



# วารสาร วิชชา

WICHCHA JOURNAL

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช  
NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

ปีที่ 45 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2569  
Vol. 45 No. 1 January - June 2026

---

วารสารวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
ISSN 3027-737X (Online)



WICHCHA  
JOURNAL

NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY





# วารสาร วิชชา WICHCHA JOURNAL มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

ปีที่ 45 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 Vol. 45 No. 1 January – June 2026

**เจ้าของที่ปรึกษา** มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช  
ดร.สมปอง รักษารธรรม รักษาราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช  
**บรรณาธิการ** รองศาสตราจารย์ ดร.ประวิทย์ เนื่องมัจฉา  
**ผู้ช่วยบรรณาธิการ** ดร.เบญจวรรณ นิลวงค์

## นโยบาย

- วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช เป็นวารสารวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตีพิมพ์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524
- วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช เป็นเอกสารวิชาการแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเผยแพร่ให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงแบบออนไลน์ได้แบบเสรีโดยผ่านกระบวนการประเมินจากผู้ประเมินอิสระ (peer review) ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง ในรูปแบบผู้ประเมินอิสระและผู้แต่งไม่ทราบชื่อซึ่งกันและกัน (double-blind review)

## ขอบเขตงาน

ขอบเขตของบทความวิจัย (research article) และบทความวิชาการ (academic article) ที่ลงตีพิมพ์ในวารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช เป็นบทความในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบด้วยด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรมศาสตร์

## วัตถุประสงค์

- เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการและงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- เพื่อเป็นสื่อส่งเสริมการสร้างความรู้และองค์ความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- เพื่อเป็นเวทีนำเสนอผลงานทางวิชาการของบุคลากรในมหาวิทยาลัยและบุคคลทั่วไป

## ประเภทบทความ

วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ตีพิมพ์บทความฉบับเต็มในรูปแบบบทความวิจัย (research article) และบทความวิชาการ (academic article) ตามขอบเขตงาน

## กระบวนการพิจารณาบทความ

บทความทุกบทความที่ได้รับการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ได้รับการพิจารณาจากผู้ประเมินอิสระ (peer review) ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องจากหลากหลายหน่วยงาน อย่างน้อย 3 ท่าน ในรูปแบบผู้ประเมินอิสระและผู้แต่งไม่ทราบชื่อซึ่งกันและกัน (double-blind review) และบทความหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ที่ปรากฏในวารสารที่เป็นวรรณกรรมของผู้เขียน บรรณาธิการหรือมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

## ค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ไม่เก็บค่าธรรมเนียมในการตีพิมพ์

## เกี่ยวกับวารสาร

ชื่อวารสาร : วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ISSN ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ : 3027-737X

เว็บไซต์วารสาร : <https://www.tci-thaijo.org/index.php/wichcha/index>

กำหนดเผยแพร่ : เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม)

จัดพิมพ์โดย : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

เลขที่ 1 หมู่ที่ 4 ตำบลท่าจิว อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

## กองบรรณาธิการภายนอกมหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.การุณ ทองประจักษ์แก้ว

ศาสตราจารย์ ดร.สมปอง เตชะโต

ศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย

ศาสตราจารย์ ดร.สรรพลสิทธิ์ กล่อมเกล้า

รองศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย อินทะไชย

รองศาสตราจารย์ ดร.ชิตนันทน์ บุรณชัย

รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา เตือนฉาย

รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์พิชิต จันทร์นุ้ย

รองศาสตราจารย์ ดร.ยลพัชร อารีรบ

รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย รสชาติ

รองศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ ปัตตาฤทธิ

รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์พันธ์ ผึ้งผาย

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณะอุตสาหกรรมเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยทักษิณ

คณะวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยทักษิณ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

## กองบรรณาธิการภายในมหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี ถาวโร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งนภา พิมเสน

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุรีพร ยืนนาน

### ผู้ประเมินอิสระหรือพิชญพิจารณา (Peer review) ตรวจสอบทางวิชาการประจำฉบับ

ศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ รัตนวิไล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ศาสตราจารย์ ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รองศาสตราจารย์ ดร.กมล เอี่ยมพนากิจ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนภูมิ ศิริงาม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิชสัมพันธ์ พูนไพบูลย์พิพัฒน์

คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ วิชาภา

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ประวิทย์ เนื่องมัจฉา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ พร้อมพุดธางกูร

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย ใจกล้า

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.สนธิชัย จันทร์เปรม

คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์

คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ลักษณะกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชษฐพร สุจิตะพันธ์

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ เตชะเกรียงไกร

คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนเสถียร ทองใสเกลี้ยง

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีราวุฒิ ภูสันติสัมพันธ์

คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจมาศ หนูแป้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชร ผลนาค

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย หาระโคตร

คณะวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมดิจิทัล  
มหาวิทยาลัยทักษิณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสันต์ ศารทูลทัต

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา งานสม

คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภญ.ศรัณญา ตันตยาสวัสดิกุล

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุโข เสมมหาศักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ ชิตวณิช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ ชิตวณิช

ดร.ปริยากร เพชรแก้ว

คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

กลุ่มงานเสียงและการสนทนา

สถาบันมาตริวิทยาแห่งชาติ

#### ผู้ตรวจทานภาษาต่างประเทศประจำฉบับ

Ms.Christine Soriano

ศูนย์ภาษาและวัฒนธรรมนานาชาติ

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

Mr.Kenneth Ugonabo

ศูนย์ภาษาและวัฒนธรรมนานาชาติ

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

Assistant Professor Dr. Fahmida Wazed Tina

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

#### ฝ่ายอำนวยการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรีภรณ์ นวนมุสิก

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

รองศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ศุภพันธ์

รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร.ต. ดร.จาดุรนต์ ชูติธรรมพงษ์

รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ดร.เบญจวรรณ นิลวงค์

รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

#### ผู้จัดการวารสาร

นางสาวกัญต์ฤทัย จจรังส

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ปก มูฟ แอดเวอร์ไทต์ (Moof Advertise)

เลขที่ 1/13 หมู่ที่ 6 ตำบลท่าจี้ อำเภอมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

โทร. 095-7218863 / 093-6623225 e-mail: moofadvertise@gmail.com

	หน้า
<b>บทความวิจัย</b>	
ความหลากหลายทางพันธุกรรมของสายพันธุ์โกโก้ที่นำมาแปรรูปในจังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยเครื่องหมายเอเอฟแอลพี	1-14
Genetic Diversity of Cocoa Varieties in Nakhon Si Thammarat Province Assessed by AFLP Markers	
เกษศิริรินทร์ รัทจร วีระเกียรติ ทรัพย์มี และจุฑามาศ ศุภพันธ์*	
Kedsirin Ruttajorn, Verakiat Supmee and Jutamas Supapan*	
การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ที่ปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่น	15-26
Properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Stabilized with Crushed Rock and Stone Dust	
เขมาภรณ์ ชันเงิน สราวุธ จริตงาม* และโอภาส สมใจนึก	
Khemaporn Khan-ngern, Saravut Jaritngam* and Opas Somchainuek	
ผลของดินขุยไม้และปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของเห็ดเหื่อไผ่ที่ปลูกในกระถาง	27-36
Effects of Bamboo Soil and Organic Fertilizer on the Growth and Yield of <i>Dictyophora indusiata</i> Grown in Pots	
คมกฤษณ์ แสงเงิน* และวิมากร ที่รัก	
Komgrit Saeng-ngoen* and Winakon Theerak	
ผลของสารพาโคลบิวทราโซลต่อการชะลอการเจริญเติบโตของผักข่าในสภาพปลอดเชื้อ	37-47
Effect of Paclobutrazol on the Slow Growth of <i>Momordica cochinchinensis</i> (Lour.) Spreng <i>In Vitro</i>	
ไชนียะ สะมาลา พลวัต ภัทรกุลพิสุทธิ สมปอง เตชะโต และสุรรัตน์ เย็นซ้อน*	
Sainiya Samala, Polawat Pattarakulpisutti, Sompong Te-chato and Sureerat Yenchon*	
การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการอัดถ่านแท่งจากกะลามะพร้าวโดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ	48-62
Study on the Optimal Factors for Briquetting Charcoal from Coconut Shells Using a Full Factorial Experimental Design	
ยศวัจน์ ชีววรรณทรี* กฤติธฤต ทองสิน และปิยะ รัตน์ละออง	
Yossawat Cheewaworanontree*, Kridtharit Thongsin and Piya Rontlaong	
อิทธิพลของวัสดุปลูกและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอัญชัน	63-73
Effect of Planting Materials and Chemical Fertilizers on the Growth and Yield of <i>Clitoria ternatea</i> L.	
อนันต์ พิริยะภัทรกิจ* พรกมล รูปเลิศ กาญจพรพรช เมฆอรุณ มาริยาห์ แสนแก้ว	
พัชรี เดชเลย์ และสุกุมารภรณ์ แสงงาม	
Anan Piriya-phattarakit*, Ponkamon Ruploet, Kanjapat Mekarun, Mariya Sankeaw*, Patcharee Dechlay and Sukhumaporn Saeng-ngam	

	หน้า
<b>บทความวิจัย</b>	
ผลของโหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อคุณภาพของภาพถ่ายและการวิเคราะห์ธาตุในวัสดุ นาโนซิงค์ออกไซด์ Effects of Operating Modes and Electric Potential Difference on Image Quality and Elemental Analysis of Zinc Oxide Nanomaterials ณิชา อารุณโรจน์* และธีรศักดิ์ เทียรธีรดิษฐ์ Nidcha Aroonrote* and Teerasak Thianthiradait	74-89
ผลของการใช้ชี้แตตนาเกลือต่อคุณภาพผลผลิตกล้วยหอมทอง Effects of Salt-Farm Residue Application Rate on Fruit Quality of ‘Hom Thong’ Banana บุญชาติ คติวัฒน์ ทรงศักดิ์ ธรรมจรัส* นันทน์ภัส สุวรรณสินธุ์ กิตติมา สีละพงศ์วัฒนา สร้อย สวัสดิมงคล และโสภณ อันตะโก Boonchart Kativat, Songsak Thamjumrat*, Nanapas Suwansink, Kittima Leelapongwattana, Saran Sawatdimongkol and Sapon Antako	90-103
ความหลากหลายและคุณค่าทางโภชนาการของผักพื้นถิ่นแปรรูป (ผักเหนาะ) ในสำหรับชนมเงินเมืองคอน ภายใต้บริบทเชิงพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล จังหวัดนครศรีธรรมราช Diversity and Nutritional Value of Local Vegetable Side Dishes (Pak Nhor) in Muang Khon-Style Thai Rice Noodle Meals within the Kao-Pa-Na-Lay Context of Nakhon Si Thammarat จันทิรา วงศ์วิเชียร จุฑาภรณ์ ลิ้มสุวรรณมณี* จตุพร คงทอง และสมรักษ์ รอดเจริญ Chantira Wongwichian, Jutaporn Limsuwanmanee*, Jatuporn Khongtong and Somrak Rodjaroen	104-122
Focal Mechanisms from Waveform Inversion and Multiple Velocity Models: Phayao Fault Zone, Northern Thailand Kasemsak Saetang and Helmut Duerrast*	123-144
<b>คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ</b>	<b>145-154</b>

ความหลากหลายทางพันธุกรรมของสายพันธุ์โกโก้ที่นำมาแปรรูป  
ในจังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยเครื่องหมายเอเอฟแอลพี  
Genetic Diversity of Cocoa Varieties in Nakhon Si Thammarat  
Province Assessed by AFLP Markers

เกษศิรินทร์ รัทจร<sup>1</sup> วีระเกียรติ ทรัพย์มี<sup>2</sup> และจุฑามาศ ศุภพันธ์<sup>3\*</sup>  
Kedsirin Ruttajorn<sup>1</sup>, Verakiat Supmee<sup>2</sup> and Juthamas Suppapan<sup>3\*</sup>

บทคัดย่อ

การตรวจสอบความหลากหลายทางพันธุกรรมของสายพันธุ์โกโก้ (*Theobroma cacao* L.) ด้วยเครื่องหมายเอเอฟแอลพี (amplified fragment length polymorphism: AFLP) ทำการวิเคราะห์ดีเอ็นเอจากตัวอย่างโกโก้จำนวน 6 ตัวอย่าง ได้แก่ พันธุ์ที่ทราบชื่อ 2 พันธุ์ คือ Pa7 × Na32 และ UIT1 × Na32 จากศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร และต้นโกโก้จากสวนเกษตรกรรมในจังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 4 ต้น คือ C-4 C-6 C-8 และ C-9 โดยใช้คู่มือไพรเมอร์เอเอฟแอลพีจำนวน 3 คู่ ได้แก่ E-AAC/M-CTC E-AAG/M-CTA และ E-AAC/M-CTA ผลการวิเคราะห์พบแถบดีเอ็นเอที่แตกต่างกัน (polymorphic bands) เฉลี่ย 4.67 แถบต่อคู่มือไพรเมอร์ โดยคู่มือไพรเมอร์ E-AAC/M-CTC ให้จำนวนแถบดีเอ็นเอที่แตกต่างกันสูงสุด 9 แถบ ค่าความแตกต่างของไพรเมอร์ในการจำแนก (polymorphism information content: PIC) เฉลี่ยเท่ากับ 0.32 และคู่มือไพรเมอร์ E-AAG/M-CTA ให้ค่า PIC สูงสุดเท่ากับ 0.37 ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นคู่มือไพรเมอร์ที่ให้ข้อมูลมากที่สุดในการประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมของโกโก้ในการศึกษานี้ เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมด้วยการจัดกลุ่มโดยใช้วิธี unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA) พบว่าสามารถจำแนกตัวอย่างโกโก้ออกเป็น 2 กลุ่มหลักอย่างชัดเจน โดยกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มควบคุม (outgroup) และกลุ่มที่ 1 สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อยตามความใกล้ชิดทางพันธุกรรม แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างต้นโกโก้จากแปลงเกษตรกรรมกับพันธุ์ที่ทราบชื่อ ข้อมูลจากการศึกษานี้มีความสำคัญต่อการสนับสนุน

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยทักษิณ

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

<sup>3</sup> คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

<sup>1</sup> Department of Biological Science, Faculty of Science and Digital Innovation, Thaksin University

<sup>2</sup> Department of Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya

<sup>3</sup> Faculty of Education, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

\* Corresponding author e-mail: jutamas\_sup@nstru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2026.v45i1.265084>

Received: 23 October 2024, Revised: 12 November 2024, Accepted: 13 November 2024

ข้อมูลพันธุกรรมเพื่อระบุแหล่งที่มาและสายพันธุ์ของโกโก้ในพื้นที่ ตลอดจนเป็นข้อมูลประกอบการคัดเลือกเพื่อการขยายพันธุ์และการแปรรูปโกโก้ในจังหวัดนครศรีธรรมราชอย่างเหมาะสม

**คำสำคัญ:** เอเอฟแอลพี เครื่องหมายดีเอ็นเอ โกโก้ ความหลากหลาย

### Abstract

The genetic diversity of *Theobroma cacao* L. was investigated using amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers. DNA was analyzed from six cocoa samples: two known varieties (Pa7 × Na32 and UIT1 × Na32) obtained from the Chumphon Horticultural Research Centre and four farmer-grown trees (C-4, C-6, C-8, and C-9) collected from Nakhon Si Thammarat Province. Three primer combinations (E-AAC/M-CTC, E-AAG/M-CTA, and E-AAC/M-CTA) yielded an average of 4.67 polymorphic bands per combination, with E-AAC/M-CTC producing the highest number of polymorphic bands (9). The mean polymorphism information content (PIC) value was 0.32, and E-AAG/M-CTA exhibited the highest PIC value (0.37), indicating that it was the most informative primer combination for genetic diversity assessment in this study. Cluster analysis using the unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA) separated the samples into two major clusters, with the second cluster serving as an outgroup. Within Cluster I, two subclusters were identified, revealing close genetic relationships between farmer-grown trees and the known varieties. The findings provide useful information for identifying genetic origins of local cocoa and support appropriate selection for propagation and processing in Nakhon Si Thammarat Province.

**Keywords:** AFLP, DNA marker, Cocoa, Diversity

### บทนำ

โกโก้ (*Theobroma cacao* L.) เป็นพืชในวงศ์ Sterculiaceae เป็นไม้ยืนต้น ใบเดี่ยวเรียงสลับ รูปขอบขนานแกมไข่กลับหรือรูปขอบขนาน ดอกเดี่ยวหรือออกเป็นกระจุกที่ลำต้นและกิ่งก้าน กลีบดอกสีขาวแกมเหลือง เกสรตัวผู้เป็นหมันสีม่วงเข้ม ปลายยอดสีขาว ผลสดเป็นรูปไข่แกมรูปกระสวย ผิวย่นเมื่อสุกสีม่วงหรือเหลือง เมล็ดรูปกระสวยสีน้ำตาล มีแหล่งกำเนิดอยู่ในแถบลุ่มน้ำอเมซอนตอนบน โกโก้แบ่งได้เป็น 4 กลุ่มพันธุ์ (varieties) ได้แก่ 1) กลุ่มพันธุ์คริโอโล (Criollo) 2) กลุ่มพันธุ์เนชันนัล (Nacional) 3) กลุ่มพันธุ์ฟอร์สเตอร์โร (Forastero) แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย กลุ่มย่อยเวสต์แอฟริกัน อมีโลนาโด (West African Amelonado) และกลุ่มย่อยอัฟเปอร์อเมซอน (Upper Amazon) และ 4) กลุ่มพันธุ์ทรินิตาโร (Trinitario) (Afoakwa, 2014) ปัจจุบันพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในแอฟริกา ตะวันตก ประเทศในเขตร้อนของอเมริกา และเอเชีย คิดเป็นร้อยละ 63 20 และ 17 ตามลำดับ

ในประเทศไทยศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพรมีการคัดเลือกและผลิตพันธุ์โกโก้โดยการเปรียบเทียบพันธุ์โกโก้ลูกผสมจากประเทศมาเลเซียกับพันธุ์ที่เกษตรกรปลูกอยู่เดิม พบว่าคู่ผสมระหว่าง Parinari 7 กับ Nanay 32 (Pa7 x Na32) เป็นพันธุ์ที่มีผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดดีเหมาะสมต่อการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก จึงได้ขึ้นทะเบียนรับรองพันธุ์เป็นโกโก้ลูกผสมพันธุ์ลูกผสมชุมพร 1 แหล่งปลูกโกโก้ที่สำคัญในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น จันทบุรี เชียงราย นครศรีธรรมราช และประจวบคีรีขันธ์ เป็นต้น (สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, 2564) ต้นโกโก้สามารถใช้ประโยชน์จากส่วนต่าง ๆ ได้ เมล็ดเป็นวัตถุดิบทำเป็นช็อกโกแลต เนื้อสามารถใช้ทำเครื่องดื่ม ส่วนเปลือกของฝักเป็นส่วนเหลือทิ้งจากการแปรรูป นอกจากใช้ผลิตเป็นปุ๋ยหมักแล้ว ยังสามารถใช้ทำเป็นสีผงสำหรับใช้ย้อมผ้าสีธรรมชาติได้อีกด้วย (จตุพร และคณะ, 2568)

จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกโกโก้เป็นแหล่งใหญ่ที่สุดในภาคใต้ มีเนื้อที่ปลูก 580 ไร่ ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ 11,200 กิโลกรัม (สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, 2564) โดยเฉพาะในอำเภอท่าศาลามีประวัติการปลูกโกโก้มาประมาณ 40 ปี โดยกรมวิชาการเกษตรได้เข้ามาพัฒนาและสนับสนุนให้เกษตรกรปลูกโกโก้มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 เนื่องจากพื้นที่และภูมิอากาศมีความเหมาะสม หลังจากนั้นเกิดการหยุดส่งเสริมการปลูกโกโก้ขึ้น ทำให้เกษตรกรโค่นโกโก้ทิ้งและเปลี่ยนเป็นการปลูกยางพาราทดแทน การปลูกโกโก้จึงเริ่มซบเซาลงมาเรื่อย ๆ จนกระทั่งโกโก้จากจังหวัดนครศรีธรรมราชได้รับรางวัลในระดับเวทีโลก ทำให้ราคาผลผลิตโกโก้พุ่งสูงขึ้นอีกครั้ง และมีราคาขายในตลาดล่วงหน้า (cocoa continuous contract: CCOO) มีแนวโน้มปรับตัวเพิ่มขึ้นมากในตลาดโลก ซึ่งเป็นสถิติราคาสูงที่สุดในรอบ 47 ปี ของราคาโกโก้ (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2567) ซึ่งจะช่วยผลักดันการผลิตและการส่งออกโกโก้ภายในประเทศ อย่างไรก็ตามเกษตรกรปลูกโกโก้น้อย และไม่ได้ส่งออกไปยังต่างประเทศ อีกทั้งปัญหาจากการทิ้งช่วงในการปลูกมาเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ทำให้สายพันธุ์ต่าง ๆ ของโกโก้ รวมถึงสายพันธุ์ดั้งเดิมเริ่มหายไป

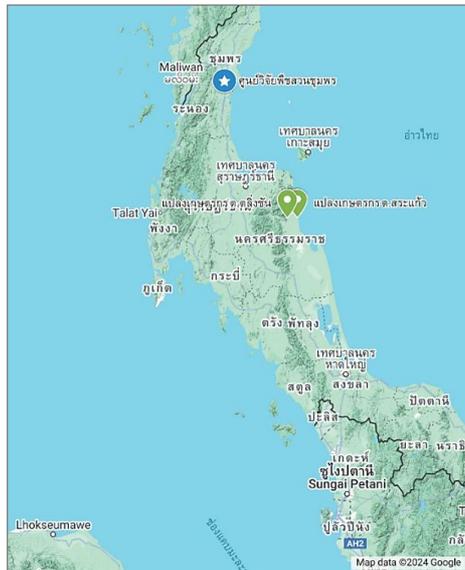
ปัจจุบันมีการเก็บรักษาสายพันธุ์โกโก้ทั้งสายพันธุ์ดั้งเดิมและสายพันธุ์ที่มีการพัฒนาโดยการผสมข้ามสายพันธุ์หลากหลายสายพันธุ์ ซึ่งแต่ละสายพันธุ์พบว่ามีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่จำแนกชนิดของสายพันธุ์ไม่ชัดเจน ด้วยเหตุนี้การจำแนกความหลากหลายของโกโก้โดยอาศัยเครื่องหมายดีเอ็นเอจึงได้รับความนิยม (Korzun, 2002) เพื่อใช้บ่งชี้ความหลากหลายทางพันธุกรรม เครื่องหมายเอเอฟแอลพี (amplified fragment length polymorphism: AFLP) เป็นเครื่องหมายดีเอ็นเอชนิดหนึ่งที่อาศัยพื้นฐานการเพิ่มปริมาณโดยปฏิกิริยาลูกโซ่จำลองตัวพอลิเมอเรส (polymerase chain reaction: PCR) โดยไม่ต้องการข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ ทำได้รวดเร็วและใช้ดีเอ็นเอเริ่มต้นความเข้มข้นน้อย และสามารถตรวจสอบดีเอ็นเอได้หลายตำแหน่ง (Vos *et al.*, 1995) คล้ายกับเครื่องหมายอาร์เอพีดี (random amplified polymorphic DNA: RAPD) จากงานวิจัยของ Ronning *et al.* (1995) และ Syahri *et al.* (2019) ได้นำเครื่องหมายอาร์เอพีดีเพื่อจำแนกประชากรของโกโก้ตัวอย่างพันธุ์พ่อแม่ ลูกชั่วรุ่นที่ 1 และประชากรจากการผสมทดสอบ (backcross) สอดคล้องกับแบบแผนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของเมนเดล ร้อยละ 68.3 นอกจากนี้มีการประยุกต์ใช้เครื่องหมายเอเอฟแอลพีอย่างแพร่หลายเพื่อประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมของสายพันธุ์เพื่อความเข้าใจระดับสายวิวัฒนาการและชีวภูมิศาสตร์ระดับประชากร เพื่อสร้างแผนที่พันธุกรรม และเพื่อจำแนกความสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์ (Paunand Schönschwetter, 2012) รวมทั้งการประยุกต์ใช้

เพื่อประเมินความหลากหลายของประชากรของถั่วฟาบา (faba) ที่ทนต่อสภาพภูมิอากาศ (Nurmansyah *et al.*, 2020) ซึ่งเครื่องหมายเอเอฟแอลพีมีความสามารถในการตรวจสอบความหลากหลายได้หลายตำแหน่ง ให้ผลแม่นยำ และสามารถทำซ้ำได้เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องหมายดีเอ็นเอชนิดอื่น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เครื่องหมายเอเอฟแอลพีเพื่อศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของโกโก้สายพันธุ์ที่นำมาแปรรูปในจังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อใช้เป็นข้อมูลทางพันธุกรรมร่วมกับลักษณะประจำพันธุ์ของโกโก้

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. ตัวอย่างพืช

เก็บตัวอย่างใบโกโก้ (*T. cacao* L.) ที่มีการเก็บรักษาสายพันธุ์จากศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร อำเภอสวี จังหวัดชุมพร ได้แก่ สายพันธุ์โกโก้ลูกผสมชุมพร 1 (Pa7 x Na32) และสายพันธุ์ UIT1 x Na32 จากแปลงปลูกของเกษตรกรในจังหวัดนครศรีธรรมราชที่เป็นรายใหญ่ของการแปรรูปโกโก้เป็นผลิตภัณฑ์ โดยการสอบถามสายพันธุ์เบื้องต้นจากตำบลลิงชั้น อำเภอนาทาสา ได้แก่ หมายเลข 4 (C-4) และหมายเลข 6 (C-6) จากตำบลสระแก้ว อำเภอนาทาสา หมายเลข 8 (C-8) และหมายเลข 9 (C-9) (ภาพที่ 1) ตัดตัวอย่างใบโกโก้เป็นกิ่งเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่มีกระดาษเปียกบรรจุอยู่ เก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส ในภาชนะปิด เพื่อนำมายังห้องปฏิบัติการ และใช้กระเจียบเขียว (*Abelmoschus esculentus*: okra) เป็นตัวอย่างควบคุม (outgroup) รวมเป็นทั้งหมด 7 ตัวอย่างใช้สายพันธุ์ละ 5 ต้น เพื่อนำมาสกัดดีเอ็นเอ



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างของงานวิจัย ณ ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร จังหวัดชุมพร และแปลงเกษตรกรในตำบลลิงชั้น และตำบลสระแก้ว อำเภอนาทาสา จังหวัดนครศรีธรรมราช

ที่มา: Google Maps (2024)

## 2. การสกัดดีเอ็นเอของใบโกโก้

การสกัดดีเอ็นเอของใบโกโก้ใช้วิธีประยุกต์จาก Doyle and Doyle (1987) โดยตัดใบโกโก้ น้ำหนัก 0.2 กรัม บดด้วยไนโตรเจนเหลว ตักใบที่บดละเอียดใส่หลอดไมโครเซ็นติฟิวจ์ (microcentrifuge tube) แล้วเติมสารละลาย CTAB ความเข้มข้น 2 เท่า (2X CTAB) ปริมาตร 700 ไมโครลิตร และ 2-เมอร์แคปโตเอทานอล ( $\beta$ -mercaptoethanol) ปริมาตร 2 ไมโครลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำหลอดตัวอย่างบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที กลับหลอดไปมาทุก ๆ 20 นาที เติมสารละลายฟีนอล (phenol) : คลอโรฟอร์ม (chloroform) : ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ (isoamyl alcohol) (25:24:1) ปริมาตร 500 ไมโครลิตร นำไปผสมให้เข้ากัน (vortex) แล้วปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดสารละลายส่วนใสด้านบนใส่หลอดใหม่ เติมสารละลายคลอโรฟอร์ม : ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ (24:1) ปริมาตร 700 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดสารละลายส่วนใสด้านบนใส่ในหลอดใหม่ เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตต (sodium acetate) ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 1 ใน 10 ของสารละลาย และเติมไอโซโพรพานอล (isopropanol) ที่แช่เย็น ปริมาตร 1 เท่า ของสารละลาย บ่มที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 45 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที ล้างตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 70 ที่แช่เย็น ปริมาตร 500 ไมโครลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที เทสารละลายส่วนใสทิ้ง เก็บตะกอนดีเอ็นเอ และตากตะกอนดีเอ็นเอให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นละลายตะกอนดีเอ็นเอด้วยบัฟเฟอร์ทีอี (TE buffer) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร และเก็บไว้รอใช้งานที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

การตรวจสอบคุณภาพและปริมาณดีเอ็นเอของตัวอย่างใบโกโก้ที่สกัดได้ด้วยการดูคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 260 และ 280 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (NanoDrop spectrophotometer, Thermo Fisher) และตรวจสอบคุณภาพดีเอ็นเอด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสบนเจลอะกาโรสความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ในบัฟเฟอร์ทีเออี (TAE buffer) ความเข้มข้น 0.5 เท่า (สารละลายทริส ไฮโดรคลอไรด์ (Tris-HCl) ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ กรดอะซิติก (acetic acid) ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ อีดีทีเอ (EDTA) ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 8.0) ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ เป็นเวลา 30-45 นาที แล้วนำแผ่นเจลแซนดี้้อมดีเอ็นเอ (ViSafe green gel strain: Vivantis) เป็นระยะเวลา 15 นาที จากนั้นตรวจสอบผลด้วยเครื่องถ่ายภาพและวิเคราะห์ภาพเจล (UV transilluminator) แล้วบันทึกภาพ

## 3. เครื่องหมายเอเอฟแอลพี

ลำดับเบส (sequence) ของไพรเมอร์ (primers) ทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลำดับเบสของอะแดปเตอร์ (adapter) และไพรเมอร์ด้วยเครื่องหมายเอเอฟแอลพี

ชื่อไพรเมอร์	ลำดับเบส (5' - 3')	
	<i>EcoRI</i>	<i>MseI</i>
อะแดปเตอร์ ฟอว์เวิร์ด (adapter forward)	CTCGTAGACTGCGTACC	GACGATGAGTCCTGAG
อะแดปเตอร์ รีเวิร์ด (adapter reverse)	AATTGGTACGCAGTCTAC	GACGATGAGTCCTGAG
ไพรเมอร์จำเพาะขั้นแรก (pre-selective primer)	GACTGCGTACCAATTCA	GATGAGTCCTGAGTAAC
ไพรเมอร์จำเพาะ (selective primer)	E-AAG:	M-CTC:
	GACTGCGTACCAATTCAAG	GATGAGTCCTGAGTAACTC
	E-AAC:	M-CTA:
	GACTGCGTACCAATTCAAC	GATGAGTCCTGAGTAACTA

การตรวจสอบและวิเคราะห์ชิ้นส่วนดีเอ็นเอของเครื่องหมายเอเอฟแอลพี โดยวิธีตัดแปลงจาก Vos *et al.* (1995) ขั้นตอนการย่อยดีเอ็นเอ (DNA digestion) เริ่มต้นจากเตรียมดีเอ็นเอให้ทุกตัวอย่างมีความเข้มข้นเท่ากัน 800 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร และใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะ 2 ชนิดคือ *EcoRI* (5'-GAATCC-3') และ *MseI* (5'-TTAA-3') โดยเตรียมส่วนผสมของปฏิกิริยาประกอบด้วย บัฟเฟอร์สำหรับใช้กับเอนไซม์ตัดจำเพาะความเข้มข้น 10 เท่า (10X Cut Smart) ปริมาตร 2 ไมโครลิตร 20 ยูนิตต่อไมโครลิตร *EcoRI* ปริมาตร 0.125 ไมโครลิตร 10 ยูนิตต่อไมโครลิตร *MseI* ปริมาตร 0.250 ไมโครลิตร ในปฏิกิริยาทั้งหมด 20 ไมโครลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้นำไปบ่มโดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที หยุดปฏิกิริยาโดยการบ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และตรวจสอบผลด้วยวิธีอะกาโรสเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส (agarose gel electrophoresis) ความเข้มข้นร้อยละ 1.0

ขั้นตอนการเชื่อมต่อ (ligation) โดยนำชิ้นส่วนที่ถูกตัดด้วยเอนไซม์ *EcoRI* และ *MseI* มาต่อปลายด้าน 5' และ 3' ด้วยอะแดปเตอร์ ใช้สารละลายที่ได้จากขั้นตอนการย่อยเป็นตัวอย่าง และเตรียมส่วนผสมปฏิกิริยาประกอบด้วย บัฟเฟอร์ทีโฟร์ (T4 buffer) ความเข้มข้น 5 เท่า ปริมาตร 4 ไมโครลิตร 1 ยูนิตต่อไมโครลิตร ทีโฟร์ดีเอ็นเอไลเกส (T4 DNA ligase) 20 ไมโครลิตร อะแดปเตอร์ของ *EcoRI* ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 0.5 ไมโครลิตร อะแดปเตอร์ของ *MseI* ความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ในปฏิกิริยาทั้งหมด 20 ไมโครลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปบ่มโดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที และหยุดปฏิกิริยาโดยการบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำผลที่ได้ตรวจสอบด้วยวิธีอะกาโรสเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสความเข้มข้นร้อยละ 1.0

ขั้นตอนการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ ครั้งที่ 1 (pre-selective amplification) นำสารละลายที่ได้เชื่อมต่อดัวยอะแดปเตอร์ เตรียมส่วนผสมประกอบด้วย สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ ( $MgCl_2$ ) ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.9 ไมโครลิตร ไพรเมอร์ *EcoRI*-A และไพรเมอร์ *MseI*-C

ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ อย่างละ 2 ไมโครลิตร ส่วนผสมพร้อมใช้ของเอนไซม์สังเคราะห์ดีเอ็นเอ (Taq master mix) ความเข้มข้น 2 เท่า ปริมาตร 2 ไมโครลิตร ในปฏิกิริยาทั้งหมด 20 ไมโครลิตร จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยพีซีอาร์ (PCR) ตั้งโปรแกรมการทำงานของเครื่องเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรม (thermal cycler) คือ ขั้นตอนเริ่มต้นการแยกสายดีเอ็นเอ (pre-denaturation) ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ขั้นตอนการแยกสายดีเอ็นเอ (denaturation) ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ขั้นตอนการจับของไพรเมอร์ (annealing) ที่อุณหภูมิ 56 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ขั้นตอนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ (extension) ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ทำซ้ำจำนวน 30 รอบ ตามด้วยขั้นตอนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ รอบสุดท้าย (final extension) ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ตรวจสอบผลด้วยวิธีอะกาโรสเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสความเข้มข้นร้อยละ 1.6

ขั้นตอนการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ ครั้งที่ 2 (selective amplification) นำผลผลิตพีซีอาร์ จากขั้นตอนการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ ครั้งที่ 1 ใช้เป็นดีเอ็นเอต้นแบบ 2 ไมโครลิตร เตรียมส่วนผสม ปฏิกิริยาประกอบด้วย สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.125 ไมโครลิตร ไพรเมอร์จำเพาะ E-NNN และ M-NNN ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ อย่างละ 2.5 ไมโครลิตร ส่วนผสมพร้อมใช้ของเอนไซม์สังเคราะห์ดีเอ็นเอ ความเข้มข้น 2 เท่า ปริมาตร 2.5 ไมโครลิตร ในปฏิกิริยาทั้งหมด 25 ไมโครลิตร นำไปเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอและใช้โปรแกรมการทำงานของเครื่องเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรม จำนวน 35 รอบ อุณหภูมิและเวลา เช่นเดียวกับขั้นตอนการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ ครั้งที่ 1

#### 4. การวิเคราะห์เครื่องหมายเอเอฟแอลพีด้วยวิธีการแยกขนาดสารพันธุกรรมอัตโนมัติด้วยกระแสไฟฟ้า

การตรวจสอบผลของเครื่องหมายเอเอฟแอลพีด้วยการแยกขนาดสารพันธุกรรมอัตโนมัติด้วยกระแสไฟฟ้า (capillary electrophoresis) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สารพันธุกรรมแบบอัตโนมัติ รุ่น QIAxcel advanced system (Qiagen, Hilden, Germany) เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุ ในรูปของสารละลาย เมื่อมีการให้ศักย์ไฟฟ้าจะทำให้ไอออนของสารละลายเคลื่อนที่ไปที่ขั้วไฟฟ้าแต่ละขั้ว เกิดการไหลของอิเล็กโทรไลต์ไปตามหลอดรูเล็ก (capillary) จึงเป็นการวิเคราะห์ผลที่มีความสะดวกและรวดเร็ว วิเคราะห์และบันทึกผลแถบดีเอ็นเอจากการพิจารณาด้วยโปรแกรมภาพเจล (gel image) และอิเล็กโทรเฟอโรแกรม (electropherogram) การเพิ่มปริมาณของแถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้น ใช้สัญลักษณ์เป็น “1” ถ้าไม่มีแถบดีเอ็นเอใช้สัญลักษณ์เป็น “0” คำนวณค่าความสามารถในการจำแนกความแตกต่างของไพรเมอร์แต่ละชนิดด้วยค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม (polymorphism information content: PIC) และระดับความเชื่อมั่นแบบบูตสเตรป (bootstrap) จำนวน 100 ครั้ง โดยโปรแกรม PowerMarker (Liu and Muse, 2004) วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความเหมือน (similarity coefficient) จากนั้นนำค่าความเหมือน (similarity matrix) มาวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (cluster analysis) เพื่อจัดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้วิธีการจัดกลุ่มแบบลำดับชั้น (unweighted pair group method with arithmetic mean: UPGMA) (Sneath and Sokal, 1973) วิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรมจากแถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นเพื่อหาความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของโกโก้โดยใช้โปรแกรม NTSysPc รุ่น 2.10e (Rohlf, 2000)

## ผลการวิจัย

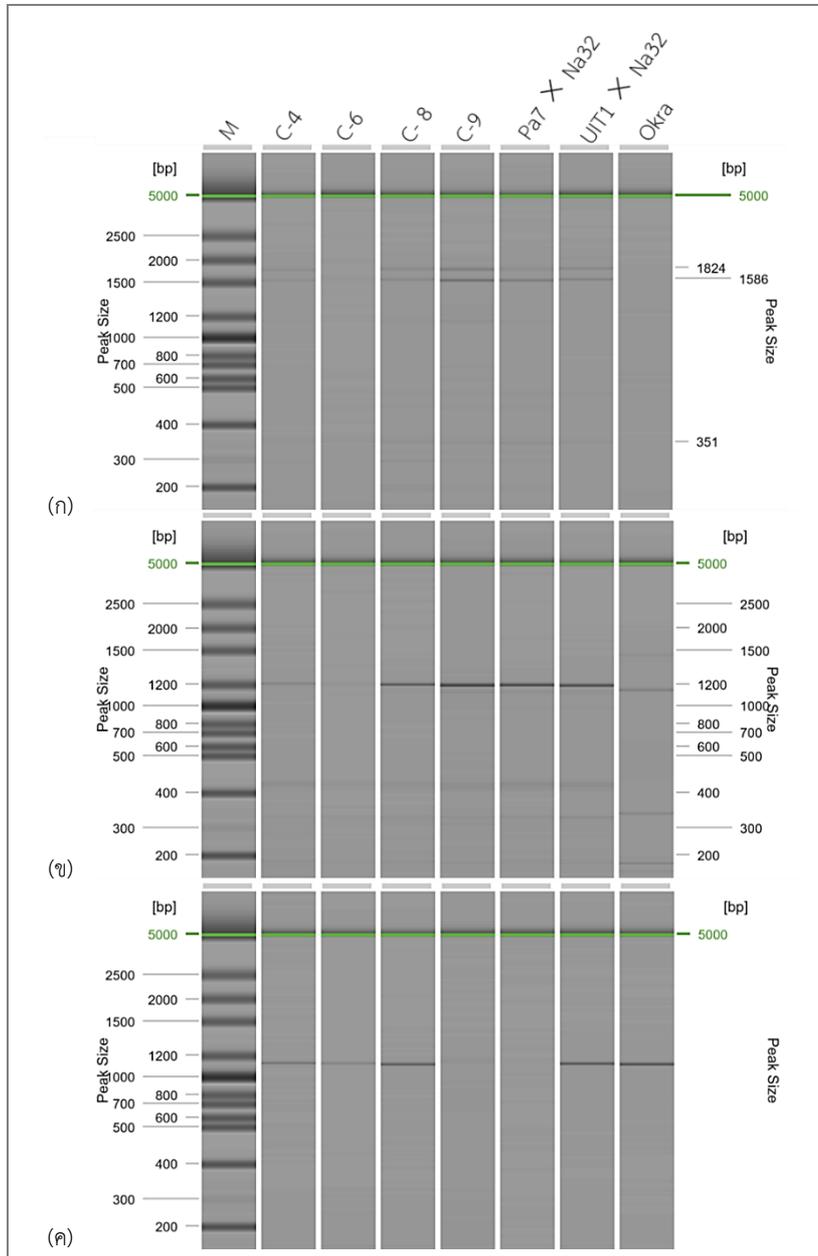
### 1. ผลเครื่องหมายเอเอฟแอลพีของโกโก้

นำผลผลิตพีซีอาร์ที่ผ่านขั้นตอนของการทำเอเอฟแอลพี วิเคราะห์ผลด้วยเครื่องวิเคราะห์สารพันธุกรรมแบบอัตโนมัติในรูปแบบภาพเจล พบว่า 3 คู่ไพรเมอร์ ให้แถบดีเอ็นเอรวมทั้งหมด 23 แถบ เฉลี่ยเท่ากับ 7.67 แถบต่อคู่ไพรเมอร์ ผลการวิเคราะห์แถบดีเอ็นเอพบว่าคู่ไพรเมอร์ E-AAC/M-CTC E-AAG/M-CTA และ E-AAC/M-CTA ให้แถบดีเอ็นเอทั้งหมดจำนวน 12 8 และ 3 แถบ ตามลำดับ โดยมีแถบดีเอ็นเอที่แตกต่าง (polymorphic bands) จำนวน 9 2 และ 3 แถบ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 75.00 25.00 และ 100.00 ตามลำดับ และมีค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมอยู่ระหว่าง 0.28-0.37 ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยเครื่องหมายเอเอฟแอลพีของโกโก้

คู่ไพรเมอร์	จำนวนแถบ ดีเอ็นเอ	จำนวนแถบ ดีเอ็นเอที่แตกต่าง	ร้อยละ ดีเอ็นเอที่แตกต่าง	ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม
E-AAC/M-CTC	12	9	75.00	0.28
E-AAG/M-CTA	8	2	25.00	0.37
E-AAC/M-CTA	3	3	100.00	0.31
ค่าเฉลี่ย	7.67	4.67	66.67	0.32

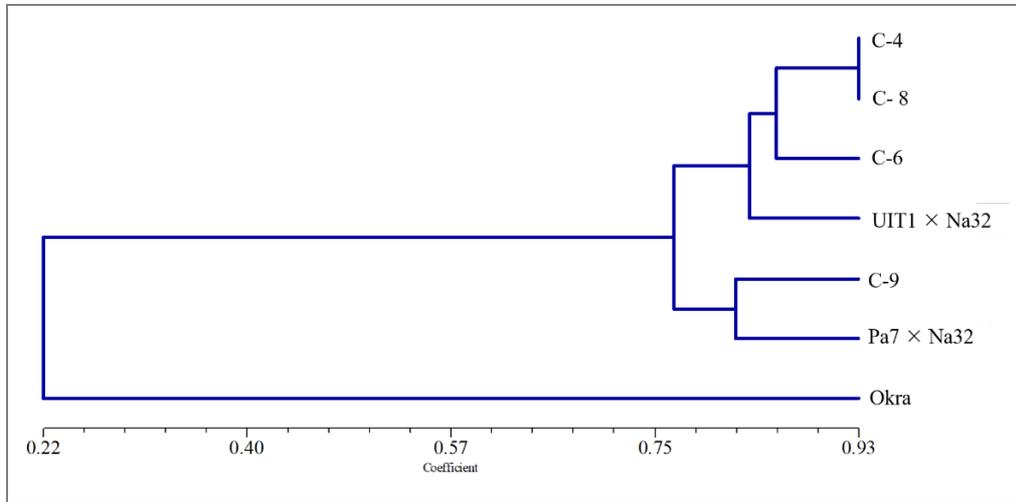
แผนภูมิความสัมพันธ์มีค่าดัชนีความเหมือน เท่ากับ 0.18-0.93 และการสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม NTSYS รุ่น 2.10e วิธี UPGMA พบว่า สามารถแยกความสัมพันธ์ของโกโก้ ได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 แบ่งย่อยได้ 2 กลุ่มย่อยแรก ได้แก่ C-4 C-8 C-6 และ UIT1 x Na32 และกลุ่มย่อยที่ 2 ได้แก่ C-9 และ Pa7 x Na32 ส่วนกลุ่มที่ 2 คือ okra เป็นกระเจี๊ยบเขียวใช้เป็นตัวอย่างควบคุม (ภาพที่ 3) โดยพบว่าค่าดัชนีความเหมือนพันธุกรรมมากที่สุด คือ C-4 และ C-8 มีเท่ากับ 0.93 และจากแผนภูมิความสัมพันธ์ของ UIT1 x Na32 พบว่ามีดัชนีความเหมือนกับ C-4 C-8 และ C-6 เท่ากับ 0.89 0.82 และ 0.79 ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ Pa7 x Na32 หรือสายพันธุ์โกโก้ชุมพร 1 มีค่าดัชนีความเหมือนพันธุกรรมกับ C-9 เท่ากับ 0.82 ดังตารางที่ 3



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์ผลแถบดีเอ็นเอในรูปแบบภาพเจล โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สารพันธุกรรมแบบอัตโนมัติ โดยใช้คูไพรเมอร์ที่แตกต่างกัน คือ E-AAC/M-CTC (ก) E-AAG/M-CTA (ข) และ E-AAC/M-CTA (ค)

หมายเหตุ: - M คือ ดีเอ็นเอมาตรฐาน

- C-4 C-6 C-8 และ C-9 คือ ต้นโกโก้หมายเลข 4 6 8 และ 9 ตามลำดับ จากเกษตรกร
- Pa7 x Na32 คือ สายพันธุ์โกโก้ลูกผสมชุมพร 1
- UIT1 x Na32 คือ สายพันธุ์โกโก้จากศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร
- okra คือ กระเจี๊ยบเขียว เป็นตัวอย่างควบคุม



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของโกโก้จากเครื่องหมายเอเอฟแอลพีโดยวิธี UPGMA

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเหมือนทางพันธุกรรมจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องหมายเอเอฟแอลพี

