respectively. Contact with the Journal should be addressed to:

**The Editor, Journal of Agricultural Research and Extension**  
**Academic Services Administration Division, Office of Agricultural Research and Extension**  
**Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand**

Tel: +66-53-87-3411 Fax: +66-53-87-3418  
E-mail: Mju\_journal@gmaejo.mju.ac.th  
Web site: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index>



# JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

Office of Agricultural Research & Extension Maejo University

Vol. 41 No. 2 May – August 2024

ISSN 2985-0118 (Online)

<b>Effect of Calcium Chloride on Physiological Change in Flowering Phase to Fruit Set of Longan Trees</b> Winai Wiriyia-Alongkorn	1-13
<b>Effect of Sowing Media from Residual Biomass of Sugarcane and Rice on Growth and Andrographolide Content of Fa Thalai Chon (<i>Andrographis paniculata</i> (Burm. F) Nees) Sprouts</b> Pennapa Tanawirote, Tunyatorn Sumachit, Prompong Lahuana, Rattikarn Sennai Ruttanachira Ruttanaprasert and Ratchanee Puttha	14-25
<b>Detection and Evaluation of Resistance against Bacterial Blight Disease in Thai Local Rice Varieties Grown in Some Areas of Lower Northern Thailand</b> Sarocha Thawathotsapakorn, Det Wattanachaiyingcharoen, Sittichai Urgam and Wandee Wattanachaiyingcharoen	26-40
<b>Effect of Host Species on Biology of Parasitoid, <i>Microplitis manilae</i> Ashmead (Hymenoptera: Braconidae)</b> Nattrika Seekhow, Benjakhun Sangtongpraow and Anchana Thancharoen	41-51
<b>Surface Modification of Carbon by Atmospheric-pressure Plasma for Impregnation with Clove Essential Oil to Control Honeybee Mites</b> Veeranan Chaimanee, Phonpimon Pasoo, Pradoong Suanpoot Theerapat Jakngern and Thummanoon Boonmee	52-64
<b>Probiotic Application in Tilapia</b> Ornanong Thabthim, Wanarsa Nonkrathok and Chanagun Chitmanat	65-82
<b>Properties of Bacteria Isolated from Fish Pond Water for Use as Probiotic in Aquaculture</b> Sompong Sukhawong, Waraphorn Sihamok, Katkanok Pongpichit, Apisit Sopas Kamonrat Boonbangan, Pattapol Prompukdee, Patima Permpoonpattana and Orathai Dangasawat	83-96
<b>A Comparative Study of Oil Extraction Process from Pickled Mango Kernel</b> Pitchaon Maisuthisakul, Wichamaneeyu Yuenyongputtakal and Souwanee Jeowsakulrat	97-109
<b>Physicochemical Properties and Glucmannan Content of Konjac Powder Obtained from Different Drying and Extraction Methods of Nuea-Sai Konjac Corms (<i>Amorphophallus muelleri</i>)</b> Patharaporn Srisamatthakarn and Supawadee Cham	110-122
<b>Effect of Sodium Bicarbonate Solution and Chitosan on Browning and Bacterial Contamination in Ready-to-Cook 'Thai Round Green' Eggplant</b> Phonmongkol Jiragittidoon, Kanlaya Sripong, Apiradee Uthairatanakij and Pongphen Jitareerat	123-134
<b>Study on Properties of Mung Bean Protein Waste</b> Nipatcharaporn Sapapporn and Praty Chaumphol	135-144
<b>Development of Ready-to-Eat Cassava Crackers by Microwave</b> Wongphaka Wongrat, Kamolpron Menongyai, Chanita Prasitkan Nattarika Supakong and Sayumporn Rattanapan	145-156
<b>Use of Remote Sensing Data for Some Soil Properties Studying in Areas at Risk of Acidic Soil and Saline Soil of Central Thailand</b> Totsanat Rattanakaew	157-174
<b>Study of Forest Types Change in Thailand Using Geoinformatics Technology during 2018 to 2019</b> Weeraphart Khunrattanasiri, Vissanu Domrongutsiri Naporn Kao-mim and Jutamad Srikongruk	175-184
<b>Efficiency and Satisfaction of Small Household Compost Bin for Organic and Food Waste</b> Tapan Cheunbarn and Siraporn Cheunbarn	185-198
<b>Technical Efficiency of Rice Planting Farmer who are Member and Non-member of Large-scale in the Upper Northern Region</b> Aree Cheamuangphan, Montri Singhavara and Aussawin Phaoomnuaywit	199-209
<b>Khaw Neaw De Grill (De Grill Glutinous Rice): A Development of Organic Rice Community Enterprise in The Digital Era</b> Thanyalak Mueangkhot, Budsakorn Khornjamnong, Premruedee Jitkuekul, Sirinna khamtanet, Patcharaporn Tinchan Tatiyaporn Sirisakdakul, Kunwadee Kaewka, Patcha Sattaka, Rungtawee Padakan and Mayoorkarn Dechkunchorn	210-218
<b>Brand Design and Product Packaging of Dried Fish (<i>C. aearnesis</i>) Product for Community Enterprises, Thai River Sprat Fish Producers for Sale in Ubon Ratchathani Province</b> Ratchada Auyyuyong and Kittawat Boonthawee	219-235
<b>The Entrepreneur's Satisfaction Towards Graduates from Agricultural Technology Program, Faculty of Agro-industrial Technology Rajamangala University of Technology Tawan-ok</b> Kridsada Charoenmoon, Kamolmanus Wattana and Patchara Bamrung	236-247
<b>Developing a Local Ordinance Model to Control Agricultural Activities that Cause Light Pollution</b> Pitak Sasisuwan	248-260

AGRI-RESEARCH  
& EXTENSION  
JOURNAL