กลุ่มตัวอย่าง	ค่าสัมประสิทธิ์ความเหมือนทางพันธุกรรม						
	C-4	C-6	C-8	C-9	Pa7xNa32	UIT1xNa32	Okra
C-4	1.00						
C-6	0.89	1.00					
C-8	0.93	0.82	1.00				
C-9	0.75	0.64	0.82	1.00			
Pa7xNa32	0.79	0.68	0.86	0.82	1.00		
UIT1xNa32	0.89	0.79	0.82	0.79	0.82	1.00	
Okra	0.25	0.36	0.18	0.07	0.25	0.21	1.00

### การอภิปรายผลการวิจัย

การใช้เครื่องหมายเอเอฟแอลพีเพื่อศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรม ประกอบด้วย สายพันธุ์โกโก้จากศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร 2 สายพันธุ์ ได้แก่ Pa7 x Na32 และ UIT1 x Na32 และ โกโก้จากแปลงปลูกของเกษตรกรในจังหวัดนครศรีธรรมราช จากข้อมูลการสัมภาษณ์พบว่าไม่ทราบ สายพันธุ์ที่แน่ชัด ได้แก่ หมายเลข C-4 และ C-6 มีลักษณะผลสีเขียว ส่วนหมายเลข C-8 และ C-9 ให้ผลสีเขียวและสีแดง ตามลำดับ เป็นสายพันธุ์ดั้งเดิมที่นำเข้ามาจากประเทศมาเลเซีย เมื่อปี พ.ศ. 2522 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการพัฒนาพันธุ์โกโก้ในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2522 ได้นำผลโกโก้และ กิ่งพันธุ์โกโก้จากซาบาร์ ประเทศมาเลเซียมาปลูกที่สถานีทดลองพืชสวนสวี (สถาบันวิจัยพืชสวน กรม วิชาการเกษตร, 2564) นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ใช้กระเจียบเขียวเป็นตัวอย่างควบคุม จากผลการ วิเคราะห์เครื่องหมายเอเอฟแอลพีให้แถบดีเอ็นเอทั้งหมด 23 แถบ จาก 3 คู่ไพรเมอร์ เฉลี่ยเป็น 7.67 แถบต่อคู่ไพรเมอร์ จากรายงานของ Saunders *et al.* (2000) ใช้เครื่องหมายเอเอฟแอลพี 7 คู่ไพรเมอร์

ร่วมกับเอสเอสอาร์ (simple sequence repeats: SSR) 15 ไพรเมอร์ เพื่อใช้คัดเลือกเชื้อพันธุ์สำหรับการปรับปรุงพันธุ์ของโกโก้ที่มีความต้านทานต่อโรค พบว่าคูไพรเมอร์ E-AAC/M-CTC ให้แถบดีเอ็นเอที่แตกต่างมากที่สุด 30 แถบ ส่วน E-AAG/M-CTA ให้แถบดีเอ็นเอ 21 แถบ และคูไพรเมอร์ที่ให้แถบน้อยที่สุด คือ E-AAC/M-CAC ให้แถบดีเอ็นเอ 15 แถบ ซึ่งจำนวนแถบดีเอ็นเอที่แตกต่างกันจะสัมพันธ์กับความหลากหลายทางพันธุกรรมด้วย นอกจากนี้รูปแบบความแตกต่างของแถบดีเอ็นเอยังสามารถใช้บ่งชี้การแปรผันของพืชได้ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้คูไพรเมอร์ E-AAC/M-CTC และ E-AAG/M-CTA เช่นเดียวกัน แต่ได้จำนวนแถบดีเอ็นเอที่แตกต่างน้อยกว่า ส่วนค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมของคูไพรเมอร์ E-AAG/M-CTA มีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.37 ซึ่งเป็นค่าบ่งชี้ที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรมของโกโก้ในอนาคต

จากแผนภูมิทางพันธุกรรมของโกโก้ด้วยเครื่องหมายเอเอฟแอลพีในครั้งนี สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างสายพันธุ์โกโก้จากแปลงเกษตรกรกับสายพันธุ์ลูกผสมทางการค้าได้ โดยพบว่าตัวอย่างสายพันธุ์โกโก้จากแปลงเกษตรกรต้นหมายเลข C-4 C-6 และ C-8 มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดทางพันธุกรรมกับสายพันธุ์ UIT1 x Na32 ซึ่ง UIT (unidentified trinitario) เป็นกลุ่มพันธุ์ทรินิตาโรที่มีการสันนิษฐานว่าเกิดจากการผสมกันระหว่างกลุ่มพันธุ์ครีโอลกับพอร์สเทอร์โร กลุ่มพันธุ์นี้มีคุณภาพดีและให้ผลผลิตสูง มีความทนทานต่อโรคดีกว่ากลุ่มพอร์สเทอร์โร เมล็ดของทรินิตาโรบางพันธุ์จะมีรสชาติพิเศษ ส่วนสายพันธุ์โกโก้จากแปลงเกษตรกร C-9 มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดทางพันธุกรรมกับสายพันธุ์ Pa7 x Na32 หรือโกโก้ลูกผสมชุมพร 1 เป็นกลุ่มย่อยอ์พเปอร์เมซอน ในกลุ่มพันธุ์พอร์สเทอร์โร รสชาติของเมล็ดโกโก้มีรสขมเล็กน้อยแต่มีรสชาติเข้มข้น ทำให้ช็อกโกแลตที่ผลิตจากพันธุ์นี้มีรสชาติที่ดีและเข้มข้นที่สุด (สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, 2564)

ในปัจจุบันสายพันธุ์โกโก้ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ปลูกในเชิงการค้า ส่วนมากจะเป็นลูกผสม เนื่องจากต้องการให้ลูกผสมที่เกิดขึ้นมีคุณภาพในด้านต่าง ๆ ดีขึ้นกว่าพันธุ์พ่อแม่ ทั้งในเรื่องการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต คุณภาพและขนาดเมล็ด ความทนทานต่อโรคและแมลง ดังนั้นการคัดเลือกสายพันธุ์โกโก้เพื่อปลูกทางการค้าและการเลือกใช้ประโยชน์ในการแปรรูปอย่างเหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น จากผลงานวิจัยนี้ใช้เครื่องหมายเอเอฟแอลพีศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของโกโก้ที่มีการแปรรูปสามารถบ่งชี้ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของสายพันธุ์โกโก้จากแปลงของเกษตรกรกับสายพันธุ์ที่ทราบแล้วจากศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร เพื่อเป็นข้อมูลการใช้ประโยชน์การแปรรูปโกโก้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้เครื่องหมายเอเอฟแอลพีสามารถประยุกต์ใช้วิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรมและแผนภูมิความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมในสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ได้ เช่น *Brassica oleracea* (El-Esawi *et al.*, 2016) และถั่วฟาบ่า (Faba beans) พันธุ์กลาย (Nurmansyah *et al.*, 2020) เป็นต้น จะเห็นได้ว่าเครื่องหมายเอเอฟแอลพีสามารถบอกความแตกต่างทางพันธุกรรม สามารถใช้บ่งชี้เอกลักษณ์ของสิ่งมีชีวิต การตรวจสอบความเป็นลูกผสม และการจดทะเบียนพันธุ์ได้ แต่อย่างไรก็ตามแถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นจากเครื่องหมายเอเอฟแอลพีจะมีจำนวนมากและขนาดใกล้เคียงกัน แถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นอาจมีขนาดเท่ากันแต่มาจากซันดีเอ็นเอคนละตำแหน่ง จึงอาจทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้

## สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของโกโก้ด้วยเครื่องหมายเอเอฟแอลพี โดยเก็บตัวอย่างสายพันธุ์โกโก้ลูกผสมทางการค้า ได้แก่ สายพันธุ์ Pa7 x Na32 และสายพันธุ์ UIT1 x Na32 จากศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร อำเภอสวี จังหวัดชุมพร และตัวอย่างสายพันธุ์โกโก้ ต้นหมายเลข 4 (C-4) หมายเลข 6 (C-6) หมายเลข 8 (C-8) และหมายเลข 9 (C-9) จากแปลงปลูกของเกษตรกรในจังหวัดนครศรีธรรมราชที่เป็นรายใหญ่ของการแปรรูปโกโก้เป็นผลิตภัณฑ์ ศึกษาเครื่องหมายเอเอฟแอลพี จำนวน 3 คู่ไพรเมอร์ สามารถสร้างลายพิมพ์ดีเอ็นเอของโกโก้ด้วยรูปแบบภาพเจดจากโปรแกรม QIAxcel Advanced System พบว่าสายพันธุ์โกโก้จำนวน 6 ตัวอย่างและกระเจียบเขียว 1 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม สามารถสร้างแผนภูมิทางพันธุกรรมของโกโก้ได้ 2 กลุ่ม โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างของโกโก้และตัวอย่างควบคุมออกจากกัน และสามารถแบ่งกลุ่มย่อยของโกโก้ได้ 2 กลุ่มย่อยตามความใกล้ชิดทางพันธุกรรมกันระหว่างสายพันธุ์โกโก้ของเกษตรกรและสายพันธุ์ลูกผสมทางการค้าของศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร

## ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นข้อมูลเบื้องต้นของข้อมูลความหลากหลายทางพันธุกรรมของโกโก้ด้วยเครื่องหมายเอเอฟแอลพี จึงควรทดสอบตัวอย่างประชากรของโกโก้และคู่ไพรเมอร์เพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ได้ความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของสายพันธุ์โกโก้ที่นำมาแปรรูปในจังหวัดนครศรีธรรมราชได้รับงบประมาณสนับสนุนจากเงินงบประมาณ ววน. ประจำปี พ.ศ. 2566 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช โดยมุ่งหวังเพื่อที่จะได้ข้อมูลลักษณะทางพันธุกรรมของสายพันธุ์โกโก้เพื่อนำมายืนยันสายพันธุ์ที่เป็นต้นกำเนิดของโกโก้ในจังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นข้อมูลในการสร้างแบรนด์โกโก้ในจังหวัดนครศรีธรรมราชให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นและเป็นการยกระดับของผู้ประกอบการด้วย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่อนุเคราะห์เครื่องมือในการศึกษาพันธุศาสตร์โมเลกุลในการทำโครงการ และขอขอบคุณ คุณพัฒนาพร รินจักร ที่ช่วยประสานงานในการเก็บตัวอย่าง ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพรที่อนุเคราะห์ตัวอย่างสายพันธุ์ รวมถึงเกษตรกรทุกท่านที่ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างในทุกพื้นที่

## เอกสารอ้างอิง

จตุพร อัครโสวรรณ วีระเกียรติ ทรัพย์มี และจุฑามาศ ศุภพันธ์. (2568). การทดสอบคุณภาพผ้าสีธรรมชาติที่ย้อมด้วยสีผงจากเปลือกฝักโกโก้ (*Theobroma cacao*) โดยการใช้สารช่วยติดสี. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 44(2), 30-43, doi: <https://doi.org/10.65217/wichhajstru.2025.v44i2.264813>.

- เทคโนโลยีชาวบ้าน. (2567). “โกโก้ไทย” ฝ่าวิกฤต...โอกาสทะยานสู่ตลาดโลก. สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2567, จาก: [https://www.khaosod.co.th/technologychaoban/techno-news/article\\_276150](https://www.khaosod.co.th/technologychaoban/techno-news/article_276150).
- สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. (2564). *การจัดการความรู้ เทคโนโลยีการผลิตโกโก้*. นนทบุรี: การันตี.
- Afoakwa, E.O. (2014). *Cocoa production and processing technology*. Boca Raton: CRC Press.
- Doyle, J.J. and Doyle, J.L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19(1), 11-15.
- El-Esawi, M.A., Germaine, K., Bourke, P. and Malone, R. (2016). AFLP analysis of genetic diversity and phylogenetic relationships of *Brassica oleracea* in Ireland. *Comptes Rendus Biologies*, 339(5-6), 163-170, doi: <https://doi.org/10.1016/j.crv.2016.03.002>.
- Google Maps. (2024). *Thailand*. Retrieved 11 November 2024, from: <https://maps.app.goo.gl/zoxGyZw1EQTL6NpLA>.
- Korzun, V. (2002). Use of molecular markers in cereal breeding. *Cellular and Molecular Biology Letters*, 7(2B), 811-820.
- Liu, K. and Muse, S.V. (2004). PowerMarker: An integrated analysis environment for genetic marker analysis. *Bioinformatics*, 21(9), 2128-2129, doi: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bti282>.
- Nurmansyah, Alghamdi, S.S., Migdadi, H.M., Khan, M.A. and Afzal, M. (2020). AFLP-based analysis of variation and population structure in mutagenesis induced faba bean. *Diversity*, 12(8), 303, doi: <https://doi.org/10.3390/d12080303>.
- Paun, O. and Schönswetter, P. (2012). Amplified fragment length polymorphism (AFLP) - An invaluable fingerprinting technique for genomic, transcriptomic and epigenetic studies. *Methods Molecular Biology*, 862, 75-87, doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-61779-609-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-61779-609-8_7).
- Rohlf, F.J. (2000). *NTSYS-pc V2.10e numerical taxonomy and multivariate analysis system*. New York: Exeter Software.
- Ronning, C.M., Schnell, R.J. and Kuhn, D.N. (1995). Inheritance of random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers in *Theobroma cacao* L. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(4), 681-686, doi: <https://doi.org/10.21273/JASHS.120.4.681>.

- Saunders, J.A., Hemeida, A.A. and Mischke, S. (2000). USDA DNA fingerprinting programme for identification of *Theobroma cacao* accessions. In *Proceedings of the International Workshop on New Technologies and Cocoa Breeding* (pp. 112-118). Sabah: Malaysian Cocoa Board.
- Sneath, P.H.A. and Sokal, R.R. (1973). *Numerical taxonomy: The principles and practice of numerical classification*. San Francisco: W.H. Freeman and Company.
- Syahri, Y.F., Rauf, M., Paembonan, S.A., Larekeng, S.H. and Cahyaningsih, Y.F. (2019). RAPD amplification on cocoa (*Theobroma cacao* L.) from East Kolaka, Southeast Sulawesi Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 270, 012052, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/270/1/012052>.
- Vos, P., Hogers, R., Bleeker, M., Reijans, M., van de Lee, T., Hornes, M., Friters, A., Pot, J., Peleman, J., Kuiper, M. and Zabeau, M. (1995). AFLP: A new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Research*, 23(21), 4407-4414, doi: <https://doi.org/10.1093/nar/23.21.4407>.

## การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ ที่ปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่น

### Properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Stabilized with Crushed Rock and Stone Dust

เขมาภรณ์ ชันเงิน<sup>1</sup> สราวุธ จริตงาม<sup>1\*</sup> และโอภาส สมใจนึก<sup>2</sup>  
Khemaporn Khan-ngern<sup>1</sup>, Saravut Jaritngam<sup>1\*</sup> and Opas Somchainuek<sup>2</sup>

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ (reclaimed asphalt pavement: RAP) ที่ปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่น เพื่อพัฒนาวัสดุทางเลือกสำหรับงานก่อสร้างและปรับปรุงถนน โดยนำวัสดุหินคลุกและหินฝุ่นมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อเสริมกำลังรับแรงอัดของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ วัสดุหินคลุกและหินฝุ่นถูกนำไปทดสอบหาขนาดคละของมวลรวมก่อนนำมาใช้ในการออกแบบส่วนผสม และดำเนินการออกแบบการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิม (pavement in-place recycling) ตามมาตรฐาน ทล.-ม.213/2543 เรื่องมาตรฐานการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ การออกแบบส่วนผสมทำการผสมวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่กับวัสดุผสมเพิ่ม 2 ชนิด ได้แก่ หินคลุกและหินฝุ่น ในอัตราส่วนวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อวัสดุผสมเพิ่ม 3 อัตราส่วน คือ 25:75 50:50 และ 75:25 โดยน้ำหนัก โดยนำส่วนผสมที่ได้ไปทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว จากผลการศึกษาพบว่าวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่นมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัสดุทางเลือกสำหรับงานก่อสร้างหรือปรับปรุงถนน โดยให้ค่ากำลังรับแรงอัดเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงสำหรับชั้นรองพื้นทางหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ ซึ่งกำหนดให้ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวไม่น้อยกว่า 24.50 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (ksc) ที่อายุการบ่ม 7 วัน

**คำสำคัญ:** วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ หินคลุก หินฝุ่น

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

<sup>2</sup> สำนักงานทางหลวงที่ 18 กรมทางหลวง

<sup>1</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

<sup>2</sup> Office of Highways 18, Department of Highways

\* Corresponding author e-mail: jaritngam@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajnstu.2026.v45i1.266057>

Received: 22 January 2025, Revised: 3 March 2025, Accepted: 11 March 2025

## Abstract

This research investigated the properties of reclaimed asphalt pavement (RAP) stabilized with crushed rock and stone dust for use as an alternative pavement material. Crushed rock and stone dust were employed as stabilizing additives to enhance the compressive strength of RAP. Both additives were first subjected to gradation analysis, and materials meeting the specification were selected for mix design. Pavement in-place recycling mixtures were designed in accordance with the Thai Department of Highways standard DH-S 213/2543 for reclaimed asphalt pavement (RAP). The mixtures were prepared by combining RAP with two types of additives crushed rock and stone dust at three RAP-to-additive ratios of 25:75, 50:50, and 75:25 by weight. Unconfined compressive strength tests were conducted on the prepared mixtures. The results indicated that stabilized RAP has potential for use as an alternative material in road construction and rehabilitation. In particular, the mixture with a RAP-to-additive ratio of 25:75 satisfied the Department of Highways requirement for a cement-treated gravel subbase layer, achieving a minimum unconfined compressive strength of 24.50 kgf/cm<sup>2</sup> (ksc) after 7 days of curing.

**Keywords:** Reclaimed asphalt pavement, Crushed rock, Stone dust

## บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการก่อสร้างและปรับปรุงถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองต่อปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นจากจำนวนยานพาหนะที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อถนนถูกใช้งานไปเป็นระยะเวลาหนึ่ง มักเกิดความเสียหายจากการรับน้ำหนักบรรทุกของยานพาหนะที่สูงเกินกว่าที่ออกแบบไว้ รวมถึงการเสื่อมสภาพของวัสดุผิวทางและผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศ ส่งผลให้เกิดลักษณะความเสียหายต่าง ๆ เช่น การหลุดร่อน การทรุดตัว การเกิดร่องล้อ และการแตกร้าวของผิวทาง หากไม่มีการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม ความเสียหายดังกล่าวจะทวีความรุนแรงมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อความสะดวกและความปลอดภัยในการสัญจรของผู้ใช้ถนน รวมถึงเพิ่มค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมในระยะยาว โดยทั่วไปเมื่อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพ วัสดุผิวทางเดิมมักถูกขุดรื้อและนำไปทิ้งโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ (จิระยุทธ และคณะ, 2559) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการพัฒนาแนวทางการนำวัสดุผิวทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ โดยการขุดรื้อและปรับปรุงวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เสื่อมสภาพให้นำกลับมาใช้งานได้อีกครั้ง ซึ่งเรียกว่า วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ (reclaimed asphalt pavement: RAP) การนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่มาใช้จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวัสดุที่เหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของชั้นทางให้มีคุณภาพและความสามารถในการรับน้ำหนักที่เพียงพอ ทั้งยังช่วยลดระยะเวลาในการก่อสร้าง ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติใหม่ และลดการสูญเสียวัสดุ แนวทางการปรับปรุงผิวทางถนนเดิมโดยการ

หมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ มักอาศัยการผสมวัสดุเพิ่มเพื่อทำหน้าที่เสริมกำลังและปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นชั้นพื้นทางหรือชั้นรองพื้นทาง โดยทั่วไปการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานนิยมใช้เพื่อเพิ่มกำลังรับแรง อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เป็นแหล่งกำเนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูง ซึ่งส่งผลต่อภาวะโลกร้อน ดังนั้นจึงมีความพยายามในการแสวงหาวัสดุทดแทนจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อลดการใช้ปูนซีเมนต์ วัสดุจากธรรมชาติ เช่น หินคลุกและหินฝุ่น เป็นวัสดุที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่เนื่องจากสามารถช่วยปรับปรุงโครงสร้างส่วนคละและเพิ่มความสามารถในการรับแรงของวัสดุชั้นทางได้ ปัจจุบันแนวทางดังกล่าวได้รับความสนใจและเริ่มมีการนำมาใช้งานมากขึ้น โดยมีการอ้างอิงมาตรฐานของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทเพื่อสนับสนุนการนำวัสดุเหล่านี้ไปใช้ในงานก่อสร้างถนนจริง (กนกพล และคณะ, 2566) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ที่ปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่น เพื่อประเมินศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัสดุทางเลือกสำหรับงานก่อสร้างและปรับปรุงถนนให้เป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดพื้นฐานของการนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งได้จากการขุดหรือการซ่อมแซมถนนแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมกลับมาใช้ในการก่อสร้างถนน เป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถช่วยลดต้นทุนการก่อสร้างและลดปริมาณขยะจากงานก่อสร้างได้อย่างมีนัยสำคัญ (Ma *et al.*, 2022) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษาและทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ เช่น ความแข็งแรง ความทนทาน และความสามารถในการรับแรงเฉือน เพื่อประเมินศักยภาพในการนำไปใช้งานเป็นชั้นทางในโครงสร้างถนน (Wu *et al.*, 2020) นอกจากนี้การนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่มาใช้ยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติใหม่ เช่น หินคลุกและยางมะตอยใหม่ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีต้นทุนสูงและอาจขาดแคลนในบางพื้นที่ (Plati *et al.*, 2019) ส่งผลให้การใช้วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่เป็นทางเลือกที่สอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนและการอนุรักษ์ทรัพยากร วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่สามารถนำมาปรับปรุงและใช้งานได้ด้วยวิธีการที่หลากหลาย เช่น การรีไซเคิลภายใต้อุณหภูมิสูง (hot mix recycling) และการรีไซเคิลแบบผสมเย็น (cold mix recycling) โดยมักมีการผสมร่วมกับวัสดุอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุ เช่น การใช้ปูนซีเมนต์หรือหินฝุ่นเป็นวัสดุผสมเพิ่ม เพื่อเสริมกำลังและเพิ่มเสถียรภาพของชั้นทาง (Singh *et al.*, 2019)

การใช้หินคลุกและหินฝุ่นในการปรับปรุงวัสดุผิวทาง หินคลุกและหินฝุ่นเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการเสริมกำลังให้กับวัสดุของผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ เพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของชั้นพื้นทาง (Chakravarthi and Shankar, 2018) การใช้หินคลุกทำให้สามารถเพิ่มความต้านทานการสึกกร่อนและความแข็งแรงต่อแรงอัดของวัสดุผิวทาง (Saed *et al.*, 2022; พิษณุ และคณะ, 2568) ในขณะที่หินฝุ่นช่วยในการเติมเต็มช่องว่างและเพิ่มความแน่นของโครงสร้าง (Fedrigo *et al.*, 2019) จากการศึกษาวิจัยหลายฉบับยังชี้ให้เห็นว่าการผสมหินฝุ่นกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ ช่วยให้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานเป็นวัสดุชั้นพื้นทาง เช่น ทนต่อการเกิดการแตกร้าวและช่วยลดการซึมผ่านของน้ำ (Jahanbakhsh *et al.*, 2019) นอกจากนี้การเลือกใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างหินคลุก หินฝุ่น และวัสดุของผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ ยังช่วยให้

สามารถพัฒนาโครงสร้างชั้นพื้นทางให้มีความแข็งแรงและทนทานมากขึ้น (Debbarma *et al.*, 2021) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงวัสดุผิวทางในประเทศไทย มีการวิจัยเกี่ยวกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ เป็นเรื่องที่ได้รับ ความสนใจในวงการวิศวกรรมโยธา เนื่องจากมีถนนที่ต้องการซ่อมแซมและบำรุงรักษาจำนวนมาก กรมทางหลวงได้ออกมาตรฐานงานทางที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุชั้นทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ (ทล.-ม.213/2543) ซึ่งกำหนดวิธีการออกแบบและการทดสอบ เพื่อให้ ความมั่นใจในคุณภาพของวัสดุ (กรมทางหลวง, 2544) มีการศึกษาทดลองใช้เถ้าลอยและหินฝุ่น ในการผสมกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าสามารถเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุได้ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานของกรมทางหลวง (Hoy *et al.*, 2016) นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุท้องถิ่นร่วมกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตและยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการก่อสร้างถนนได้อย่างมีนัยสำคัญ

หินคลุกและหินฝุ่นเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการปรับปรุงและเสริมกำลังวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของชั้นพื้นทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Chakravarthi and Shankar, 2018) การใช้หินคลุกเป็นวัสดุผสมเพิ่ม มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความต้านทานต่อการสึกกร่อนและเพิ่มกำลังรับแรงอัดของวัสดุผิวทาง ส่งผลให้โครงสร้างชั้นทางมีเสถียรภาพมากขึ้น (Saed *et al.*, 2022) ในขณะที่หินฝุ่นมีคุณสมบัติช่วยเติมเต็มช่องว่างระหว่างมวลรวม ทำให้โครงสร้างวัสดุมีความแน่นและลดช่องว่างภายใน ซึ่งส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรงและลดการซึมผ่านของน้ำได้ดีขึ้น (Fedrigo *et al.*, 2019) งานวิจัยหลายฉบับ รายงานว่า การผสมหินฝุ่นร่วมกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นวัสดุชั้นพื้นทาง โดยช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการแตกร้าวและเพิ่มความทนทานต่อสภาพแวดล้อมในระยะยาว (Jahanbakhsh *et al.*, 2019) นอกจากนี้การเลือกใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ หินคลุก และหินฝุ่น มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาโครงสร้างชั้นพื้นทางให้มีความแข็งแรงและทนทาน โดยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมจะช่วยให้วัสดุมีโครงสร้างส่วนคละที่ดี เพิ่มความสามารถในการรับแรง และลดการเสีรูปร่างภายใต้ภาระการใช้งาน (Debbarma *et al.*, 2021) สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย การปรับปรุงวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องในวงการวิศวกรรมโยธา เนื่องจากมีถนนที่ต้องการซ่อมแซมและบำรุงรักษาเป็นจำนวนมาก กรมทางหลวงได้กำหนดมาตรฐานงานทางที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุชั้นทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ (ทล.-ม.213/2543) ซึ่งระบุแนวทางการออกแบบส่วนผสมและการทดสอบ เพื่อให้มั่นใจว่าวัสดุที่นำมาใช้ มีคุณภาพและเหมาะสมต่อการใช้งานจริง (กรมทางหลวง, 2544) มีรายงานการศึกษาทดลองการใช้วัสดุผสมเพิ่ม เช่น เถ้าลอยและหินฝุ่นร่วมกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุได้ และให้ผลเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง (Hoy *et al.*, 2016) ผลการศึกษาดังกล่าวยังแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุท้องถิ่นร่วมกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่สามารถช่วยลดต้นทุนการก่อสร้าง และเพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนา งานโครงสร้างถนนได้อย่างมีนัยสำคัญ

การประเมินคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่น สามารถดำเนินการได้โดยใช้วิธีการทดสอบหลายรูปแบบ เพื่อประเมินความเหมาะสมของวัสดุสำหรับการใช้งานเป็นชั้นพื้นทาง การทดสอบที่สำคัญ ได้แก่ การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (unconfined compressive strength: UCS) ซึ่งใช้ในการประเมินความสามารถในการรับแรงอัดของวัสดุ และเป็นตัวชี้วัดสำคัญในการพิจารณาความเหมาะสมของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่สำหรับงานโครงสร้างถนน นอกจากนี้การทดสอบขนาดส่วนคละของวัสดุมีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดมวลรวม ซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างภายใน ความแน่น และความสามารถในการรับแรงของวัสดุ อีกทั้งยังมีการทดสอบคุณสมบัติด้านความทนทานต่อสภาพแวดล้อม เช่น ความต้านทานต่อการกัดกร่อนและการซึมผ่านของน้ำ เพื่อประเมินพฤติกรรมของวัสดุภายใต้สภาพการใช้งานจริง (Singh *et al.*, 2019) การทดสอบดังกล่าวเป็นเครื่องมือสำคัญในการวิจัยที่ช่วยสนับสนุนการออกแบบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นชั้นพื้นทาง การวิเคราะห์ผลการทดสอบทางวิศวกรรมสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่เมื่อผสมร่วมกับวัสดุผสมเพิ่มต่าง ๆ เพื่อเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพของชั้นพื้นทาง ทั้งในด้านความแข็งแรง ความคงทน และอายุการใช้งานของโครงสร้างถนน โดยแนวทางดังกล่าวยังสอดคล้องกับแนวคิดการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืนและการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จากเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพและการกำหนดอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของชั้นพื้นทาง โดยการนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่มาผสมร่วมกับวัสดุผสมเพิ่ม ได้แก่ หินคลุก หินฝุ่น และปูนซีเมนต์ เพื่อพัฒนาวัสดุชั้นพื้นทางให้มีความแข็งแรง ความทนทาน และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

### วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งปรับปรุงด้วยวัสดุผสมเพิ่ม ได้แก่ หินคลุกและหินฝุ่น (ภาพที่ 1) โดยวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งใช้ในการทดลองได้มาจากการขุดหรือผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตบนทางหลวงหมายเลข 4273 ตอนตะบิงติง-สันกาหลง ระหว่างกิโลเมตรที่ 5+000 ถึง 9+800 ในพื้นที่จังหวัดยะลา รวมระยะทาง 100 กิโลเมตร

วัสดุหินคลุกและหินฝุ่นถูกนำมาจัดเตรียมและคัดเลือกเพื่อใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มสำหรับการออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อวัสดุผสมเพิ่ม 2 ชนิด ได้แก่ หินคลุกและหินฝุ่น ใน 3 อัตราส่วน คือ 25:75 50:50 และ 75:25 โดยน้ำหนัก สำหรับแต่ละอัตราส่วนทำการเตรียมขึ้นตัวอย่างจำนวน 5 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 15 ตัวอย่าง

ขึ้นตัวอย่างที่เตรียมได้ถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุตามมาตรฐานของกรมทางหลวง เพื่อใช้ในการประเมินความเหมาะสมของวัสดุสำหรับการใช้งานเป็นชั้นพื้นทาง การทดสอบที่ดำเนินการประกอบด้วย การทดสอบความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) การทดสอบขนาดส่วนคละของวัสดุ (sieve analysis) การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified compaction test) การทดสอบค่ากำลังรับน้ำหนักแบบ CBR (California bearing ratio) ของวัสดุ

ผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ และการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว หลังจากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลเพื่อประเมินคุณสมบัติและศักยภาพของวัสดุที่ศึกษา

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยวัสดุทั้งหมด 5 ประเภท ได้แก่

- (1) วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่
- (2) หินคลุก
- (3) หินฝุ่น
- (4) ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
- (5) น้ำสะอาด

การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ (ภาพที่ 2) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชุดอัตราส่วนผสม ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 1 ประกอบด้วยหินคลุกและปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนผสมที่ 2 ประกอบด้วยหินฝุ่นและปูนซีเมนต์ โดยกำหนดอัตราส่วนผสมของวัสดุ เป็น 3 ระดับ คือ 25:75 50:50 และ 75:25 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ (ก) หินคลุก (ข) และหินฝุ่น (ค)



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการออกแบบวัสดุผสมเพิ่มและการทดสอบ

**ตารางที่ 1** การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุ

อัตราส่วนผสม (วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ : วัสดุผสมเพิ่ม)	วัสดุผสมเพิ่ม	
	อัตราส่วนผสมที่ 1 หินคลุก : ปูนซีเมนต์	อัตราส่วนผสมที่ 2 หินฝุ่น : ปูนซีเมนต์
25:75	25:75	25:75
50:50	50:50	50:50
75:25	75:25	75:25

**ผลการวิจัย**

ผลการทดสอบขนาดส่วนคละของหินคลุกและหินฝุ่น พบว่าอัตราส่วนผสม 25:75 มีค่าร้อยละผ่านตะแกรงต่ำที่สุดในเกือบทุกขนาดตะแกรง แสดงถึงลักษณะวัสดุที่มีความหยาบมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสม 50:50 และ 75:25 ซึ่งมีค่าร้อยละผ่านตะแกรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ อัตราส่วนผสม 50:50 ให้การกระจายตัวของขนาดวัสดุที่อยู่ในช่วงกึ่งกลาง และมีแนวโน้มเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง ดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3

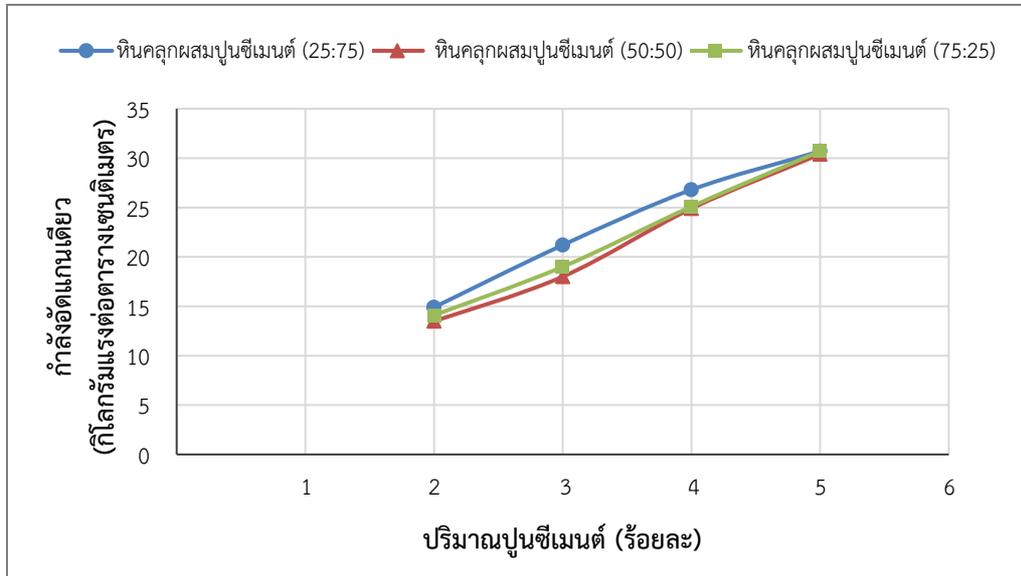
**ตารางที่ 2** การเปรียบเทียบขนาดส่วนคละของหินคลุก

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร (นิ้ว))	ปริมาณผ่านตะแกรง (ร้อยละ)		
	25:75	50:50	75:25
50.000 (2")	100.0	100.0	100.0
25.000 (1")	78.3	96.3	98.3
19.000 (3/4")	62.8	89.3	92.3
9.500 (3/8")	62.8	67.2	74.7
4.750 (เบอร์ 4)	36.4	44.4	48.4
2.000 (เบอร์ 10)	25.7	29.4	36.4
0.425 (เบอร์ 40)	16.8	19.4	25.9
0.075 (เบอร์ 200)	10.9	11.9	18.9

**ตารางที่ 3** การเปรียบเทียบขนาดส่วนคละของหินฝุ่น

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร (นิ้ว))	ปริมาณผ่านตะแกรง (ร้อยละ)		
	25:75	50:50	75:25
50.000 (2")	100.0	100.0	100.0
25.000 (1")	100.0	100.0	100.0
19.000 (3/4")	85.7	93.4	96.8
9.500 (3/8")	49.4	51.1	67.7
4.750 (เบอร์ 4)	21.5	29.4	41.2
2.000 (เบอร์ 10)	19.7	20.2	31.4
0.425 (เบอร์ 40)	11.2	16.5	23.8
0.075 (เบอร์ 200)	6.7	13.1	13.7

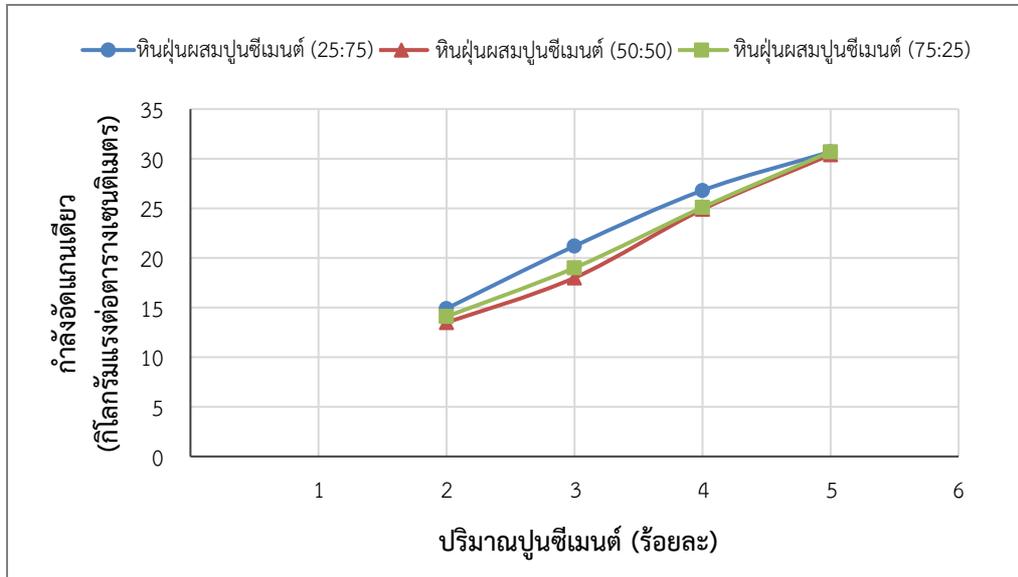
ผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งปรับปรุงด้วย หินคลุกและปูนซีเมนต์ พบว่ากำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นในทุกอัตรา ส่วนผสม เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับปูนซีเมนต์เดียวกัน อัตราส่วนผสม 25:75 ให้ค่ากำลังอัดแกนเดียว สูงที่สุด รองลงมา คือ อัตราส่วนผสม 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปูนซีเมนต์ผสมในหินคลุก

ผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งปรับปรุงด้วย หินฝุ่นและปูนซีเมนต์ พบว่าค่ากำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นในทุกอัตรา ส่วนผสม เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับปูนซีเมนต์เดียวกัน อัตราส่วนผสม 25:75 ให้ค่ากำลังอัดแกนเดียว สูงที่สุด รองลงมา คือ อัตราส่วนผสม 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4

ผลการทดสอบปริมาณความชื้นเหมาะสม (optimum moisture content: OMC) และความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density: MDD) ของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่น ที่อัตราส่วนผสม 25:75 50:50 และ 75:25 (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ ตารางยังแสดงปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เหมาะสมซึ่งให้ค่ากำลังอัดแกนเดียว 24.5 และ 28.2 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (ksc) เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาในการออกแบบชั้นพื้นทางตาม เกณฑ์มาตรฐาน



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปูนซีเมนต์ผสมในหินฝุ่น

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความชื้นเหมาะสม ความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณปูนซีเมนต์ที่ให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวตามเกณฑ์มาตรฐาน

วัสดุผสม	อัตราส่วนผสม	ความชื้นเหมาะสม (ร้อยละ)	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ให้แรงอัด 24.5 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (ร้อยละ)	ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ให้แรงอัด 28.2 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (ร้อยละ)
วัสดุผิวทาง	25:75	6.4	2.156	3.7	4.3
แอสฟัลต์ที่น้ำ	50:50	8.1	2.081	3.9	4.5
กลับมาใช้ใหม่	75:25	8.2	2.019	4.0	4.7
ผสมหินคลุก					
วัสดุผิวทาง	25:75	6.3	2.144	3.7	4.4
แอสฟัลต์ที่น้ำ	50:50	8.4	2.052	4.0	4.6
กลับมาใช้ใหม่	75:25	8.6	1.989	3.9	4.6
ผสมหินฝุ่น					

#### การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่น้ำกลับมาใช้ใหม่มาปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุผสมเพิ่ม ได้แก่ หินคลุกและหินฝุ่น ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงของวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดสอบทางวิศวกรรมบ่งชี้ว่าวัสดุผิวทางที่ได้รับ

การปรับปรุงดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางหรือชั้นรองพื้นทางได้ โดยให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

จากผลการวิจัย คณะผู้วิจัยสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกวิธีการซ่อมบำรุงและปรับปรุงผิวทางที่ชำรุดเสียหาย โดยเฉพาะการใช้เทคนิคการหมุนเวียนวัสดุผิวทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถเลือกปรับอัตราส่วนผสมของวัสดุผสมเพิ่ม เช่น หินคลุกและหินฝุ่น ให้เหมาะสมกับสภาพวัสดุและข้อกำหนดทางวิศวกรรม นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้วัสดุอื่นที่มีอยู่ในท้องถิ่นเป็นวัสดุผสมเพิ่ม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ให้เหมาะสมกับการใช้งานในโครงสร้างชั้นทาง อีกทั้งข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประกอบการวิเคราะห์ด้านต้นทุนในการก่อสร้างและบำรุงรักษาทางหลวงได้ โดยการออกแบบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่กับวัสดุผสมเพิ่ม จะช่วยลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ ซึ่งไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนการก่อสร้าง แต่ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ อันเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับการพัฒนางานก่อสร้างถนนอย่างยั่งยืน

### สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุผสมเพิ่ม ได้แก่ หินคลุกและหินฝุ่น ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาวัสดุชั้นพื้นทาง โดยกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อวัสดุผสมเพิ่มออกเป็น 3 อัตราส่วน คือ 25:75 50:50 และ 75:25 ผลการทดสอบขนาดส่วนคละของวัสดุผสมพบว่าอัตราส่วนผสม 25:75 ให้ปริมาณผ่านตะแกรงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่น การทดสอบกำลังอัดแกนเดียว แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนผสม 25:75 ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด ทั้งในกรณีที่ปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่น สำหรับการทดสอบปริมาณความชื้นเหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุด พบว่าอัตราส่วนผสม 25:75 ให้ค่าความชื้นเหมาะสมต่ำที่สุด และให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ซึ่งสะท้อนถึงโครงสร้างเม็ดวัสดุที่มีความแน่นและประสิทธิภาพในการถ่ายแรงที่ดีกว่าอัตราส่วนผสมอื่น ทั้งนี้สามารถสังเกตได้ว่าปริมาณความชื้นมีผลต่อค่าความหนาแน่นแห้งอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดแกนเดียวเท่ากับ 28.2 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร พบว่าอัตราส่วนผสม 25:75 ให้ค่าปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ที่ใกล้เคียงกันทั้งสองกรณี โดยการผสมกับหินคลุกใช้ปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 4.3 และการผสมกับหินฝุ่นใช้ปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 4.4 ตามลำดับ จากผลการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า อัตราส่วนผสมวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อวัสดุผสมเพิ่มที่ 25:75 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากให้คุณสมบัติด้านการจัดเรียงเม็ดวัสดุ กำลังอัด ความหนาแน่น และประสิทธิภาพการใช้ปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางตามเกณฑ์มาตรฐานงานทาง

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม สำนักงานทางหลวงที่ 18 ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุน

## เอกสารอ้างอิง

- กนกพล จันทรา ชยภฤต เพชรช่วย วรวิทย์ โพธิ์จันทร์ วีระวัฒน์ วรณกุล และชินะวัฒน์ มุกตพันธ์. (2566). การปรับปรุงคุณภาพผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตไร้โซเคลผสมหินคลุกด้วยเถ้าลอย จีโอโพลิเมอร์แบบผง. ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28* (หน้า GTE22-1 - GTE22-6). กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ร่วมกับมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- กรมทางหลวง. (2544). *มาตรฐานพื้นทางหินคลุก (ทล.-ม 213/2543)*. สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม 2567, จาก: <https://doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs213-43.pdf>.
- จิระยุทธ สืบสุข เบญจพล ขุนวิเศษ อนิรุทธิ์ สุขแสน เขตศักดิ์ สุขศิริพัฒน์พงศ์ และคมกร ไชยเดชาธร. (2559). กำลังอัดแกนเดียวและโครงสร้างจุลภาคของดินลูกรังเกือบตกชั้นคุณภาพปรับปรุงด้วยผิวทางแอสฟัลต์ไร้โซเคลและซีเมนต์. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, 33(2), 111-116.
- พิชญ์ ช่วยเวช สราวุธ จริตงาม ปฐเมศ ภาณิตพจมาน และโอภาส สมใจนิก. (2568). การใช้ดินซีเมนต์แทนหินคลุกในการก่อสร้างถนน. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 44(1), 122-134, doi: <https://doi.org/10.65217/wichchajSTRU.2025.v44i1.264030>.
- Chakravarthi, S. and Shankar, S. (2018). Effect of age on reclaimed asphalt pavement mixes. *Indian Highways*, 46(7), 25-36.
- Debbarna, S., Ransinchung, G.D.R.N. and Singh, S. (2021). Suitability of various supplementary cementitious admixtures for RAP inclusive RCCP mixes. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(12), 1568-1581, doi: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1703981>.
- Fedrigo, W., Núñez, W.P., Schreinert, G.G., Kleinert, T.R., Matuella, M.F., López, M.A.C. and Ceratti, J.A.P. (2019). Flexural strength, stiffness, and fatigue of cement-treated mixtures of reclaimed asphalt pavement and lateritic soil. *Road Materials and Pavement Design*, 22(5), 1004-1022, doi: <https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1660207>.
- Hoy, M., Horpibulsuk, S., Rachan, R., Chinkulkijniwat, A. and Aeulrajah, A. (2016). Recycled asphalt pavement-fly ash geopolymers as a sustainable pavement base material: Strength and toxic leaching investigations. *Science of the Total Environment*, 573, 19-26, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.078>.
- Jahanbakhsh, H., Karimi, M.M., Naseri, H. and Nejad, F.M. (2019). Sustainable asphalt concrete containing high reclaimed pavements and recycling agents: Performance assessment, cost analysis, and environmental impact. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118837, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118837>.

- Ma, X., Wang, J. and Xu, Y. (2022). Investigation on the effects of RAP proportions on the pavement performance of recycled asphalt mixtures. *Frontiers in Materials*, 8, 842809, doi: <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.842809>.
- Plati, C. and Cliatt, B. (2019). A sustainability perspective for unbound reclaimed asphalt pavement (RAP) as a pavement base material. *Sustainability*, 11(1), 78, doi: <https://doi.org/10.3390/su11010078>.
- Saed, S.A., Karimi, H.R., Rad, S.M., Aliha, M.R.M., Shi, X. and Haghightpour, P.J. (2022). Full range I/II fracture behavior of asphalt mixtures containing RAP and rejuvenating agent using two different 3-point bend type configurations. *Construction and Building Materials*, 314(part B), 125590, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125590>.
- Singh, S., Ransinchung, G.D.R.N. and Kumar, P. (2019). Feasibility study of RAP aggregates in cement concrete pavements. *Road Materials and Pavement Design*, 20(1), 151-170, doi: <https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1380071>.
- Wu, Z., Zhang, C., Xiao, P., Li, B. and Kang, A. (2020). Performance characterization of hot mix asphalt with high RAP content and basalt fiber. *Materials*, 13(14), 3145, doi: <https://doi.org/10.3390/ma13143145>.

## ผลของดินขุยไม้และปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต ของเห็ดเหี่ยวไม้ที่ปลูกในกระถาง

### Effects of Bamboo Soil and Organic Fertilizer on the Growth and Yield of *Dictyophora indusiata* Grown in Pots

คมกฤษณ์ แสงเงิน<sup>1\*</sup> และวินากร ที่รัก<sup>1</sup>

Komgrit Saeng-ngoen<sup>1\*</sup> and Winakon Theerak<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของดินขุยไม้และปุ๋ยอินทรีย์ในกระถางเพาะต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของเห็ดเหี่ยวไม้ โดยเพาะเห็ดในกระถางขนาด 15 นิ้ว ใช้วัสดุเพาะประกอบด้วย ไม้ไผ่ ใบไม้ และน้ำตาลทราย กำหนดอัตราส่วนของดินขุยไม้ต่อปุ๋ยอินทรีย์ 5 ระดับ ได้แก่ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) โดยแต่ละอัตราส่วนมี 6 กระถาง ผลการทดลองพบว่าเส้นใยเห็ดสามารถเจริญเต็มหน้าวัสดุเพาะได้ภายใน 30 วันหลังเพาะในทุกอัตราส่วน วัสดุเพาะที่มีดินขุยไม้ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 0:100 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) เริ่มเกิดดอกเห็ดระยะหัวเข็มหมุดเร็วที่สุดที่ 38 วันหลังเพาะ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราส่วนอื่น ๆ ขณะที่อัตราส่วน 75:25 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ใช้ระยะเวลาจากระยะหัวเข็มหมุดจนถึงดอกบานสั้นที่สุด 14 วัน และให้จำนวนดอกมากที่สุดเฉลี่ย 18.17 ดอก แต่มีจำนวนดอกเห็ดที่ฝ่อมากที่สุดเช่นกันคือ 12.00 ดอก ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราส่วนอื่น ๆ นอกจากนี้วัสดุเพาะในอัตราส่วน 75:25 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ส่งผลให้ดอกเห็ดมีน้ำหนัก ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลางก้านดอก และความยาวกระโปรงมากที่สุด เท่ากับ 58.90 กรัม 17.07 เซนติเมตร 2.73 เซนติเมตร และ 20.10 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราส่วนอื่น ๆ สำหรับระยะดอกที่เก็บวัน พบว่าวัสดุเพาะที่มีดินขุยไม้ต่อปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 100:0 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ให้ดอกเห็ดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด 4.78 เซนติเมตร และให้น้ำหนักวันสูงสุด 17.00 กรัม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราส่วนอื่น ๆ

<sup>1</sup> สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

<sup>1</sup> Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

\* Corresponding author e-mail: komgrit@vru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2026.v45i1.263941>

Received: 7 July 2024, Revised: 7 February 2025, Accepted: 11 March 2025

**คำสำคัญ:** ดินขุยไผ่ ปุ๋ยอินทรีย์ การเจริญเติบโตและผลผลิต เห็ดเยื่อไผ่

### Abstract

This research aimed to evaluate the effects of bamboo soil and organic fertilizer on the growth and yield of *Dictyophora indusiata* (bamboo mushroom) cultivated in pots. Mushrooms were cultivated in 15-inch pots containing a substrate of bamboo chips, bamboo leaves, and sucrose, amended with five ratios of bamboo soil to organic fertilizer (100:0, 75:25, 50:50, 25:75, and 0:100, w/w). The experiment was arranged in a Randomized Complete Block Design (RCBD) with six replications per treatment. The results showed that the mycelium colonized all substrate ratios within 30 days after inoculation. The substrate with a 0:100 ratio (100% organic fertilizer) induced the fastest fruiting body initiation (pinhead stage) at 38 days after inoculation ( $p < 0.05$ ). In contrast, the 75:25 w/w ratio resulted in the shortest development period from pinhead to mature stage (14 days) and produced the highest number of fruiting bodies (18.17), but also the highest number of aborted fruiting bodies (12.00) ( $p < 0.05$ ). Furthermore, the 75:25 w/w ratio yielded fruiting bodies with the greatest fresh weight (58.90 g), stipe length (17.07 cm), stipe diameter (2.73 cm), and veil length (20.10 cm) ( $p < 0.05$ ). For mushrooms harvested at the egg stage for gel collection, the 100:0 w/w ratio produced the largest egg size (4.78 cm in diameter) ( $p < 0.05$ ) and the highest gel yield (17.00 g).

**Keywords:** Bamboo soil, Organic fertilizer, Growth and yield, *Dictyophora indusiata*

### บทนำ

เห็ดเยื่อไผ่หรือเห็ดร่างแห (bamboo mushroom) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Dictyophora indusiata* เป็นเห็ดที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 15-18 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 46 ไขมันร้อยละ 1 โยใยอาหารร้อยละ 30 และมีกรดอะมิโนถึง 16 ชนิด อีกทั้งมีไรโบเฟลวิน (riboflavin) หรือวิตามิน B2 ในปริมาณสูง (Deng *et al.*, 2016) นอกจากนี้ยังพบสารโคเคทีโอเฟรินเอ บี และซี (Dictyophorine A B และ C) (Lee *et al.*, 2002) ซึ่งเป็นสารที่พบได้ยากในสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น เป็นสารที่ช่วยในการปกป้องเซลล์ประสาทไม่ให้ถูกทำลายจากสารพิษและสามารถกระตุ้นการสร้างเซลล์ประสาทและเซลล์สมองได้ นอกจากนี้ยังพบสารอัลลันโทอิน (allantoin) ที่พบมากในเมือกหรือวุ้นของเห็ดเยื่อไผ่ ซึ่งออกฤทธิ์ต่อต้านการอักเสบ และการระคายเคืองของผิว ช่วยฟื้นฟูเซลล์ผิวที่เสื่อมสภาพ ลดริ้วรอยและเร่งการผลิตเซลล์ผิวใหม่ เมื่อนี้จึงถูกนำมาทำเป็นเครื่องสำอางได้หลากหลาย (ศิริลักษณ์, 2564) ปัจจุบันความต้องการเห็ดเยื่อไผ่ค่อนข้างสูง ซึ่งส่วนใหญ่นำเข้าจากประเทศจีน อย่างไรก็ตามมีการนำสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide: SO<sub>2</sub>) และกลุ่มสารประกอบซัลไฟต์ มาใช้เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์และป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ทำให้เก็บรักษาได้นาน และนำรับประทาน

ในกระบวนการผลิตเห็ดเหื่อไผ่แห้ง ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวอาจมีอันตรายต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้บริโภคจากการได้รับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีอยู่ในปริมาณเกินค่าความปลอดภัย ซึ่งมีการตรวจปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างสูงกว่าข้อกำหนดในประกาศกระทรวงสาธารณสุข ร้อยละ 52.1 ของตัวอย่างที่มีการตรวจ (จินตนา และยุพเรศ, 2558)

ในประเทศจีนมีการเพาะเห็ดชนิดนี้เป็นการค้ามายาวนาน และตามธรรมชาติเห็ดจะออกดอกเฉพาะในช่วงฤดูร้อน โดยพบขึ้นอยู่ตามพื้นดินใต้ต้นไม้ เนื่องจากดินบริเวณกอไม้มีสารอาหารที่สมบูรณ์และมีสภาพแวดล้อมทั้งอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น รวมทั้งแสงสว่างเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเห็ดเหื่อไผ่ ชาวจีนส่วนใหญ่นิยมใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ มาเป็นวัสดุเพาะ ได้แก่ ใบไม้หรือต้นไม้ที่มีขนาดเล็ก ชี้อ่อยเก่า ต้นหรือฝักกล้วยเห็ด เห็ดต้นข้าวโพด และใบของต้นหลิว เป็นต้น ในปี ค.ศ. 2022 ที่มณฑลกุ้ยโจวได้มีการพัฒนาสายพันธุ์เห็ดเหื่อไผ่ให้สามารถเพาะเลี้ยงได้หลากหลายวิธี เช่น ในพื้นป่า กองเตี้ย ตะกร้า และการเพาะในระบบอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถผลิตได้ทั้งปี และตอบสนองอุปทานได้ (Gong *et al.*, 2022) ประเทศไทยสามารถผลิตเห็ดเหื่อไผ่ได้ตลอดทั้งปี เนื่องจากมีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้นเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต วัสดุที่นำมาใช้เพาะ ได้แก่ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ใบไม้ เศษไม้ไม้แกลบดิบ ขุยมะพร้าว และดินปลูกต้นไม้ สามารถเพาะได้ทั้งในตะกร้าพลาสติก แปลงปลูกบนพื้น เพาะบนชั้นวาง หรือเพาะใต้ค้ำผัก (อัจฉรา และวัชรวิทย์, 2563; กรมวิชาการเกษตร, 2565; Thaisuchat *et al.*, 2023)

จากการที่เห็ดเหื่อไผ่ตามปกติเกิดขึ้นตามพื้นดินที่มีเศษซากวัสดุเก่าที่เน่าเปื่อย ฟูพัง ซึ่งมีสภาพคล้ายกับปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยอินทรีย์ คล้ายกับเห็ดอีกหลายชนิดที่นิยมเพาะปลูกบนดิน เช่น เห็ดแชมปิญอง เห็ดฟาง และเห็ดตีนแรด (คมกฤษณ์, 2561; Hu *et al.*, 2021) มีนักวิจัยหลายรายทดลองใช้ปุ๋ยอินทรีย์กลุ่มนี้เป็นวัสดุเสริมในการเพาะเห็ด (นุชจรี และคณะ, 2561; นัทธีรา และคณะ, 2564; Kumar *et al.*, 2018) ในงานวิจัยนี้จึงเปรียบเทียบปริมาณของดินขุยไม้และปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้เป็นวัสดุเพาะเห็ดเหื่อไผ่ในกระถางต่อการให้ผลผลิตดอกสดและวุ้น เพื่อการบริโภค การค้า หรือนำไปแปรรูปในด้านสุขภาพและเวชสำอาง

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. การเพาะเห็ดเหื่อไผ่ในกระถาง

เริ่มต้นการเพาะในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 (ต้นฤดูร้อน) ใช้รูปแบบการเพาะเห็ดเหื่อไผ่ในกระถางขนาด 15 นิ้ว โดยใช้วัสดุเพาะ คือ ใบไม้ 300 กรัม ไม้ไผ่แห้ง (ผ่าซีกขนาดประมาณ 3x15 เซนติเมตร) 200 กรัม ก้อนเชื้อเห็ดเหื่อไผ่ 400 กรัม น้ำตาลทราย 15 กรัม และเติมดินขุยไม้ผสมกับปุ๋ยอินทรีย์ (ทางการค้า) ปริมาณ 5 กิโลกรัม โดยกำหนดอัตราส่วน 5 อัตราส่วน ได้แก่ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 100 น้ำหนักต่อน้ำหนัก วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) อัตราส่วนละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 2 กระถาง ใส่วัสดุเพาะเป็นชั้น ๆ จำนวน 8 ชั้น ดังภาพที่ 1 คลุมปากกระถางด้วยถุงพลาสติก จากนั้นนำกระถางเพาะใส่ในโรงเรือนที่คลุมด้วยตาข่ายสีดำกรองแสงร้อยละ 50 ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-32 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้นให้ได้ประมาณร้อยละ 60 -75 โดยรดน้ำบนพื้นในโรงเรือน เพื่อรักษาความชื้นให้สม่ำเสมอจนกว่าเส้นใยเห็ดจะเดินทั่วทั้งกระถาง



ภาพที่ 1 การวางวัสดุเพาะเห็ดเหื่อไผ่ในกระถางขนาด 15 ลิ้ว

## 2. ศึกษาการเจริญของเส้นใยและผลผลิตของเห็ดเหื่อไผ่

เมื่อเส้นใยเห็ดเดินทั่วทั้งกระถาง นำถุงพลาสติกคลุมปากกระถางออก ควบคุมความชื้นในกระถางให้ได้ประมาณร้อยละ 60-75 ระวังไม่ให้น้ำมากเกินไปจนแฉะ บันทึกข้อมูลต่าง ๆ คือ ระยะเวลาการเจริญของเส้นใยเห็ดเหื่อไผ่เต็มหน้าวัสดุเพาะ (วันหลังเพาะ) ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเพาะจนกระทั่งเกิดดอกระยะหัวเข็มหมุด (วันหลังเพาะ) ระยะเวลาดอกบาน (วันหลังเกิดดอกระยะหัวเข็มหมุด) จำนวนดอกเห็ดเหื่อไผ่ทั้งหมด (ดอกต่อกระถาง) จำนวนดอกเห็ดเหื่อไผ่ที่ฝ่อ (ดอกต่อกระถาง) ขนาดดอกเห็ดเหื่อไผ่ น้ำหนักดอกที่บาน (กรัมต่อดอก) ความยาวก้านดอก (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางก้านดอก (เซนติเมตร) ความยาวกระโปรง (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางดอกเก็บบัว (เซนติเมตร) และน้ำหนักวุ้น (กรัมต่อดอก) เป็นระยะเวลา 40 วันในการให้ผลผลิต นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีโดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## ผลการวิจัย

### 1. การเจริญของดอกเห็ดเหื่อไผ่

การศึกษาระยะเวลาการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดเหื่อไผ่ ตั้งแต่เริ่มเพาะจนกระทั่งเกิดดอกครั้งแรก พบว่าอัตราส่วนดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในวัสดุเพาะมีผลต่อระยะเริ่มเกิดดอก จำนวนดอกทั้งหมด และจำนวนดอกฝ่อ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเส้นใยเห็ดใช้เวลาในการเจริญเต็มหน้าวัสดุเพาะในทุกอัตราส่วนประมาณ 30 วันหลังเพาะ (ภาพที่ 2) โดยวัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 0:100 น้ำหนักต่อน้ำหนัก เริ่มเกิดดอกเห็ดระยะหัวเข็มหมุดเร็วที่สุด 38 วันหลังเพาะ รองลงมา คือ วัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 50:50 น้ำหนักต่อน้ำหนัก เริ่มเกิดดอกเห็ด 42.75 วันหลังเพาะ ในขณะที่วัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์

ทุกอัตราส่วนใช้ระยะเวลาตั้งแต่ระยะหัวเข็มหมุดจนถึงดอกบานไม่มีความแตกต่างทางสถิติเท่ากับ 14-16 วัน วัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 75:25 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ส่งผลให้มีการสร้างดอกมากที่สุด เท่ากับ 18.17 ดอก รองลงมา คือ วัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 50:50 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ส่งผลให้มีการสร้างดอก 17.00 ดอก อย่างไรก็ตามวัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 75:25 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ส่งผลให้มีจำนวนดอกฝ่อมากที่สุด เท่ากับ 12.00 ดอก รองลงมา คือ วัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 0:100 และ 100:0 น้ำหนักต่อน้ำหนัก มีจำนวนดอกฝ่อ เท่ากับ 11.00 และ 10.83 ดอก ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งดอกเห็ดจะเริ่มฝ่อเมื่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9-12 เซนติเมตร หรือเข้าสู่ระยะกระดุม (ข้อมูลไม่แสดง)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเพาะเห็ดเหี่ยวไผ่ในกระถาง แสดงการใส่วัสดุเพาะ (ก) และลักษณะการเจริญของเส้นใยเห็ดเต็มหน้ากระถาง (ข)

ตารางที่ 1 ระยะเวลาเริ่มเกิดดอกจนถึงดอกบาน และจำนวนดอกในการให้ผลผลิตเป็นเวลา 40 วัน

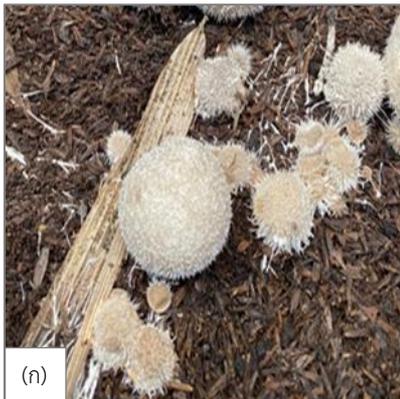
อัตราส่วนดินขุยไผ่ ต่อปุ๋ยอินทรีย์ (น้ำหนักต่อน้ำหนัก)	ระยะเวลา เริ่มเกิดดอก (วัน)	ระยะเวลา ดอกบาน (วัน)	จำนวน ดอกทั้งหมด (ดอก)	จำนวน ดอกฝ่อ (ดอก)
100:0	43.50 <sup>a</sup>	16.00	14.83 <sup>cd</sup>	10.83 <sup>ab</sup>
75:25	44.75 <sup>a</sup>	14.00	18.17 <sup>a</sup>	12.00 <sup>a</sup>
50:50	42.75 <sup>ab</sup>	15.33	17.00 <sup>ab</sup>	10.33 <sup>b</sup>
25:75	43.00 <sup>a</sup>	15.00	16.00 <sup>bc</sup>	9.83 <sup>b</sup>
0:100	38.00 <sup>b</sup>	14.67	14.00 <sup>d</sup>	11.00 <sup>ab</sup>
F-test	*	ns	*	*
CV (%)	11.05	10.03	9.44	13.71

หมายเหตุ: - \* และค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

- ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

## 2. ผลผลิตของเห็ดเยื่อไผ่

การเจริญและพัฒนาของดอกเห็ดเยื่อไผ่จนถึงระยะดอกบานเต็มที่ พบว่าอัตราส่วนดินขุยมะพร้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ในวัสดุเพาะมีผลต่อผลผลิตของเห็ดเยื่อไผ่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นน้ำหนักวุ้น (ภาพที่ 3) ซึ่งวัสดุเพาะที่มีดินขุยมะพร้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 75:25 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ส่งผลให้ดอกเห็ดมีน้ำหนักมากที่สุด เท่ากับ 58.90 กรัม รองลงมา คือ วัสดุเพาะที่มีดินขุยมะพร้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 100:0 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ให้ดอกเห็ดมีน้ำหนัก 57.89 กรัม นอกจากนี้ วัสดุเพาะอัตราส่วนดังกล่าวส่งผลให้ดอกเห็ดมีความยาวก้านดอก เส้นผ่านศูนย์กลางก้านดอก และความยาวกระโปรงมากที่สุด เท่ากับ 17.07 2.73 และ 20.10 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวัสดุเพาะที่มีดินขุยมะพร้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 50:50 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ให้ดอกเห็ดมีความยาวก้านดอก เส้นผ่านศูนย์กลางก้านดอก และความยาวกระโปรงน้อยที่สุด เท่ากับ 12.20 2.04 และ 13.65 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่วัสดุเพาะที่มีดินขุยมะพร้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 100:0 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ส่งผลให้ดอกเห็ดที่เก็บวุ้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด เท่ากับ 4.78 เซนติเมตร นอกจากนี้วัสดุเพาะที่มีดินขุยมะพร้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ทุกอัตราส่วนไม่ส่งผลให้มีความแตกต่างทางสถิติในด้านน้ำหนักวุ้นซึ่งมีค่าระหว่าง 13.25-17.00 กรัม เมื่อกำหนดปริมาณผลผลิตโดยนำจำนวนดอกทั้งหมดมาลบด้วยจำนวนดอกฝ่อแล้วคูณกับน้ำหนักสดหรือน้ำหนักวุ้น พบว่าอัตราส่วนดินขุยมะพร้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ในวัสดุเพาะที่เหมาะสมต่อการผลิตดอกเห็ดสด คือ วัสดุเพาะที่มีดินขุยมะพร้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 75:25 น้ำหนักต่อน้ำหนัก และวัสดุเพาะที่มีดินขุยมะพร้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 25:75 น้ำหนักต่อน้ำหนัก เหมาะสมต่อการผลิตวุ้น



ภาพที่ 3 ลักษณะผลผลิตของเห็ดเยื่อไผ่ แสดงการเกิดดอกเห็ดในระยะต่าง ๆ (ก) และการเก็บวุ้นของเห็ด (ข)

ตารางที่ 2 ลักษณะผลผลิตของเห็ดเหื่อไผ่หลังจากเริ่มสร้างดอก

อัตราส่วน	น้ำหนัก	ความยาว	เส้นผ่าน	ความยาว	เส้นผ่าน	น้ำหนัก
ดินขุยไผ่ต่อ	ดอกที่บ้าน	ก้านดอก	ศูนย์กลาง	กระโปรง	ศูนย์กลาง	วุ้น
ปุ๋ยอินทรีย์	(กรัม)	(เซนติเมตร)	ก้านดอก	(เซนติเมตร)	ดอกที่เก็บ	(กรัม)
(น้ำหนักต่อ			(เซนติเมตร)		วุ้น	
น้ำหนัก)					(เซนติเมตร)	
100:0	57.89 <sup>a</sup>	16.10 <sup>a</sup>	2.59 <sup>a</sup>	18.48 <sup>a</sup>	4.78 <sup>a</sup>	17.00
75:25	58.90 <sup>a</sup>	17.07 <sup>a</sup>	2.73 <sup>a</sup>	20.10 <sup>a</sup>	4.00 <sup>ab</sup>	13.72
50:50	21.85 <sup>c</sup>	12.20 <sup>b</sup>	2.04 <sup>b</sup>	13.65 <sup>b</sup>	3.23 <sup>b</sup>	13.25
25:75	34.91 <sup>b</sup>	15.37 <sup>a</sup>	2.42 <sup>a</sup>	18.59 <sup>a</sup>	4.36 <sup>a</sup>	16.53
0:100	38.41 <sup>b</sup>	16.60 <sup>a</sup>	2.45 <sup>a</sup>	19.67 <sup>a</sup>	4.33 <sup>a</sup>	16.11
F-test	*	*	*	*	*	ns
CV (%)	28.41	15.83	15.23	4.32	24.02	39.16

หมายเหตุ: \* - และค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

- ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

### การอภิปรายผลการวิจัย

การใช้วัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 0:100 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ส่งผลให้เห็ดออกดอกเร็วที่สุด เนื่องมาจากเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณปุ๋ยอินทรีย์มากที่สุดทำให้เห็ดได้รับสารอาหารกลุ่มต่าง ๆ ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและจุลธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญของเห็ดเหื่อไผ่ นอกจากนี้ปุ๋ยอินทรีย์ยังมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ไม่เกิน 20:1 ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550, 2551) จึงทำให้เห็ดสามารถนำสารอาหารไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว ผ่านการย่อยสลายน้อยกว่าอินทรีย์วัตถุที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่สูงกว่า เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Thaisuchat *et al.* (2023) ได้ทดลองการใช้เศษไผ่กับเห็ดหลินจือในการเลี้ยงเส้นใยเห็ดเหื่อไผ่ พบว่าเส้นใยเห็ดสามารถเจริญได้ดีกว่าเมื่ออาหารที่เพาะเลี้ยงผสมเห็ดหลินจือ เนื่องจากเห็ดหลินจือสามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่าและมีสารอาหารกลุ่มต่าง ๆ มากกว่า และเกิดดอกเห็ดภายใน 3-4 สัปดาห์หลังเพาะ

สำหรับจำนวนดอกเห็ดที่เกิดขึ้น พบว่าวัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 75:25 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ส่งผลให้มีการสร้างดอกมากที่สุด เท่ากับ 18.17 ดอก แต่ดอกเห็ดฝ่อไปรวม 12.00 ดอก หลังจาก 40 วันในการให้ผลผลิต ทำให้ได้ผลผลิตดอกเฉลี่ย 6.17 ดอกต่อกระถาง (ประมาณ 0.11 ตารางเมตร) การเพาะในกระถางนี้ให้ผลดีกว่าการเพาะแบบแปลงหรือกระบะปลูก ดังเช่นรายงานของ Thaisuchat *et al.* (2023) ที่ให้ผลผลิตดอกเห็ดสูงสุดเฉลี่ย 37.00 ดอกต่อแปลงปลูก (0.75 ตารางเมตร) เมื่อเพาะในแปลง และรายงานของอัจฉรา และวัชรวิทย์ (2563) ให้ผลผลิตดอกสูงสุดเฉลี่ย 14.00 ดอกต่อตารางเมตร เมื่อเพาะโดยใช้ใบทุเรียนใต้ค้ำมะระ สาเหตุที่ทำให้ดอกเห็ดฝ่อจำนวนมากเกิดจากช่วงเวลาที่ทำกรเพาะเลี้ยงอยู่ในช่วงฤดูร้อน (อุณหภูมิสูงถึง 35 องศาเซลเซียส)

และเกิดพายุฤดูร้อนบ่อยครั้งทำให้อุณหภูมิและความชื้นแปรปรวนอย่างมาก ซึ่ง Chen (2000) กล่าวว่า ในระหว่างช่วงเห็ดสร้างดอกจนดอกบานสภาพแวดล้อมที่เพาะเลี้ยงควรมีอากาศถ่ายเท อุณหภูมิ 18-25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85-90 นอกจากนี้ Lu *et al.* (2016) กล่าวว่า หากอุณหภูมิในการเพาะเลี้ยงสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้เห็ดเหี่ยวไผ่ใช้เวลาในการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตนานขึ้นเป็น 2 เท่า วัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 75:25 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ให้ลักษณะผลผลิตของเห็ดด้านน้ำหนักดอกที่บ้าน ความยาวก้านดอก เส้นผ่านศูนย์กลางก้านดอก และความยาวกระโปรงค่อนข้างดีกว่าวัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วนอื่น ๆ ในขณะที่วัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 100:0 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ให้ลักษณะผลผลิตของเห็ดด้านเส้นผ่านศูนย์กลางดอกที่เก็บวัน และน้ำหนักวันดีที่สุด สอดคล้องกับรายงานของ อัจฉรา และวัชรวิทย์ (2563) ที่ได้ทำการใส่อาหารเสริมชนิดต่าง ๆ เพิ่มเติมในการเพาะเห็ด พบว่าแปลงเพาะเห็ดที่ไม่ใส่อาหารเสริม (ชุดควบคุม) ส่งผลให้ได้ผลผลิตเห็ดมากกว่าการใส่อาหารเสริมทุกชนิด เนื่องจากเห็ดส่วนใหญ่ไม่สามารถใช้ในโตรเจนในรูปของไนเตรทได้แต่จะใช้ในรูปของโปรตีน (Miles and Chang, 2004) ในทางตรงข้ามงานวิจัยของ Tong *et al.* (2021) ได้เปรียบเทียบวัสดุเพาะที่ใส่เศษไม้ไผ่เพียงอย่างเดียวกับการใส่ขี้เลื่อยต้นหม่อนหรือเศษเห็ดทดแทนร้อยละ 30 พบว่าการใส่ขี้เลื่อยต้นหม่อนหรือเศษเห็ดส่งผลให้ได้ผลผลิตดอกเห็ดมากกว่าการใส่เศษไม้ไผ่เพียงอย่างเดียวร้อยละ 26.44 และ 41.11 ตามลำดับ ซึ่งเห็ดเหี่ยวไผ่เป็นเชื้อราที่มีการดำรงชีวิตแบบการย่อยสลายซาก (saprophyte) สามารถผลิตเอนไซม์ที่มีประสิทธิภาพสูง ในการย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนินออกมาย่อยอินทรีย์วัตถุเพื่อมาเป็นอาหารได้ โดยเฉพาะการผลิตในระดับการค้าจะนิยมใช้ชิ้นส่วนของเห็ดหลินจือมาเป็นวัสดุในการเพาะเชื้อ (Thaisuchat *et al.*, 2023) นอกจากนี้ดอกเห็ดสดที่ขายในประเทศไทยมีราคาสูงมาก ประมาณกิโลกรัมละ 1,000-2,000 บาท ซึ่งสามารถเป็นอาชีพเสริมสร้างรายได้ให้เกษตรกรได้ (นรากร และคณะ, 2565) นอกจากนี้วัชพืชเหี่ยวไผ่มีสารสำคัญหลายชนิดที่สามารถนำมาทำเครื่องสำอางได้ เช่น กรดไฮยาลูรอนิก และอัลลันโทอิน ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบ ลดการระคายเคืองของผิว เพิ่มความชุ่มชื้นฟื้นฟูเซลล์ผิวที่เสื่อมสภาพ กรดกลูโคโนคที่ส่งเสริมเร่งการผลิตเซลล์ผิวและกระตุ้นการสร้างคอลลาเจน (ศิริลักษณ์, 2564) และมีราคาที่สูง

### สรุปผลการวิจัย

การเพาะเห็ดเหี่ยวไผ่ในกระถางโดยใช้วัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 75:25 น้ำหนักต่อน้ำหนัก มีความเหมาะสมมากที่สุดในการเก็บดอกสด ใช้เวลาดังแต่ระยะหัวเข็มหมุดจนถึงดอกบานเร็วที่สุด มีการสร้างดอกและจำนวนดอกสุทธิเฉลี่ยหลังจากหักจำนวนดอกเห็ดที่ผ่อมากที่สุด ดอกเห็ดมีลักษณะของผลผลิตในทุกด้านมากที่สุด สำหรับวัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 100:0 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ส่งผลให้ขนาดดอกเห็ดที่เก็บวันมีเส้นผ่านศูนย์กลาง และน้ำหนักวันมากที่สุด แต่วัสดุเพาะที่มีดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 25:75 น้ำหนักต่อน้ำหนักเหมาะสมต่อการผลิตวันมากที่สุด ดังนั้นจึงควรเลือกใช้อัตราส่วนดินขุยไผ่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสมกับการผลิตดอกเห็ดสดหรือวันเห็ดเหี่ยวไผ่

## เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. (2565). การเพาะเห็ดเหื่อไผ่ในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง. สงขลา: สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 8 กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- คมกฤษณ์ แสงเงิน. (2561). ผลของน้ำเวย์ในอาหาร PDA ต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดตีนแรด. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 38(2), 57-66.
- จินตนา กิจเจริญวงศ์ และยุพเรศ เอื้อตรงจิตต์. (2558). การประเมินการได้รับสัมผัสของซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการบริโภคผักและผลไม้แห้งนำเข้าจากต่างประเทศของคนได้ พ.ศ. 2548-2557. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*, 57(1), 58-68.
- นรากร ศรีสุข นภกานต์ หน่ายคอน อภิรดี ศรีภริมย์รักษ์ นิชานันท์ อุดมศักดิ์สกุล พันธุ์ทิพย์ โอฬารรัตน์มณี และศนิ จิระสถิตย์. (2565). ผลของความเข้มข้นของแอลจินเตและผงเห็ดเหื่อไผ่ *Dictyophora indusiata* ต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเม็ดบีดส์. *วารสารการเกษตรราชภัฏ*, 21(1), 25-34.
- นัทธีรา สรรพณี บรรารณา เผือกวิไล กมลชนก พานิชการ สิริประภัสส์ รัชชายุย ศศิธร สายแก้ว ไทศาล เอื้อสินทรัพย์ และกาญจนา สุราภา. (2564). การประยุกต์ปุ๋ยหมักเพื่อเป็นอาหารเสริมต่อการเพาะเห็ดฟาง: การลดของเสียทางการเกษตรด้วยวิธีการหมักปุ๋ย และการเพิ่มมูลค่าผลผลิตด้วยการเพาะเห็ด. *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต*, 9(1), 158-169.
- นุชจรี ทัดเศษ อาทิตย์ ทูลพุทธา ศิวตล แจ่มจรัส กรินทร์ ผึ้งบรรหาร พิพัฒน์ ชนาเทพพร จันทร์จิรา โต้ะขวัญแก้ว ธนากร วงษศา และสุนา เหลืองฐิติกาญจนา. (2561). ผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนต่อคุณภาพเห็ดฟางโดยการเพาะแบบกองเตี้ย. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 36(3), 81-90.
- พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. (2551, 11 มกราคม). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 125 ตอนที่ 7 ก. หน้า 1-28.
- ศิริลักษณ์ ชุมเขียว. (2564). การเปรียบเทียบปริมาณสารออกฤทธิ์ในวันระยะไข่ของเห็ดเหื่อไผ่สายพันธุ์ไทยและจีน กระโปรงสั้นและยาว (สีขาว). *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- อัจฉรา บุญโรจน์ และวัชรวิทย์ รัศมี. (2563). โครงการวิจัยและพัฒนาการเพาะเห็ดเหื่อไผ่ (*Phallus indusiatus*) โดยใช้ใบของไม้ผลชนิดต่าง ๆ ร่วมกับการปลูกพืชผักเถาเลื้อยเพื่อเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ในสวนไม้ผล. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- Chen, M.M. (2000). Cultivation techniques for *Dictyophom*, *Polyporus umbellata* and *Coprinus comatus*. In *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Congress on the Science and Cultivation of Edible Fungi* (pp. 543-548). Rotterdam: Science and Cultivation of Edible Fungi.
- Deng, C., Shang, J., Fu, H., Chen, J., Liu, H. and Chen, J. (2016). Mechanism of the immunostimulatory activity by a polysaccharide from *Dictyophora indusiata*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 752-759, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.024>.

- Gong, G., Yang, T., Wang, Q., Gui, Y., Huang, W., Lu, Y., Liu, H., Huang, X. and Zhu, G. (2022). Present situation of *Dictyophora* industry in China and cultivation technique of *Dictyophora rubrovolvata*. *Asian Agricultural Research*, 14(11), 56-61.
- Hu, Y., Mortimer, P.E., Hyde, K.D., Kakumyan, P. and Thongklang, N. (2021). Mushroom cultivation for soil amendment and bioremediation. *Circular Agricultural Systems*, 1, 11, doi: <https://doi.org/10.48130/CAS-2021-0011>.
- Kumar, B., Kumari, C. and Kumar, M. (2018). Effect of bio-fertilizers on mycelial growth and physical properties of white button mushroom [*Agaricus bisporus* (Lange) Imbach]. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2), 2216-2222, doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.267>.
- Lee, I.K., Yun, B.S., Han, G., Cho, D.H., Kim, Y.H. and Yoo, I.D. (2002). Dictyoquinazols A, B, and C, new neuroprotective compounds from the mushroom *Dictyophora indusiata*. *Journal of Natural Products*, 65(12), 69-72, doi: <https://doi.org/10.1021/np020163w>.
- Lu, P., Xie, J., Tong, L., Wang, L., Chen, L., Zhang, W., Geng, Y. and Lyu, Y. (2016). Study on the wild imitation cultivation technique for *Dictyophora indusiata* in *Dendrocalamus latiflorus* stands. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 40(4), 177-182, doi: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-2006.2016.04.028>.
- Miles, P.G. and Chang, S.T. (2004). *Mushrooms: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. (2<sup>nd</sup> ed). Florida: CRC Press.
- Thaisuchat, H., Karuehanon, W., Boonkorn, P., Meesumlee, J., Malai, S. and Ruttanateerawichien, K. (2023). Bamboo waste recycling using *Dictyophora indusiata* mycelia cultivation. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 12(4), 539-548, doi: <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2022.1955758.1443>.
- Tong, L., Li, H., Liu, X., Li, B., Chen, L., Chen, G., Zeng, X. and Geng, Y. (2021). Effects of different cultivated formulas on the agronomic characteristics and nutritional value of *Dictyophora indusiata*. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 45(3), 30-36, doi: <https://doi.org/10.12302/j.issn.1000-2006.202003030>.

## ผลของสารพาคโลบิวทราโซลต่อการชะลอการเจริญเติบโตของผักขำ ในสภาพปลอดเชื้อ

### Effect of Paclobutrazol on the Slow Growth of *Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng *In Vitro*

ไชนียะ สะมาลา<sup>1</sup> พลวัต ภัทรกุลพิสุทธิ<sup>1</sup> สมปอง เตชะโต<sup>2</sup>  
และสุรรัตน์ เย็นซ้อน<sup>2\*</sup>

Sainiya Samala<sup>1</sup>, Ponlawat Pattarakulpisutti<sup>1</sup>, Sompong Te-chato<sup>2</sup>  
and Sureerat Yenchon<sup>2\*</sup>

#### บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสารพาคโลบิวทราโซล (paclobutrazol: PBZ) ต่อการชะลอการเจริญเติบโตของต้นผักขำในสภาพปลอดทดลอง โดยเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนยอดบนอาหารแข็งสูตร MS (Murashige and Skoog) ที่เติมสาร PBZ ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 0 1 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส และให้แสง 14 ชั่วโมงต่อวัน พบว่าอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ ส่งผลให้มีความสูงและจำนวนใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้การยืดยาวของยอดน้อยที่สุด ซึ่งให้ความสูงเฉลี่ย 2.18 เซนติเมตร และจำนวนใบเฉลี่ย 5.2 ใบต่อต้น ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสาร PBZ (เฉลี่ย 3.20 เซนติเมตร และ 6.4 ใบต่อต้น) และเมื่อนำยอดจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ เป็นเวลา 3 เดือน มาชักนารากบนอาหารที่เติมอินโดลิวทริกแอซิด (indole-3-butyric acid: IBA) ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นที่ผ่านการเลี้ยงบนอาหาร MS เติมสาร PBZ ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ความสูงยอดเฉลี่ย 2.20 เซนติเมตร และความยาวรากเฉลี่ย 0.86 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติกับต้นที่ไม่ผ่านการเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ (ความสูงเฉลี่ย 2.76 เซนติเมตร และความยาวรากเฉลี่ย 3.38 เซนติเมตร) ดังนั้นการใช้สาร PBZ ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพสูงที่สุดใน

<sup>1</sup> สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

<sup>2</sup> สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

<sup>1</sup> Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

<sup>2</sup> Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

\* Corresponding author e-mail: sureerat.y@psu.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2026.v45i1.265961>

Received: 13 January 2025, Revised: 14 March 2025, Accepted: 21 March 2025

การชะลอการเจริญเติบโตของฟักข้าว และสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเก็บรักษาเนื้อเยื่อฟักข้าวไว้ในสภาพปลอดเชื้อได้

**คำสำคัญ:** การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช การอนุรักษ์พันธุกรรมพืช สารชะลอการเจริญเติบโตของพืช

### Abstract

The effect of paclobutrazol (PBZ) on slow-growth storage of *Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng. was studied in vitro. Apical shoots were cultured on Murashige and Skoog (MS) medium supplemented with PBZ at concentrations of 0, 1, 2, and 4 mg/L and maintained at  $25\pm 2$  °C under a 14-h photoperiod. The results revealed that PBZ caused a significant decrease in shoot height and in the number of leaves per plantlet. MS medium supplemented with 4 mg/L PBZ resulted in the lowest average shoot height (2.18 cm) and average leaf number (5.2 leaves per plantlet), which were significantly different from those on the medium without PBZ (3.20 cm and 6.4 leaves per plantlet, respectively). After three months of culture on PBZ-containing medium, shoots were transferred to root induction medium (MS medium with 1 mg/L IBA). Shoots derived from medium with 4 mg/L PBZ exhibited an average shoot height of 2.20 cm and an average root length of 0.86 cm, which were significantly different from the values for shoots cultured without PBZ (2.76 cm and 3.38 cm, respectively). Therefore, supplementation of the culture medium with 4 mg/L PBZ was the most effective treatment for inducing slow growth and for the in vitro preservation of *M. cochinchinensis*.

**Keywords:** Plant tissue culture, Plant conservation, Plant growth retardant

### บทนำ

ฟักข้าว (*Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng) จัดเป็นพืชตระกูลมะระและแตงกวา เดิมมีถิ่นกำเนิดแถบประเทศเอเชียเขตร้อน สำหรับประเทศไทยปลูกมากในเขตภาคเหนือและภาคกลาง ฟักข้าวเป็นพืชดิพลอยด์ (diploid) มีจำนวนโครโมโซม  $2n=2x=14$  มีความหลากหลายในสายพันธุ์ รูปทรงและขนาดผลที่แตกต่างกัน ฟักข้าวพันธุ์เวียดนามมีลักษณะเด่น คือ ให้น้ำหนักผลและน้ำหนักเยื่อหุ้มเมล็ดมากกว่าฟักข้าวพันธุ์ไทย ส่วนฟักข้าวพันธุ์ไทยมีลักษณะเด่น คือ จำนวนผลมากและเก็บเกี่ยวเร็ว แต่ยังมีลักษณะด้อยที่ต้องปรับปรุง คือ น้ำหนักผลและน้ำหนักเยื่อหุ้มเมล็ด ฟักข้าวจัดเป็นพืชพื้นบ้านที่มีศักยภาพสูงที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (พัชริน, 2555) จึงนับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่ยังคงมีแนวโน้มความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดจากเยื่อหุ้มเมล็ดโดยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography: HPLC) พบสารประกอบไลโคปีน (lycopene) และกลุ่ม

เบต้าแคโรทีน  $\beta$ -carotene) ของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวสุกมีมากกว่าสารสกัดจากเนื้อผล ซึ่งพืชข้าวมีไลโคปีนมากกว่ามะเขือเทศถึง 12 เท่า มีเบต้าแคโรทีนสูงกว่าแครอท 10 เท่า ซึ่งสารไลโคปีนนี้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง เสริมสร้างภูมิคุ้มกัน บำรุงสายตา และป้องกันมะเร็งต่อมลูกหมาก สามารถนำมาใช้เป็นยาและอาหารเสริมสุขภาพได้ จึงถือว่าเป็นอาหารต้านมะเร็งที่ดีที่สุดชนิดหนึ่ง โดยเฉพาะมะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งกระเพาะอาหาร และมะเร็งลำไส้ (ฐานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2553; Kubola and Siriamornpun, 2011) อย่างไรก็ตามในขั้นตอนของการผลิตพืชข้าวยังคงมีปัญหาเรื่องการปลูกด้วยเมล็ดที่ไม่สามารถแยกเพศได้ ส่งผลทำให้พื้นที่ปลูกต่อต้นให้ผลผลิตไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้เกษตรกรนิยมปลูกพืชข้าวสายพันธุ์เวียดนามมากกว่าสายพันธุ์ไทย ส่งผลให้พืชข้าวสายพันธุ์ไทยลดปริมาณลงไปเรื่อย ๆ ซึ่งมีโอกาสเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ในอนาคตได้จากปัญหาการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิต และมีปัญหาที่พืชข้าวสายพันธุ์ไทยมีโอกาสเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ จึงได้มีการพัฒนาหาแนวทางเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยศึกษาวิธีการขยายพันธุ์พืชข้าวด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยใช้ชิ้นส่วนข้อและชิ้นส่วนปลายยอด ซึ่งพบว่าทั้งสองชิ้นส่วนสามารถชักนำให้เกิดต้นใหม่ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อได้สำเร็จ (ไซนียะ และคณะ, 2558) สามารถใช้ชิ้นส่วนในสภาพปลอดเชื้อเป็นชิ้นส่วนเริ่มต้นเข้าสู่กระบวนการเก็บรักษาพันธุ์กรรมในสภาพปลอดทดลองได้

การเก็บรักษาพันธุ์กรรมพืชในสภาพปลอดทดลอง (*in vitro* conservation) เป็นการอนุรักษ์พันธุ์พืชโดยใช้เทคนิคเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเข้าช่วย สามารถเก็บได้ตั้งแต่ระดับเซลล์ เนื้อเยื่อ อวัยวะ และต้นอ่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนปลายยอด (shoot tip) และเนื้อเยื่อเจริญ (meristems) ซึ่งเป็นส่วนที่มีฐานทางพันธุกรรมตรงตามสายพันธุ์สูงโดยเก็บเลี้ยงไว้ในสภาพปลอดทดลอง เป็นวิธีที่นิยมใช้เนื่องจากใช้พื้นที่น้อย สามารถลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ การทำลายของศัตรูพืช และทำได้ง่ายเนื่องจากชิ้นส่วนพืชมีการตอบสนองได้ดีเมื่อนำมาเลี้ยงด้วยอาหารสังเคราะห์ในสภาพปลอดทดลอง นอกจากนี้ยังสะดวกในการแลกเปลี่ยนเชื้อพันธุ์พืชระหว่างประเทศ เนื่องจากชิ้นส่วนพืชมีขนาดเล็ก ทำให้สะดวกในการขนส่ง (ครรรชิต, 2541) อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาพันธุ์พืชในระยะสั้น เป็นการเก็บรักษาพันธุ์พืชในสภาพการเจริญปกติ เมื่อเนื้อเยื่อเจริญถึงระดับหนึ่ง ตัดแยกเนื้อเยื่อและทำการเปลี่ยนอาหารใหม่ ทำให้ต้องเสียเวลาและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการตัดแยกเปลี่ยนอาหารให้แก่เนื้อเยื่อบ่อย ๆ โดยเฉลี่ยเนื้อเยื่อจะอยู่ได้เพียง 1-2 เดือน ต้องตัดย้ายเนื้อเยื่อและเปลี่ยนอาหารใหม่ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดพืชที่ทำการเก็บรักษา (มณฑา, 2540) ดังนั้นการลดการเจริญเติบโตของชิ้นส่วนในระหว่างการเพาะเลี้ยงให้ช้าลง (slow growth) โดยการเติมสารชะลอการเจริญเติบโตลงไปในการเพาะเลี้ยง ส่งผลให้เนื้อเยื่อพืชมีการเจริญเติบโตที่ช้าลงโดยการจำกัดหรือจัดการปัจจัยที่เกี่ยวข้องถึงเมแทบอลิซึม (metabolism) ทั้งในส่วนของการเพาะเลี้ยงและสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษา (Gordon and Rees, 1799 อ้างโดย วรณดา และคณะ, 2557; Rees, 1990 อ้างโดย วรณดา และคณะ, 2557) สามารถเก็บรักษาชิ้นส่วนพืชในอาหารเพาะเลี้ยงได้ในระยะเวลา 1-2 ปี ซึ่งสามารถลดจำนวนครั้งในการย้ายเลี้ยงเปลี่ยนอาหาร และยังใช้ต้นทุนที่ต่ำกว่าวิธีอื่นในการเก็บรักษาพันธุ์กรรมพืช

สารพาคโลบิวทราโซล (paclobutrazol: PBZ) มีชื่อทางเคมีว่า (2RS, 3RS)-1-(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2(1H-1,2,4-triazol-1-yl) pentan-3-ol เป็นสารชะลอการเจริญเติบโตโดยยับยั้งเอนไซม์ในวิถีการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน ส่งผลให้เซลล์พืชมีการแบ่งตัวน้อยลงแต่ขยายขนาดเพิ่มขึ้น ทำให้ข้อปล้องสั้นลง (พีรเดช, 2529; Benelli *et al.*, 2022) ปัจจุบันมีการใช้สาร PBZ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอการเจริญเติบโตในสภาพปลอดเชื้อในพืชหลายชนิด เช่น อ้อย (น้องนุช, 2542) กระจูด (เปรมฤดี, 2558) กล้าย (Indrayanti *et al.*, 2019) ดังนั้นในการศึกษานี้ได้มีการศึกษาระดับความเข้มข้นของสาร PBZ ต่อการชะลอการเจริญเติบโตของฟักข้าวในสภาพปลอดเชื้อ เพื่อเป็นแนวทางในการเก็บรักษาพันธุ์กรรมและสามารถนำชิ้นส่วนพืชที่เก็บรักษาไว้มาใช้ในการขยายพันธุ์ หรือเป็นเชื้อพันธุ์กรรมพืชเพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 1. ศึกษาผลของความเข้มข้นของสาร PBZ ต่อการชะลอการเจริญเติบโตของยอดฟักข้าวในสภาพปลอดทดลอง

นำชิ้นส่วนยอดฟักข้าวที่ชักนำได้จากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อ (ความยาวยอด 0.50-1.00 เซนติเมตร) มาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS (Murashige and Skoog, 1962) ที่เติมน้ำตาลซูโครส 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ BA (6-benzyladenine) ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับสาร PBZ ความเข้มข้นต่าง ๆ (0 1 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร) และเติมวุ้น 0.75 เปอร์เซ็นต์ ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารเพาะเลี้ยงเท่ากับ 5.7 ก่อนนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ แต่ละสูตรอาหารทำ 15 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ยอด หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกความสูงที่เพิ่มขึ้นจากความสูงเริ่มต้นและจำนวนใบต่อต้นเปรียบเทียบกับกันในแต่ละชุดการทดลอง

#### 2. ศึกษาการเจริญเติบโตของยอดฟักข้าวหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติมสาร PBZ

นำชิ้นส่วนยอดฟักข้าว (ความยาวยอด 0.50-1.00 เซนติเมตร) ที่ผ่านการเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ ความเข้มข้นต่าง ๆ (0 1 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร) เป็นระยะเวลา 3 เดือน มาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร 1/2MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ IBA ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมวุ้น 0.75 เปอร์เซ็นต์ ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารเพาะเลี้ยงเท่ากับ 5.7 ก่อนนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับชักนำราก (ไชนียะ และคณะ, 2558) แต่ละสูตรอาหารทำ 15 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ยอด หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ บันทึกความสูงของยอดและความยาวรากเปรียบเทียบกับกันในแต่ละชุดการทดลอง

#### 3. สภาพการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนพืชและสถิติที่ใช้ในการทดลอง

ทุกการศึกษาเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนพืชที่อุณหภูมิ  $26 \pm 2$  องศาเซลเซียส ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ 14 ชั่วโมงต่อวัน ความเข้มแสง 14 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomize design: CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

## ผลการวิจัย

## 1. ผลของสาร PBZ ต่อการชะลอการเจริญเติบโตของยอดปักชำในสภาพหลอดทดลอง

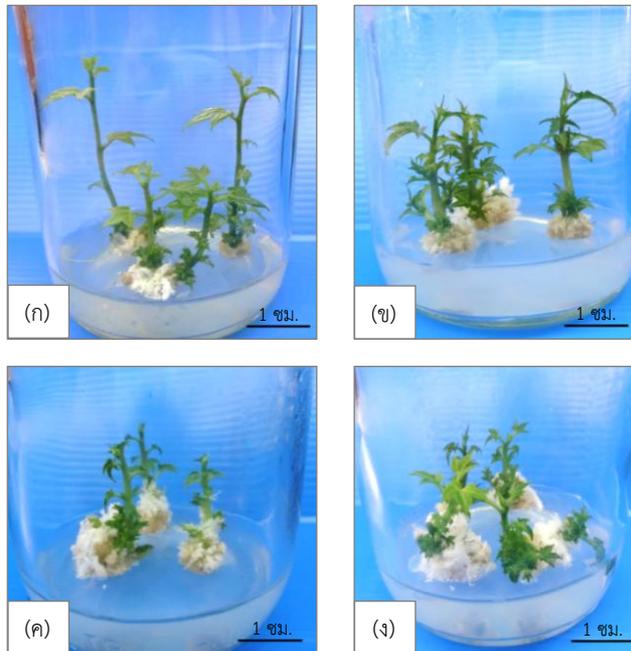
จากการนำยอดปักชำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมและเติมสาร PBZ ความเข้มข้นต่าง ๆ (1 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในหลอดทดลองเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร BA ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับสาร PBZ ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้การยืดยาวของยอดต่ำที่สุดเฉลี่ย 2.18 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ (เฉลี่ย 3.20 เซนติเมตร) เมื่อพิจารณาจำนวนใบพบว่าอาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมและเติมสาร PBZ ความเข้มข้น 1 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นที่มีจำนวนใบเฉลี่ย 6.40 6.00 5.40 และ 5.20 ใบต่อต้น ตามลำดับ โดยสาร PBZ ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนใบต่อต้นมีความแตกต่างกันทางสถิติกับต้นที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสาร PBZ (ตารางที่ 1) และต้นที่เพาะเลี้ยงในอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ มีขนาดของใบเล็กลง และทุกสูตรอาหารมีการเกิดแคลลัสบริเวณโคนต้น ลักษณะแคลลัสมีโครงสร้างแบบเกาะกันแน่น และเกิดการสร้างกลุ่มเซลล์ที่มีโครงสร้างคล้ายรากและมีสีขาวบนของกลุ่มแคลลัส (ภาพที่ 1)

**ตารางที่ 1** ผลของสาร PBZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อความสูงของยอดปักชำและจำนวนใบต่อต้น หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ความเข้มข้นของสาร PBZ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความสูงยอด (เซนติเมตร)	จำนวนใบต่อต้น (ใบ)
0	3.20±0.23 <sup>a</sup>	6.40±0.89 <sup>a</sup>
1	2.72±0.29 <sup>b</sup>	6.00±0.70 <sup>ab</sup>
2	2.54±0.21 <sup>b</sup>	5.40±0.44 <sup>b</sup>
4	2.18±0.31 <sup>c</sup>	5.20±0.54 <sup>b</sup>
F-test	**	*
CV (%)	10.07	11.67

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

- \* และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
- \*\* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p \leq 0.01$ )



**ภาพที่ 1** ลักษณะของต้นฟักข้าวที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร BA ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับสาร PBZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ อาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสาร PBZ (ก) อาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ ความเข้มข้น 1 (ข) 2 (ค) และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร (ง) ตามลำดับ

## 2. การเจริญเติบโตของยอดฟักข้าวที่ผ่านการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติมสาร PBZ

นำชิ้นส่วนยอดฟักข้าว (ความยาวยอด 0.50-1.00 เซนติเมตร) ที่ผ่านการเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 3 เดือน มาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร 1/2MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับสาร IBA ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าต้นที่ผ่านการเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ความสูงยอด 2.20 เซนติเมตร และความยาวราก 0.86 เซนติเมตร มีความแตกต่างทางสถิติกับต้นที่ไม่ผ่านการเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ (ความสูง 2.76 เซนติเมตร และความยาวราก 3.38 เซนติเมตร) (ตารางที่ 2) ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่า ขนาดใบของต้นฟักข้าวมีขนาดเล็กลง เมื่อเทียบกับอาหารที่ไม่ได้เติมสาร PBZ สามารถชะลอการเจริญเติบโตของต้นฟักข้าวได้สำเร็จ อาหารที่เติมสาร PBZ สามารถชะลอการยืดยาวของยอด และต้นที่ชะลอการเจริญเติบโตไว้สามารถสร้างรากได้เมื่อย้ายเลี้ยงบนอาหารสูตรชักนาราก โดยไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสร้างราก แต่ส่งผลให้ความยาวรากน้อยเมื่อความเข้มข้นของสาร PBZ เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2)

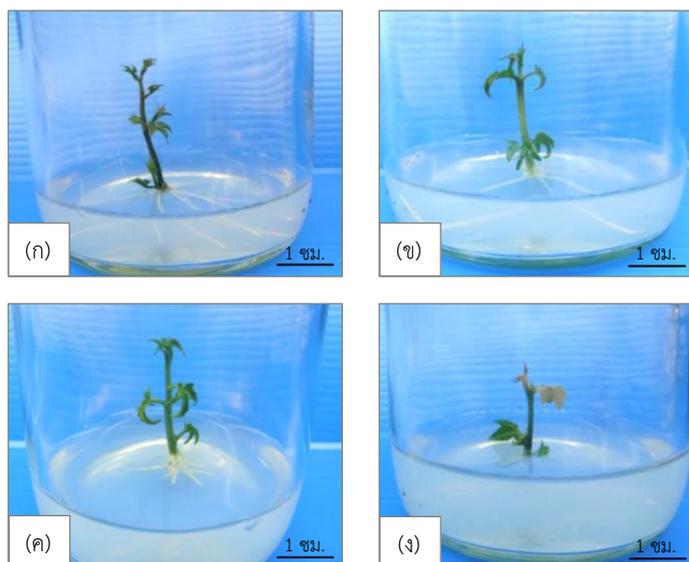
ตารางที่ 2 ผลของสาร PBZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อความสูงของยอดปักชำ การสร้างราก และความยาวรากหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร 1/2MS เป็นเวลา 4 สัปดาห์

ความเข้มข้นของสาร PBZ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความสูงยอด (เซนติเมตร)	การสร้างราก (เปอร์เซ็นต์)	ความยาวราก (เซนติเมตร)
0	2.76±0.25 <sup>a</sup>	100	3.38±0.41 <sup>a</sup>
1	2.70±0.31 <sup>a</sup>	100	3.18±0.58 <sup>a</sup>
2	2.60±0.12 <sup>a</sup>	100	1.06±0.13 <sup>b</sup>
4	2.20±0.33 <sup>b</sup>	100	0.86±0.21 <sup>b</sup>
F-test	*		**
CV (%)	10.55		18.03

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

- \* และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

- \*\* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p \leq 0.01$ )



ภาพที่ 2 ลักษณะของต้นปักชำที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร 1/2MS เติมสาร IBA ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ต้นปักชำจากอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ (ก) ต้นปักชำจากอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ ความเข้มข้น 1 (ข) 2 (ค) และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร (ง) ตามลำดับ

### การอภิปรายผลการวิจัย

จากการเพาะเลี้ยงฟักข้าวบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติมสาร PBZ จะเห็นได้ว่าสารชะลอการเจริญเติบโตที่เติมลงในอาหารเพาะเลี้ยงนั้นมีผลโดยตรงต่อการเจริญของต้นฟักข้าว ทั้งนี้เนื่องมาจากสาร PBZ มีกลไกในการชะลอการเจริญเติบโตโดยยับยั้งเอนไซม์ในวิถีการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน (gibberellin) (Lolaei *et al.*, 2013; Benelli *et al.*, 2022) ส่งผลให้การยืดยาวของปล้องลดลง จึงทำให้ความสูงของต้นลดลง (Hazarika, 2003) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Indrayanti *et al.* (2019) ที่ศึกษาผลของสาร PBZ ต่อการชะลอการเจริญเติบโตของต้นกล้วยสายพันธุ์ Kepok เพื่อการเก็บรักษาพันธุ์กรรมในสภาพปลอดทดลองพบว่าอาหารเพาะเลี้ยงเติมสาร PBZ ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชะลอการเจริญเติบโตของต้นได้ โดยให้ความสูงยอดเพิ่มขึ้นเพียง 1.01 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (ไม่เติมสาร PBZ) ที่ให้ความสูงยอดเพิ่มขึ้น 5.82 เซนติเมตร หลังวางเลี้ยงเป็นเวลา 6 เดือน เช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงหญ้าแฝกในอาหารเติมสาร PBZ ส่งผลให้ลำต้นเตี้ยแคระกว่าต้นในชุดควบคุมอย่างน้อย 10 เท่า ใบไม่ยาวเหมือนพืชตระกูลหญ้าทั่วไป หดสั้น ความกว้างเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังหนาเพิ่มขึ้นด้วย (ลัดดาวัลย์, 2552) การศึกษาของ Mendes *et al.* (2021) รายงานว่าอาหารที่เติมสาร PBZ เหมาะสมในการเก็บรักษาต้นต่อของส้มได้ และเมื่อนำต้นต่อที่เก็บรักษาไว้ในอาหารที่เติมสาร PBZ ออกอนุบาลปลูกพบว่าชิ้นส่วนสามารถรอดชีวิตได้ 100 เปอร์เซ็นต์

จากการนำต้นที่ผ่านการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติมสาร PBZ เป็นระยะเวลาสั้น มาย้ายเลี้ยงเพื่อการพัฒนาเป็นพืชต้นใหม่ (regrowth) ในการศึกษาพบว่าต้นที่ชะลอการเจริญเติบโตไว้สามารถพัฒนาและสร้างรากได้เมื่อย้ายเลี้ยงบนอาหารสูตรชักนำราก โดยไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสร้างราก แต่ส่งผลให้ความยาวรากลดลงเมื่อความเข้มข้นของสาร PBZ เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ โสภา (2553) ที่ศึกษาผลของความเข้มข้นของสาร PBZ ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสิ่งโตปากนกแก้ว (*Bulbophyllum psittacoglossum* Rchb.f.) ในสภาพปลอดเชื้อ โดยนำต้นกล้าจากการเพาะเมล็ดเป็นเวลา 4 เดือน มาเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร VW ที่เติมสาร PBZ ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 2 เดือน พบว่าอาหารที่ปราศจากสาร PBZ ให้น้ำหนักสดต่อกอและความยาวรากสูงสุด 116.93 มิลลิกรัม และ 1.35 เซนติเมตร ตามลำดับ การเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนยอดบนอาหารเติมสาร PBZ ความเข้มข้น 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ความยาวรากสูงสุด 5.08 เซนติเมตร เช่นเดียวกับการศึกษาในหญ้าหวาน (*Stevia rebaudiana* Bertoni) ที่พบว่าความสูงของต้นลดลงเมื่อเลี้ยงในอาหารที่เติมสาร PBZ (El-Said and El-Fadl, 2017) เช่นเดียวกับการใช้สาร PBZ ความเข้มข้นต่ำพบว่าสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญของลิ้นและหากใช้ในความเข้มข้นสูงก็ส่งผลทำให้ต้นชะงักการเจริญเติบโต (Wu *et al.*, 2019) การศึกษาของ Pateli *et al.* (2004) พบว่าสาร PBZ ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ใบของ *Epidendrum radicans* มีขนาดเล็กและหนากว่าปกติ 17-37 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการใช้ความเข้มข้นสูงเกินไปทำให้ยอดและใบไหม้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

การชะลอการเจริญเติบโตของต้นฟักข้าวโดยใช้สาร PBZ ในศึกษานี้ ทำให้สามารถลดจำนวนครั้งในการย้ายเลี้ยงได้ ซึ่งหากเป็นการเพาะเลี้ยงในสูตรอาหารปกติจะต้องมีการตัดย้ายเปลี่ยนอาหารทุก 4 สัปดาห์ ซึ่งผลจากการศึกษานี้จะเป็นแนวทางในการเก็บรักษาพันธุ์กรรมของต้นฟักข้าวในสภาพปลอดทดลองได้

## สรุปผลการวิจัย

การใช้สาร PBZ ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมลงในอาหารเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนยอดผักข่าสามารถชะลอการเจริญเติบโตของผักข่าได้ดีที่สุด และเมื่อนำยอดที่ชะลอการเจริญเติบโตไว้มาชักนำการยืดยาวและชักนำราก พบว่ายอดผักข่าสามารถพัฒนาเป็นพืชต้นใหม่ได้ตามปกติ ดังนั้นผลจากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเก็บรักษาพันธุกรรมผักข่าไว้ในสภาพปลอดเชื้อได้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชและขยายพันธุ์พืชเศรษฐกิจ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี และห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพของพืชปลูก คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

## เอกสารอ้างอิง

- ครรชิต ธรรมศิริ. (2541). *เทคโนโลยีการผลิตกล้วยไม้*. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด.
- ไชนียะ สมะลา พลวัต ภัทรกุลพิสุทธิ และสมปอง เตชะโต. (2558). การขยายพันธุ์ผักข่าภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี.
- ฐานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. (2553). *ผักข่า*. สืบค้นเมื่อ 13 ธันวาคม 2567, จาก: <https://phar.ubu.ac.th/herb-DetailPhargarden/253>.
- น้องนุช พจน์ชัยกุล. (2542). *การเก็บรักษาเชื้อพันธุกรรมอ้อยในหลอดทดลอง*. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เปรมฤดี ด้ายศ. (2558). ผลของพาโคลบิวทราโซลต่อการเก็บรักษาพันธุ์กระจุตในสภาพปลอดเชื้อ. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53: สาขาพืช สาขาสัตว์ สาขาสัตวแพทยศาสตร์ สาขาประมง สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์* (หน้า 130-137). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พัชริน ส่งศรี. (2555). ผักข่า พืชพื้นบ้านคุณค่าสูงเพื่อสุขภาพ. *แก่นเกษตร*, 40(1), 1-6.
- พีรเดช ทองอำไพ. (2529). *ฮอร์โมนพืชและสารสังเคราะห์*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มณฑา วงศ์มณีโรจน์. (2540). การเก็บรักษาเชื้อพันธุกรรมพืชในสภาพปลอดเชื้อ. ใน *เอกสารประกอบการอบรมทางวิชาการ เรื่อง เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อชั้นสูง* (หน้า 31-39). นครปฐม: ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกทดลองสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ลัดดาวัลย์ มุสิกपालะ. (2552). *เทคนิคการเก็บรักษาเชื้อพันธุ์หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา 3 (Vetiveria zizanioides Nash) ในไนโตรเจนเหลว*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท (พืชศาสตร์). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

- วรรณดา พิพัฒน์เจริญชัย กาญจนรี พงษ์ฉวี และรัฐภัทร์ ประดิษฐ์สรรพ. (2557). การเก็บรักษาพันธุ์หอมน้ำ *Crinum thaianum Schulze* ในสภาพปลอดเชื้อ. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง.
- โสภา ชูเพ็ง. (2553). ผลของวิตามินและ paclobutrazol ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าสิ่งโตปากนกแก้วในสภาพปลอดเชื้อ. ใน *การประชุมวิชาการเกษตร ครั้งที่ 11* (หน้า 421-424). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Benelli, C., Tarraf, W., Izgu, T. and De Carlo, A. (2022). *In vitro* conservation through slow growth storage technique of fruit species: An overview of the last 10 years. *Plants*, 11(23), 3188, doi: <https://doi.org/10.3390/plants11233188>.
- El-Said, R. and El-Fadl, A. (2017). Effect of growth retardants on shoot and root development of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) plant grown *in vitro*. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 10(2), 16-24, doi: <https://doi.org/10.9790/2380-1002011624>.
- Hazarika, B.N. (2003). Acclimatization of tissue-cultured plant. *Current Science*, 85(12), 1704-1712.
- Indrayanti, R., Putri, R.E., Sedayu, A. and Adisyahputra, A. (2019). Effect of paclobutrazol for *in vitro* medium-term storage of banana variant cv. Kepok (*Musa acuminata* x *balbisiana* Colla). *AIP Conference Proceedings*, 2019(1), 020009, doi: <https://doi.org/10.1063/1.5061845>.
- Kubola, J. and Siriamornpun, S. (2011). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chemistry*, 127(3), 1138-1145, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.115>.
- Lolaei, A., Mobasheri, S., Bemana, R. and Teymori, N. (2013). Role of paclobutrazol on vegetative and sexual growth of plants. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(9), 958-961.
- Mendes, M.I.S., Verde, D.S.V., Ramos, A.P.S., Gesteira, A.S., Filho, W.S.S. and Souza, A.S. (2021). *In vitro* conservation of citrus rootstocks using paclobutrazol and analysis of plant viability and genetic stability. *Scientia Horticulturae*, 286, 110231, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110231>.
- Murashige, T. and Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Plant Physiology*, 15(3), 473-497, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>.

- Pateli, P., Papafotiou, M.P. and Chronopoulos, J.C. (2004). Comparative effects of four plant growth retardants on growth of *Epidendrum radicans*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(2), 303-307, doi: <https://doi.org/10.1080/14620316.2004.11511765>.
- Wu, Y., Sun, M., Zhang, J., Zhang, L., Ren, Z., Min, R., Wang, X. and Xia, Y. (2019). Differential effects of paclobutrazol on the bulblet growth of oriental lily cultured *in vitro*: Growth behavior, carbohydrate metabolism, and antioxidant capacity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(2), 359-372, doi: <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9844-5>.

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการอัดถ่านแท่งจากกะลามะพร้าว  
โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ  
Study on the Optimal Factors for Briquetting Charcoal from  
Coconut Shells Using a Full Factorial Experimental Design

ยศวัจน์ ชีววรรณตรี<sup>1\*</sup> กฤดิธฤต ทองสิน<sup>1</sup> และปิยะ รนต์ละอง<sup>2</sup>  
Yossawat Cheewaworanontree<sup>1\*</sup>, Kridtharit Thongsin<sup>1</sup> and Piya Rontlaong<sup>2</sup>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการอัดถ่านแท่งจากกะลามะพร้าว โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ( $2^k$  full factorial design) ซึ่งสร้างเครื่องอัดถ่านแท่งจากกะลามะพร้าว โดยมีขนาดความกว้าง 60 เซนติเมตร ความยาว 66 เซนติเมตร และความสูง 149 เซนติเมตร เป็นระบบส่งกำลังกึ่งอัตโนมัติ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากำลัง 7.5 แรงม้า ไฟฟ้า 380 โวลต์ โดยมีมุขลับ 3.5 นิ้ว และมุขเลี้ยวตาม 21 นิ้ว และได้ออกแบบการทดลอง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความยาวสกรูเกลียว 30-32 เซนติเมตร ขนาดกระบอกอัด 45-47 มิลลิเมตร และความเร็วมอเตอร์ 254-267 รอบต่อนาที โดยการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 ตัวอย่าง รวมจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 24 การทดลอง ผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่เหมาะสมในการอัดถ่านแท่ง คือ ความยาวสกรูเกลียว 30 เซนติเมตร ขนาดกระบอกอัด 45 มิลลิเมตร และความเร็วมอเตอร์ 254 รอบต่อนาที จากนั้นนำปัจจัยที่เหมาะสมไปทดลองเก็บข้อมูลอีกครั้ง เพื่อเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงการทดลอง พบว่าก่อนการทดลองจำนวนการอัดถ่านแท่งเกิดการแตกหักหรืออัดไม่แน่นจำนวน 19 ก้อน คิดเป็นร้อยละ 21.10 และหลังการทดลองจำนวนการอัดถ่านแท่งเกิดการแตกหักหรืออัดไม่แน่นจำนวน 8 ก้อน คิดเป็นร้อยละ 8.90 ลดลงจากเดิม 11 ก้อน คิดเป็นร้อยละ 57.89

<sup>1</sup> สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม (ต่อเนื่อง) คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการโซ่อุปทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

<sup>1</sup> Department of Industrial Management (Continuing Program), Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering and Supply Chain Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

\* Corresponding author e-mail: yossawat.ch@bsru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2026.v45i1.265278>

Received: 11 November 2024, Revised: 25 March 2025, Accepted: 2 April 2025

**คำสำคัญ:** การออกแบบการทดลอง ถ่านอัดแท่ง กะลามะพร้าว เครื่องอัดถ่าน

### Abstract

This research aimed to investigate the optimal factors for compressing coconut shell charcoal briquettes using a full factorial design ( $2^k$  full factorial design). A coconut shell charcoal briquette compressing machine was developed with a width of 60 cm, a length of 66 cm, and a height of 149 cm. The machine employed a semi-automatic power transmission system driven by a 7.5-horsepower electric motor (380 V), equipped with a 3.5-inch drive pulley and a 21-inch driven pulley. The experimental design consisted of three factors: screw length (30-32 cm), compression cylinder size (45-47 mm), and motor speed (254-267 rpm). The experiment was repeated three times with 30 samples per trial, resulting in a total of 24 experimental runs. The results indicated that the optimal conditions for briquette compression were a screw length of 30 cm, a compression cylinder size of 45 mm, and a motor speed of 254 rpm. These optimal factors were subsequently applied in an additional experiment to collect comparative data. The results showed that, prior to optimization, 19 briquettes (21.10%) were broken or insufficiently compacted, whereas after optimization the number decreased to 8 briquettes (8.90%), representing a reduction of 11 briquettes (57.89%).

**Keywords:** Design of experiment, Charcoal, Coconut shell, Charcoal press

### บทนำ

ในปัจจุบันการใช้พลังงานทางเลือกเป็นประเด็นสำคัญระดับโลก เนื่องจากปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงขึ้นจากการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล ไม่ว่าจะเป็นภาวะโลกร้อน มลพิษทางอากาศ หรือทรัพยากรธรรมชาติที่ลดลง เพื่อรับมือกับปัญหาดังกล่าวพร้อมผลักดันให้ประเทศต่าง ๆ รวมถึงประเทศกำลังพัฒนาจัดทำแผนและยุทธศาสตร์มุ่งสู่สังคมคาร์บอนต่ำ (low carbon society) ประเทศไทยก็ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหานี้ โดยได้แสดงเจตจำนงในการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกผ่านการลงนามในที่ประชุมภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ครั้งที่ 21 (conference of the parties: COP21) ซึ่งกำหนดเป้าหมายลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 20 ภายในปี พ.ศ. 2573 (กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม, 2567; อำนาจ และคณะ, 2565) แนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาคือการพัฒนาและส่งเสริมพลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานชีวมวล ซึ่งสามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์สูงสุดและลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานฟอสซิล เช่น ปิโตรเลียม ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคต

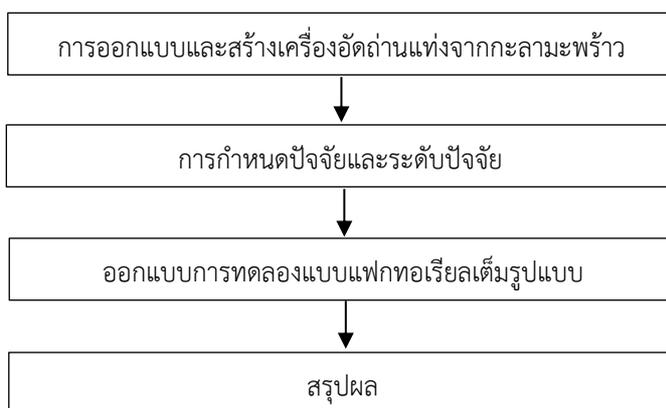
จังหวัดสมุทรสาครเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาพลังงานชีวมวล เนื่องจากเป็นศูนย์กลางอุตสาหกรรมอาหารทะเลและเกษตรกรรม โดยเฉพาะมะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีจำนวนผลผลิตรวมมากที่สุดเมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจอื่น ๆ โดยในเดือนมกราคม พ.ศ. 2567 พบว่ามีเกษตรกรที่ทำการเกษตรมะพร้าวน้ำหอมจำนวน 181 ราย มะพร้าวน้ำหอมบ้านแพ้ว มีพื้นที่เพาะปลูกครอบคลุม 3 อำเภอ จำนวน 20,972 ไร่ ปริมาณผลผลิต 102 ล้านผล (ผลผลิตเฉลี่ย 480 ผลต่อไร่) จากปริมาณผลผลิตดังกล่าวที่มีจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดของเสียทางเกษตรกรรมจำนวนมาก หนึ่งในวัตถุดิบที่เหลือใช้คือกะลามะพร้าว ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตพลังงานชีวมวล โดยเฉพาะการผลิตถ่านอัดแท่ง นอกจากจะช่วยลดปัญหาขยะทางเกษตรกรรมแล้ว ยังสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ และสนับสนุนการพัฒนาสู่สังคมคาร์บอนต่ำได้อีกด้วย ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมาก (อำนาจ และคณะ, 2562; ประสิทธิ์ และณรงค์, 2565; รัชมาธร และจารุวรรณ, 2565; กิตติชาติ และคณะ, 2566; นัฐภูมิ และคณะ, 2566) ที่ศึกษาการแปรรูปวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นถ่านอัดแท่ง โดยถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวมีข้อดีหลายประการ เช่น การให้ค่าความร้อนสูงเผาไหม้สะอาด และมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าถ่านไม้ทั่วไป นอกจากนี้การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อปรับปรุงคุณภาพของถ่านอัดแท่งยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และสามารถแข่งขันในตลาดพลังงานทางเลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้การผลิตถ่านอัดแท่งมีประสิทธิภาพและตรงตามมาตรฐาน จำเป็นต้องมีการศึกษาการออกแบบทางวิทยาศาสตร์และเทคนิคทางวิศวกรรม เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยในปัจจุบันชุมชนชาวจังหวัดสมุทรสาครได้นำเศษเปลือกมะพร้าวที่เหลือใช้โดยส่วนที่เป็นกะลามะพร้าวมาเพิ่มมูลค่าโดยนำมาบดและอัดขึ้นรูปเป็นถ่านแท่งที่ได้จากกะลามะพร้าวเพื่อนำไปจำหน่ายให้มีรายได้เพิ่มขึ้น แต่ด้วยเครื่องอัดถ่านแท่งที่มีอยู่มีการชำรุดและไม่ได้มาตรฐานทำให้กระบวนการอัดถ่านแท่งเกิดการแตกหักเสียหายจำนวนมากจึงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่ง (ยศวิจน์ และคณะ, 2566)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว โดยใช้แนวทางการออกแบบการทดลอง (design of experiments: DOE) โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางวิศวกรรมช่วยในการออกแบบการทดลอง (ยศวรรณ และนรินทร์, 2565) โดยในปัจจุบันการออกแบบการทดลองถูกนำมาใช้กันในการศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการ และศึกษาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เช่น การศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลเก้าชานอ้อยต่อความแข็งแรงอัดในการขึ้นรูปคอนกรีต (ณัฐพงษ์, 2565) การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการแกะสลักสีด้วยเลเซอร์ (ศุภภัทร และคณะ, 2567) การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตอุปกรณ์เซ็กระดับน้ำมัน (ศุภภัทร และจิรวัดณ์, 2567) การประยุกต์ใช้หลักการซิกซ์ซิกมา (six sigma) เพื่อลดสินค้าที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม (เกวลิน และคณะ, 2567) จากงานวิจัยที่กล่าวมาพบว่าเทคนิคการออกแบบการทดลองมีความเหมาะสมกับการศึกษาระดับของปัจจัยที่มีความเหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามคุณลักษณะที่กำหนด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ( $2^k$  full factorial design) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม (optimization) ของระดับของปัจจัยในกระบวนการอัดถ่านจากกะลามะพร้าว ซึ่งประกอบด้วยความยาวสกรูเกลียว ขนาดกระบอกอัด

และความเร็วรอบมอเตอร์ เพื่อให้แท่งถ่านเมื่อผ่านกระบวนการอัดแท่งมีการจับตัวเป็นก้อนได้ดี แข็งแรง ได้มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูง ตอบโจทย์การใช้งานในภาคครัวเรือนและอุตสาหกรรม ตลอดจนส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือกในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศ อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่า และสร้างรายได้ให้กับชุมชน (เสริมศักดิ์, 2561) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญทั้งในเชิงวิชาการและเชิงปฏิบัติ โดยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อยกระดับอุตสาหกรรมพลังงานชีวมวลผลิตถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวให้มีคุณภาพที่สูงขึ้น ได้มาตรฐานและสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจให้กับชุมชน ผ่านการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยผลักดันให้จังหวัดสมุทรสาครก้าวไปสู่การเป็น ต้นแบบของการใช้พลังงานสะอาดและยั่งยืนในอนาคต

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้แบ่งการวิจัยออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) การออกแบบเครื่องอัดถ่านแท่งจากกะลามะพร้าว (2) การกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัย และ (3) ออกแบบและวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ สามารถอธิบายเป็นแผนผังแสดงเป็นลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (Montgomery, 2017) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

#### 1. การออกแบบและสร้างเครื่องอัดถ่านแท่งจากกะลามะพร้าว

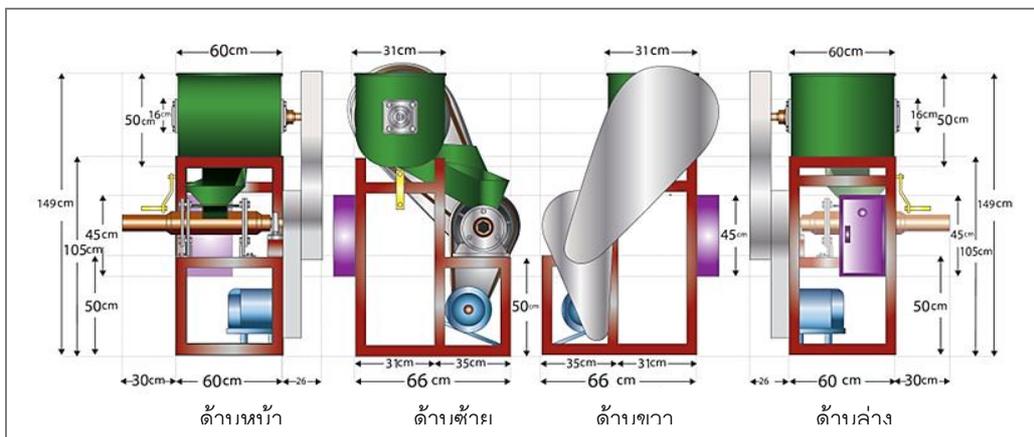
สำหรับการออกแบบและสร้างเครื่องอัดถ่านแท่งจากกะลามะพร้าว แสดงดังภาพที่ 2 คณะผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลเพื่อสร้างเครื่องอัดถ่านแท่ง เพื่อใช้ในการอัดขึ้นรูปผลิตถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว โดยคำนึงถึงหลักการดังต่อไปนี้

##### 1.1 ขนาดของเครื่องอัดถ่านแท่ง

เพื่อใช้ในการอัดขึ้นรูปผลิตถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องอัดถ่านแท่งจากกะลามะพร้าว โดยมีขนาดความกว้าง 60 เซนติเมตร ความยาว 66 เซนติเมตร และความสูง 149 เซนติเมตร

1.2 ชนิดของวัสดุ อุปกรณ์ และระบบความปลอดภัยที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่องอัด ถ่านแท่ง

วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องอัดถ่านแท่งประกอบด้วยเหล็กแผ่นหนา 3 มิลลิเมตร และเหล็กฉากขนาด 2 นิ้ว หนา 4 มิลลิเมตร ระบบส่งกำลังเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า กำลัง 7.5 แรงม้า (5.5 กิโลวัตต์) ใช้ไฟฟ้า 380 โวลต์ มีมูเลย์ซ์ขนาด 3.5 นิ้ว และมูเลย์ตามขนาด 21 นิ้ว นอกจากนี้มีระบบวงจรไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่อง และติดตั้งระบบความปลอดภัยของเครื่องอัดถ่านแท่งเป็นสวิทช์นิรภัย (safety switch) จำนวน 1 จุด ได้แก่ สวิทช์หยุดการทำงานฉุกเฉิน (emergency stop switch) เพื่อใช้หยุดการทำงานในกรณีฉุกเฉินหรือเมื่อเครื่องเกิดความขัดข้องระหว่างการทำงาน



ภาพที่ 2 เครื่องอัดถ่านแท่งจากกะลามะพร้าว (หน่วย: เซนติเมตร)

## 2. การกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัย

การกำหนดปัจจัย (factor) ที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง คณะผู้วิจัยได้ทำการระดมสมองในการกำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อการอัดถ่านแท่งจากกะลามะพร้าว ได้แก่ ความยาวสกรูเกลียว ขนาดกระบอกอัด และความเร็วมอเตอร์ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการอัดถ่านแท่งจากกะลามะพร้าว และผลตอบสนองต่อการทดลอง คือ จำนวนถ่านแท่งที่แตกหัก โดยปัจจัยและระดับของปัจจัย (level) ที่ใช้ในการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับปัจจัย	
	ต่ำ (-)	สูง (+)
ความยาวสกรูเกลียว (เซนติเมตร)	30	32
ขนาดกระบอกอัด (มิลลิเมตร)	45	47
ความเร็วมอเตอร์ (รอบต่อนาที)	254	267

เหตุผลในการเลือกใช้ค่าความยาวสกรูเกลียว เท่ากับ 30 และ 32 เซนติเมตร เนื่องจากในคำแนะนำของผู้ใช้งาน พบว่าถ้าความยาวสกรูเกลียวมีความยาวต่ำหรือเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด จะส่งผลให้ถ่านอัดแท่งเกิดการเปราะและแตกหักง่าย และในทำนองเดียวกันถ้าขนาดกระบอกอัดมีขนาดไม่ตรงตามที่กำหนดระหว่าง 45 ถึง 47 มิลลิเมตร จะส่งผลให้ถ่านอัดแท่งไม่แน่น และแตกหัก และสุดท้ายความเร็วรอบมอเตอร์ที่กำหนด คือ 254 และ 267 รอบต่อนาที โดยถ้าความเร็วรอบมีความเร็วไม่ตรงตามที่กำหนด ก็จะส่งผลให้ถ่านอัดแท่งไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งตามที่ต้องการได้

### 3. ออกแบบการทดลอง

สำหรับการออกแบบการทดลอง คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองแก้ไขปัญหาโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเข้ามาประยุกต์เพื่อหาปัจจัยในการทดลองที่เหมาะสม ได้แก่ ความยาวสกรูเกลียว ขนาดกระบอกอัด และความเร็วรอบมอเตอร์ โดยมีตัวแปรตอบสนองต่อการทดลอง คือ จำนวนถ่านแท่งที่แตกหัก ซึ่งในการออกแบบการทดลองนี้คณะผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ โดยเป็นการออกแบบการทดลองในกรณีมีปัจจัย  $k$  ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณหรืออาจเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ จะแทนด้วยระดับสูงและต่ำ ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยหลักที่สนใจแล้วยังทำให้ทราบปัจจัยร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ (interaction) โดยขั้นตอนของการออกแบบการทดลองโดยกำหนดปัญหา เลือกตัวแปรที่ใช้ชี้วัด กำหนดปัจจัย ออกแบบการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผล (เกวลิน และคณะ, 2567)

## ผลการวิจัย

### 1. การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล

คณะผู้วิจัยได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ โดยกำหนดจำนวนปัจจัย ได้แก่ ความยาวสกรูเกลียว ขนาดกระบอกอัด และความเร็วรอบมอเตอร์ ทำการทดลองซ้ำตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง รวมจำนวนทั้งสิ้น 24 การทดลอง (ศุภัทร และคณะ, 2566) และผลลัพธ์ (response) ที่ได้จากแต่ละรูปแบบการทดลอง คือ จำนวนแท่งถ่านจากการอัดที่เกิดการแตกหักหรืออัดไม่แน่นที่เกิดขึ้น โดยรูปแบบการทดลองเป็นแบบสุ่ม แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองและค่าผลลัพธ์จากการทดลอง

มาตรฐานของ การทดลอง	ลำดับ ที่	ปัจจัย			ค่า ผลลัพธ์
		ความยาว สกรูเกลียว (เซนติเมตร)	ขนาดกระบอกอัด (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบ มอเตอร์ (รอบต่อนาที)	
14	1	32	45	267	14
5	2	30	45	267	13
15	3	30	47	267	15
21	4	30	45	267	12
20	5	32	47	254	27

ตารางที่ 2 (ต่อ)

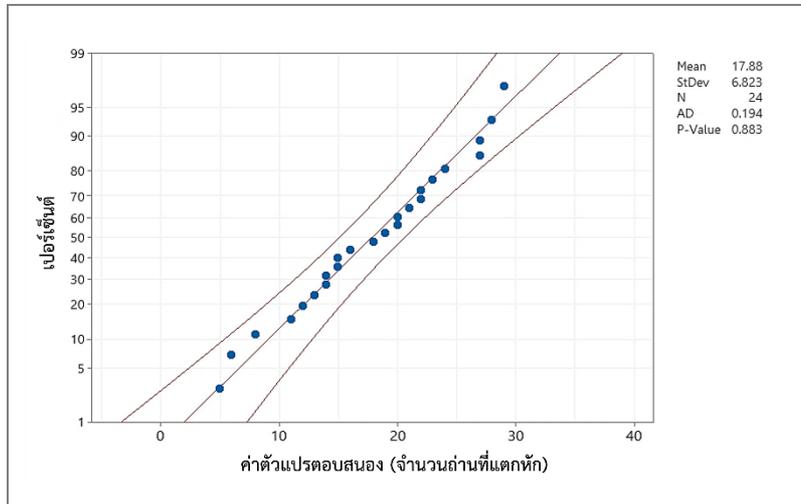
มาตรฐานของการทดลอง	ลำดับที่	ปัจจัย			ค่าผลลัพธ์
		ความยาวสกรูเกลียว (เซนติเมตร)	ขนาดกระบอกอัด (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบมอเตอร์ (รอบต่อนาที)	
22	6	32	45	267	15
10	7	32	45	254	21
17	8	30	45	254	5
4	9	32	47	254	28
19	10	30	47	254	24
16	11	32	47	267	20
6	12	32	45	267	14
13	13	30	45	267	11
24	14	32	47	267	23
7	15	30	47	267	16
23	16	30	47	267	20
18	17	32	45	254	19
2	18	32	45	254	18
11	19	30	47	254	22
8	20	32	47	267	22
9	21	30	45	254	6
1	22	30	45	254	8
3	23	30	47	254	27
12	24	32	47	254	29

## 2. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

สำหรับในการวิเคราะห์ผลข้อมูลการทดลองคณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าส่วนตกค้าง (residual) ของข้อมูลจากแบบจำลองการถดถอย โดยการตรวจสอบประกอบไปด้วยขั้นตอนทั้งหมด 3 ขั้นตอน

### 2.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล

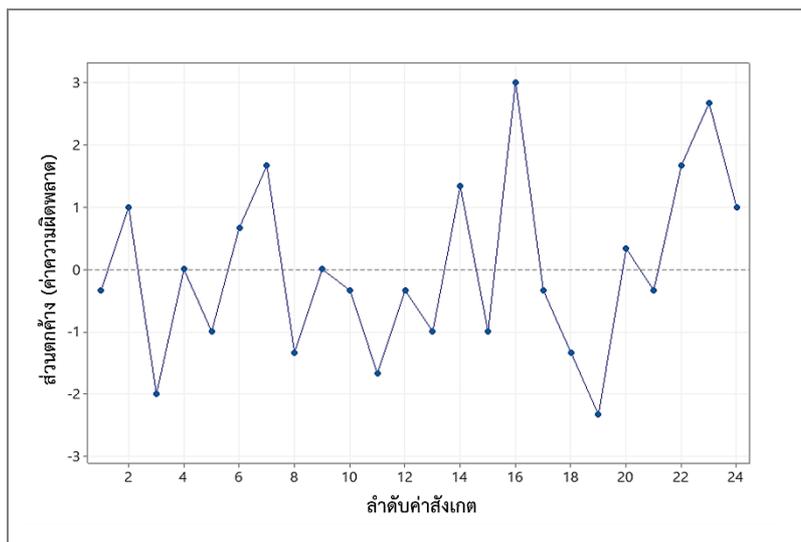
จากการพิจารณาแผนภาพแสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง เพื่อทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (normal distribution) พบว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 3 และมีค่า  $p$ -value เท่ากับ 0.883 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ ( $\alpha = 0.05$ ) (ศุภกิจ และคณะ, 2567) จึงสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ



ภาพที่ 3 แผนภาพแสดงการแจกแจงแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง

## 2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

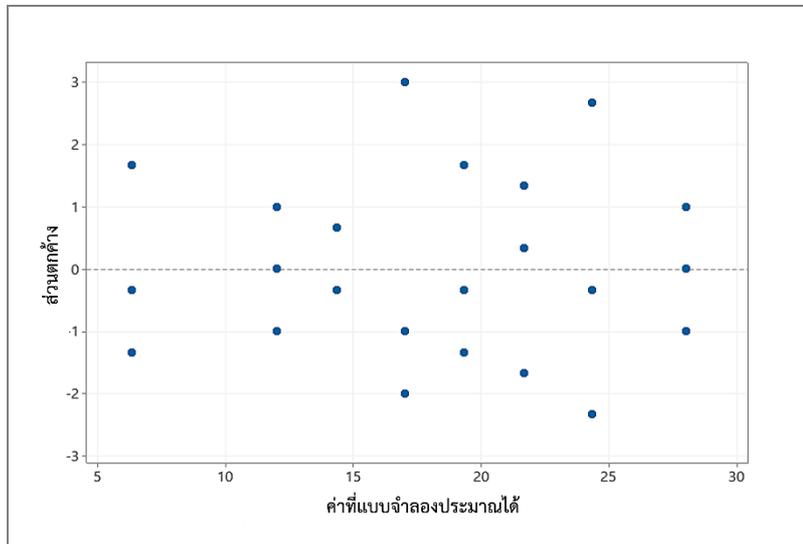
จากการพิจารณาแผนภาพแสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเทียบกับลำดับการทดลอง เพื่อตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (independently distributed) พบว่าค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวเป็นรูปแบบอิสระ แสดงดังภาพที่ 4 เนื่องจากการกระจายตัวไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบที่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 4 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเทียบกับลำดับการทดลอง

### 2.3 การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

จากการพิจารณาแผนภาพแสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเทียบกับค่าของตัวแปรตอบสนองที่ได้จากแบบจำลองการถดถอย (fitted value) เนื่องจากการกระจายตัวไม่มีลักษณะที่เป็นรูปแบบหรือโครงสร้างใด ๆ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (constant variance) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเทียบกับค่าที่แบบจำลองประมาณได้

จากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง แสดงดังภาพที่ 3 4 และ 5 พบว่ารูปแบบของค่าส่วนตกค้างเป็นไปตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่ ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ จึงกล่าวได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องและเหมาะสม และสามารถนำข้อมูลนี้ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไปได้

### 3. การวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบโดยกำหนดจำนวนปัจจัย ได้แก่ ความยาวสกรูเกลียว ขนาดกระบอกอัด และความเร็รรอบมอเตอร์ (รอบต่อนาที) ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง มีจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 24 การทดลอง แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) แสดงดังตารางที่ 3

### ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง

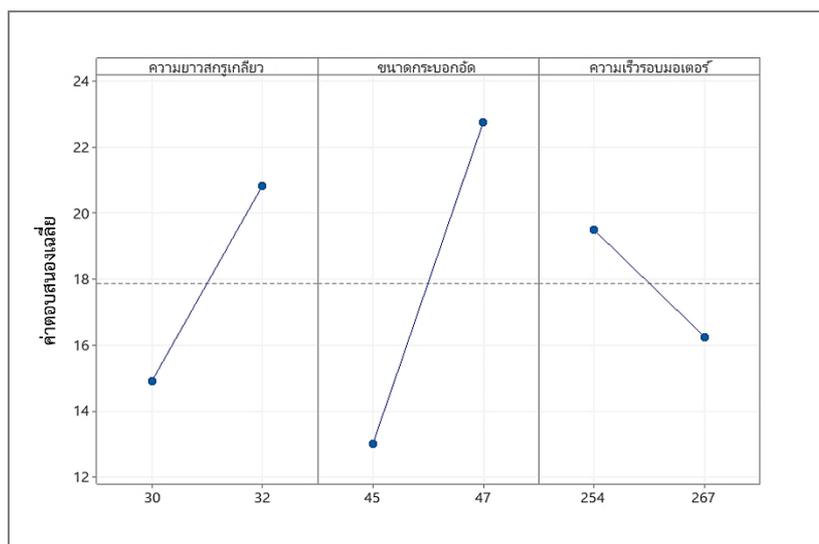
การปรับแบบจำลองแฟกทอเรียล: ตัวแปรตอบสนองเทียบกับความยาวสกรูเกลียว ขนาดกระบอกอัด ความเร็วรอบมอเตอร์

ค่าประมาณผลกระทบและค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรตอบสนอง (หน่วยเข้ารหัส)

ตัวแปรต่อปัจจัย	ผลกระทบ	Coef	SE Coef	T	p-value
ความยาวสกรูเกลียว (เซนติเมตร)	5.917	2.958	0.344	8.61	0.000
ขนาดกระบอกอัด (มิลลิเมตร)	9.750	4.875	0.344	14.19	0.000
ความเร็วรอบมอเตอร์ (รอบต่อนาที)	-3.250	-1.625	0.344	-4.73	0.000
ความยาวสกรูเกลียว*ขนาดกระบอกอัด	-1.750	-0.875	0.344	-2.55	0.022
ความยาวสกรูเกลียว*ความเร็วรอบมอเตอร์	-2.417	-1.208	0.344	-3.52	0.003
ขนาดกระบอกอัด*ความเร็วรอบมอเตอร์	-3.583	-1.792	0.344	-5.21	0.000
ความยาวสกรูเกลียว*ขนาดกระบอกอัด*ความเร็วรอบมอเตอร์	2.917	1.458	0.344	4.24	0.001

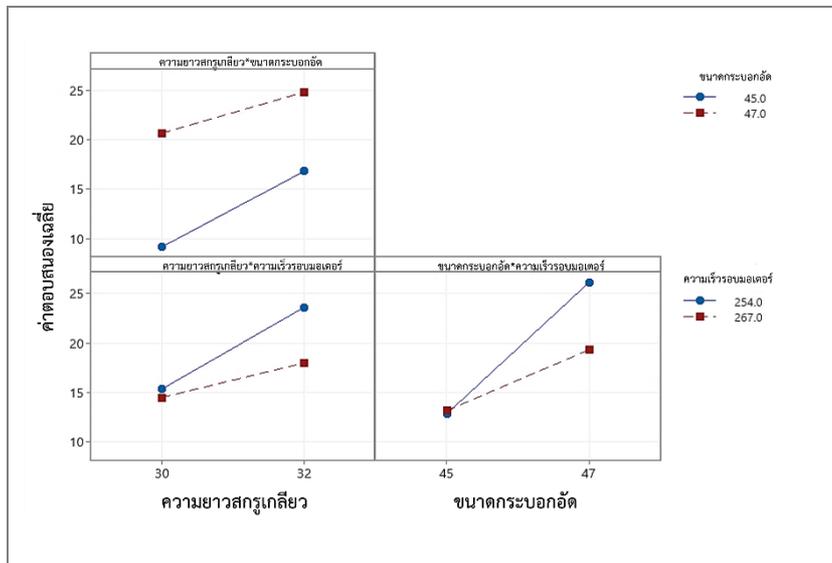
S = 1.68                      R-Sq = 95.77%                      R-Sq (adj) = 93.91%

จากตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเกิดการแตกหักหรืออัดไม่แน่น พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแตกหักหรืออัดไม่แน่นจากการอัดแท่งถ่านอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\text{-value} < 0.05$ ) ได้แก่ ความยาวสกรูเกลียว ขนาดกระบอกอัด และความเร็วรอบมอเตอร์ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (บุญชัย และณัฐธยาน์, 2559) สามารถแสดงเป็นแผนภาพของอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดการแตกหักหรืออัดไม่แน่นจากการอัดถ่านแท่งแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟแสดงลักษณะอิทธิพลของปัจจัยหลัก

จากภาพที่ 6 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเกิดการแตกหักหรือการอัดไม่แน่นของถ่านแท่ง พบว่า (1) ความยาวสกรูเกลียว มีแนวโน้มเส้นกราฟชันเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อความยาวสกรูเกลียวเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้การเกิดการแตกหักหรือการอัดไม่แน่นของถ่านแท่งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (2) ขนาดกระบอกอัด มีแนวโน้มเส้นกราฟชันเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งบ่งชี้ว่าการเพิ่มขนาดกระบอกอัดส่งผลให้การเกิดการแตกหักหรือการอัดไม่แน่นของถ่านแท่งเพิ่มขึ้น และ (3) ความเร็วรอบมอเตอร์ มีแนวโน้มเส้นกราฟชันลดลง แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วรอบมอเตอร์เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้การเกิดการแตกหักหรือการอัดไม่แน่นของถ่านแท่งลดลง หรือกล่าวได้ว่าถ่านแท่งมีความแน่นและความสมบูรณ์มากขึ้น

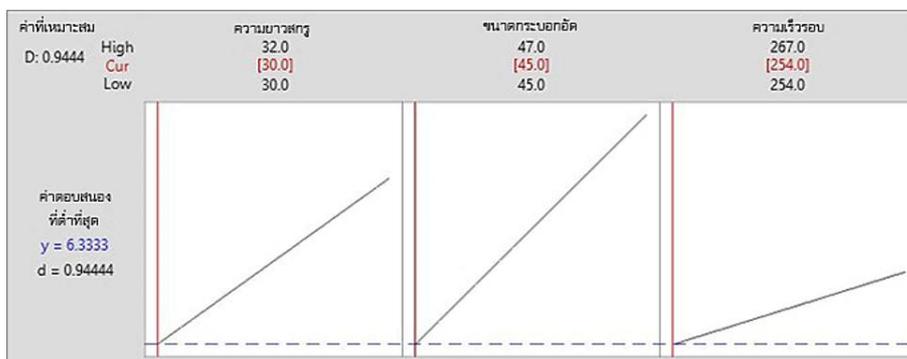


ภาพที่ 7 กราฟแสดงลักษณะอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลกระทบร่วม

จากภาพที่ 7 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสาม พบว่า (1) ความยาวสกรูเกลียวและขนาดกระบอกอัด มีอิทธิพลร่วมกัน โดยเมื่อกำหนดความยาวสกรูเกลียวเท่ากับ 30 เซนติเมตร และขนาดกระบอกอัดเท่ากับ 45 มิลลิเมตร จะส่งผลให้การอัดถ่านแท่งมีการแตกหักหรือการอัดไม่แน่นลดลง (2) ความยาวสกรูเกลียวและความเร็วรอบมอเตอร์ มีอิทธิพลร่วมกัน โดยเมื่อใช้ความยาวสกรูเกลียว 30 เซนติเมตร ร่วมกับความเร็วรอบมอเตอร์ 254 รอบต่อนาที ส่งผลให้การเกิดการแตกหักหรือการอัดไม่แน่นของถ่านแท่งลดลง และ (3) ขนาดกระบอกอัดและความเร็วรอบมอเตอร์ มีอิทธิพลร่วมกัน โดยเมื่อใช้ขนาดกระบอกอัด 45 มิลลิเมตร ร่วมกับความเร็วรอบมอเตอร์ 254 รอบต่อนาที จะช่วยลดการเกิดการแตกหักหรือการอัดไม่แน่นของถ่านแท่งได้อย่างชัดเจน

จากการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการอัดถ่านแท่งจากกะลามะพร้าวโดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอัดถ่านแท่งให้ลดการแตกหักหรือการอัดไม่แน่น พบว่าปัจจัยความยาวสกรูเกลียว ขนาดกระบอกอัด และความเร็วรอบมอเตอร์ มีค่า  $p\text{-value} < 0.05$  แสดงให้เห็นว่าปัจจัยดังกล่าวส่งผลกระทบต่อการเกิดการแตกหักหรือการอัดไม่แน่น

ของถ่านแท่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย โดยใช้ฟังก์ชัน response optimization (Su *et al.*, 2015) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยให้เหมาะสมที่สุด พร้อมทั้งประเมินค่าความพึงพอใจรวมของผลลัพธ์ (composite desirability: D) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0-1 โดยผลการวิเคราะห์พบว่าค่า D เท่ากับ 0.94444 แสดงถึงระดับความพึงพอใจของผลลัพธ์อยู่ในระดับสูงมากหรือเกือบสมบูรณ์ (อิวิวัฒน์ และเปรมพร, 2562) ดังแสดงในภาพที่ 8

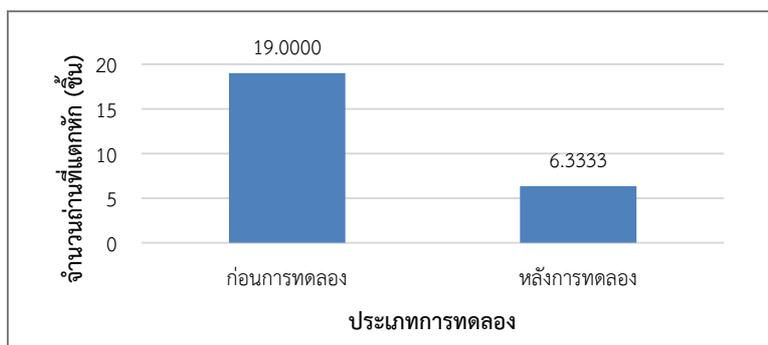


ภาพที่ 8 ค่าที่เหมาะสมในการอัดแท่งถ่านไม่ให้เกิดการแตกหักหรืออัดแน่น

จากภาพที่ 8 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดการแตกหักหรือการอัดไม่แน่นของถ่านแท่ง พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ความยาวหางเกลียว 30 เซนติเมตร ขนาดกระบอกอัด 45 มิลลิเมตร และความเร็วรอบมอเตอร์ 254 รอบต่อนาที โดยภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวคาดว่าจะเกิดถ่านแท่งที่แตกหักหรืออัดไม่แน่นเฉลี่ย 6.3333 ชิ้น ทั้งนี้ผลการเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนและหลังการปรับค่าปัจจัย แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4 และภาพที่ 9

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบอัตราถ่านแท่งเกิดการแตกหัก ก่อนและหลังการทดลอง

ประเภทของเสีย	ก่อนการทดลอง (ชิ้น)	หลังการทดลอง (ชิ้น)
การแตกหัก	19.0000	6.3333



ภาพที่ 9 ผลการเปรียบเทียบการแตกหักก่อนและหลังการทดลอง

### การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่าการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบสามารถใช้ในการวิเคราะห์และกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการอัดถ่านแท่งจากกะลามะพร้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยหลักทั้งสาม ได้แก่ ความยาวสกรูเกลียว ขนาดกระบอกอัด และความเร็วยรอบมอเตอร์ มีอิทธิพลต่อจำนวนถ่านอัดแท่งที่เกิดการแตกหักหรืออัดไม่แน่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\text{-value} < 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ความยาวสกรูเกลียวและขนาดกระบอกอัด มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเกิดการแตกหักของถ่านอัดแท่ง กล่าวคือ เมื่อค่าปัจจัยทั้งสองเพิ่มขึ้น จำนวนถ่านที่แตกหักหรืออัดไม่แน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงอัด และแรงเสียดทานภายในกระบวนการไม่เหมาะสมต่อการจับตัวของวัสดุ ในขณะที่ความเร็วยรอบมอเตอร์มีความสัมพันธ์เชิงลบ โดยความเร็วยรอบที่เหมาะสมช่วยให้การอัดขึ้นรูปมีความต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ส่งผลให้คุณภาพถ่านอัดแท่งดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยต่าง ๆ มีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงกระบวนการอัดถ่านแท่งจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยหลายตัวร่วมกัน ไม่สามารถพิจารณาเพียงปัจจัยเดียวได้ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม เมื่อกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัย ได้แก่ ความยาวสกรูเกลียว 30 เซนติเมตร ขนาดกระบอกอัด 45 มิลลิเมตร และความเร็วยรอบมอเตอร์ 254 รอบต่อนาที พบว่าสามารถลดจำนวนถ่านอัดแท่งที่แตกหักได้มากกว่าร้อยละ 50.00 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ สะท้อนให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองสามารถช่วยลดของเสีย เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และยกระดับคุณภาพถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวได้

### สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อทำการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอัดถ่าน เพื่อลดจำนวนถ่านอัดแท่งที่แตกหักจากกระบวนการ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยกำหนดปัจจัย ได้แก่ ความยาวสกรูเกลียว ขนาดกระบอกอัด และความเร็วยรอบมอเตอร์ จากการทดลองหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าตัวแปรตอบสนอง คือ จำนวนถ่านอัดแท่งที่หักเสียหายจากกระบวนการด้วยเครื่องอัดถ่านแท่งน้อยที่สุด พบว่าระดับปัจจัยความยาวสกรูเกลียว 30 เซนติเมตร ขนาดกระบอกอัด 45 มิลลิเมตร และความเร็วยรอบมอเตอร์ 254 รอบต่อนาที ส่งผลให้เกิดการแตกหักหรืออัดถ่านไม่แน่นจากเดิม 19 ชิ้น ลดลงเหลืออยู่ที่ 6.3333 ชิ้น ดังนั้นสำหรับการวิจัยในอนาคต ถ้าศึกษาปัจจัยและระดับของปัจจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับระยะห่างของสกรูเกลียวมาทำการออกแบบการทดลองร่วมด้วยคาดว่าจะส่งผลต่อการแตกหักของถ่านอัดแท่งมีจำนวนลดลงได้

### เอกสารอ้างอิง

กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม. (2567). *แผนปฏิบัติการ NDC ด้านการบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2564-2573 (NDC action plan on mitigation 2021-2030)*. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

- กิตติชาติ เผ่าพงษ์ไพบูลย์ กรรณก บัญเสริม และวีระ หอสกุลไท. (2566). การพัฒนาสมบัติทางกลและทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราโดยผสมกับกะลามะพร้าวเพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือก. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม*, 16(1), 158-167.
- เกวลิน สำเภาทอง กวินธร สัยเจริญ และสิทธิชัย แซ่เหล่ม. (2567). การประยุกต์ใช้หลักการซิกซ์ซิกม่าเพื่อลดสินค้าที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 14(3), 114-133.
- ณัฐพงษ์ ศรีสุภะ. (2565). อิทธิพลเก้าชานอ้อยต่อความแข็งแรงอัดในการขึ้นรูปคอนกรีต. *วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ*, 164(1), 111-119.
- นัฐวุฒิ เพ็ชรชาติ พิมพ์ชนก ธาตรีวิจิตร หนึ่งหทัย ธราพร ศราวุฒิ ชูโลก และนวิรัตน์ สีตะพงษ์. (2566). สมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระถ่อนและเปลือกมังคุด. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 42(1), 39-49, doi: <https://doi.org/10.65217/wichhajinstru.2023.v42i1.254379>.
- บุญชัย แซ่สิ้ว และณัฐธยาน์ โสกุล. (2559). การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว. *วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 9(2), 30-44.
- ประสิทธิ์ ไกรลมสม และนรงค์ วิชาผา. (2565). การวัดประสิทธิภาพและจัดลำดับความสำคัญของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้วิธีประสิทธิภาพแบบไขว้เสมือน. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, 18(2), 230-246.
- ยศวรรธน์ จันทนา และนรินทร์ รัตนวัย. (2565). ปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อการปรับตั้งค่าเครื่องหันใบตะไคร้ด้วยเทคนิคออกแบบการทดลอง. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*, 14(19), 83-95.
- ยศวัจน์ ชีววรรณทร์ ปิยะ รนต์ละออง กฤติธฤต ทองสิน และสมบัติ ทีฆทรัพย์. (2566). การลดของเสียในกระบวนการบ่มชิ้นส่วนชุดหน้าคัลท์ซ์โรงงาน กรณีศึกษา: โรงงานผลิตคอมเพรสเซอร์แอร์รถยนต์. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา*, 11(2), 27-38.
- รัชณาธร เทพรัตน์ และจารุวรรณ วงศ์ทะเลตร. (2565). การนำเศษของเสียจากชีวภาพไปใช้ประโยชน์ โดยผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 30(6), 124-136.
- ศุภกิจ เดิกศิริ อามิณห์ หล้าวงศ์ วิชยุทธ จันทะรี อุทัย ธารพรศรี ไทยทัศน์ สุดสวนสี และปิยณัฐ โตอ่อน. (2567). การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบสามระดับ. *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, 2(5), 34-43.
- ศุภัทร ศิลาลอย ธรรมวิเศษ ประเสริฐ และจิรวัดน์ ณ พัทลุง. (2567). การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการแกะสลักสีด้วยเลเซอร์ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม. *วารสารช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย*, 10(2), 18-24.

- ศุภัทร ศีลาลอย ปริญา ศรีสัตยกุล และจิรวัฒน์ ณ พัทลุง. (2566). พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกรรมวิธีการผลิตลวดตีเกลียวชนิด 7 เส้น. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*, 8(1), 11-20.
- ศุภัทร ศีลาลอย และจิรวัฒน์ ณ พัทลุง. (2567). การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตอุปกรณ์เซ็กระดับน้ำมันโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น*, 12(2), 48-54.
- เสริมศักดิ์ เกิดวัน รุ่งโรจน์ จีนด้วง และสุชาพร เกตุพันธ์. (2561). การผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกต้นสาคุ. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- อธิวัฒน์ ลีนะธรรม และเปรมพร เขมาวุฒฒ์. (2562). การปรับปรุงกระบวนการผลิตลวดแกนกลางของผลิตภัณฑ์สายสวนหลอดเลือดหัวใจด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 14(2), 12-24.
- อำนวยการ คำบุญ วรพจน์ ศิริรักษ์ พีรวัตร ลือสีก และเริงฤทัย ศิริรักษ์. (2562). การศึกษาของวัสดุผสมในถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวต่อสมบัติทางกลและทางความร้อน. *วารสารข่าวงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย*, 5(2), 67-75.
- อำนาจ วิชัย สุรัตน์ เศษโพธิ์ และการุณย์ ชัยวณิชย์. (2565). การศึกษาแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับเมือง กรณีศึกษา: เทศบาลเมืองพะเยา. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*, 14(20), 30-44.
- Montgomery, D.C. (2017). *Design and analysis of experiments*. (9<sup>th</sup> ed). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Su, H., Yao, H.M. and Zeng, H. (2015). The optimization research of the multi-response problems based on the SUR. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 28, 731-737.

## อิทธิพลของวัสดุปลูกและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอัญชัน Effect of Planting Materials and Chemical Fertilizers on the Growth and Yield of *Clitoria ternatea* L.

อนันต์ ปิริยะภักทริก<sup>1\*</sup> พรกมล รุปเลิศ<sup>1</sup> กาญจพรพรหม เมฆอรุณ<sup>1</sup>  
มาริยาห์ แสนแก้ว<sup>1</sup> พัชรี เดชเลย์<sup>1</sup> และสุขุมารณ์ แสงงาม<sup>2</sup>

Anan Piriya-phattarakit<sup>1\*</sup>, Ponkamon Ruploet<sup>1</sup>, Kanjapat Mekarun<sup>1</sup>,  
Mariya Sankeaw<sup>1</sup>, Patcharee Dechlay<sup>1</sup> and Sukhumaporn Saeng-ngam<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุปลูกและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอัญชัน (*Clitoria ternatea* L.) วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ 1) การศึกษาวัสดุปลูก 5 สูตร คือ ดินผสมใบก้ามปู (ชุดควบคุม) พีทมอส : ดินผสมใบก้ามปู (1:1) พีทมอส : เพอร์ไลท์ : ดินผสมใบก้ามปู (1:1:1) พีทมอส : เพอร์ไลท์ : ดินผสมใบก้ามปู (1:2:1) และดินผสมใบก้ามปู : มะพร้าวสับ (1:1) และ 2) การศึกษาการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 ในอัตรา 0 10 15 20 และ 25 กรัมต่อต้น โดยปลูกในกระถางขนาด 20 นิ้ว บันทึกการเจริญเติบโตทุก 15 วันหลังย้ายปลูกเป็นเวลา 2 เดือน และบันทึกผลผลิตดอกเป็นเวลา 6 เดือน ผลการทดลองพบว่าวัสดุปลูกมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอัญชันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวัสดุปลูกสูตรพีทมอส : เพอร์ไลท์ : ดินผสมใบก้ามปู (1:1:1) ให้ผลดีที่สุด มีความสูงต้นเฉลี่ย 170.00 เซนติเมตร จำนวนดอก 139 ดอกต่อต้น น้ำหนักดอกสด 52.32 กรัม และน้ำหนักดอกแห้ง 5.83 กรัม สำหรับการให้ปุ๋ยเคมี พบว่าอัตรา 10 กรัมต่อต้น ทำให้จำนวนยอดและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสูงที่สุด เท่ากับ 43 ยอดต่อต้น และ 0.78 เซนติเมตร ขณะที่อัตรา 15 กรัมต่อต้น ให้น้ำหนักดอกสดและน้ำหนักดอกแห้งสูงที่สุด เท่ากับ 80.65 และ 8.03 กรัม ตามลำดับ ดังนั้น วัสดุปลูกสูตรพีทมอส : เพอร์ไลท์ : ดินผสมใบก้ามปู (1:1:1) ร่วมกับการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 ในอัตรา 10 กรัมต่อต้น เหมาะสมต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของอัญชัน

<sup>1</sup> ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

<sup>2</sup> ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

<sup>1</sup> Expert Center of Innovative Agriculture, Thailand Institute of Scientific and Technological Research

<sup>2</sup> Department of Biology, Faculty of Science, Srinakharinwirot University

\* Corresponding author e-mail: anan\_p@tistr.or.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2026.v45i1.264752>

Received: 19 September 2024, Revised: 24 February 2025, Accepted: 2 April 2025

**คำสำคัญ:** อัญชัน วัสดุปลูก การเจริญเติบโต ผลผลิต ปุ๋ยเคมี

### Abstract

This study aimed to investigate the effects of growing media and chemical fertilizer on the growth and flower yield of *Clitoria ternatea* L. The experiment was arranged in a randomized complete block design (RCBD) consisting of two experiments. The first experiment evaluated five growing media formulas: 1) soil mixed with *Samanea saman* leaf compost (control), peat moss : soil mixed with *S. saman* leaf compost (1:1), peat moss : perlite : soil mixed with *S. saman* leaf compost (1:1:1), peat moss : perlite : soil mixed with *S. saman* leaf compost (1:2:1), and soil mixed with *S. saman* leaf compost : chopped coconut husk (1:1). 2) the second experiment examined the effects of chemical fertilizer (16-16-16) applied at rates of 0, 10, 15, 20, and 25 g per plant. Plants were grown in 20-inch pots. Vegetative growth was recorded every 15 days after transplanting for two months, while flower yield was recorded for six months. The results showed that growing media significantly affected the growth and flower yield of butterfly pea. Plants grown in peat moss : perlite : soil mixed with *S. saman* leaf compost (1:1:1) showed the greatest plant height (170.00 cm), the highest number of flowers (139 flowers per plant), and fresh and dry flower weights of 52.32 and 5.83 g, respectively. For fertilizer application, 10 g per plant produced the highest number of shoots (43 shoots per plant) and the largest stem diameter (0.78 cm), whereas 15 g per plant resulted in the highest fresh and dry flower weights (80.65 and 8.03 g, respectively). Therefore, peat moss : perlite : soil mixed with *S. saman* leaf compost (1:1:1) combined with 16-16-16 fertilizer at 10 g per plant was the most suitable treatment for promoting the growth and flower yield of *C. ternatea* L.

**Keywords:** *Clitoria ternatea* L., Planting materials, Growth, Yield, Chemical fertilizer

### บทนำ

อัญชัน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Clitoria ternatea* L. จัดอยู่ในวงศ์ Fabaceae มีถิ่นกำเนิดในแถบอเมริกาใต้ จัดเป็นไม้ล้มลุกเลื้อยพันอายุหลายปี นิยมปลูกเป็นไม้ประดับตามรั้วหรือซุ้ม เป็นพืชที่ทนต่อสภาพอากาศแห้งแล้งได้ดี สามารถพบดอกอัญชันได้ทั่วทุกพื้นที่ของประเทศไทย (พิชานันท์, 2557) มีเถากลมเล็กเรียว แตกกิ่งก้านตามข้อใบ ใบประกอบแบบขนนกปลายคี่เรียงสลับ ใบย่อยรูปวงรีแกมขอบขนานหรือรูปวงรีแกมไข่กลับ ขอบใบเรียบ ปลายใบมน ดอกเดี่ยว กลีบดอกรูปดอกถั่ว กลีบดอกยกนบางและแผ่นกลีบบาง (ตรุณ และคณะ 2541) ปัจจุบันดอกอัญชันเป็นสินค้าที่กำลังเป็นที่นิยมอย่างสูง ซึ่งสามารถนำมาปรุงอาหาร เช่น ข้าวเหนียวสีน้ำเงิน ชาดอกอัญชัน หรือนำมาผสมกับ

มะนาวแล้วกลายเป็นสีม่วง นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ที่ทำจากดอกอัญชัน เช่น แชมพู ครีมนวดน้ำ เป็นต้น (สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า, 2565) อัญชันเป็นพืชสมุนไพรที่มีการส่งออกในรูปแบบดอกอัญชันแห้งไปหลายประเทศ เช่น ไต้หวัน ฮองกง เกาหลี มาเลเซีย ออสเตรเลีย และอินโดนีเซีย โดยเฉพาะออสเตรเลียมีมูลค่าส่งออกสูงถึง 4,000 บาทต่อกิโลกรัม (เสริมสุข, 2563) นอกจากนี้ดอกอัญชันยังมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและยังมีสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยเพิ่มการไหลเวียนของเลือด อีกทั้งดอก ใบ และรากของอัญชันยังมีสรรพคุณทางยาอีกมากมาย (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2556) เป็นพืชที่ทุกส่วนถูกนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงสมุนไพรอย่างหลากหลาย ที่ปรากฏอยู่ในตำรับยาอายุรเวท (ayurvedic medicine) เช่น ช่วยกระตุ้นการเรียนรู้และความจำ เป็นส่วนผสมของยาคลายเครียด คลายกล้ามเนื้อ ต้านเบาหวาน ด้วยคุณสมบัติและคุณค่าทางโภชนาการของอัญชันทำให้มีการศึกษาถึงศักยภาพ ประสิทธิภาพ และการนำไปใช้ประโยชน์ของอัญชันและสารสกัดจากอัญชันอย่างกว้างขวาง ปัจจุบันแอนโทไซยานินจัดเป็นรงควัตถุที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยเป็นอย่างมาก ซึ่งคุณสมบัติเด่นที่สุดของแอนโทไซยานิน คือ มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีและวิตามินอี 2 เท่า (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2553)

ปัจจุบันดินที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับปลูกต้นไม้ในกระถางหาได้ยาก เนื่องจากดินที่มีอยู่โดยทั่วไปนั้นมักเป็นดินผสมสำเร็จรูปทางการค้า ซึ่งดินดังกล่าวไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเตรียมดินและวัสดุปลูกให้มีสภาพที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช วัสดุปลูกที่นำมาใช้จึงควรมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เช่น ค่าจุนพีช เก็บสำรองธาตุอาหาร กักเก็บน้ำ แลกเปลี่ยนอากาศ และธาตุอาหารพืช เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยธรรมชาติแล้ว พืชจะได้รับธาตุอาหารต่าง ๆ จากดิน แต่บางครั้งธาตุอาหารที่มีอยู่ตามธรรมชาติอาจไม่พอต่อความต้องการของไม้ดอกไม้ประดับ ซึ่งการปลูกเลี้ยงอัญชันมักใช้วัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของดินผสมใบก้ามปู (*Samanea saman*) พีทมอส เพอร์ไลท์ (perlite) และมะพร้าวสับ วัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน คือ ใบก้ามปู มีแร่ธาตุไนโตรเจนสูง เป็นพืชที่ดำรงชีวิตอยู่ร่วมกับแบคทีเรียที่ตรึงธาตุไนโตรเจนได้ ใบก้ามปูจึงมีธาตุไนโตรเจนถึง 2 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าใบไม้ชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว (ฤกษ์วรรณ, 2564) ส่วนพีทมอส มีความสะอาด ปราศจากเชื้อโรค กักเก็บความชื้นขึ้นได้ดี ความหนาแน่นไม่สูงจนเกินไป ระบายอากาศและน้ำได้ดี ซึ่งช่วยให้รากพืชเจริญเติบโตได้ดี (สุรวิช และคณะ 2562) เพอร์ไลท์เป็นวัสดุปลูกที่ช่วยรักษาความสมดุลระหว่างปริมาณน้ำและอากาศในดิน ช่วยให้รากพืชดูดซึมน้ำอาหาร เนื่องจากมีสภาพเป็นกลางมีความคงทนต่อปฏิกิริยาทางเคมี จัดเป็นพวกสารอนินทรีย์ เมื่อผสมลงในดินจะมีความคงทนและไม่พินาศจากจุลินทรีย์ (อิทธิสุนทร, 2537) กาบมะพร้าวสับมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำ แต่มีปริมาณโพแทสเซียมที่ค่อนข้างสูง สามารถเก็บความชื้นได้ดี เพิ่มช่องว่างในดิน เมื่อผสมกับดินทำให้ดินโปร่งและมีแร่ธาตุอาหาร (สมเพียร, 2526) จึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช (ยงยุทธ, 2552) รวมทั้งรูปแบบความต้องการของธาตุอาหารก็แตกต่างกัน และพบว่าปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืชในดินมีอยู่น้อย เกษตรกรควรต้องเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินในรูปของปุ๋ย ชนิดและอัตราของปุ๋ยที่ใส่จะต้องให้เหมาะสมเพียงพอต่อการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอัญชันยังไม่พบข้อมูล ขณะที่ในปัจจุบันดอกอัญชันแห้ง

มีการจำหน่ายในท้องตลาดราคากิโลกรัมละ 600 บาท และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้มีการทดสอบการใช้วัสดุปลูกเลี้ยงและการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราต่าง ๆ ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ต้น อัญชันที่มีการเจริญเติบโตดี สามารถเพิ่มจำนวนผลผลิตดอกในระบบเกษตรปลอดภัย (good agricultural practices: GAP) และนำดอกอัญชันไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มต่อไป

### วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาผลของวัสดุปลูกและการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของอัญชัน ณ สถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ในระหว่างเดือนมีนาคม-กันยายน พ.ศ. 2566 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) ปลูกเลี้ยงภายใต้โรงเรือนปลูกพืชแบบปิด แบ่งการ ทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ

การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาอิทธิพลของวัสดุปลูก โดยใช้วัสดุปลูกจำนวน 5 สูตร แต่ละ สูตรมี 5 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น ประกอบด้วย

สูตรที่ 1 ดินผสมใบก้ามปู (ชุดควบคุม)

สูตรที่ 2 พีทมอส : ดินผสมใบก้ามปู อัตราส่วน 1:1 (ปริมาตรต่อปริมาตร)

สูตรที่ 3 พีทมอส : เพอร์ไลท์ : ดินผสมใบก้ามปู อัตราส่วน 1:1:1 (ปริมาตรต่อปริมาตร)

สูตรที่ 4 พีทมอส : เพอร์ไลท์ : ดินผสมใบก้ามปู อัตราส่วน 1:2:1 (ปริมาตรต่อปริมาตร)

สูตรที่ 5 ดินผสมใบก้ามปู : กาบมะพร้าวสับ อัตราส่วน 1:1 (ปริมาตรต่อปริมาตร)

การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 โดยกำหนดอัตราปุ๋ยจำนวน 5 อัตรา ได้แก่ 0 10 15 20 และ 25 กรัมต่อกระถาง แต่ละอัตรามี 5 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น ใช้วัสดุปลูกเป็น ดินผสมใบก้ามปูร่วมกับกาบมะพร้าวสับในอัตราส่วน 1:1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) และทำการใส่ปุ๋ยทุก 10 วัน รวมทั้งสิ้น 6 ครั้ง

ทั้งสองการทดลองดำเนินการโดยเพาะเมล็ดอัญชันลงในถาดเพาะชำเป็นเวลา 14 วัน ด้วย พีทมอสผสมวัสดุปลูกใส่ในกระถางพลาสติกสีดำขนาด 20 นิ้ว นำต้นกล้าอายุ 14 วัน ลงปลูก และรดน้ำ วันละ 1 ครั้ง ตลอดระยะเวลาการทดลอง บันทึกการเจริญเติบโตด้านความยาวต้น (เซนติเมตร) โดย วัดจากโคนต้นถึงปลายยอดด้วยไม้บรรทัด จำนวนยอดต่อต้น (ยอด) โดยนับจำนวนยอดที่แตกจาก ต้นแม่พันธุ์ ความกว้างใบ (เซนติเมตร) วัดขอบใบตำแหน่งที่กว้างมากที่สุดด้านหนึ่งไปถึงขอบใบ อีกด้านหนึ่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต้น (เซนติเมตร) สูงจากผิวดิน 5 เซนติเมตร วัดขอบต้นตำแหน่ง ที่กว้างมากที่สุดไปถึงขอบต้นอีกด้านหนึ่ง บันทึกจำนวนดอกหลังจากการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ครบอายุ 2 เดือน เริ่มมีการออกดอก และเก็บผลผลิตดอกสดทุก 2 วัน เป็นระยะเวลา 6 เดือน หลัง ปลูกเลี้ยง ตั้งแต่เริ่มมีการออกดอก ชั่งน้ำหนักผลผลิตดอกสด และน้ำหนักดอกแห้ง โดยนำดอกอัญชัน สดไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติจากอิทธิพลของวัสดุปลูกและปุ๋ยเคมี โดยใช้โปรแกรม ทางสถิติด้วย SPSS 15.0 (SPSS, Inc, 2006) และเมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p < 0.05$ )

### ผลการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลของวัสดุปลูกและปุ๋ยเคมีที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตดอกอัญชัน พบว่าการปลูกเลี้ยงต้นอัญชันในวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตร ให้การเจริญเติบโตที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยสูตรที่ 3 ให้ความสูงต้นอัญชันมากที่สุด เท่ากับ 170.00 เซนติเมตร รองลงมา คือ สูตรที่ 4 2 และ 5 ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 1 (ชุดควบคุม) ให้ค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 138.40 เซนติเมตร ด้านจำนวนยอด ความกว้างใบ และขนาดลำต้น ในวัสดุปลูกสูตรที่ 2 ให้ค่ามากที่สุด เท่ากับ 42 ยอด 8.60 และ 0.82 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 1

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของอัญชันในวัสดุปลูกสูตรต่าง ๆ ที่อายุ 60 วัน หลังปลูก

วัสดุปลูก	ความยาวต้น (เซนติเมตร)	จำนวนยอด (ยอดต่อต้น)	ความกว้างใบ (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางต้น (เซนติเมตร)
สูตรที่ 1 (ชุดควบคุม)	138.40 <sup>c</sup>	36.40 <sup>c</sup>	7.25 <sup>b</sup>	0.50 <sup>c</sup>
สูตรที่ 2	163.60 <sup>b</sup>	42.00 <sup>ab</sup>	8.60 <sup>a</sup>	0.82 <sup>a</sup>
สูตรที่ 3	170.00 <sup>a</sup>	41.20 <sup>ab</sup>	7.25 <sup>b</sup>	0.80 <sup>a</sup>
สูตรที่ 4	168.20 <sup>ab</sup>	41.00 <sup>b</sup>	8.00 <sup>b</sup>	0.77 <sup>b</sup>
สูตรที่ 5	150.80 <sup>bc</sup>	37.00 <sup>c</sup>	7.95 <sup>b</sup>	0.64 <sup>bc</sup>
F-test	*	*	*	*
CV (%)	12.71	19.60	8.18	8.50

หมายเหตุ: - \* และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



ภาพที่ 1 ลักษณะการเจริญเติบโตของอัญชันภายใต้วัสดุปลูกสูตรต่าง ๆ ได้แก่ สูตรที่ 1 (ชุดควบคุม) (ก) สูตรที่ 2 (ข) สูตรที่ 3 (ค) สูตรที่ 4 (ง) และสูตรที่ 5 (จ)

ผลผลิตจำนวนดอกต่อต้นของอัญชันที่ปลูกด้วยวัสดุสูตรต่าง ๆ พบว่าจำนวนดอกในสูตรที่ 3 มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 139 ดอกต่อต้น รองลงมา คือ สูตรที่ 2 และ 1 (ชุดควบคุม) ให้จำนวนดอก เท่ากับ 125 และ 123 ดอกต่อต้น ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) กับสูตร ที่ 4 และ 5 ให้จำนวนดอกเท่ากับ 116 และ 112 ดอกต่อต้น ตามลำดับ

ส่วนน้ำหนักดอกสดและน้ำหนักดอกแห้งของดอกอัญชันในวัสดุปลูกสูตรที่ 3 มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 52.32 และ 5.83 กรัม ตามลำดับ รองลงมา คือ สูตรที่ 1 (ชุดควบคุม) และ 4 โดยสูตรที่ 1 ให้ค่า น้ำหนักดอกสดและน้ำหนักดอกแห้งเท่ากับ 50.26 และ 5.26 กรัม ตามลำดับ และสูตรที่ 4 ให้ค่า น้ำหนักดอกสดและน้ำหนักดอกแห้งเท่ากับ 49.23 และ 4.92 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) กับวัสดุปลูกสูตรที่ 2 และ 5 โดยสูตรที่ 2 ให้ค่าน้ำหนักดอกสด และน้ำหนักดอกแห้งเท่ากับ เท่ากับ 48.59 และ 4.85 กรัม ตามลำดับ และสูตรที่ 5 และให้ค่าน้ำหนัก ดอกสดและน้ำหนักดอกแห้งเท่ากับ เท่ากับ 48.21 และ 4.82 กรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ผลผลิตจำนวนดอก น้ำหนักดอกสด และน้ำหนักดอกแห้งรวมของอัญชันที่ปลูกในวัสดุปลูก สูตรต่าง ๆ

วัสดุปลูก	จำนวนดอก (ดอกต่อต้น)	น้ำหนักดอกสด (กรัม)	น้ำหนักดอกแห้ง (กรัม)
สูตรที่ 1 (ชุดควบคุม)	123 <sup>ab</sup>	50.26 <sup>ab</sup>	5.26 <sup>ab</sup>
สูตรที่ 2	125 <sup>ab</sup>	48.59 <sup>b</sup>	4.85 <sup>b</sup>
สูตรที่ 3	139 <sup>a</sup>	52.32 <sup>a</sup>	5.83 <sup>a</sup>
สูตรที่ 4	116 <sup>b</sup>	49.23 <sup>ab</sup>	4.92 <sup>ab</sup>
สูตรที่ 5	112 <sup>c</sup>	48.21 <sup>b</sup>	4.82 <sup>b</sup>
F-test	*	*	*
CV (%)	12.56	9.47	12.32

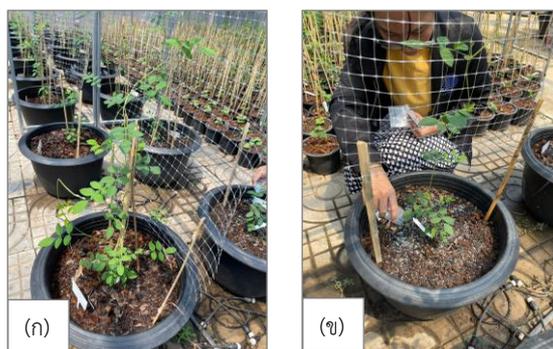
หมายเหตุ: - \* และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

การทดลองที่ 2 ศึกษาการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 ที่อัตราต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ของต้นอัญชัน พบว่าความสูงต้นและความกว้างใบที่ใส่ปุ๋ยในทุกอัตราไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนจำนวนยอดที่ใส่ปุ๋ยในอัตรา 10 กรัมต่อต้น ให้ค่ามากที่สุด เท่ากับ 43 ยอดต่อต้น รองลงมา คือ อัตรา 15 และ 20 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) กับต้นที่ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) และอัตรา 25 กรัมต่อต้น ให้ค่าจำนวนยอดเท่ากับ 26 และ 21 ยอด ตามลำดับ และขนาดลำต้นที่ใส่ปุ๋ยในอัตรา 15 กรัมต่อต้น มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 0.78 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตรา 10 0 (ชุดควบคุม) 20 และ 25 กรัมต่อต้น โดยมี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต้นเท่ากับ 0.66 0.58 0.54 และ 0.50 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 2

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตของอัญชันที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่าง ๆ ที่อายุ 60 วัน หลังปลูก

ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 (กรัม)	ความยาวต้น (เซนติเมตร)	จำนวนยอด (ยอดต่อต้น)	ความกว้างใบ (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางต้น (เซนติเมตร)
0 (ชุดควบคุม)	144.00	26 <sup>c</sup>	7.80	0.58 <sup>bc</sup>
10	154.40	43 <sup>a</sup>	8.00	0.66 <sup>b</sup>
15	158.20	36 <sup>ab</sup>	8.00	0.78 <sup>a</sup>
20	141.40	29 <sup>bc</sup>	7.72	0.54 <sup>c</sup>
25	144.80	21 <sup>c</sup>	7.76	0.50 <sup>c</sup>
F-test	ns	*	ns	*
CV (%)	12.90	19.19	10.04	14.61

หมายเหตุ: - \* และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



ภาพที่ 2 ลักษณะการปลูกเลี้ยงและการเจริญเติบโตของอัญชัน (ก) และลักษณะการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่าง ๆ (ข)

อิทธิพลของการใช้ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณผลผลิตของดอกอัญชัน พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 15 กรัมต่อต้น ทำให้อัญชันมีจำนวนดอก ผลผลิตน้ำหนักดอกสด และน้ำหนักดอกแห้ง มากที่สุดเท่ากับ 176 ดอกต่อต้น 80.65 และ 8.03 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) กับการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตรา 20 25 10 กรัมต่อต้น และการไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (ชุดควบคุม) ให้ค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 139 ดอกต่อต้น 53.64 และ 5.36 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลผลิตจำนวนดอก น้ำหนักดอกสด และน้ำหนักดอกแห้งรวมของอัญชันที่ใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราต่าง ๆ

ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 (กรัม)	จำนวนดอก (ดอกต่อต้น)	น้ำหนักดอกสด (กรัม)	น้ำหนักดอกแห้ง (กรัม)
0 (ชุดควบคุม)	139 <sup>c</sup>	53.64 <sup>c</sup>	5.36 <sup>c</sup>
10	145 <sup>bc</sup>	60.35 <sup>bc</sup>	6.03 <sup>bc</sup>
15	176 <sup>a</sup>	80.65 <sup>a</sup>	8.03 <sup>a</sup>
20	162 <sup>b</sup>	70.32 <sup>b</sup>	7.23 <sup>b</sup>
25	150 <sup>bc</sup>	63.54 <sup>bc</sup>	6.35 <sup>bc</sup>
F-test	*	*	*
CV (%)	13.51	9.57	11.76

หมายเหตุ: - \* และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลของวัสดุปลูกและปุ๋ยเคมีที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตดอกอัญชัน พบว่าวัสดุปลูกสูตรที่ 2 (พีทมอส : ดินผสมใบก้ามปู) และสูตรที่ 3 (พีทมอส : เพอร์ไลต์ : ดินผสมใบก้ามปู) ต่างมีส่วนผสมของพีทมอส ให้อิทธิพลที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ให้การเจริญเติบโตดีกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่น ๆ เนื่องจากพีทมอสมีโครงสร้างละเอียด มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity: CEC) สูง สามารถดูดซับธาตุอาหารได้ดี และพีทมอสยังมีความพรุนสูง ทำให้รากได้รับอากาศพร้อมทั้งดูดซับธาตุอาหารไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตได้ดี (เศรษฐมนตร์, 2551) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสมเพียร (2524) ศึกษาการใช้พีทมอสเป็นวัสดุปลูกต้นกล้าบานชื่นหนู พบว่าพีทมอสทำให้ความกว้างทรงพุ่ม ความสูงต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ และความยาวใบของต้นกล้าบานชื่นหนูดีที่สุด และการศึกษาของ Gülser *et al.* (2019) รายงานว่าวัสดุปลูกที่ต่างกันต่อการเจริญและการสะสมสารอาหารของต้นพิทูเนีย พบว่าวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของดินต่อพีทมอสในอัตรา 2:1 มีผลทำให้ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนกิ่ง เส้นผ่านศูนย์กลางดอก เส้นผ่านศูนย์กลางก้านดอก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของต้นพิทูเนียสูงที่สุด และในสูตรดินผสมที่มีส่วนผสมของเพอร์ไลต์ ดินผสมใบก้ามปู ซึ่งวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิดนี้ มีคุณสมบัติโปร่ง ร่วนซุย ทำให้รากพืชเจริญเติบโตแผ่ขยายได้มากขึ้น สามารถดูดสารอาหารจากดินส่งไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของพืช ทำให้มีการเจริญเติบโตดีขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุปลูกชนิดต่าง ๆ ในการปลูกต้นอัญชันไม่ใช่ปัจจัยสำคัญเพียงอย่างเดียวที่ทำให้ต้นอัญชันเจริญเติบโตอย่างเหมาะสม แต่รวมไปถึงปริมาณธาตุอาหารที่พืชได้รับต้องเพียงพอต่อความต้องการที่สามารถเสริมต่อการเจริญเติบโตของอัญชันอีกด้วย

ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 ในอัตราต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นอัญชัน แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 15 กรัมต่อต้น ทำให้ต้นอัญชันมีจำนวนดอก ผลผลิต น้ำหนักดอกสด และน้ำหนักดอกแห้งมากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของนพมาศ และคณะ (2565) รายงานว่าเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 20 กรัมต่อต้น ส่งผลให้ต้นไผ่ตงหม้อมีความสูงมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 15 กรัมต่อต้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีลงไปในกระถางปลูกที่มีความชื้นที่เหมาะสม ปุ๋ยเคมีจะละลายและปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันที จึงทำให้ต้นอัญชันเจริญเติบโตเร็ว ส่วนต้นอัญชันที่ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) หรือต้นที่ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 10 กรัมต่อกระถาง อาจได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของต้นอัญชัน และการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 20-25 กรัมต่อกระถาง อาจเป็นอัตราที่เกินความต้องการของต้นอัญชัน ซึ่งการใส่ปุ๋ยเคมีที่มากเกินไปให้กับพืชอาจเป็นอันตรายต่อต้นอัญชันและทำให้พืชมีผลผลิตลดลงได้ (Chandini *et al.*, 2019) ทำให้เกิดการสูญเสียปุ๋ยเคมีโดยเปล่าประโยชน์ แต่การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 15 กรัมต่อกระถาง เป็นอัตราที่ส่งเสริมให้ต้นอัญชันมีการเจริญเติบโตดี ใบเขียว ระบบรากมีความแข็งแรง ดอกดกสีสวย และออกดอกเร็วขึ้น ส่วนการศึกษาของอุทัย (2556) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15 ในอัตรา 10 กรัมต่อต้น ส่งผลให้ต้นแอสเตอร์มีจำนวนดอกต่อต้นมากที่สุด เนื่องจากปุ๋ยเคมีในอัตราดังกล่าว มีธาตุอาหารที่เพียงพอกับความ ต้องการจึงช่วยส่งเสริมการออกดอก การศึกษาของเกศศิริรินทร์ และปริยานุช (2553) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทุกอัตราช่วยให้จำนวนช่อดอกต่อกิ่งแขนงของผักขจรมากกว่าการไม่ได้รับปุ๋ย เนื่องจากดอกขจรจะออกดอกตามข้อถ้ามีการยืดขยาย และเพิ่มขนาดของเซลล์มากทำให้จำนวนช่อดอกกิ่งแขนงมากออกดอกมากขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ahmad *et al.* (2011) พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต จำนวนดอกต่อต้น และขนาดดอกของดาวเรืองได้ดี

### สรุปผลการวิจัย

ต้นอัญชันที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยพีทมอส เพอร์ไลต์ และดินผสมใบก้ามปู ในอัตราส่วน 1:1:1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ให้ผลการเจริญเติบโตและผลผลิตดีที่สุดในแง่ของ ต้น จำนวนดอก ผลผลิตน้ำหนักดอกสด และน้ำหนักดอกแห้งสูงสุด นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 ในอัตรา 15 กรัมต่อต้น ทุก 10 วัน ส่งผลให้ต้นอัญชันมีขนาดลำต้น จำนวนดอก รวมถึง น้ำหนักดอกสดและน้ำหนักดอกแห้งสูงสุด ซึ่งถือเป็นอัตราที่เหมาะสมต่อการปลูกเลี้ยงอัญชันเพื่อให้ได้ผลผลิตดอกที่ดกและเพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์

### ข้อเสนอแนะ

ควรมีการวัดค่าคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกทั้งหมดในแต่สูตรก่อนการปลูกเลี้ยง

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยจากโครงการพัฒนาระบบการปลูกเลี้ยงไม้ดอกไม้ประดับในระบบเกษตรปลอดภัยเพื่อการบริโภค ภายใต้การดำเนินงานโครงการของศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

## เอกสารอ้างอิง

- กฤษณวรรณ อธิฐงาม. (2564). *การสำรวจนําร่องของโลหะหนักในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ). มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, กรุงเทพฯ.
- เกศศรีรินทร์ แสงมณี และปริยานุช จุลกะ. (2553). อิทธิพลของระยะปลูกและเวลาเก็บเกี่ยวต่อผลผลิตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักขจร. ใน *การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อน ครั้งที่ 4* (หน้า 149-159). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ดร.ณ เพ็ชรพลาญ จารีย์ บันลือธี ณิชัตรา จันทร์สุวาณิชย์ ประถม ทองศรีรักษ์ และชาติรีชาญประเสริฐ. (2541). *สมุนไพรพื้นบ้าน*. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์.
- นพมาศ นามแดง เลิศพงษ์ มั่นวงศ์ ธิติมา มั่นวงศ์ และอารีรัตน์ ลุนผา. (2565). อิทธิพลของปุ๋ยเคมีปุ๋ยมูลม้า และปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลม้าต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตดอกดาวเรือง. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ มอว. วิจัย ครั้งที่ 16* (หน้า 54-64). อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- พิกานันท์ ลีแก้ว. (2557). *อัณชันจุลสารข้อมูลสมุนไพร. รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2556). *Butterfly pea/ดอกอัญชัน*. สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2567, จาก: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2975/butterfly-pea-99>.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). *Anthocyanin/แอนโทไซยานิน*. สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2567, จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1103/anthocyanin-แอนโทไซยานิน>.
- ยงยุทธ โอสดสภา. (2552). *ชาตุอาหารพืช*. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เศรษฐมนันต์ กาญจนกุล. (2551). *ร้อยพันพฤษชาไม้กินแมลง*. กรุงเทพฯ: บริษัทเลิฟแอนด์ลิฟเพลส จำกัด.
- สมเพียร เกษมทรัพย์. (2524). *ไม้ดอกกระถาง*. กรุงเทพฯ: อักษรพิทยา.
- สมเพียร เกษมทรัพย์. (2526). *ไม้ดอกกระถาง*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. (2565). *โอกาสของสินค้าสมุนไพรในฮ่องกง*. สืบค้นเมื่อ 4 กรกฎาคม 2567, จาก: [https://uploads.tps.go.th/2022-09-11\\_raayngaankhminchbabyaaw\\_final.pdf](https://uploads.tps.go.th/2022-09-11_raayngaankhminchbabyaaw_final.pdf).
- สุรวิช วรรณไกรโรจน์ ปริยานุช จุลกะ วสันต์ หนูนึ่ง และเจนวิทย์ สมอคร. (2562). วัสดุทดแทนพีทมอสในระยะอนุบาลของการผลิตต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิง (*Nepenthes ampullaria*) เป็นไม้กระถาง. *แก่นเกษตร*, 47(1), 169-176.
- เสริมสุข สลักเพ็ชร์. (2563). *เกษตรฯ ลุยต่อเปิดตลาดดอกอัญชันเข้าอินโดนีเซีย*. สืบค้นเมื่อ 5 กรกฎาคม 2567, จาก: <https://www.doa.go.th/leka/?p=3802>.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ. (2537). ระบบการเตรียมและจ่ายสารละลายธาตุอาหารพืชโดยอัตโนมัติ ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 32* (หน้า 39-47). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- อุทัย กำลีส. (2546). การศึกษาเปรียบเทียบปุ๋ยเกรด 15-15-15 อัตราต่าง ๆ กันต่อการเจริญเติบโตของ แอสเตอร์พันธุ์ Thousand wonder mix4 ที่ปลูกเป็นไม้กระถาง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร). มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ลำปาง.
- Ahmad, I., Asif, M., Amjad, A. and Ahmad, S. (2011). Fertilization enhances growth, yield, and xanthophyll contents of marigold. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(6), 641-648, doi: <https://doi.org/10.3906/tar-1005-995>.
- Chandini, K., Kumar, R. and Prakash, O. (2019). The impact of chemical fertilizers on our environment and ecosystem. *American Journal of Plant Sciences*, 11(2), 71-86.
- Gülser, F., Çiğ, A., Gökkaya, T.H. and Atmaca, H. (2019). Effects of different growing media on plant growth and nutrient contents of petunia (*Petunia hybrida*). *International Journal of Secondary Metabolite*, 6(4), 302-309, doi: <https://doi.org/10.21448/ijsm.554693>.

ผลของโหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อคุณภาพของภาพถ่าย  
และการวิเคราะห์ธาตุในวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์  
Effects of Operating Modes and Electric Potential  
Difference on Image Quality and Elemental Analysis of  
Zinc Oxide Nanomaterials

ณิชชา อารุณโรจน์<sup>1\*</sup> และธีรศักดิ์ เทียรธีรดิษฐ์<sup>2</sup>  
Nidcha Aroonrote<sup>1\*</sup> and Teerasak Thianthiradait<sup>2</sup>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการเลือกโหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (field emission scanning electron microscope: FESEM) ร่วมกับการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงานหรือการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยการกระจายพลังงานรังสีเอกซ์ (energy dispersive X-ray spectroscopy: EDS) โดยประเมินผลของโหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อคุณภาพของภาพถ่ายตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์และผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน ผลการศึกษาพบว่าโหมดการทำงาน GB-HIGH ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์ ให้ภาพที่มีความคมชัดและสามารถแสดงรายละเอียดพื้นผิวของวัสดุได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับโหมด SEM และความต่างศักย์ไฟฟ้าในระดับอื่น ๆ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS แสดงให้เห็นการกระจายตัวของธาตุสังกะสี (Zn) และออกซิเจน (O) อย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิววัสดุ โดยการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยวิธีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแบบอะนาลิเซอร์ (analyzer method) และวิธีการวิเคราะห์ธาตุแบบจุดและการระบุชนิดธาตุ (point & ID method) พบว่าปริมาณธาตุสังกะสีและออกซิเจนที่ได้จากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกโหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการเพิ่มคุณภาพของภาพและความถูกต้องของการวิเคราะห์ธาตุในงานวิจัยด้านวัสดุนาโน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยและพัฒนาวัสดุในอนาคตได้

<sup>1</sup> ศูนย์วิทยการขั้นสูงด้านนาโนเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรมเคมี อาหาร และการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>2</sup> โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา

<sup>1</sup> Center for Advanced Studies in Nanotechnology for Chemical, Food and Agricultural Industries, Kasetsart University

<sup>2</sup> Kasetsart University Laboratory School, Center for Educational Research and Development

\* Corresponding author e-mail: nidcha.a@ku.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2026.v45i1.266316>

Received: 13 February 2025, Revised: 2 April 2025, Accepted: 18 April 2025

**คำสำคัญ:** วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน การวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน

### Abstract

This research focuses on selecting the optimal operating mode and accelerating voltage for the analysis of zinc oxide (ZnO) nanomaterials using a Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) combined with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS). The effects of operating mode and accelerating voltage on image quality and elemental analysis were evaluated. The results showed that the GB-HIGH mode at an accelerating voltage of 2 kV produced the sharpest images and revealed the most detailed surface morphology compared with the SEM mode and other accelerating voltages. In addition, EDS analysis indicated a uniform distribution of zinc (Zn) and oxygen (O) on the material surface. A comparison between the Analyzer method and the Point & ID method for elemental quantification revealed similar Zn and O contents, consistent with the characteristics of ZnO nanomaterials. These results highlight the importance of selecting appropriate operating parameters to enhance image quality and improve the accuracy of elemental analysis in nanomaterial research, and they can be applied to future materials research and development.

**Keywords:** Zinc oxide nanomaterials, Field emission scanning electron microscope, Energy dispersive x-ray spectroscopy

### บทนำ

อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide (ZnO) nanomaterials) เป็นสารประกอบที่พบเห็นได้ในธรรมชาติ มีคุณสมบัติพิเศษทางแสง (Mandal *et al.*, 2022) ไม่ละลายน้ำ (Ahmed *et al.*, 2021) มีความสามารถในการป้องกันและยับยั้งแบคทีเรีย (Porrawatkul *et al.*, 2023) ไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ ด้านเวชสำอางและผลิตภัณฑ์กันแดดได้มีการนำอนุภาคมาเป็นส่วนผสม เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันรังสียูวีเอและยูวีบี (Porrawatkul *et al.*, 2024) ทั้งนี้ยังมีการประยุกต์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในงานด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสลายมลพิษในน้ำเสียด้วยกระบวนการกระตุ้นด้วยแสง (Chaisorn *et al.*, 2023) นอกจากนี้ในด้านอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และยา ก็ได้นำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มอัตราการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ส่วนในด้านเกษตรกรรมก็มีการนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก เช่น การนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาฉีดพ่นต้นมะนาว การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์ (ชีวะ และคณะ, 2561) ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์กันอย่างแพร่หลาย จึงทำให้มีการศึกษาวิจัยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

ในหลายด้าน ซึ่งงานวิจัยและการพัฒนาทางด้านวัสดุศาสตร์มีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบหรือโครงสร้างของวัสดุด้วยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (field emission scanning electron microscope: FESEM) (Kumar *et al.*, 2013)

โดยเทคนิคทางกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนับว่าเป็นเทคนิคที่สำคัญและได้รับความนิยม เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ให้ข้อมูลพื้นฐานโครงสร้าง พื้นผิว หรือรูปร่างของวัสดุอย่างชัดเจนที่กำลังขยายสูง รวมไปถึงสามารถวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงานหรือการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยการกระจายพลังงานรังสีเอกซ์ (energy dispersive x-ray spectroscopy: EDS) (Newbury and Ritchie, 2013) นอกเหนือไปจากนั้นการใช้โหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้าในการถ่ายภาพก็มีความสำคัญยิ่ง เพื่อให้ได้ภาพพื้นผิวที่มีความคมชัด เห็นรายละเอียดพื้นผิวที่ดีที่สุด และสามารถบันทึกภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ดลฤดี, 2563) เนื่องจากในการวิเคราะห์ตัวอย่างอาจต้องใช้เวลามากในการปรับหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพ โดยเฉพาะวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นตัวอย่างที่ต้องมีการถ่ายภาพและวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ ซึ่งการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการวิเคราะห์ ลดระยะเวลาในการดำเนินงาน และช่วยลดต้นทุนในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาผลของการใช้โหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อคุณภาพของภาพถ่ายของตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชันร่วมกับการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงานเพื่อประยุกต์ใช้ในงานวิจัย

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. วัสดุ

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ คือ วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งจัดซื้อจากวิทยาลัยเทคโนโลยีและนวัตกรรมวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 2. เครื่องมือ

2.1 เครื่องเคลือบผิวตัวอย่าง (sputter coater) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JFC-1600 Auto Fine Coater

2.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (FESEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM7600F

2.3 เครื่องวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDS) ยี่ห้อ OXFORD รุ่น Xmax50

### 3. วิธีดำเนินการทดลอง

#### 3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

นำตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นผงโรยกระจายอย่างสม่ำเสมอบนแท่นยึดตัวอย่าง (sample stub) ที่ติดตั้งด้วย เทปคาร์บอน (carbon tape) เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะและลดการเคลื่อนตัวของผงตัวอย่างระหว่างการวิเคราะห์ จากนั้นใช้ลูกยางเป่าลมเพื่อกำจัดผงส่วนเกินที่ไม่ยึดติดบนเทปคาร์บอนออกให้หมด

### 3.2 การถ่ายภาพตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบแพลทินัม

นำตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.1 (ตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบแพลทินัม) ไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน โดยควบคุมให้ถ่ายภาพ ตำแหน่งเดียวกัน และกำหนดกำลังขยายที่ใช้ในการถ่ายภาพ จำนวน 2 ระดับ ได้แก่ 50,000× และ 100,000× โดยทดสอบโหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้า (accelerating voltage) ตามเงื่อนไขดังนี้

- 1) โหมดการทำงาน GB-HIGH ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 กิโลโวลต์
- 2) โหมดการทำงาน GB-HIGH ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์
- 3) โหมดการทำงาน SEM ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์
- 4) โหมดการทำงาน SEM ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์
- 5) โหมดการทำงาน SEM ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์

### 3.3 การเปรียบเทียบภาพของตัวอย่างที่เคลือบแพลทินัม

ทำการเปรียบเทียบภาพตัวอย่างที่เคลือบแพลทินัม ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับข้อ 3.2 โดยเน้นการเปรียบเทียบในกำลังขยาย 100,000× ภายใต้โหมดการทำงาน GB-HIGH ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 และ 2 กิโลโวลต์ กับโหมดการทำงาน SEM ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 และ 15 กิโลโวลต์

### 3.4 การเคลือบผิวตัวอย่างด้วยแพลทินัม

นำตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.1 เข้าเครื่องเคลือบผิวตัวอย่าง เพื่อเคลือบผิวด้วยแพลทินัม (Pt) สำหรับเพิ่มการนำไฟฟ้าบนพื้นผิวตัวอย่าง (Syed, 2017) เพื่อเคลือบผิวด้วยแพลทินัม สำหรับเพิ่มการนำไฟฟ้าบนพื้นผิวตัวอย่าง 10 มิลลิแอมป์ เป็นเวลา 120 วินาที จากนั้นนำตัวอย่างที่เคลือบแล้วไปถ่ายภาพและเปรียบเทียบผลเช่นเดียวกับข้อ 3.2

### 3.5 การวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน

- 1) การวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุ (elemental mapping) เพื่อประเมินการกระจายตัวของธาตุนบนพื้นผิวตัวอย่างเชิงพื้นที่ โดยเน้นธาตุหลัก ได้แก่ สังกะสี (Zn) และออกซิเจน (O)
- 2) การวิเคราะห์เชิงปริมาณและการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุระหว่างวิธีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแบบอะนาลิเซอร์ (analyzer method) และวิธีการวิเคราะห์ธาตุแบบจุดและการระบุชนิดธาตุ (point & ID method)

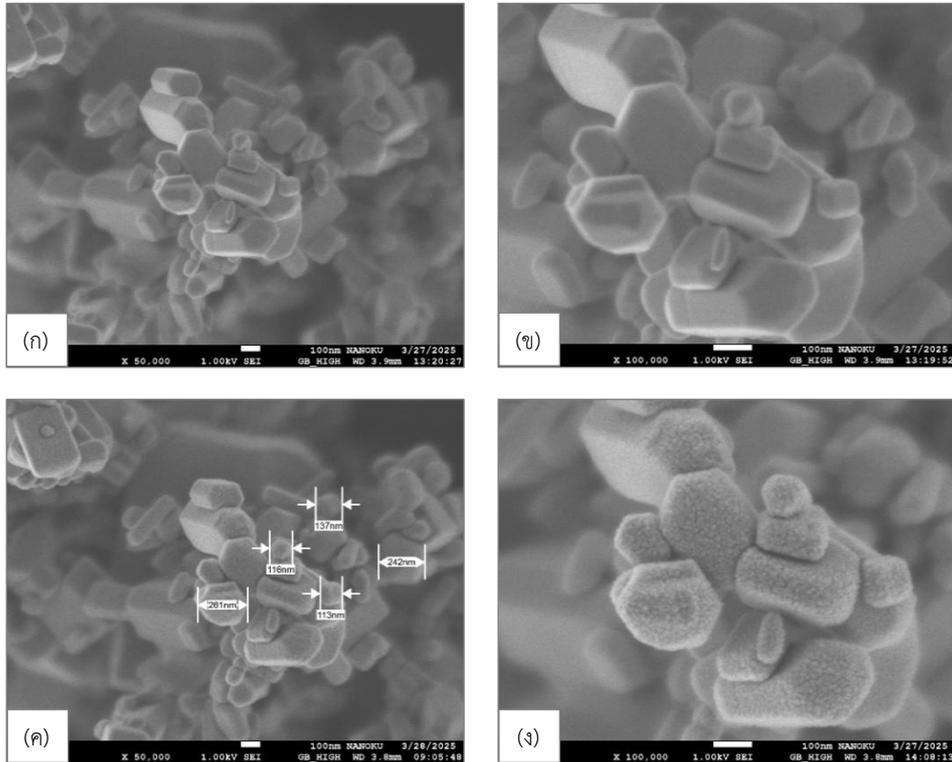
## ผลการวิจัย

1. ภาพถ่ายตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชันที่โหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ

#### 1.1 โหมดการทำงาน GB-HIGH ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 กิโลโวลต์

ผลการถ่ายภาพตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน ภายใต้โหมดการทำงาน GB-HIGH ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 กิโลโวลต์ พบว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบแพลทินัมแสดงลักษณะพื้นผิวที่มีความขรุขระ แต่รายละเอียดของพื้นผิวยังปรากฏไม่ชัดเจน ในขณะที่ตัวอย่างที่เคลือบแพลทินัมสามารถสังเกตรายละเอียดของความขรุขระบนพื้นผิวได้ชัดเจนมากขึ้น ซึ่งสะท้อนให้เห็นผลของการเคลือบผิวต่อการเพิ่มการนำไฟฟ้าและลดการสะสมประจุบนพื้นผิวตัวอย่าง ส่งผลให้คุณภาพของภาพถ่ายดีขึ้น

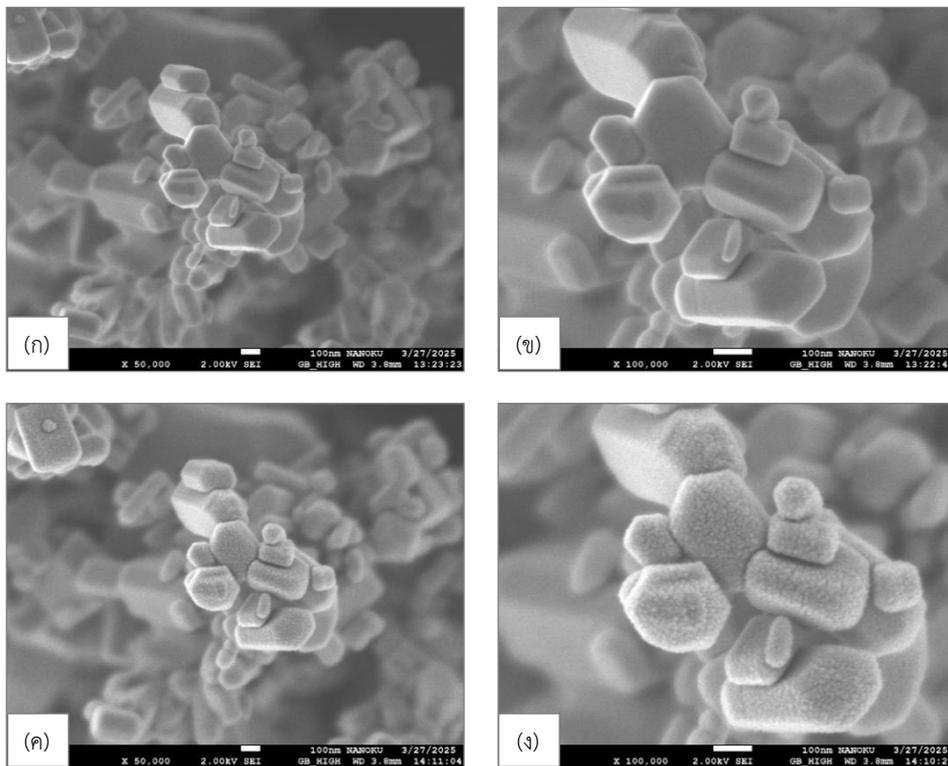
จากการสังเกตลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาค พบว่าอนุภาคมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร โดยมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 173 นาโนเมตร อย่างไรก็ตามแม้จะใช้โหมด GB-HIGH ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำ (1 กิโลโวลต์) ซึ่งเหมาะสำหรับการถ่ายภาพพื้นผิวของวัสดุนาโน แต่ภาพถ่ายที่ได้ภายใต้เงื่อนไขนี้ยังคงมีความคมชัดไม่เพียงพอ ดังภาพที่ 1



**ภาพที่ 1** ภาพถ่ายตัวอย่างวัสดุนาโนซึ่งคอกซ์ไดต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชันที่โหมดการทำงาน GB-HIGH และความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 กิโลโวลต์ เปรียบเทียบตัวอย่างที่ไม่เคลือบและเคลือบแพลทินัมภายใต้กำลังขยายต่างกัน ได้แก่ ไม่เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 50,000× (ก) ไม่เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 100,000× (ข) เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 50,000× (ค) และเคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 100,000× (ง)

## 1.2 โหมดการทำงาน GB-HIGH และความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์

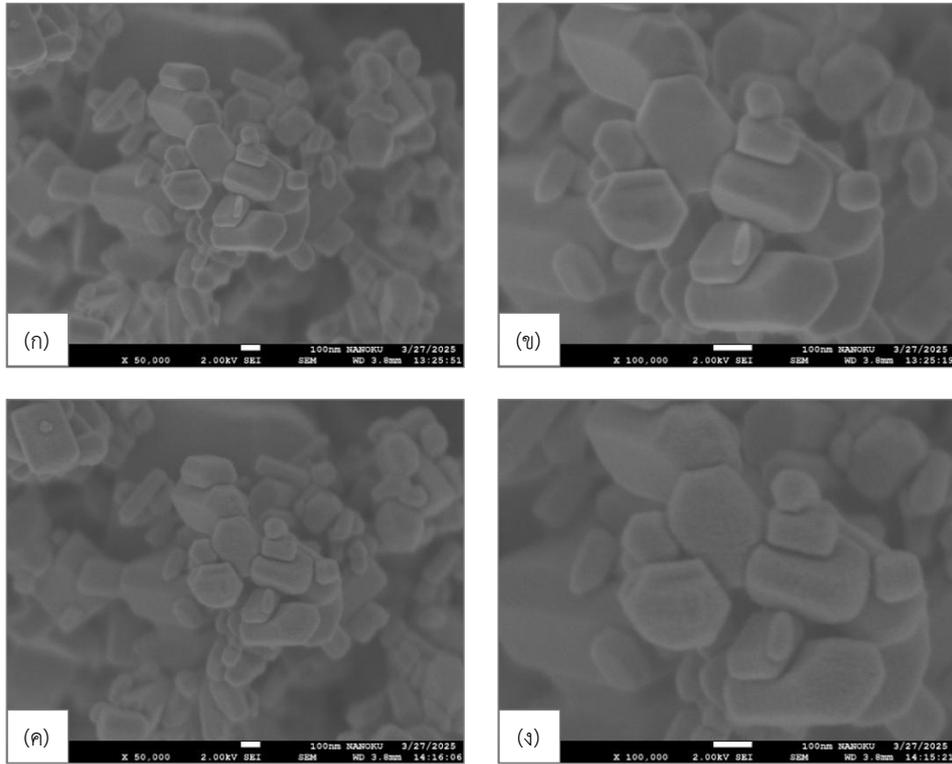
ผลการถ่ายภาพตัวอย่างวัสดุนาโนซึ่งคอกซ์ไดต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน ภายใต้โหมดการทำงาน GB-HIGH ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์ พบว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบแพลทินัมแสดงลักษณะพื้นผิวที่มีความขรุขระ อย่างไรก็ตามรายละเอียดของพื้นผิวยังไม่ชัดเจนมากนัก ในขณะที่ตัวอย่างที่เคลือบแพลทินัมสามารถสังเกตรายละเอียดของพื้นผิวได้อย่างชัดเจน โดยพบลักษณะความขรุขระและขนาดอนุภาคอยู่ในระดับนาโนเมตร ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ภาพถ่ายตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชันที่โหมดการทำงาน GB-HIGH และความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์ เปรียบเทียบตัวอย่างที่ไม่เคลือบและเคลือบแพลทินัมภายใต้กำลังขยายต่างกัน ได้แก่ ไม่เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 50,000× (ก) ไม่เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 100,000× (ข) เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 50,000× (ค) และเคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 100,000× (ง)

### 1.3 โหมดการทำงาน SEM และความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์

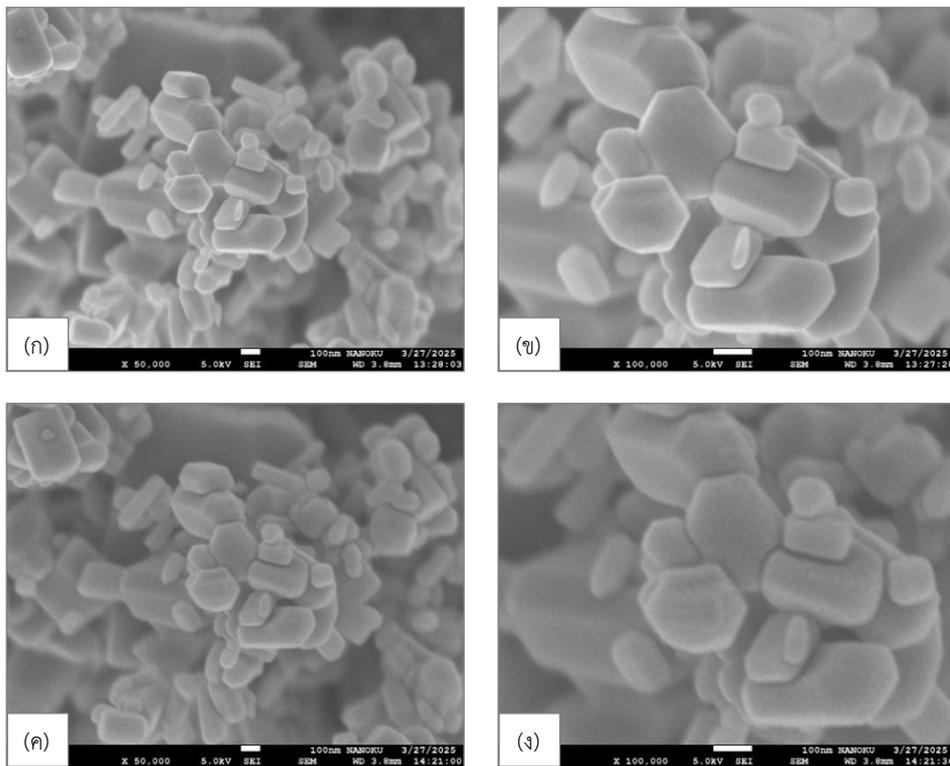
ผลการถ่ายภาพตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชัน ภายใต้โหมดการทำงาน SEM ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์ พบว่าทั้งตัวอย่างที่ไม่เคลือบแพลทินัมและเคลือบแพลทินัม แสดงลักษณะพื้นผิวที่มีความขรุขระ อย่างไรก็ตามภาพถ่ายยังมีความคมชัดต่ำและไม่สามารถแสดงรายละเอียดของพื้นผิวได้อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 3



**ภาพที่ 3** ภาพถ่ายตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลต์อิมิสชันที่โหมตการทำงาน SEM และความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์ เปรียบเทียบตัวอย่างที่ไม่เคลือบและเคลือบแพลทินัมภายใต้กำลังขยายต่างกัน ได้แก่ ไม่เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 50,000× (ก) ไม่เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 100,000× (ข) เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 50,000× (ค) และเคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 100,000× (ง)

#### 1.4 โหมตการทำงาน SEM และความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์

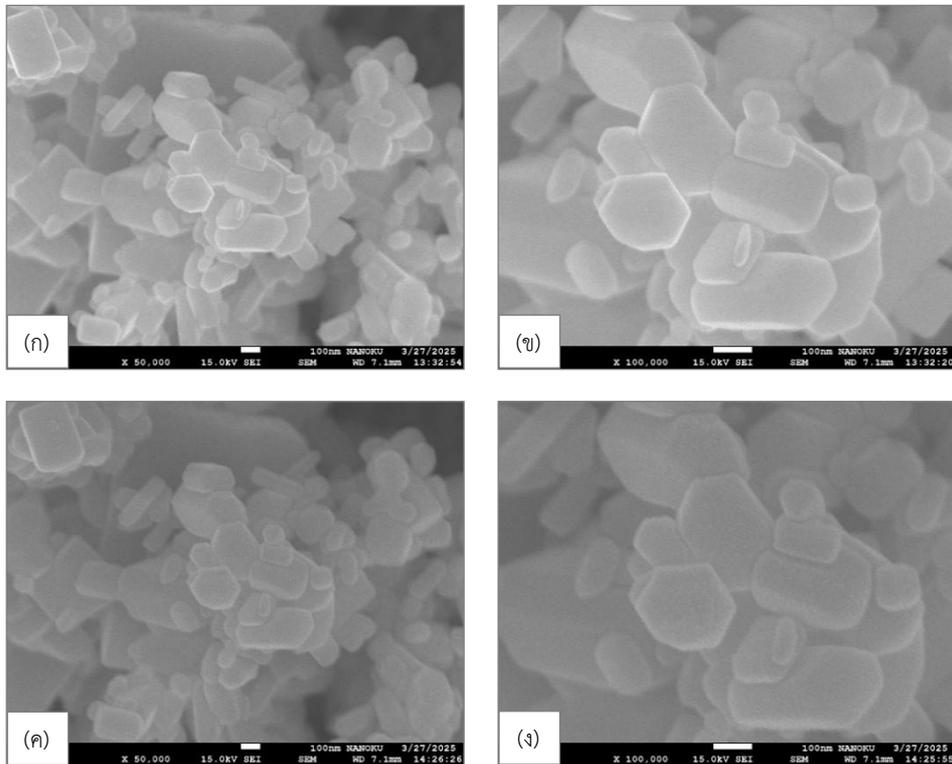
ผลการถ่ายภาพตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลต์อิมิสชัน ภายใต้โหมตการทำงาน SEM ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์ พบว่าภาพถ่ายที่กำลังขยาย 50,000× ทั้งในตัวอย่างที่ไม่เคลือบแพลทินัมและเคลือบแพลทินัม สามารถสังเกตพื้นผิวของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ได้ในลักษณะค่อนข้างเรียบ อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 100,000× โดยเฉพาะในตัวอย่างที่เคลือบแพลทินัม พบว่าสามารถสังเกตพื้นผิวที่มีความขรุขระได้บางส่วน ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ภาพถ่ายตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชันที่โหมดการทำงาน SEM และความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์ เปรียบเทียบตัวอย่างที่ไม่เคลือบและเคลือบแพลทินัมภายใต้กำลังขยายต่างกัน ได้แก่ ไม่เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 50,000× (ก) ไม่เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 100,000× (ข) เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 50,000× (ค) และเคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 100,000× (ง)

#### 1.5 โหมดการทำงาน SEM และความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์

ผลการถ่ายภาพตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน ภายใต้โหมดการทำงาน SEM ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ พบว่าทั้งตัวอย่างที่ไม่เคลือบแพลทินัมและเคลือบแพลทินัมแสดงลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบ โดยภาพถ่ายที่ได้มีการแสดงรายละเอียดพื้นผิวดำ และให้ลักษณะภาพใกล้เคียงแบบสองมิติ (2D appearance) ดังภาพที่ 5

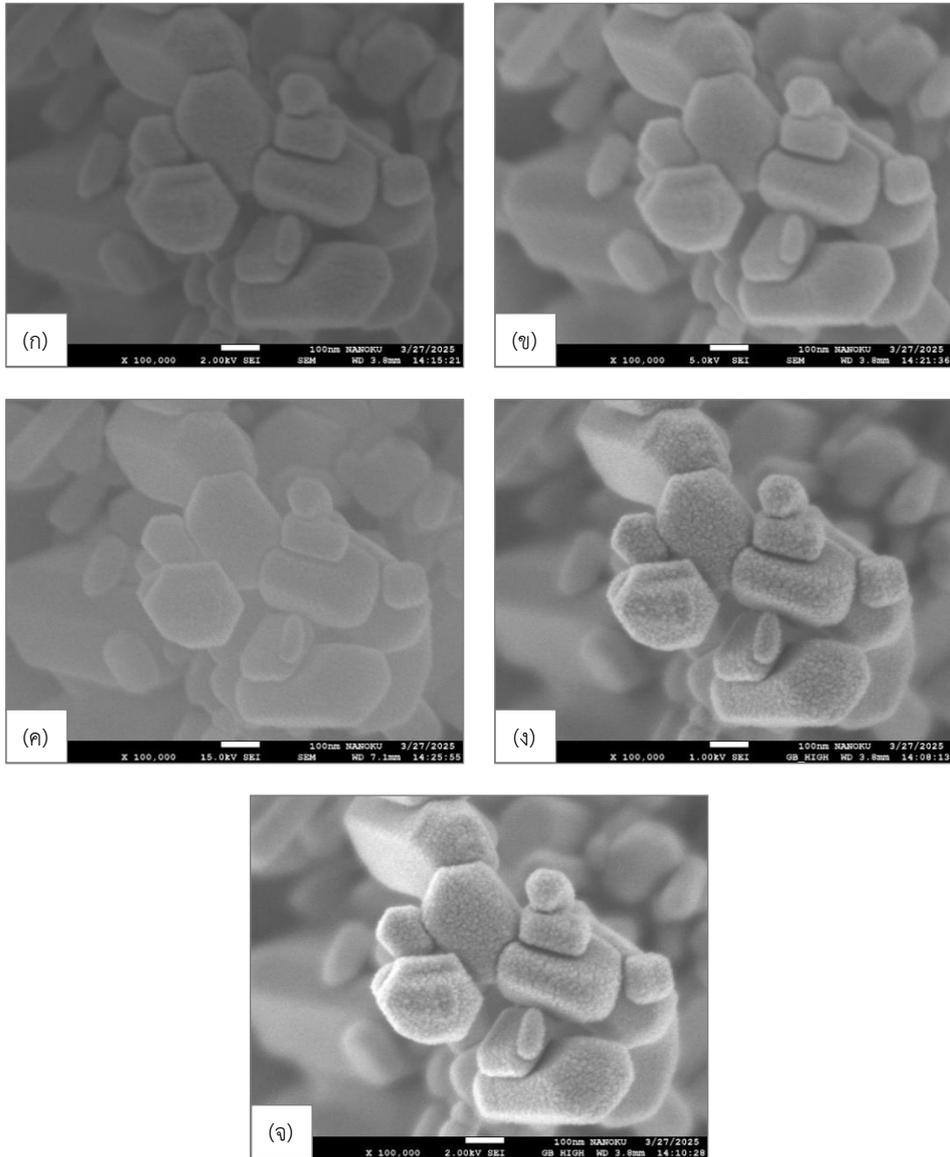


**ภาพที่ 5** ภาพถ่ายตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิล์มอิมมersionที่โหมดการทำงาน SEM และความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ เปรียบเทียบตัวอย่างที่ไม่เคลือบและเคลือบแพลทินัมภายใต้กำลังขยายต่างกัน ได้แก่ ไม่เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 50,000× (ก) ไม่เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 100,000× (ข) เคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 50,000× (ค) และเคลือบแพลทินัม กำลังขยาย 100,000× (ง)

1.6 การเปรียบเทียบภาพถ่ายของตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบแพลทินัมระหว่างโหมดการทำงาน GB-HIGH และ SEM

ทำการเปรียบเทียบภาพถ่ายของตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบแพลทินัม โดยกำหนดกำลังขยาย 100,000× ภายใต้โหมดการทำงาน GB-HIGH ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 และ 2 กิโลโวลต์ และโหมดการทำงาน SEM ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 และ 15 กิโลโวลต์ พบว่าการเคลือบแพลทินัมช่วยให้คุณภาพของภาพถ่ายมีความคมชัดมากกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบ เนื่องจากวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์จัดเป็นวัสดุกึ่งตัวนำ (Habibi and Karimi, 2014) ซึ่งอาจเกิดการสะสมประจุบนพื้นผิวระหว่างการถ่ายภาพได้ จึงจำเป็นต้องเคลือบแพลทินัมเพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้าของพื้นผิวดังกล่าว

ผลการเปรียบเทียบระหว่างโหมดการทำงาน พบว่าภาพถ่ายที่ได้จากโหมด GB-HIGH สามารถแสดงรายละเอียดพื้นผิวและความขรุขระของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ได้อย่างชัดเจน ขณะที่ภาพถ่ายจากโหมด SEM ให้รายละเอียดพื้นผิวลดลงและเห็นความขรุขระได้ไม่ชัดเจน ทั้งนี้ภาพถ่ายภายใต้โหมด GB-HIGH มีความคมชัดและความสามารถในการแสดงสัญญาณวิวัฒนาการพื้นผิวดีกว่าโหมด SEM อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 6

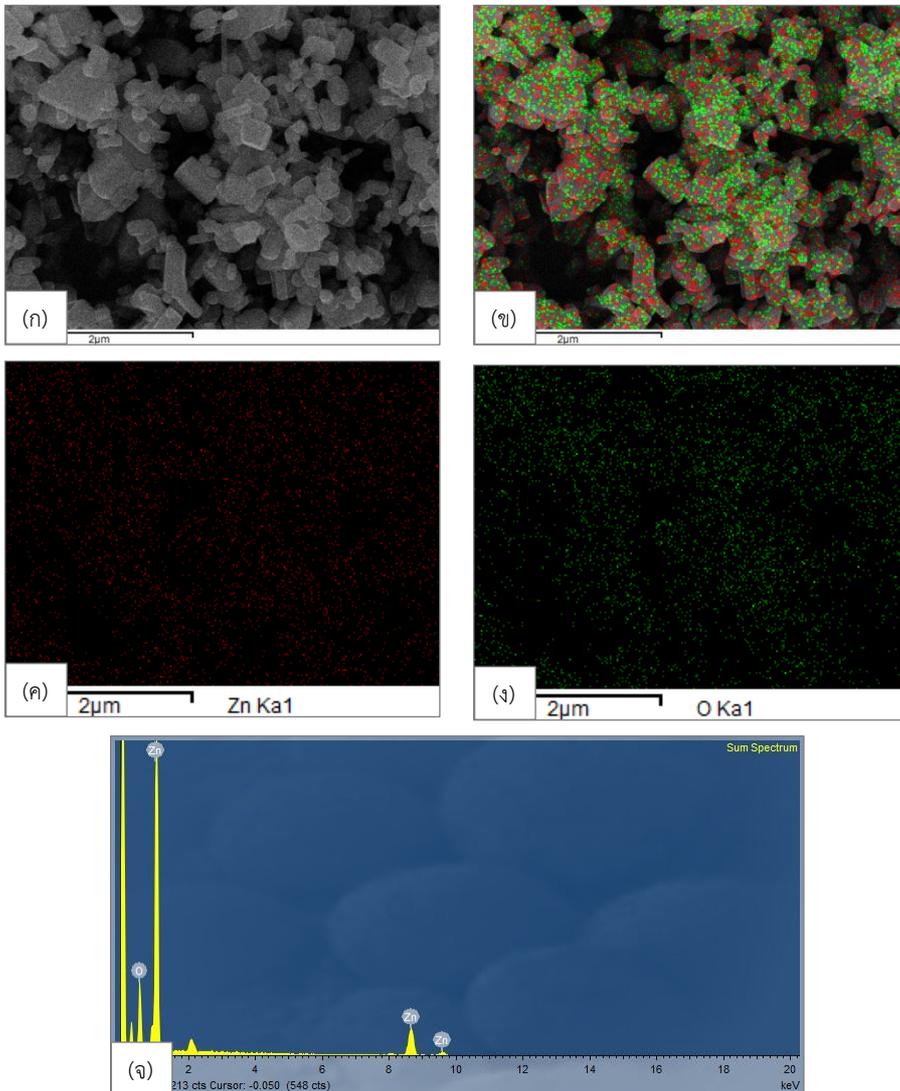


ภาพที่ 6 ภาพถ่ายตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบแพลทินัม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน ที่กำลังขยาย 100,000x ภายใต้โหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้าต่างกัน ได้แก่ โหมด SEM ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์ (ก) โหมด SEM ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์ (ข) โหมด SEM ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ (ค) โหมด GB-HIGH ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 กิโลโวลต์ (ง) และโหมด GB-HIGH ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์ (จ)

## 2. การวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน

### 2.1 การวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุ

ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุของตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน พบว่าธาตุสังกะสี ซึ่งแสดงด้วยสีแดง และธาตุออกซิเจน ซึ่งแสดงด้วยสีเขียว มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวของตัวอย่าง นอกจากนี้สเปกตรัม EDS ยังแสดงสัญญาณของธาตุสังกะสีและออกซิเจนอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุของตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน ได้แก่ ภาพถ่ายตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ (ก) ภาพซ้อนการกระจายตัวของธาตุสังกะสี (สีแดง) และออกซิเจน (สีเขียว) บนภาพถ่ายตัวอย่าง (ข) แผนที่การกระจายตัวของธาตุสังกะสี (ค) แผนที่การกระจายตัวของธาตุออกซิเจน (ง) และสเปกตรัม EDS ของธาตุสังกะสีและออกซิเจน (จ)

## 2.2 การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน ระหว่างวิธีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแบบอะนาไลเซอร์และวิธีการวิเคราะห์ธาตุแบบจุดและการระบุชนิดธาตุ พบว่าทั้งสองวิธีให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุสังกะสีและออกซิเจนใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 1) โดยตรวจพบปริมาณธาตุสังกะสีประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ และธาตุออกซิเจนประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Demissie *et al.* (2020) ที่รายงานการสังเคราะห์วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์จากใบพืชและพบปริมาณธาตุสังกะสี 59.43 เปอร์เซ็นต์ และธาตุออกซิเจน 40.57 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุบนพื้นผิวตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ	ปริมาณธาตุ (เปอร์เซ็นต์)	
	สังกะสี	ออกซิเจน
แบบอะนาไลเซอร์	45.44	54.56
แบบจุดและการระบุชนิดธาตุ	44.43	55.57

### การอภิปรายผลการวิจัย

โหมดการทำงาน GB-HIGH เป็นโหมดที่ใช้แรงดันไฟฟ้าลบที่แทนตัวอย่าง (negative sample bias) เพื่อช่วยลดพลังงานของอิเล็กตรอนขณะตกกระทบพื้นผิวตัวอย่าง ส่งผลให้พลังงานของลำอิเล็กตรอน ณ จุดตกกระทบ (landing energy) ลดลง ทำให้สามารถถ่ายภาพพื้นผิวได้คมชัดขึ้น และลดปัญหาการสะสมประจุไฟฟ้าบนตัวอย่าง โดยเฉพาะวัสดุที่นำไฟฟ้าต่ำหรือเป็นกึ่งตัวนำ ในขณะที่โหมดการทำงาน SEM เป็นการใช้ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงยิงไปยังตัวอย่างโดยตรง ส่งผลให้อิเล็กตรอนสามารถเจาะลึกลงในวัสดุได้มากกว่า จึงอาจทำให้รายละเอียดเชิงพื้นผิวลดลงเมื่อเทียบกับโหมด GB-HIGH ทั้งนี้การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างโหมด GB-HIGH และ SEM แสดงดังตารางที่ 2 (JEOL Ltd., 2012)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของโหมดการทำงาน GB-HIGH และ SEM

คุณสมบัติ	โหมดการทำงาน	
	GB-HIGH	SEM
พลังงานลำอิเล็กตรอน	ต่ำ (อิเล็กตรอนโวลต์หลักร้อย-กิโลโวลต์ต่ำ)	สูง (1-30 กิโลโวลต์)
ความคมชัดของพื้นผิว	สูงกว่า	ต่ำกว่า
ปัญหาการชาร์จของตัวอย่าง	ลดลง	เกิดขึ้นได้ง่าย
ความลึกของการเจาะลำอิเล็กตรอน	ตื้นกว่า	ลึกกว่า

ผลการถ่ายภาพตัวอย่างวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน ภายใต้โหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าการเลือกโหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายและความสามารถในการแสดงรายละเอียดพื้นผิวของตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าภายใต้โหมด GB-HIGH ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 กิโลโวลต์ ภาพถ่ายพื้นผิวมีความคมชัดไม่เพียงพอ ขณะที่เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็น 2 กิโลโวลต์ ภาพถ่ายสามารถแสดงรายละเอียดพื้นผิวได้ชัดเจนและมีความคมชัดสูงขึ้นอย่างเด่นชัด เมื่อเปรียบเทียบกับโหมดการทำงาน SEM พบว่าแม้ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์ ภาพถ่ายยังมีความคมชัดต่ำและแสดงรายละเอียดพื้นผิวได้ไม่ชัดเจน และเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็น 5 และ 15 กิโลโวลต์ รายละเอียดพื้นผิวของตัวอย่างลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงเกินความเหมาะสมกับชนิดของตัวอย่าง ส่งผลให้ลำอิเล็กตรอนมีพลังงานสูงและเกิดความเสียหายต่อพื้นผิว (beam damage) ซึ่งสามารถสังเกตได้จากลักษณะการไหม้ของตัวอย่าง (burn) ดังนั้นการกำหนดความต่างศักย์ไฟฟ้าสำหรับการถ่ายภาพจึงควรมีการศึกษาหรือทดสอบเบื้องต้น เพื่อให้สามารถเลือกค่าที่เหมาะสมและลดความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายต่อวัสดุ (ยุพดี, 2567) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Stevens *et al.* (2009) ซึ่งได้รายงานการถ่ายภาพซีลิคาที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วง 500 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ถึง 1.50 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของคุณภาพภาพถ่ายเมื่อใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่างกัน และเสนอเป็นแนวทางในการถ่ายภาพวัสดุ SBA-16 และ FDU-16 ซึ่งสนับสนุนว่าการเลือกความต่างศักย์ไฟฟ้าในระดับต่ำถึงปานกลางมีความเหมาะสมต่อการถ่ายภาพวัสดุที่ต้องการรายละเอียดพื้นผิวระดับนาโน

การวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงานเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยอาศัยการใช้ลำอิเล็กตรอนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดส่องกราดบนพื้นผิวตัวอย่าง ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะของธาตุ (characteristic X-rays) ซึ่งสามารถนำมาใช้ระบุชนิดและปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างได้ การวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุจะให้ผลลัพธ์เป็นภาพแสดงการกระจายตัวของธาตุนับบริเวณพื้นที่ทำการตรวจวัด ซึ่งสามารถใช้ประเมินความสม่ำเสมอขององค์ประกอบธาตุนับพื้นผิวตัวอย่างได้ สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ผลการตรวจวัดจะถูกแสดงในรูปสเปกตรัม EDS ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน Y คือ จำนวนสัญญาณของรังสีเอกซ์ที่ตรวจวัดได้ (intensity หรือ counts) และแกน X คือ พลังงานของรังสีเอกซ์ในหน่วยกิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) โดยพีก (peak) ที่ปรากฏในสเปกตรัม สามารถใช้บ่งชี้ชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่าง และสามารถคำนวณออกมาเป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่ตรวจพบในตัวอย่างได้ นอกจากนี้วิธีการวิเคราะห์ธาตุแบบจุดและการระบุชนิดธาตุเป็นการวิเคราะห์ที่ให้ลำอิเล็กตรอนตกกระทบบ้างอยู่ที่ตำแหน่งเฉพาะบนพื้นผิวตัวอย่าง เพื่อวัดค่าปริมาณรังสีเอกซ์ ณ จุดที่สนใจโดยตรง (ดลฤดี, 2562)

### สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาการถ่ายภาพวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน ภายใต้โหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน พบว่าโหมดการทำงาน GB-HIGH ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ

การถ่ายภาพพื้นผิวของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากให้ภาพที่มีความคมชัดและสามารถแสดงรายละเอียดพื้นผิวได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่น

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน ในส่วนของการกระจายตัวของธาตุแสดงให้เห็นว่าธาตุสังกะสีและออกซิเจนมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวของตัวอย่าง นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแบบอะนาไลเซอร์และวิธีการวิเคราะห์ธาตุแบบจุดและการระบุชนิดธาตุ พบว่าทั้งสองวิธีให้ผลใกล้เคียงกัน โดยตรวจพบปริมาณธาตุสังกะสีประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ และธาตุออกซิเจนประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกโหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการเพิ่มคุณภาพของภาพถ่าย รวมทั้งเพิ่มความถูกต้องของผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในงานวิจัยด้านวัสดุนาโน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางสำหรับงานวิจัยและพัฒนาวัสดุในอนาคตได้

### ข้อเสนอแนะ

1. ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชชัน หากเป็นตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้าหรือกึ่งนำไฟฟ้า ควรมีการเคลือบตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ เช่น การเคลือบตัวอย่างด้วยทอง หรือแพลทินัม เป็นต้น

2. การเลือกโหมดการทำงานและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเพิ่มคุณภาพของภาพ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการวิเคราะห์ ลดระยะเวลาในการดำเนินงาน และช่วยลดต้นทุนในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ศูนย์วิทยาการขั้นสูง ด้านนาโนเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรมเคมี อาหาร และการเกษตร สถาบันวิทยาการขั้นสูงแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### เอกสารอ้างอิง

ชีวะ ทศนา นิคม ผึ้งคำ สมยศ ศรีคงรักษ์ จันทนีย์ เพ็ชรไพบูลย์ และวิลาสินี เนินริมหนอง. (2561).

ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของพริกหวาน. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 21(3), 51-57.

ดลฤดี โตเย็น. (2562). *การวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบด้วยเทคนิค energy dispersive x-ray spectroscopy (EDS)*. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2567, จาก: <https://www3.rdi.ku.ac.th/cl/knowledge/2562/EDS.pdf>.

ดลฤดี โตเย็น. (2563). *การเตรียมตัวอย่างทางวัสดุศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด*. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2567, จาก: [https://www3.rdi.ku.ac.th/cl/knowledge/2563/material\\_prep.pdf](https://www3.rdi.ku.ac.th/cl/knowledge/2563/material_prep.pdf).

- ยุพดี เฝ้าพันธ์. (2567). *ประเด็นปัญหาที่พบบ่อยในการบันทึกภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด*. สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2567, จาก: [https://www3.rdi.ku.ac.th/cl/knowledge/2567/jun/problemfromsem\\_savepic.pdf](https://www3.rdi.ku.ac.th/cl/knowledge/2567/jun/problemfromsem_savepic.pdf).
- Ahmed, T., Wu, Z., Jiang, H., Luo, J., Noman, M., Shahid, M., Manzoor, I., Allemailem, K.S., Alrumaihi, F. and Li, B. (2021). Bioinspired green synthesis of zinc oxide nanoparticles from a native *Bacillus cereus* strain RNT6: Characterization and antibacterial activity against rice panicle blight pathogens *Burkholderia glumae* and *B. gladioli*. *Nanomaterial*, 11(4), 884, doi: <https://doi.org/10.3390/nano11040884>.
- Chaisorn, W., Nuengmatcha, P., Noypha, A., Pimsen, R., Porrawatkul, P., Kuyyogsuy, A., Thepchuay, Y., Srirachoen, P., Limchoowong, N., Chanthai, S. and Nuengmatcha, P. (2023). Adsorption-photocatalytic degradation abilities of  $\gamma$ -irradiated chitosan-ZnO-AgNP composite for organic dye removal and antibacterial activity. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 96840-96859, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29305-y>.
- Demissie, M.G., Sabir, F.K., Edossa, G.D. and Gonfa, B.A. (2020). Synthesis of zinc oxide nanoparticles using leaf extract of *Lippia adoensis* (Koseret) and evaluation of its antibacterial activity. *Journal of Chemistry*, 2020, 7459042, doi: <https://doi.org/10.1155/2020/7459042>.
- Habibi, M.H. and Karimi, B. (2014). Application of impregnation combustion method for fabrication of nanostructure CuO/ZnO composite oxide: XRD, FESEM, DRS, and FTIR study. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1566-1570, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.07.048>.
- JEOL Ltd. (2012). *JSM-7600F field emission scanning electron microscope operation guide (Version ISM7600F-OG-1b)*. Tokyo: JEOL Ltd.
- Kumar, S.S., Venkateswarlu, P., Rao, V.R. and Rao, G.N. (2013). Synthesis, characterization and optical properties of zinc oxide nanoparticles. *International Nano Letters*, 3(1), 30, doi: <https://doi.org/10.1186/2228-5326-3-30>.
- Mandal, A.K., Katuwal, S., Tettey, F., Gupta, A., Bhattarai, S., Jaisi, S., Bhandari, D.P., Shah, A.K., Bhattarai, N. and Parajuli, N. (2022). Current research on zinc oxide nanoparticles: Synthesis, characterization, and biomedical application. *Nanomaterial*, 12(17), 3066, doi: <https://doi.org/10.3390/nano12173066>.
- Newbury, D.E. and Ritchie, N.W.M. (2013). Is scanning electron microscopy/energy dispersive x-ray spectrometry (SEM/EDS) quantitative?. *Scanning*, 35, 141-168, doi: <https://doi.org/10.1002/sca.21041>.

- Porrawatkul, P., Pimsen, R., Kuyyogsuy, A., Rattanaburi, P. and Nuengmatcha, P. (2024). Morphology-dependent photocatalytic performance of ZnO nanostructures in organic dye and antibiotic degradation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21, 7397-7414, doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05530-x>.
- Porrawatkul, P., Rattanaburi, P., Nuengmatcha, P., Kuyyogsuy, A. and Pimsen, R. (2023). Effect of Na and Al doping on ZnO nanoparticles for potential application in sunscreens. *Journal of Photochemistry and Photobiology, B: Biology*, 240, 112668, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2023.112668>.
- Stevens, S.M., Jansson, K., Xiao, C., Asahina, S., Klingstedt, M., Grüner, D., Sakamoto, Y., Miyasaka, K., Cubillas, P., Brent, R., Han, L., Che, S., Ryoo, R., Zhao, D., Anderson, M.W., Schuth, F. and Terasaki, O. (2009). An appraisal of high resolution scanning electron microscopy applied to porous material. *JEOL News*, 44(1), 17-22.
- Syed, J. (2017). Scanning electron microscopy in oral research. *Journal of the Pakistan Dental Association*, 26(4), 189-195, doi: <https://doi.org/10.25301/JPDA.264.189>.

## ผลของการใช้ขี้แ่ดตนาเกลือต่อคุณภาพผลผลิตกล้วยหอมทอง Effects of Salt-Farm Residue Application Rate on Fruit Quality of ‘Hom Thong’ Banana

บุญชาติ คติวัฒน์<sup>1</sup> ทรงศักดิ์ ธรรมจรัส<sup>1\*</sup> นันท์นภัส สุวรรณสินธุ์<sup>1</sup>  
กิตติมา ลีละพงษ์วัฒนา<sup>2</sup> สรัล สวัสดิมงคล<sup>1</sup> และโสภณ อันตะโก<sup>1</sup>  
Boonchart Kativat<sup>1</sup>, Songsak Thamjumrat<sup>1\*</sup>, Nanapas Suwansink<sup>1</sup>,  
Kittima Leelapongwattana<sup>2</sup>, Saran Sawatdimongkol<sup>1</sup> and Sapon Antako<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ขี้แ่ดตนาเกลือในการปรับปรุงคุณภาพผลผลิตกล้วยหอมทอง โดยวางแผนการทดลองเป็น 5 ตำรับการทดลอง ได้แก่ (1) ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) (2) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 ในอัตรา 125 กรัมต่อต้น (3) ใส่ขี้แ่ดตนาเกลือในอัตรา 240 กรัมต่อต้น (4) ใส่ขี้แ่ดตนาเกลือในอัตรา 480 กรัมต่อต้น และ (5) ใส่ขี้แ่ดตนาเกลือในอัตรา 720 กรัมต่อต้น ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 ส่งผลให้ผลกล้วยหอมทองมีค่าความกว้าง ความยาว น้ำหนักหวี และน้ำหนักผลมากที่สุด ขณะที่การใส่ขี้แ่ดตนาเกลือในอัตรา 720 กรัมต่อต้น ให้ค่าความแน่นเนื้อในผลดิบและผลสุกต่ำที่สุด เท่ากับ  $4.880 \pm 0.340$  และ  $0.338 \pm 0.016$  นิวตัน ตามลำดับ นอกจากนี้การใส่ขี้แ่ดตนาเกลือในอัตรา 480 และ 720 กรัมต่อต้น ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids: TSS) ในผลสุกสูงที่สุด เท่ากับ  $21.37 \pm 0.88$  และ  $21.51 \pm 0.77$  องศาบริกซ์ ตามลำดับ และการใส่ขี้แ่ดตนาเกลือในอัตรา 720 กรัมต่อต้น ให้ค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) เท่ากับ  $36.52 \pm 5.16$  ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้ขี้แ่ดตนาเกลือในอัตราสูงสุดมีแนวโน้มช่วยปรับปรุงคุณภาพผลผลิต โดยทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเพิ่มอัตราการใช้ขี้แ่ดตนาเกลือหรือการใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และยกระดับคุณภาพผลผลิต

<sup>1</sup> สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

<sup>1</sup> Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Technology, Phetchaburi Rajabhat University

<sup>2</sup> Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Phetchaburi Rajabhat University

\* Corresponding author e-mail: Songsak427@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2026.v45i1.265970>

Received: 14 January 2025, Revised: 7 April 2025, Accepted: 18 April 2025

**คำสำคัญ:** กล้วยหอมทอง ปุ๋ยสูตร 13-13-21 ซีแสดนาเกลือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

### Abstract

This study investigated the use of salt-farm residue to improve the fruit quality of 'Hom Thong' banana. The experiment consisted of five treatments: (1) control (no fertilizer), (2) chemical fertilizer 13-13-21 at 125 g per plant, (3) salt-farm residue at 240 g per plant, (4) salt-farm residue at 480 g per plant, and (5) salt-farm residue at 720 g per plant. The results showed that fertilizer 13-13-21 produced the greatest fruit width, fruit length, bunch weight, and fruit weight. The application of salt-farm residue at 720 g per plant resulted in the lowest firmness values for mature-green and ripe fruits ( $4.88 \pm 0.34$  and  $0.338 \pm 0.016$  N, respectively). Salt-farm residue at 480 and 720 g per plant produced the highest total soluble solids (TSS) in ripe fruits ( $21.37 \pm 0.88$  and  $21.51 \pm 0.77$  °Brix, respectively). In addition, salt-farm residue at 720 g per plant resulted in a TSS/TA ratio of  $36.52 \pm 5.16$ . Overall, the highest application rate of salt-farm residue improved fruit quality, particularly by increasing TSS. Further studies should investigate higher application rates or the combined use of salt-farm residue with chemical fertilizer to reduce production costs and improve product quality.

**Keywords:** Hom Thong banana, 13-13-21 fertilizer, Salt farm residue, Total soluble solids

### บทนำ

กล้วยหอมทอง (Hom Thong banana) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Musa acuminata*, AAA Group เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยที่มีแนวโน้มความต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศมากขึ้นทุกปี ซึ่งในปี พ.ศ. 2563 มีผลผลิตทั้งหมด 136,067 ตัน มีมูลค่าการส่งออก 103.70 ล้านบาท อีกทั้งปริมาณการบริโภคกล้วยหอมทองภายในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตมีไม่เพียงพอต่อการบริโภค (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) โดยมีพื้นที่การผลิตที่สำคัญ 5 อันดับแรก ได้แก่ จังหวัดปทุมธานี เพชรบุรี ชุมพร หนองคาย และสระบุรี ในกระบวนการผลิตกล้วยหอมทอง เกษตรกรส่วนใหญ่ยังคงใช้ปุ๋ยเคมีตั้งแต่ระยะเตรียมต้นไปจนถึงระยะปรับปรุงคุณภาพก่อนเก็บเกี่ยว เพื่อให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพตรงตามความต้องการของผู้บริโภค (วสันต์, 2557) กล้วยหอมทองเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดเพชรบุรี ในปีการผลิต พ.ศ. 2564/2565 มีพื้นที่ปลูกกล้วยหอมทอง 9,765.74 ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยว 6,939.24 ไร่ มีผลผลิต 17,900.93 ตัน โดยผลผลิตเฉลี่ย 2,579.60 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเพชรบุรี, 2565) โดยกล้วยหอมทองส่งออกต้องเป็นกล้วยหอมทองที่สุกเพียง 70 เปอร์เซ็นต์ กล้วยหอมทองเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการส่งออกโดยเฉพาะตลาดญี่ปุ่นมีความต้องการสูง ด้วยคุณลักษณะของกล้วยหอมทองที่มีน้ำหนักแต่ลูกเรียงกันน้อยอยู่ในหวีอย่างสวยงาม สีผิวของกล้วยเมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง

รสชาติดี มีกลิ่นหอมมารับประทาน ผลผลิตมีความปลอดภัยไม่มีสารเคมีตกค้างปนเปื้อน ทำให้กล้วยหอมทองของไทยได้รับความนิยมเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในตลาดญี่ปุ่น กล้วยหอมทองที่ปลูกในประเทศไทยลักษณะทั่วไปจะมีลำต้นสูงประมาณ 3 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านในสีเขียวอ่อนมีลายเส้นสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้าง เส้นกลางใบสีเขียว ส่วนของดอกที่เป็นก้านเครือจะมีขน ปลีรูปไข่ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนมีสีแดงอมม่วง กล้วยเครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล ปลายผลมีจุดเห็นชัด เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง เนื้อสีเหลืองเข้ม กลิ่นหอม รสหวานมารับประทาน (รุจิรา, 2566) แต่ในปัจจุบันทั้งเกษตรกรและผู้บริโภคให้ความสำคัญในด้านความปลอดภัยมากขึ้น เกษตรกรจึงเริ่มปรับเปลี่ยนการผลิตโดยการลดการใช้ปุ๋ยเคมี โดยใช้วัตถุชีวที่ได้จากธรรมชาติที่หาได้ง่ายและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการใช้ น้ำหมักชีวภาพจากน้ำหมักจาวปลวก น้ำหมักผลไม้และน้ำหมักปลาฉีดพ่นทางใบเพื่อช่วยลดต้นทุนด้านสารเคมีและปุ๋ยเคมี (ยุทธนา, 2564)

จังหวัดเพชรบุรีมีพื้นที่ทำนาเกลือทะเล จำนวน 19,000 ไร่ เกษตรกรจำนวน 320 ราย มีผลผลิตประมาณ 46,400 ตันต่อปี มูลค่า 23.20 ล้านบาท (สำนักงานศึกษาธิการ ภาค 4, 2566) ซ้ำแดดนาเกลือ (salt farming residual) เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการทำนาเกลือ คือ สาหร่าย ตะไคร่น้ำ และแพลงก์ตอนต่าง ๆ ที่จับตัวกันเป็นแผ่นในนาเกลือและตกตะกอนแห้งสนิท มักเกิดขึ้นหลังจากพักการทำนาเกลือในฤดูฝน โดยสามารถเก็บเกี่ยวได้ปีละครั้งในช่วงเดือนพฤศจิกายนของทุกปีก่อนทำนาเกลือเพื่อปรับพื้นที่นาเกลือให้เรียบและแน่นสำหรับเตรียมทำนาเกลือ ซ้ำแดดนาเกลือสามารถเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินทำให้ดินมีความร่วนซุย อุ้มน้ำได้ดี เหมาะแก่การเจริญเติบโตกับพืชทุกชนิด และนำไปใช้แทนปุ๋ยเคมี ซึ่งมีความปลอดภัยต่อผู้ผลิต (สุภัทร, 2565) ซ้ำแดดนาเกลือมีคุณสมบัติทางเคมี คือ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส ( $P_2O_5$ ) โพแทสเซียม ( $K_2O$ ) แคลเซียม และแมกนีเซียม เท่ากับ 0.72 0.39 1.03 13.32 และ 6.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (บุญชาติ และคณะ, 2567) ซ้ำแดดนาเกลือมีการนำไปใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพผลผลิตไม้ผล โดยการใส่บริเวณรอบทรงพุ่มของต้นส้มโอในอัตรา 1-3 กิโลกรัมต่อต้น ก่อนการเก็บเกี่ยวประมาณ 50-60 วัน มีผลทำให้ต้นเจริญเติบโตดี มีรสชาติหวานกรอบ แห้งและมารับประทาน (กลุ่มภูมิปัญญาท้องถิ่นและนวัตกรรมด้านการเกษตร, 2564) และในซ้ำแดดนาเกลือมีฟอสฟอรัสช่วยส่งเสริมเรื่องความแข็งแรงของต้น กระตุ้นการออกดอกติดผล ส่วนโพแทสเซียมทำให้ผลมีขนาดใหญ่ รสชาติหวาน อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำที่ดีมีผลช่วยให้ดินร่วนซุยเหมาะแก่การเจริญเติบโตของรากกับต้นไม้ทุกชนิด (สรณพงษ์ และคณะ, 2545)

คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการนำซ้ำแดดนาเกลือซึ่งเป็นเศษเหลือทิ้งจากการทำนาเกลือมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผลผลิตกล้วยหอมทอง ดังนั้นการศึกษาผลของซ้ำแดดนาเกลือต่อคุณภาพผลผลิตของกล้วยหอมทองในครั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผลผลิตให้กับเกษตรกรที่ปลูกกล้วยหอมทองต่อไป

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. การเตรียมขี้แสดนาเกลือ

นำขี้แสดนาเกลือมาบดด้วยเครื่องย่อยเพื่อให้มีขนาดอนุภาคเล็กลง ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว และเพิ่มประสิทธิภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ จากนั้นสุมเก็บตัวอย่างขี้แสดนาเกลือเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี โดยใช้วิธีทดสอบตามคู่มือวิเคราะห์ตัวอย่างของสำนักวิทยาศาสตร์ เพื่อการพัฒนาที่ดิน (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547) ผลการวิเคราะห์พบว่าขี้แสดนาเกลือมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 8.52 และค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC) เท่ากับ 14.19 เดซิซีเมนต่อเมตร มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter: OM) เท่ากับ 10.04 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 0.72 0.39 และ 1.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมเท่ากับ 13.32 และ 6.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณโซเดียมเท่ากับ 2.61 เปอร์เซ็นต์

### 2. การเตรียมต้นกล้วยสำหรับศึกษาทดลอง

ทำการคัดเลือกต้นกล้วยหอมทองจากแปลงปลูกเชิงการค้า ณ แปลงเกษตรกร หมู่ที่ 1 ตำบลท่าเสา อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี โดยเป็นกล้วยที่ปลูกแบบยกร่อง ระยะปลูก 2x2 เมตร และมีอายุประมาณ 6 เดือน ทั้งนี้ก่อนเริ่มการทดลอง แปลงปลูกดังกล่าวมีการใส่ปุ๋ยเคมีมาแล้ว 2 ครั้ง ได้แก่ ครั้งที่ 1 ใส่หลังปลูก 2 เดือน โดยใช้ปุ๋ยสูตร 25-7-7 อัตรา 100 กรัมต่อต้น และครั้งที่ 2 ใส่หลังปลูก 5 เดือน โดยใช้ปุ๋ยสูตร 25-7-7 อัตรา 150 กรัมต่อต้น จากนั้นสุมคัดเลือกต้นกล้วยหอมทองที่มีอายุ 6 เดือน หรืออยู่ในระยะเริ่มแทงใบธง (อายุ 184 วันหลังปลูก) และมีความสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน จำนวน 80 ต้น เพื่อใช้ในการทดลอง เมื่อกล้วยเริ่มแทงปลี (อายุ 189 วันหลังปลูก) จึงทำการให้ปุ๋ยตามกรรมวิธีทดลอง โดยหว่านปุ๋ยรอบโคนต้นภายในรัศมี 1 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลองมีการให้น้ำทุก 2 วันในช่วงเช้า ครั้งละ 1 ชั่วโมง และไม่มีการพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชทุกชนิด

### 3. การวางแผนและการจัดการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) จำนวน 4 บล็อก และมี 5 ตำรับทดลอง ดังนี้

ตำรับทดลองที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

ตำรับทดลองที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 ในอัตรา 125 กรัมต่อต้น

ตำรับทดลองที่ 3 ใส่ขี้แสดนาเกลือ ในอัตรา 240 กรัมต่อต้น

ตำรับทดลองที่ 4 ใส่ขี้แสดนาเกลือ ในอัตรา 480 กรัมต่อต้น

ตำรับทดลองที่ 5 ใส่ขี้แสดนาเกลือ ในอัตรา 720 กรัมต่อต้น

ทำการให้ปุ๋ยตามกรรมวิธีทดลอง เพียง 1 ครั้ง จากนั้นตัดปลีกล้วยออกหลังจากปรากฏหวีดินเต่า (อายุต้น 204 วันหลังปลูก) และเก็บเกี่ยวผลผลิตโดยนับอายุหลังการตัดปลี 55 วัน (อายุต้น 259 วันหลังปลูก)

### 4. การบันทึกข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อกล้วยมีอายุ 55 วันหลังตัดปลี ซึ่งเป็นระยะเก็บเกี่ยวทางการค้า จากนั้นแบ่งผลกล้วยออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนสำหรับการบันทึกคุณภาพของผลดิบ และ 2) ส่วนสำหรับการบันทึกคุณภาพของผลสุก โดยนำผลกล้วยส่วนที่ใช้ศึกษาผลสุกไปบ่มในตู้บ่ม ณ

สหกรณ์การเกษตรบ้านลาด จำกัด อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี เป็นเวลา 21 ชั่วโมง (1 คีน) จากนั้นนำมาวางในท้องเย็นที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คีน และพักไว้ในสภาพอุณหภูมิห้องอีก 1 คีน เมื่อสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและอยู่ในระดับการสุกของกล้วยระดับที่ 4 (เปลือกเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวออกเหลือง และมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว) จึงทำการบันทึกคุณภาพผลสุก โดยดำเนินการหลังเก็บเกี่ยวประมาณ 3 วัน

#### 4.1 การบันทึกข้อมูลผลผลิตและคุณภาพผล

ทำการบันทึกข้อมูลด้านผลผลิตและคุณภาพผลของกล้วย ได้แก่ ขนาดผล (ความยาวผลและความกว้างผล) โดยวัดความกว้างบริเวณกึ่งกลางผล พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักหวี (กิโลกรัม) และน้ำหนักผล (กรัม) สำหรับการประเมินความแน่นเนื้อ ทำการวัดบริเวณกึ่งกลางผล โดยวัดด้านใดด้านหนึ่งของผล จำนวน 2 จุด ส่วนการประเมินสีของผลทำการวัดบริเวณกึ่งกลางผล ทั้ง 2 ด้านในทิศทางตรงข้ามกัน โดยวัดค่าสีในระบบ CIE Lab\* ด้วยเครื่องวัดค่าสี HunterLab รุ่น UltraScan VIS และรายงานผลเป็นค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีเขียว-แดง ( $a^*$ ) ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง ( $b^*$ ) และค่าเฉดสี (hue angle:  $h^\circ$ ) ซึ่งแปลผลตามมาตรฐานการวัดสีของ international commission on illumination (CIE) ประเทศฝรั่งเศส นอกจากนี้ทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง จากน้ำคั้นส่วนของเนื้อผล วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids: TSS) หน่วยของศาบริกซ์ ( $^\circ\text{Brix}$ ) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity: TA) ของเนื้อผลตามวิธี AOAC (1990) จากนั้นคำนวณหาสัดส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA)

#### 4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีทดลอง เมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างพรีทรีเมนต์ ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

### ผลการวิจัย

การใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 ส่งผลให้ผลกล้วยหอมทองมีความกว้างผลสูงที่สุด เท่ากับ  $3.66 \pm 0.15$  เซนติเมตร โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการให้ปุ๋ยแตนนาเกลือในอัตรา 480 และ 240 กรัมต่อต้น และชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ซึ่งมีค่าความกว้างผล เท่ากับ  $3.51 \pm 0.12$   $3.45 \pm 0.16$  และ  $3.34 \pm 0.13$  เซนติเมตร ตามลำดับ ในด้านความยาวผล พบว่าการใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 ให้ค่าความยาวผลสูงที่สุด เท่ากับ  $22.64 \pm 0.89$  เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับทดลอง ได้แก่ การให้ปุ๋ยแตนนาเกลือในอัตรา 720 480 และ 240 กรัมต่อต้น และชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ซึ่งมีค่าความยาวผลเท่ากับ  $21.99 \pm 0.76$   $21.88 \pm 1.21$   $21.66 \pm 0.69$  และ  $21.57 \pm 0.88$  เซนติเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความกว้างและความยาวของผลกล้วยหอมทองที่ได้รับปุ๋ยต่าง ๆ

ตำรับทดลอง	ขนาดผลกล้วยหอมทอง (เซนติเมตร)	
	ความกว้าง	ความยาว
ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)	3.34±0.13 <sup>d</sup>	21.57±0.88 <sup>b</sup>
ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 (125 กรัมต่อต้น)	3.66±0.15 <sup>a</sup>	22.64±0.89 <sup>a</sup>
ซีแตนนาเกลือ (240 กรัมต่อต้น)	3.45±0.16 <sup>c</sup>	21.66±0.69 <sup>b</sup>
ซีแตนนาเกลือ (480 กรัมต่อต้น)	3.51±0.12 <sup>bc</sup>	21.88±1.21 <sup>b</sup>
ซีแตนนาเกลือ (720 กรัมต่อต้น)	3.60±0.13 <sup>ab</sup>	21.99±0.76 <sup>b</sup>
F-test	*	*
CV (%)	4.84	4.37

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

- \* และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสมรภูมิเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

การใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 ส่งผลให้น้ำหนักหิวเฉลี่ยของกล้วยหอมทองสูงที่สุด เท่ากับ 2.47±0.13 กิโลกรัม และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการให้ซีแตนนาเกลือในอัตรา 720 480 และ 240 กรัมต่อต้น และชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ซึ่งมีค่าน้ำหนักหิวเท่ากับ 2.32±0.07 2.30±0.04 2.21±0.08 และ 2.24±0.08 กิโลกรัม ตามลำดับ ในด้านน้ำหนักผลพบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 ให้ค่าน้ำหนักผลสูงที่สุดเช่นกัน เท่ากับ 179.34±6.37 กรัม โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการให้ซีแตนนาเกลือในอัตรา 720 480 และ 240 กรัมต่อต้น และชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ซึ่งมีค่าน้ำหนักผลเท่ากับ 172.78±3.67 167.62±2.91 161.20±6.01 และ 159.60±7.94 กรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 น้ำหนักหิวและน้ำหนักของผลกล้วยหอมทองที่ได้รับปุ๋ยต่าง ๆ

ตำรับทดลอง	น้ำหนักกล้วยหอมทอง	
	น้ำหนักหิว (กิโลกรัม)	น้ำหนักผล (กรัม)
ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)	2.24±0.08 <sup>c</sup>	159.60±7.94 <sup>d</sup>
ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 (125 กรัมต่อต้น)	2.47±0.13 <sup>a</sup>	179.34±6.37 <sup>a</sup>
ซีแตนนาเกลือ (240 กรัมต่อต้น)	2.21±0.08 <sup>c</sup>	161.20±6.01 <sup>d</sup>
ซีแตนนาเกลือ (480 กรัมต่อต้น)	2.30±0.04 <sup>b</sup>	167.62±2.91 <sup>c</sup>
ซีแตนนาเกลือ (720 กรัมต่อต้น)	2.32±0.07 <sup>b</sup>	172.78±3.67 <sup>b</sup>
F-test	*	*
CV (%)	4.84	4.37

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

- \* และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสมรภูมิเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ความแน่นเนื้อของผลกล้วยดิบ พบว่าการให้ชี้แดดนาเกลือในอัตรา 240 กรัมต่อต้น ให้ค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด เท่ากับ  $5.070 \pm 0.180$  นิวตัน รองลงมา คือ การให้ชี้แดดนาเกลือในอัตรา 480 กรัมต่อต้น ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) การใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 และการให้ชี้แดดนาเกลือในอัตรา 720 กรัมต่อต้น ซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ  $5.000 \pm 0.230$   $4.970 \pm 0.290$   $4.950 \pm 0.370$  และ  $4.880 \pm 0.340$  นิวตัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างทางสถิติ เมื่อพิจารณาความแน่นเนื้อของผลกล้วยสุก พบว่าค่าความแน่นเนื้อลดลงจากระยะผลดิบ โดยการให้ชี้แดดนาเกลือในอัตรา 240 กรัมต่อต้น ให้ค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด เท่ากับ  $0.352 \pm 0.018$  นิวตัน รองลงมา คือ ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) การให้ชี้แดดนาเกลือในอัตรา 480 กรัมต่อต้น การใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 และการให้ชี้แดดนาเกลือในอัตรา 720 กรัมต่อต้น ซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ  $0.346 \pm 0.015$   $0.345 \pm 0.018$   $0.340 \pm 0.011$  และ  $0.338 \pm 0.016$  นิวตัน ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ความแน่นเนื้อผลดิบและผลสุกของผลกล้วยหอมทองที่ได้รับปุ๋ยต่าง ๆ

ตำรับทดลอง	ความแน่นเนื้อผลกล้วยหอมทอง (นิวตัน)	
	ผลดิบ	ผลสุก
ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)	$4.970 \pm 0.290$	$0.346 \pm 0.015$
ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 (125 กรัมต่อต้น)	$4.950 \pm 0.370$	$0.340 \pm 0.011$
ชี้แดดนาเกลือ (240 กรัมต่อต้น)	$5.070 \pm 0.180$	$0.352 \pm 0.018$
ชี้แดดนาเกลือ (480 กรัมต่อต้น)	$5.000 \pm 0.230$	$0.345 \pm 0.018$
ชี้แดดนาเกลือ (720 กรัมต่อต้น)	$4.880 \pm 0.340$	$0.338 \pm 0.016$
F-test	ns	ns
CV (%)	6.870	8.570

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

- ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในกล้วยผลดิบไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกตำรับทดลอง อย่างไรก็ตามปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในกล้วยผลสุกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้ชี้แดดนาเกลือในอัตรา 720 และ 480 กรัมต่อต้น ให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ  $21.51 \pm 0.77$  และ  $21.37 \pm 0.88$  องศาบริกซ์ ตามลำดับ ขณะที่ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำที่สุด เท่ากับ  $19.26 \pm 0.31$  องศาบริกซ์ ดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของผลดิบและผลสุกกล้วยหอมทองที่ได้รับปุ๋ยต่าง ๆ

ตำรับทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	
	ผลดิบ	ผลสุก
ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)	$2.24 \pm 0.27$	$19.26 \pm 0.31^c$
ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 (125 กรัมต่อต้น)	$2.12 \pm 0.13$	$20.28 \pm 0.65^b$

## ตารางที่ 4 (ต่อ)

ตัวรับทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	
	ผลดิบ	ผลสุก
ซีแตดนาเกลือ (240 กรัมต่อตัน)	2.09±0.16	20.48±0.71 <sup>b</sup>
ซีแตดนาเกลือ (480 กรัมต่อตัน)	2.24±0.17	21.37±0.88 <sup>a</sup>
ซีแตดนาเกลือ (720 กรัมต่อตัน)	2.11±0.19	21.51±0.77 <sup>a</sup>
F-test	ns	*
CV (%)	8.80	5.15

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

- \* และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสมมติเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )
- ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างตัวรับทดลอง อย่างไรก็ตามสัดส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้ซีแตดนาเกลือในอัตรา 720 กรัมต่อตัน ให้ค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงที่สุด เท่ากับ  $36.52 \pm 5.16$  ขณะที่ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ให้ค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ต่ำที่สุด เท่ากับ  $32.50 \pm 4.87$  ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลกล้วยหอมทองที่ได้รับปุ๋ยต่าง ๆ

ตัวรับทดลอง	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้	ค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้
ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)	0.61±0.10	32.50±4.87 <sup>b</sup>
ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 (125 กรัมต่อตัน)	0.59±0.06	34.69±3.38 <sup>ab</sup>
ซีแตดนาเกลือ (240 กรัมต่อตัน)	0.59±0.08	35.67±5.86 <sup>ab</sup>
ซีแตดนาเกลือ (480 กรัมต่อตัน)	0.61±0.06	35.22±4.04 <sup>ab</sup>
ซีแตดนาเกลือ (720 กรัมต่อตัน)	0.60±0.08	36.52±5.16 <sup>a</sup>
F-test	ns	*
CV (%)	4.84	4.37

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

- \* และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสมมติเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )
- ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ค่าความเป็นกรด-ด่างของกล้วยผลดิบไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.08-6.28 อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรด-ด่างของกล้วยผลสุก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้ชี้้แดดนาเกลือในอัตรา 240 กรัมต่อต้น ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุด เท่ากับ  $4.95 \pm 0.12$  ขณะที่การให้ชี้้แดดนาเกลือในอัตรา 720 กรัมต่อต้น และการใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด เท่ากับ  $4.82 \pm 0.17$  และ  $4.85 \pm 0.12$  ตามลำดับ ดังตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** ความเป็นกรด-ด่างของผลดิบและผลสุกของผลกล้วยหอมทองที่ได้รับปุ๋ยต่าง ๆ

ตำรับทดลอง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	
	ผลดิบ	ผลสุก
ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)	$6.08 \pm 0.12$	$4.88 \pm 0.06^{ab}$
ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 (125 กรัมต่อต้น)	$6.18 \pm 0.24$	$4.85 \pm 0.12^b$
ชี้้แดดนาเกลือ (240 กรัมต่อต้น)	$6.24 \pm 0.13$	$4.95 \pm 0.12^a$
ชี้้แดดนาเกลือ (480 กรัมต่อต้น)	$6.28 \pm 0.13$	$4.89 \pm 0.05^{ab}$
ชี้้แดดนาเกลือ (720 กรัมต่อต้น)	$6.10 \pm 0.31$	$4.82 \pm 0.17^b$
F-test	ns	*
CV (%)	3.40	2.46

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

- \* และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสมมติเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )
- ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ค่าสีของผลดิบกล้วยหอมทองในระบบ CIE Lab\* พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีเขียว-แดง ( $a^*$ ) และค่าเฉดสี ( $h^\circ$ ) ขณะที่ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง ( $b^*$ ) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 33.13-33.39 สำหรับค่าความสว่างพบว่าการใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 ให้ค่าสูงที่สุด เท่ากับ  $59.05 \pm 2.80$  ขณะที่ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ให้ค่าน้อยที่สุด เท่ากับ  $57.80 \pm 0.84$  ในด้านสีเขียว-แดงพบว่าการให้ชี้้แดดนาเกลือในอัตรา 240 และ 480 กรัมต่อต้น และการใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 ให้ค่าสูงที่สุด เท่ากับ  $-11.37 \pm 0.50$   $-11.38 \pm 0.47$  และ  $-11.39 \pm 0.54$  ตามลำดับ ขณะที่ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ให้ค่าน้อยที่สุด เท่ากับ  $-11.58 \pm 0.36$  นอกจากนี้ค่าเฉดสีพบว่าชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ให้ค่าสูงที่สุด เท่ากับ  $109.38 \pm 0.79$  ในขณะที่การใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 และการให้ชี้้แดดนาเกลืออัตรา 240 และ 480 กรัมต่อต้น ให้ค่าต่ำที่สุด เท่ากับ  $108.80 \pm 1.00$   $108.85 \pm 0.96$  และ  $108.90 \pm 0.92$  ตามลำดับ ดังตารางที่ 7

**ตารางที่ 7** ค่าสีผิวในระบบ CIE ( $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$ ) และค่าเฉดสี ของผลกล้วยหอมทองระยะดิบภายใต้กรรมวิธีการให้ปุ๋ยต่าง ๆ

ตำรับทดลอง	ค่าสีผิว			
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$h^\circ$
ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)	57.80±0.84 <sup>c</sup>	-11.58±0.36 <sup>b</sup>	33.21±0.73	109.38±0.79 <sup>a</sup>
ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 (125 กรัมต่อต้น)	59.05±2.80 <sup>a</sup>	-11.39±0.54 <sup>a</sup>	33.25±0.86	108.80±1.00 <sup>b</sup>
ขี้แสดนาเกลือ (240 กรัมต่อต้น)	58.50±1.65 <sup>ab</sup>	-11.37±0.50 <sup>a</sup>	33.39±0.78	108.85±0.96 <sup>b</sup>
ขี้แสดนาเกลือ (480 กรัมต่อต้น)	58.31±2.21 <sup>bc</sup>	-11.38±0.47 <sup>a</sup>	33.35±0.83	108.90±0.92 <sup>b</sup>
ขี้แสดนาเกลือ (720 กรัมต่อต้น)	58.23±1.47 <sup>bc</sup>	-11.44±0.35 <sup>ab</sup>	33.13±1.03	109.10±0.94 <sup>ab</sup>
F-test	*	*	ns	*
CV (%)	3.34	3.94	2.55	0.86

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

- \* และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )
- ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ค่าสีของผลสุกกล้วยหอมทองในระบบ CIE Lab\* พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีเขียว-แดง ( $a^*$ ) ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง ( $b^*$ ) และค่าเฉดสี ( $h^\circ$ ) โดยค่าความสว่างพบว่าการให้ขี้แสดนาเกลือในอัตรา 240 กรัมต่อต้น ให้ค่าสูงที่สุด เท่ากับ 75.67±0.79 ขณะที่การให้ขี้แสดนาเกลือในอัตรา 720 กรัมต่อต้น และชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ให้ค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 75.20±0.68 และ 75.27±0.55 ตามลำดับ สำหรับค่าสีเขียว-แดงพบว่าการให้ขี้แสดนาเกลือในอัตรา 480 กรัมต่อต้น ให้ค่าสูงที่สุด เท่ากับ 3.98±0.51 ขณะที่การใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 ให้ค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 3.65±0.48 ในด้านค่าสีน้ำเงิน-เหลืองพบว่าชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ให้ค่าสูงที่สุด เท่ากับ 45.22±2.75 ขณะที่การใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 และการให้ขี้แสดนาเกลือในอัตรา 240 กรัมต่อต้น ให้ค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 43.05±3.11 และ 43.26±3.61 ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าเฉดสีพบว่าการใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 และการให้ขี้แสดนาเกลือในอัตรา 240 กรัมต่อต้น ให้ค่าสูงที่สุด เท่ากับ 85.93±1.04 และ 85.79±1.01 ตามลำดับ ขณะที่ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ให้ค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 85.23±0.69 ดังตารางที่ 8

**ตารางที่ 8** ค่าสีผิวในระบบ CIE ( $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$ ) และค่าเฉดสี ของผลกล้วยหอมทองระยะสุกภายใต้กรรมวิธีการให้ปุ๋ยต่าง ๆ

ตำรับทดลอง	ค่าสีผิว			
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$h^\circ$
ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)	75.27±0.55 <sup>b</sup>	3.76±0.62 <sup>ab</sup>	45.22±2.75 <sup>a</sup>	85.23±0.69 <sup>b</sup>
ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 (125 กรัมต่อต้น)	75.44±0.91 <sup>ab</sup>	3.65±0.48 <sup>b</sup>	43.05±3.11 <sup>b</sup>	85.93±1.04 <sup>a</sup>

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ตัวรับทดลอง	ค่าสีผิว			
	L*	a*	b*	h°
ชี้แดดนาเกลือ (240 กรัมต่อตัน)	75.67±0.79 <sup>a</sup>	3.77±0.50 <sup>ab</sup>	43.26±3.61 <sup>b</sup>	85.79±1.01 <sup>a</sup>
ชี้แดดนาเกลือ (480 กรัมต่อตัน)	75.51±0.41 <sup>ab</sup>	3.98±0.51 <sup>a</sup>	44.38±2.86 <sup>ab</sup>	84.76±0.89 <sup>c</sup>
ชี้แดดนาเกลือ (720 กรัมต่อตัน)	75.20±0.68 <sup>b</sup>	3.75±0.4 <sup>ab</sup>	43.88±3.44 <sup>ab</sup>	85.58±0.98 <sup>ab</sup>
F-test	*	*	*	*
CV (%)	0.93	13.49	7.35	1.18

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

- \* และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสมมติเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

### การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่า การให้ชี้แดดนาเกลือในอัตราที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้ทั้งขนาดและน้ำหนักของผลกล้วยหอมทองเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในชี้แดดนาเกลือ โดยเฉพาะธาตุโพแทสเซียมที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการพัฒนาผลและคุณภาพผลผลิต (ยงยุทธ, 2552) อย่างไรก็ตามแม้ว่าการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 จะให้ค่าความกว้างผล ความยาวผล น้ำหนักหัว และน้ำหนักผลสูงที่สุด แต่การให้ชี้แดดนาเกลือ โดยเฉพาะในอัตราสูงสุด 720 กรัมต่อตัน สามารถช่วยเพิ่มคุณภาพผลผลิตเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ได้อย่างชัดเจน ด้านความแน่นเนื้อพบว่า หลังการบ่ม ผลกล้วยมีความแน่นเนื้อลดลงในทุกตัวรับทดลอง ซึ่งเป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสุกของผลไม้ โดยสอดคล้องกับการเปลี่ยนสีของเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลือง อันเป็นผลจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และการปรากฏสีของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (จริงแท้, 2549) รวมถึงการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ที่ทำให้เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มลง แสดงถึงการเข้าสู่ระยะสุกแก่ ทั้งนี้การให้ชี้แดดนาเกลือในอัตรา 720 กรัมต่อตัน และการให้ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกรให้ค่าความแน่นเนื้อต่ำที่สุด ซึ่งอาจเนื่องจากธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการพัฒนาผลส่งผลให้ผลกล้วยเข้าสู่ระยะสุกแก่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับตัวรับทดลองอื่น สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด พบว่าในผลดิบไม่แตกต่างกันระหว่างตัวรับทดลอง ( $p > 0.05$ ) แต่หลังการบ่ม เมื่อผลกล้วยสุก ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในทุกตัวรับทดลอง โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดระหว่างการสุกของกล้วยสัมพันธ์กับกระบวนการเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำตาล (Fernando *et al.*, 2014) ทั้งนี้การให้ชี้แดดนาเกลือในอัตรา 720 และ 480 กรัมต่อตัน ให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด ( $21.51 \pm 0.77$  และ  $21.37 \pm 0.88$  องศาบริกซ์ ตามลำดับ) ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางเคมีของชี้แดดนาเกลือที่มีธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม รวมถึงมีปริมาณโซเดียมสูง ( $2.61$  เปอร์เซ็นต์) โดยมีรายงานว่าความเค็มสามารถมีผลต่อคุณภาพผลผลิตบางชนิด เช่น เมล่อน ซึ่งการสะสมของเกลืออาจลดการดูดซับน้ำ ส่งผลให้สัดส่วนของวัตถุแห้งหรืออินทรีย์สารเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงขึ้นไป (Hassan *et al.*, 2022) จึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้การให้ชี้แดดนาเกลือให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงกว่าการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21

แม้ว่าปุ๋ยเคมีจะมีธาตุอาหารครบถ้วนก็ตาม ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยหลายฉบับที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกล้วยระหว่างการสุก โดย Youryon and Supapvanich (2017) รายงานว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของกล้วยเล็บมือนางเพิ่มขึ้นจากระยะเขียวแก่ไปสู่ระยะสุกและสุกงอม นอกจากนี้การศึกษาของ Li *et al.* (2006) พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในกล้วย 'Baxi' มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับกิจกรรมเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์และการย่อยสลายซูโครส ได้แก่ เอนไซม์ซูโครสฟอสเฟตซินเทส (sucrose phosphate synthase: SPS) และเอนไซม์อินเวอร์เทส (invertase) ระหว่างการสุก เช่นเดียวกับที่รายงานในกล้วยน้ำว้า (Siriboon and Banlusiip, 2004) โดยการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลใกล้เคียงกับการผลิตเอทิลีนสูงสุดที่ลดลงอย่างต่อเนื่องในด้านความเป็นกรด-ด่าง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของผลกล้วยหอมทองดิบไม่แตกต่างกันในทุกตำรับทดลอง (6.08-6.28) แต่ลดลงเมื่อผลสุก (4.82-4.95) โดยค่าต่ำที่สุดพบในการให้ปุ๋ยแควนาเกลือในอัตรา 720 กรัมต่อต้น และการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 (4.82 และ 4.85 ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Wills and Golding (1981) ที่พบว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของ *Musa sp.* ระยะเขียวแก่ต่ำกว่าระยะสุกอย่างชัดเจน และเกี่ยวข้องกับการลดลงของความเป็นกรด-ด่างโดยทั่วไปเมื่อผลไม้เข้าสู่กระบวนการสุก ค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลง ขณะที่กรดอินทรีย์มีผลต่อรสชาติอย่างมีนัยสำคัญ โดยกรดอินทรีย์หลักในเนื้อกล้วย ได้แก่ กรดมาลิก กรดซิตริก และกรดออกซาลิก (Hailu *et al.*, 2013) สำหรับการเปลี่ยนแปลงสี พบว่าผลกล้วยหอมทองมีค่าสี ( $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$ ) เพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนจากผลดิบไปสู่ผลสุกในทุกตำรับทดลอง ซึ่งสัมพันธ์กับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในเปลือกผล (Salvador *et al.*, 2007) และการสังเคราะห์สารสีในช่วงการสุก เช่น แครโทีนอยด์ (Fernando *et al.*, 2014) ส่งผลให้เปลือกผลเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองตามลักษณะเฉพาะของกล้วยหอมทอง โดยสรุปการให้ปุ๋ยแควนาเกลือในอัตรา 720 กรัมต่อต้นสามารถเพิ่มคุณภาพผลผลิตได้ โดยให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด แม้ว่าขนาดและน้ำหนักผลยังต่ำกว่าการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาต้นทุนพบว่าการให้ปุ๋ยแควนาเกลือในอัตรา 720 กรัมต่อต้นมีต้นทุนเพียง 1.4 บาทต่อต้น (560 บาทต่อไร่) ซึ่งต่ำกว่าการให้ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกรที่มีต้นทุน 4.4 บาทต่อต้น (1,760 บาทต่อไร่) และคุณภาพด้านขนาดและน้ำหนักผลของทั้งสองวิธีอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถจำหน่ายได้ในราคาเดียวกัน (หจก.เอ็น แอนด์ เอ็น ฟรุทส์ กล้วยหอมทอง เพชรบุรี) จึงชี้ให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยแควนาเกลือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อช่วยลดต้นทุนจากการใช้ปุ๋ยเคมีได้ อย่างไรก็ตามปุ๋ยแควนาเกลือมีความเค็มสูง หากใช้ในปริมาณมากและต่อเนื่องเป็นระยะเวลาอันยาวนาน อาจส่งผลให้ดินมีความเค็มเพิ่มขึ้น จึงควรมีการตรวจวิเคราะห์ดินอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เพื่อควบคุมความเค็มไม่ให้เกินค่ามาตรฐานที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยค่าการนำไฟฟ้าของดินควรน้อยกว่า 2 เดซิซีเมนต่อเมตร ซึ่งเป็นช่วงความเค็มที่ไม่ส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

### สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพผลผลิตกล้วยหอมทองในช่วงก่อนเก็บเกี่ยว พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 ส่งผลให้กล้วยหอมทองมีขนาดผลและน้ำหนักผลสูงที่สุด ขณะที่การให้ปุ๋ยแควนาเกลือในอัตราที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ขนาดและน้ำหนักผลเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้การให้ปุ๋ยแควนาเกลือในอัตรา 480 และ 720 กรัมต่อต้น ส่งผลให้กล้วยหอมทองมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

สูงที่สุด ซึ่งสะท้อนถึงระดับความหวานที่เพิ่มขึ้นของผลผลิต ดังนั้นจึงควรพิจารณาการใช้ซีแตดนาเกลือร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพผลผลิตกล้วยหอมทอง

### ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาการใช้ซีแตดนาเกลือร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตรต่าง ๆ ในอัตราการใช้ที่หลากหลายเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพผลผลิตกล้วยหอมทองและกล้วยสายพันธุ์อื่น ๆ นอกจากนี้ควรศึกษาผลกระทบของความเค็มจากซีแตดนาเกลือต่อสมบัติดินในระยะยาว เนื่องจากอาจก่อให้เกิดปัญหาดินเค็มหรือดินเสื่อม ซึ่งส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ทั้งนี้ซีแตดนาเกลือที่นำมาใช้ควรเป็นซีแตดนาเกลือที่ค้างปีมาแล้วไม่น้อยกว่า 1 ปี เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการผลิตทางการเกษตร

### เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). *คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบด้านทางเคมี*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.
- กลุ่มภูมิปัญญาท้องถิ่นและนวัตกรรมด้านการเกษตร. (2564). *ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการเกษตรการผลิตเกลือ*. กรุงเทพฯ: กองวิจัยและพัฒนางานส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร.
- จริงแท้ ศิริพานิช. (2549). *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*. นครปฐม: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.
- บุญชาติ คติวัฒน์ ทรงศักดิ์ ธรรมจรรย์ส และกิตติมา ลีละพงษ์วัฒนา. (2567). ผลของซีแตดนาเกลือและปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู. *วารสารผลิตภัณฑ์การเกษตร*, 6(3), 127-137.
- ยงยุทธ โอสดสภา. (2552). *ธาตุอาหารพืช*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยุทธนา นาคคำ. (2564). *แนวทางการส่งเสริมการผลิตกล้วยหอมทองแบบแปลงใหญ่ของเกษตรกรจังหวัดชัยภูมิ*. วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์และสหกรณ์). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.
- รุจิรา แสงแข. (2566). การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนจากการปลูกกล้วยหอมทองปลอดสารพิษในเขตพื้นที่อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี. *วารสารลวะศรี*, 7(1), 122-137.
- วสันต์ ชุณหวิจิตรรา. (2557). การปลูกกล้วยหอมทอง. *ข่าวสารเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 60(2), 59-72.
- สรณพงษ์ บัวโรย สมบัติ บุตรฉุย สุรียา หรือประเสริฐ เรื่องเดช เกิดจงรักษ์ สมทรง แสงตะวัน นัฐยา เพชรพุ่ม ชินนุวัฒน์ มณีศรีขำ มนุ บุญเสริม และบุญโปรด เจริญฤทธิ. (2545). *โครงการศึกษาคูณสมบัติและการใช้ประโยชน์ซีแตดนาเกลือ ตำบลบางแก้ว อำเภอเมืองจังหวัดสมุทรสงคราม. รายงานวิจัย*. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเพชรบุรี. (2565). *ข้อมูลพื้นฐานจังหวัดเพชรบุรี มกราคม 2565*, สืบค้นเมื่อ 11 มกราคม 2568, จาก: <https://www.opsmoac.go.th/phetchaburi-dwl-files>.

- สำนักงานศึกษาธิการ ภาค 4. (2566). *แผนพัฒนาการศึกษากลุ่มจังหวัดภาคกลางตอนล่าง 2 พ.ศ. 2566-2570 (ฉบับทบทวน ประจำปี พ.ศ. 2566)*. สมุทรสงคราม: กลุ่มยุทธศาสตร์การศึกษา สำนักงานศึกษาธิการภาค 4.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2564). *สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า ปี 2563*. กรุงเทพฯ: ศูนย์สารสนเทศการเกษตร.
- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. (2547). *คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดินน้ำปุ๋ยพืชวัสดุปรับปรุงดินและการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.
- สุภัทร คำมุงคุณ. (2565). *รายการร้อยเรื่องเมืองไทย ชี้แดดนาเกลือกับประโยชน์ทางการเกษตร*. สืบค้นเมื่อ 11 มกราคม 2568, จาก: <https://library.parliament.go.th/th/radioscript/rr2565-oct3>.
- AOAC. (1990). *Official methods of analysis*. (15<sup>th</sup> ed). Washington DC: Association of Official Analytical Chemist.
- Fernando, H.R.P., Srilaong, V., Pongprasert, N., Boonyaritthongchai, P. and Jitareerat, P. (2014). Changes in antioxidant properties and chemical composition during ripening in banana variety 'Hom Thong' (AAA group) and 'Khai' (AA group). *International Food Research Journal*, 21(2), 749-754.
- Hailu, M., Workneh, T.S. and Belew, D. (2013). Review on postharvest technology of banana fruit. *African Journal of Biotechnology*, 12(7), 635-647.
- Hassan, M.H.M., Awang, Y., Jaafar, J.N., Sayuti, Z., Ghani, M.N.O., Sabdin, Z.H.M. and Nazli, M.H. (2022). Effects of salinity sources on growth, physiological process, yield, and fruit quality of grafted rock melon (*Cucumis melo* L.). *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 45(4), 919-941, doi: <https://doi.org/10.47836/pjtas.45.4.05>.
- Li, W., Shao, Y.Z., Zhuang, J.P. and Chen, W.X. (2006). Relationships between the sucrose phosphate synthase and ripening senescence of banana fruit. *Acta Horticulturae Sinica*, 33(5), 1087-1089.
- Salvador, A., Sanz, T. and Fiszman, S.M. (2007). Changes in colour and texture and their relationship with eating quality during storage of two different dessert bananas. *Postharvest Biology and Technology*, 43(3), 319-325, doi: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.10.007>.
- Siri boon, N. and Banlusilp, P. (2004). A study on the ripening process of 'Namwa' banana. *AU Journal of Technology*, 7(4), 159-164.
- Wills, R. and Golding, J. (1981). *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables*. Sydney: New South Wales University Press.
- Youryon, P. and Supapvanich, S. (2017). Physicochemical quality and antioxidant changes in 'Leb Mue Nang' banana fruit during ripening. *Agriculture and Natural Resources*, 51(1), 47-52, doi: <https://doi.org/10.1016/j.anres.2015.12.004>.

ความหลากหลายและคุณค่าทางโภชนาการของผักพื้นถิ่นแปรรูป (ผักเหนาะ)  
ในสำหรับขนมจีนเมืองคอน ภายใต้บริบทเชิงพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล  
จังหวัดนครศรีธรรมราช

Diversity and Nutritional Value of Local Vegetable Side Dishes  
(Pak Nhor) in Muang Khon–Style Thai Rice Noodle Meals within  
the Kao–Pa–Na–Lay Context of Nakhon Si Thammarat Province

จันทิรา วงศ์วิเชียร<sup>1</sup> จุตपर्ณ ลิมสุวรรณมณี<sup>1\*</sup> จตุพร คงทอง<sup>1</sup>  
และสมรภัฏ รอดเจริญ<sup>2</sup>

Chantira Wongwichian<sup>1</sup>, Jutaporn Limsuwanmanee<sup>1\*</sup>, Jatuporn Khongtong<sup>1</sup>  
and Somrak Rodjaroen<sup>2</sup>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายและคุณค่าทางโภชนาการของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปในสำหรับขนมจีนเมืองคอน ภายใต้บริบทเชิงพื้นที่ของจังหวัดนครศรีธรรมราช ได้แก่พื้นที่ภูเขา (เขา) ป่าไม้ (ป่า) ทุ่งนา (นา) และพื้นที่ชายฝั่งทะเล (เล) โดยเก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้รู้ในท้องถิ่นร่วมกับการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูป ผลการศึกษาพบว่าผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ผักดองสามารถผัดลวกกะทิ และผักประเภทยำ โดยผักดองสามารถและผัดลวกกะทิพบได้ในทุกพื้นที่ เช่น แตงกวาดองและมะละกอดอง ขณะที่ผักประเภทยำพบเฉพาะพื้นที่นา ได้แก่ ยำมะม่วงเบาและยำมะม่วงปูเปี้ยว พื้นที่ภูเขาพบลูกประดองและสะตอดอง พื้นที่ชายฝั่งทะเลพบผักเสี้ยนดองและผักสี่สหายลวกกะทิ ส่วนพื้นที่ป่าพบแตงกวาดองแบบอจาตและผักบุงผสมหยวกลวกกะทิ ในด้านคุณค่าทางโภชนาการพบว่าผักดองสามารถมีปริมาณโซเดียมและน้ำตาลค่อนข้างสูง โดยลูกจากดอง หยวกกล้วยดอง และแตงกวาดองมีปริมาณน้ำตาล  $15.09 \pm 0.04$   $11.20 \pm 0.03$  และ  $9.74 \pm 0.04$  กรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ตามลำดับ ขณะที่ลูกประดอง สะตอดอง และผักเสี้ยนดองมีปริมาณโซเดียมสูง เท่ากับ  $1,256.70 \pm 0.57$   $1,102.40 \pm 0.25$  และ  $829.40 \pm 0.06$  มิลลิกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิทยาการการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

<sup>2</sup> สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

<sup>1</sup> Department of Culinary Arts and Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

<sup>2</sup> Department of Agriculture, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

\* Corresponding author e-mail: jutaporn\_lim@nstru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajnstu.2026.v45i1.265464>

Received: 28 November 2024, Revised: 2 May 2025, Accepted: 2 May 2025

ตามลำดับ นอกจากนี้ผักเหนาะแต่ละชนิดยังมีวิตามินและแร่ธาตุแตกต่างกันตามชนิดของพืชผัก ผลการศึกษานี้สะท้อนศักยภาพของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปในฐานะอาหารที่มีความหลากหลายทางชีวภาพและคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งสามารถใช้ส่งเสริมการบริโภคอาหารพื้นถิ่นและสนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนได้อย่างยั่งยืน

**คำสำคัญ:** ขนมจีน ผักเหนาะ ผักแปรรูป คุณค่าทางโภชนาการ จังหวัดนครศรีธรรมราช

### Abstract

This study aimed to investigate the diversity and nutritional value of processed local vegetable side dishes (Pak Nhor) served with Khanom Jeen in Nakhon Si Thammarat Province, within four geographical contexts: mountain (Kao), forest (Pa), rice field (Na), and coastal (Lay) areas. Data were collected through in-depth interviews with local knowledge holders and nutritional analyses of processed local vegetables. The results showed that processed Pak Nhor could be classified into three categories: sweet-and-sour pickled vegetables, coconut-blanching vegetables, and salad-type vegetables. Sweet-and-sour pickled vegetables and coconut-blanching vegetables were found in all areas, including pickled cucumber and pickled papaya. Salad-type vegetables were found only in the rice field (Na) area, including young mango salad and young mango salad with freshwater crab (Pu Piaw). In the mountain (Kao) area, pickled Luk Pra and pickled bitter bean (Sator) were found. The coastal (Lay) area featured pickled spider flower and a coconut-blanching mixed vegetable dish known as "Four Friends," while the forest (Pa) area was characterized by Ajaad-style pickled cucumber and a coconut-blanching mixture of water spinach and banana stalk. Nutritional analysis indicated that different types of processed Pak Nhor had distinct nutrient compositions. Pickled nipa palm fruit, pickled banana pith, and pickled cucumber contained sugar levels of  $15.09 \pm 0.04$ ,  $11.20 \pm 0.03$ , and  $9.74 \pm 0.04$  g per 100 g edible portion, respectively. In contrast, pickled Luk Pra, pickled Sator, and pickled spider flower contained high sodium levels of  $1,256.70 \pm 0.57$ ,  $1,102.40 \pm 0.25$ , and  $829.40 \pm 0.06$  mg per 100 g edible portion, respectively. These findings highlight the potential of processed Pak Nhor as foods with biodiversity and nutritional value that can support local food consumption, community economic development, and the conservation of local culinary traditions.

**Keywords:** Thai rice noodles, Pak Nhor, Processed vegetables, Nutritional value, Nakhon Si Thammarat province

## บทนำ

ผักเหนาะ คือ ภาษาท้องถิ่นของภาคใต้ที่ใช้เรียกผักที่รับประทานร่วมกับน้ำพริกหรือแกงต่าง ๆ ผักเหนาะมีหลายรูปแบบ เช่น ผักสด ผักลวกกะทิ ผักดอง การรับประทานสดเป็นที่นิยมมากที่สุด เช่น ยอดอ่อนหอย ยอดอ่อนมะม่วงหิมพานต์ ผักเหนาะบางชนิดถูกนำมาเพาะก่อนรับประทานซึ่งเรียกว่า หนาม เช่น ลูกเนียงหนาม ทำให้ผักนั้นแก่กรอบและมีรสชาติดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปชาวบ้านภาคใต้นิยมรับประทานอาหารรสจัด ในการรับประทานอาหารเช้ามื้อจึงมักมีอาหารเผ็ดเป็นกับข้าวด้วยเสมอ และมักมีผักเหนาะรับประทานร่วมกับอาหารในมื้อนั้น ๆ และส่วนใหญ่พืชผักท้องถิ่นมักนิยมนำมา รับประทานเป็นแหล่งอาหารภายในครัวเรือน (อชิรญา และคณะ, 2556) ผักพื้นถิ่นเป็นพืชที่ได้รับความสนใจจากผู้บริโภคทั่วไปในปัจจุบัน เนื่องจากหาได้ง่ายในท้องถิ่น ราคาถูก ปราศจากสารพิษ ที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย และยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเป็นแหล่งของวิตามิน แร่ธาตุ โยอาหาร และสารพฤกษเคมีที่ให้ประโยชน์ต่อร่างกาย โดยสามารถนำส่วนของใบ ยอดอ่อน ลำต้น ก้านใบ ดอก ผล และหัวมาบริโภคสดหรือประกอบอาหารได้หลายชนิด (ลลิตา, 2545; นุจรินทร์, 2551; วาริชัย, 2554) ซึ่งในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศที่เอื้อต่อความ หลากหลายทางชีวภาพ ทำให้มีผักพื้นบ้านมากมายหลากหลายชนิด เช่น มันปู ใบมะม่วงหิมพานต์ จิก ผักกาดนกเขา หอย ผักเหมียง ผักกูด และทำม้ง นิยมนำมาบริโภคในรูปสดหรือนำมาปรุงเป็นอาหาร ชนิดต่าง ๆ มีรายงานการศึกษาที่พบว่าผักพื้นบ้านภาคใต้หลายชนิด เช่น ใบมะม่วงหิมพานต์ ใบมันปู ใบทำม้ง มีปริมาณสารอาหารต่าง ๆ รวมถึงวิตามินและแร่ธาตุที่ส่งผลต่อสุขภาพ การบริโภคผักพื้นบ้าน จึงให้ประโยชน์ต่อร่างกายในการช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด เบาหวาน ความดันและมะเร็งได้ (Panpipat *et al.*, 2010; มยุร, 2553; วิชชุดา และคณะ, 2553; Kongkachuichai *et al.*, 2015)

ชนิดและรูปแบบการรับประทานผักเหนาะของชาวจังหวัดนครศรีธรรมราชมักมีความ เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิศาสตร์ คติทางศาสนา เศรษฐกิจและสังคม โดยผักพื้นถิ่นภาคใต้อาณาเขตมีการ ผ่านกระบวนการพิเศษก่อนนำมารับประทาน เช่น การดองสามรส หรือการลวกกะทิ เป็นต้น (อชิรญา และคณะ, 2556) ซึ่งการรับประทานอาหารเช้ากับผักเหนาะจะช่วยลดความเผ็ดร้อนของรสชาติอาหาร ลงได้และยังช่วยชูรสอาหารให้มีความอร่อยยิ่งขึ้น (อ้อมใจ, 2547) นอกจากนี้จากงานวิจัยของนฤมล และคณะ (2568) ยังแสดงให้เห็นว่าในพืชผักพื้นบ้านของจังหวัดนครศรีธรรมราชยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น ใบทำม้ง ยอดอ่อนมะม่วงหิมพานต์ ใบมะกอก สะตอ เป็นต้น ซึ่งคล้ายคลึง กับผลการวิจัยของกามีละห์ (2566) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของ ผักพื้นบ้านในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งพบว่าผักพื้นบ้านในฤดูฝนมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ต่างจากผักพื้นบ้านในฤดูร้อน โดยพบว่าในฤดูฝน ผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ในระดับสูง ได้แก่ ชี่เหล็ก รongลงมา คือ ยอดสะเดา และสะตอ ตามลำดับ ส่วนในฤดูร้อน พบว่า ผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระระดับสูง ได้แก่ กระถิน ชี่เหล็ก และสะตอ ตามลำดับ ผักเหนาะที่รับประทานในสำหรับขนมจีนหรืออาหารเผ็ดมีหลายรูปแบบ แต่มีจุดประสงค์คล้ายคลึงกัน คือ เพื่อลดความเผ็ดของอาหารหลักง เช่น น้ำพริก แกงเผ็ด ขนมจีน หรือลตรสชาติ ความเข้มข้นของ อาหารจานหลักง รวมถึงช่วยเสริมให้อาหารมีรสชาติดียิ่งขึ้น ด้วยภูมิปัญญาพื้นบ้านเหล่านี้ทำให้ ในพื้นที่ภาคใต้อาจรวมถึงจังหวัดนครศรีธรรมราชมีผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปหลากหลายชนิดและมักจะ

รับประทานในสำหรับขนมจีนน้ำยา นอกจากนี้ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชเองก็มีความแตกต่างกันในด้านทำเลที่ตั้ง คือ บริบทโซนภูเขา (เขา) ป่าไม้ (ป่า) ทุ่งนา (นา) และทะเล (เล) ซึ่งในแต่ละบริบทพื้นที่ก็มีความแตกต่างกันด้านวัฒนธรรมการบริโภคท้องถิ่น รวมถึงในสำหรับขนมจีน ซึ่งด้วยวิถีชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย ทำให้มีการบริโภคผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปเหล่านี้เป็นที่รู้จักกันเพียงแค่ว่าในกลุ่มคนในพื้นที่และจำกัดอยู่เพียงบางกลุ่มคนเท่านั้น รวมถึงขาดการสืบทอดและถ่ายทอดภูมิปัญญาอย่างเป็นระบบในวงกว้าง ดังนั้นคณะผู้วิจัยเห็นว่าหากสามารถนำเสนอข้อมูลที่แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายและภูมิปัญญาพื้นถิ่นในการแปรรูปผักเหนาะเหล่านี้ จะสามารถนำไปใช้ในการส่งเสริมการบริโภคผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปเหล่านี้ให้สูญหายไปยังคงอยู่คู่ชุมชน และสามารถส่งต่อข้อมูลเหล่านี้ออกไปในวงกว้างเพื่อให้เกิดการยอมรับและก่อให้เกิดความสนใจในผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปเหล่านี้มากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและความหลากหลาย ข้อมูลด้านโภชนาการ ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ ของผักพื้นถิ่นประเภทแปรรูปในสำหรับขนมจีนตามบริบทพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล จังหวัดนครศรีธรรมราช

### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่อง ความหลากหลายและคุณค่าทางโภชนาการของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปในสำหรับขนมจีนเมืองคอน พื้นที่เขา-ป่า-นา-เล จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน (mixed method research) โดยมีทั้งการวิจัยเชิงคุณภาพ (qualitative research) โดยใช้การสัมภาษณ์ ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภทต่าง ๆ ที่มีการบริโภคกันในพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล และการวิจัยเชิงปริมาณ (quantitative research) คือ การวิเคราะห์ข้อมูลด้านโภชนาการ วิตามินและเกลือแร่ที่สำคัญในผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูป โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

#### 1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรหลักสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้เป็นผู้ประกอบการร้านขนมจีนในจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยกลุ่มตัวอย่างหรือผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย คือ ตัวแทนผู้ประกอบการร้านขนมจีนในจังหวัดนครศรีธรรมราชแบ่งเป็น 4 พื้นที่ คือ พื้นที่ภูเขา (เขา) ประกอบด้วยอำเภอฉวาง อำเภอลำพูน อำเภอพิบูลย์ อำเภอช้างกลาง และอำเภอลานสกา พื้นที่ป่าไม้ (ป่า) ประกอบด้วย อำเภอทุ่งสง อำเภอทุ่งใหญ่ อำเภอบางขัน อำเภอนาบอน อำเภอรัตนบุรี และอำเภอพระพรหม พื้นที่ทุ่งนา (นา) ประกอบด้วย อำเภอปากพนัง อำเภอหัวไทร อำเภอเชียรใหญ่ อำเภอชะอวด อำเภอจุฬาภรณ์ และอำเภอเฉลิมพระเกียรติ และพื้นที่ทะเล (เล) ประกอบด้วย อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช อำเภอท่าศาลา อำเภอสิชล อำเภอขนอม อำเภอพรหมคีรี และอำเภอนบพิตำ จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลในช่วงแรกพบว่าในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชมีร้านที่เปิดจำหน่ายขนมจีนพร้อมให้บริการผักเหนาะพื้นถิ่นแบบแปรรูปทั้งสิ้น 341 ร้าน แบ่งกลุ่มโดยใช้เกณฑ์ปริมาณขนมจีนที่จำหน่ายได้ต่อวัน โดยจากการเก็บข้อมูลพบว่าสามารถแบ่งได้ออกเป็น 4 กลุ่ม คือ ร้านที่จำหน่ายน้อยกว่า 10 กิโลกรัมต่อวัน ร้านที่จำหน่าย 10-35 กิโลกรัมต่อวัน ร้านที่จำหน่าย 36-65 กิโลกรัมต่อวัน และร้านที่จำหน่ายมากกว่า 65 กิโลกรัมต่อวัน เนื่องจากคณะผู้วิจัยต้องการข้อมูลด้านความหลากหลายของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปซึ่งพบว่าในร้านขนมจีนที่มียอดจำหน่ายโดยเฉลี่ยต่อวันสูงนั้นจะมีความหลากหลายของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปมากกว่า เมื่อพิจารณา ร่วมกับการกระจายตัวของสถานที่ตั้งของร้านขนมจีนในแต่ละพื้นที่

ซึ่งต้องเป็นร้านขนมจีนที่มีให้บริการผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่หลากหลายทั้งที่ผู้ประกอบการผลิตเอง และรับจากชุมชนในท้องถิ่น เป็นร้านที่เป็นที่รู้จักในกลุ่มผู้บริโภคในพื้นที่และนักท่องเที่ยว เดินทางเข้าถึงสะดวกและยินดีเข้าร่วมดำเนินกิจกรรมในโครงการได้ตลอดระยะเวลาของโครงการ คณะผู้วิจัย จึงเลือกร้านขนมจีนที่มีปริมาณการขายขนมจีนมากกว่า 36 กิโลกรัมต่อวันขึ้นไป พบว่าพื้นที่เขา จำนวน 2 ร้าน พื้นที่ป่า จำนวน 6 ร้าน พื้นที่นา จำนวน 2 ร้าน และพื้นที่เล จำนวน 16 ร้าน ดังนั้นจึงมีร้านขนมจีนที่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 26 ร้าน จากนั้นด้วยข้อกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำของแหล่งทุนที่สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ต้องการให้มีผู้ประกอบการเข้าร่วมโครงการวิจัยไม่น้อยกว่า 10 ราย คณะผู้วิจัยจึงดำเนินการแบ่งสัดส่วนร้านขนมจีนในแต่ละพื้นที่เพื่อให้ได้ตามเกณฑ์ของแหล่งทุน คือ พื้นที่เขา จำนวนขั้นต่ำ 1 ร้าน พื้นที่ป่า จำนวนขั้นต่ำ 2 ร้าน พื้นที่นา จำนวนขั้นต่ำ 1 ร้าน และพื้นที่เล จำนวนขั้นต่ำ 6 ร้าน เมื่อลงพื้นที่เพื่อทำวิจัยจริง มีเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเป้าหมาย คือ ผู้ประกอบการที่ยินดีเข้าร่วมโครงการ ดำเนินกิจกรรมในโครงการ และให้ข้อมูลเชิงลึกกับคณะผู้วิจัยจนกระทั่งสิ้นสุดโครงการวิจัย เนื่องจากเป็นการวิจัยที่ต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้ประกอบการอย่างมาก จึงได้ผู้ประกอบการที่เป็นกลุ่มตัวอย่างไม่น้อยกว่าจำนวนขั้นต่ำที่แบ่งสัดส่วนไว้ ดังนั้นพื้นที่เขา ผู้ประกอบการที่ยินดีเข้าร่วมโครงการ 2 ร้าน พื้นที่ป่า ผู้ประกอบการที่ยินดีเข้าร่วมโครงการ 2 ร้าน พื้นที่นา ผู้ประกอบการที่ยินดีเข้าร่วมโครงการ 2 ร้าน และพื้นที่เล ผู้ประกอบการที่ยินดีเข้าร่วมโครงการ 5 ร้าน โดยคณะผู้วิจัยทำการลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูล 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2565 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็นช่วงที่มีฝนตกชุกในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช และช่วงที่ 2 ในเดือนมีนาคมถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2566 เนื่องจากเป็นช่วงที่ในพื้นที่มีอุณหภูมิสูง แดดจัด และฝนตกน้อย

## 2. การศึกษาความหลากหลายของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปตามบริบทพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล จังหวัดนครศรีธรรมราช

การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภทต่าง ๆ ที่มีการผลิตและจำหน่ายในพื้นที่ผ่านการใช้แบบสอบถาม เครื่องมือที่ใช้ คือ การสัมภาษณ์ โดยใช้คำถามแบบปลายเปิด ไม่จำกัดคำตอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้สัมภาษณ์มีอิสระที่จะอธิบายความคิดของตนเอง ซึ่งเป็นการสัมภาษณ์แบบผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (key informants) หรือหมายถึง ผู้ให้ข้อมูลรู้ในเรื่องที่ตนต้องการอย่างละเอียดเพียงพอ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้ที่เป็นผู้ให้ข้อมูลสำคัญ คือ ผู้ประกอบการธุรกิจจำหน่ายขนมจีนในแต่ละพื้นที่ โดยผู้ประกอบการแต่ละรายจะให้ข้อมูลกับคณะผู้วิจัยจนกระทั่งสิ้นสุดโครงการวิจัย จำนวน 11 ร้าน โดยใช้ตัวแทนจากแต่ละร้าน ร้านละ 2 คน จำนวนทั้งสิ้น 22 คน แบ่งเป็นผู้ประกอบการจากร้านขนมจีนพื้นที่เขา จำนวน 2 ร้าน จากพื้นที่ป่า จำนวน 2 ร้าน จากพื้นที่นา จำนวน 2 ร้าน และจากพื้นที่เล จำนวน 5 ร้าน ในการสัมภาษณ์จะมีประเด็นคำถามในเรื่องของชนิดและปริมาณในการจำหน่ายขนมจีน ชนิดและปริมาณของผักเหนาะประเภทแปรรูปที่ใช้ แหล่งที่มาของวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูป กระบวนการผลิต ความนิยมในการบริโภคผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปนั้น ๆ ในพื้นที่ เป็นต้น คณะผู้วิจัยนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์และประมวลผลออกมาเป็นข้อมูลเกี่ยวกับชนิด ความหลากหลายและภูมิปัญญาของผักเหนาะประเภทแปรรูปในสำหรับขนมจีนที่มีในพื้นที่ตามบริบทพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล จังหวัดนครศรีธรรมราช จากนั้นทำการคัดเลือก

ผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่มีความโดดเด่นและได้รับความนิยมในการบริโภคมาพื้นที่ละอย่างน้อย 2 ชนิด เพื่อทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ที่สำคัญต่อไป

### 3. การศึกษาข้อมูลด้านโภชนาการ ปริมาณวิตามินและเกลือแร่สำคัญของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปตามบริบทพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล จังหวัดนครศรีธรรมราช

การศึกษาด้านโภชนาการ ปริมาณวิตามินและเกลือแร่สำคัญของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภทต่าง ๆ จากพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล พื้นที่ละอย่างน้อย 2 ชนิด โดยทำการวิเคราะห์ค่าทางโภชนาการ ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ โดยการเก็บตัวอย่างจากแต่ละพื้นที่ บรรจุใส่ถุงพลาสติกแบบซีลปิด จัดเก็บในถังโฟมที่สามารถเก็บความเย็นได้และขนส่งต่อไปยังศูนย์วิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ภายในเวลาไม่เกิน 3 ชั่วโมงจากแหล่งที่เก็บตัวอย่าง

#### 3.1 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ประกอบด้วย

- 1) ปริมาณความชื้น (moisture) ด้วยวิธีการมาตรฐานของ AOAC International (2000)
- 2) ปริมาณโปรตีน (crude protein) (กรัม) ด้วยวิธีการ Kjeldahl method ของ AOAC International (2000)
- 3) ปริมาณไขมัน (crude fat) (กรัม) ด้วยวิธีการ Soxhlet extraction ของ AOAC International (2016)
- 4) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (crude carbohydrate) (กรัม) ด้วยวิธีคำนวณจากการวิเคราะห์ส่วนประกอบพื้นฐานแล้วหาค่าส่วนต่าง (by difference method) (สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2561)
- 5) ปริมาณใยอาหาร (crude fiber) (กรัม) ด้วยวิธีการมาตรฐานของ AOAC International (2016)
- 6) ปริมาณพลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี) ด้วยวิธีคำนวณพลังงานจากสารอาหารที่ให้พลังงาน (สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2561)
- 7) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) (กรัม) ด้วยวิธีการ Fehling test (Bogdanov, 2010)

#### 3.2 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ ประกอบด้วย

- 1) เบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC) (Speek *et al.*, 1986)
- 2) วิตามินเอ (ไมโครกรัม) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC) (Speek *et al.*, 1986)
- 3) วิตามินซี (ไมโครกรัม) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC) (AOAC International, 2000)
- 4) โซเดียม (มิลลิกรัม) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง flame atomic absorption spectrophotometer (AOAC International, 2000)
- 5) แคลเซียม (มิลลิกรัม) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง flame atomic absorption spectrophotometer (AOAC International, 2000)

6) ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer (AOAC International, 2000)

7) โพแทสเซียม (มิลลิกรัม) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง flame atomic absorption spectrophotometer (AOAC International, 2000)

8) เหล็ก (มิลลิกรัม) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง flame atomic absorption spectrophotometer (AOAC International, 2000)

9) สังกะสี (มิลลิกรัม) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง flame atomic absorption spectrophotometer (AOAC International, 2000)

10) แมกนีเซียม (มิลลิกรัม) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง flame atomic absorption spectrophotometer (AOAC International, 2000)

#### 4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากการวิจัยที่ได้จะผ่านการตรวจสอบความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูลโดย คณะผู้วิจัย ในส่วนของข้อมูลด้านชนิดและความหลากหลายของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปจะใช้การอธิบายเชิงพรรณนาและจัดจำแนกประเภทข้อมูลออกตามพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล ส่วนข้อมูลด้านคุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปจะนำมาทำการวิเคราะห์ แจกแจงทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป หาค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) และเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### ผลการวิจัย

##### 1. การศึกษาความหลากหลายของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปตามบริบทพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล จังหวัดนครศรีธรรมราช

คณะผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับชนิดและความหลากหลายของผักเหนาะ ประเภทแปรรูปตามบริบทพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล จังหวัดนครศรีธรรมราช ผ่านการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ ธุรกิจนมจืดในพื้นที่ พบว่าในแต่ละพื้นที่มีการผลิตผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปด้วยวิธีการที่คล้ายคลึงกัน แต่อาจแตกต่างกันไปในเรื่องของวัตถุดิบและกระบวนการผลิตเฉพาะที่นำมาใช้ ซึ่งผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปพื้นที่ในจังหวัดนครศรีธรรมราช สามารถแบ่งตามวิธีการผลิตได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ ประเภททองสามารถ ประเภทลูกหรือต้มด้วยกะทิ และประเภทยำ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

##### 1.1 ผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภททองสามารถ

ลักษณะของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภททองสามารถในกรรมวิธีการผลิตแบบพื้นถิ่นภาคใต้ คือ ผู้ผลิตจะมีการเตรียมน้ำสามารถสำหรับการดองผักประเภทต่าง ๆ ไว้ก่อน ซึ่งจะประกอบไปด้วยน้ำตาลทราย น้ำส้มสายชู เกลือป่น น้ำสะอาด นำส่วนผสมทั้งหมดตั้งไฟให้ละลาย แล้วพักไว้ในเย็นสนิทก่อนที่จะนำมาดองผักที่เตรียมไว้ นอกจากนี้ในบางพื้นที่อาจมีการใส่พริกชี้ฟ้าแดง และหอมแดงลงไปด้วยเพื่อเพิ่มรสชาติและสีส้ม โดยส่วนมากแล้วผักที่นิยมนำมาใช้แปรรูปเป็นผักทองสามารถ มักจะเป็นผักที่มีความกรอบ หรือผักที่รับประทานแบบสดแล้วไม่มีรสชาติ หรือไม่สามารถ

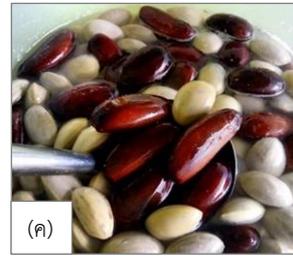
รับประทานแบบสดได้ หรือเป็นผักที่มีปริมาณมากในพื้นที่และไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างอื่น เช่น หยวกกล้วยและลูกจากในพื้นที่นา เนื่องจากในพื้นที่นามีการปลูกกล้วยและต้นจากจำนวนมาก โดยเฉพาะการปลูกในคร้วเรือนและตามที่นาต่าง ๆ ซึ่งคนในพื้นที่จะมีการนำผลกล้วยมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น กล้วยฉาบ หรือใช้กล้วยดิบในในแกงไตปลา เป็นต้น ส่วนต้นจากก็จะมีการใช้ประโยชน์จากน้ำหวานจากต้นจากนำมาแปรรูปเป็นน้ำตาลจาก ขณะที่หยวกกล้วยและผลจากนั้นยังคงมีการใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย นอกจากนี้จะเป็นวัตถุดิบหนึ่งในการประกอบอาหารบางประเภท และบริโภคกันในพื้นที่เท่านั้น จากการลงพื้นที่พบว่าหนึ่งในผู้ประกอบการธุรกิจขนมจีนในพื้นที่นาได้นำหยวกกล้วยและลูกจากอ่อนมาแปรรูปเป็นหยวกกล้วยดองและลูกจากดองเพื่อบริโภคในสำหรับขนมจีน ส่วนในพื้นที่เขามีการนำลูกประและสะตอมาแปรรูปเป็นลูกประดองและสะตอดอง เนื่องจากในพื้นที่เขามีปริมาณสะตอเป็นจำนวนมากและเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่ค่อนข้างเป็นที่รู้จักแต่อาจมีข้อจำกัดในเรื่องของการบริโภคในบางกลุ่มคน เนื่องจากสะตอสดมีกลิ่นรสที่ออกฝาด มีกลิ่นเฉพาะตัว ในขณะที่ลูกประนั้นไม่สามารถบริโภคในรูปแบบสดได้ ดังนั้นการนำลูกประและสะตอมาแปรรูปโดยการดองแบบสามรสก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้ผู้บริโภคบางกลุ่มสามารถบริโภคผักพื้นถิ่นบางประเภทที่มีกลิ่นรสรุนแรงหรือไม่สามารถบริโภคแบบสดได้ ส่วนในพื้นที่เล พบว่ามีการนำเอาผักเสี้ยนมาแปรรูปเป็นผักเสี้ยนดอง เนื่องจากผักเสี้ยนเป็นผักที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและมีปริมาณมากในหลายพื้นที่ของจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยปกติแล้วจะไม่นิยมรับประทานผักเสี้ยนแบบสดเนื่องจากอาจก่อให้เกิดอาการแพ้ในผู้บริโภคบางราย คณะผู้วิจัยพบว่าในพื้นที่เลได้มีการนำเอาผักเสี้ยนมาแปรรูปเป็นผักเสี้ยนดองโดยชาวบ้านที่เป็นผู้ผลิตจะนำเอาผักเสี้ยนไปตากแดดพอหมาด จากนั้นจะใส่ข้าวสุกเกลือและน้ำตาลทรายลงไป แล้วทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 3-4 วัน ก็จะนำมาบริโภคได้ ในขณะที่ในพื้นที่ป่าเป็นการดองสามารถโดยใช้ผักที่มีจำหน่ายทั่วไปและพบได้ในทั้ง 4 พื้นที่ คือ แตงกวาดอง มะละกอดอง และผักกาดดอง อาจเนื่องมาจากพื้นที่ป่าที่คณะผู้วิจัยเก็บข้อมูลมานั้นส่วนใหญ่แล้วเป็นพื้นที่ของอำเภอที่มีขนาดใหญ่ในจังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นศูนย์กลางการคมนาคมและการขนส่งของจังหวัด และผู้คนในพื้นที่มีการประกอบอาชีพเกษตรกรรมหรือเพาะปลูกค่อนข้างน้อย ทำให้ไม่มีการนำผักในพื้นที่นั้นมาแปรรูปเป็นผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปมากเท่าในพื้นที่อื่นของจังหวัดนครศรีธรรมราช (ภาพที่ 1)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 1 ตัวอย่างผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภทต้องสามรส เช่น หยวกกล้วยตอง (ก) ลูกจากตอง (ข) ลูกประตอง (ค) สะตอตอง (ง) และผักเสี้ยนตอง (จ)

### 1.2 ผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภทลวกหรือต้มด้วยกะทิ

ลักษณะของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภทลวกหรือต้มด้วยกะทิในกรรมวิธีการผลิตแบบพื้นถิ่นภาคใต้ คือ การใช้น้ำกะทิในการลวกผักสดประเภทต่าง ๆ แทนการใช้น้ำสะอาด โดยมักนิยมใช้ทางกะทิในการลวกหรือต้มและเติมเกลือลงไปเล็กน้อยเพื่อเพิ่มรสชาติ และจะไม่มีกราราดด้วยหัวกะทีก่อนเสิร์ฟดังเช่นการลวกหรือต้มผักด้วยกะทิที่ใช้สำหรับเป็นเครื่องเคียงคู่กับน้ำพริก คณะผู้วิจัยพบว่าในแต่ละพื้นที่ที่มีการนำผักสดหลากหลายประเภทแปรรูปด้วยการลวกหรือต้มด้วยกะทิ สำหรับเป็นผักเหนาะในสำหรับชนมัจฉิน โดยผักสดที่นิยมนำมาลวกหรือต้มด้วยกะทินั้นมักจะเป็นผักที่บริโภคเป็นอาหาร ไม่มีรสชาติใดเด่นชัด และไม่สามารถนำไปแปรรูปด้วยการดองหรือด้วยวิธีการอื่นเพื่อเพิ่มรสชาติ เช่น ในพื้นที่นา มักจะมีผักบุงนาเจริญได้ดีตามร่องน้ำในสวน หรือในพื้นที่นาที่มีน้ำขังซึ่งผักบุงนาก็จะมีลักษณะลำต้นเป็นปล้องขนาดใหญ่กว่าผักบุงนาประเภทอื่น เนื้อหนาและเหนียวกว่า เมื่อเกิดการฉีกขาดจะมียางสีขาวไหลซึมออกมาซึ่งยางในผักบุงนານี้ อาจทำให้เกิดอาการแพ้ในบุคคลบางกลุ่ม ดังนั้นการบริโภคผักบุงนาเหล่านี้จึงต้องมีการลวกหรือกำจัดยางที่ก่อให้เกิดการแพ้ก่อน ซึ่งชาวบ้านในพื้นที่นาในอดีตมักใช้การลวกหรือต้มผักบุงนาในน้ำร้อนก่อนรับประทาน แต่เมื่อเวลาผ่านไปก็มีการปรับมาใช้น้ำกะทิผสมเกลือเล็กน้อยในการลวกแทนเพื่อเพิ่มรสชาติ ส่วนในพื้นที่เลพบว่ามี การนำผักหลากหลายประเภทมาผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยการลวกกับกะทิ แล้วให้ชื่อว่า สีสหาลวกกะทิ ซึ่งหมายความว่า ในผักที่นำมาใช้ในการลวกกะทินี้มีจำนวนทั้งสิ้น 4 ชนิด คือ ผักกาดขาว กะหล่ำปลี แครอท และผักพื้นถิ่นที่มีเฉพาะฤดูกาลอีก 1 ชนิด โดยในฤดูฝนจะมีหน่อไม้เป็นส่วนผสม ฤดูร้อนจะมีผักกูดเป็นส่วนผสม ส่วนในพื้นที่ป่าและพื้นที่เขา พบว่ามี การแปรรูปผักเหนาะด้วยการลวกกะทิเช่นเดียวกับพื้นที่อื่น แต่มักมีการใช้ผักที่มีจำหน่ายทั่วไป คือ ผักบุงนา กะหล่ำปลี หรือผักกาดขาวลวกกะทิ ซึ่งจากการลงพื้นที่ พบว่าการที่ในพื้นที่เขาและป่า ไม่มีการแปรรูป

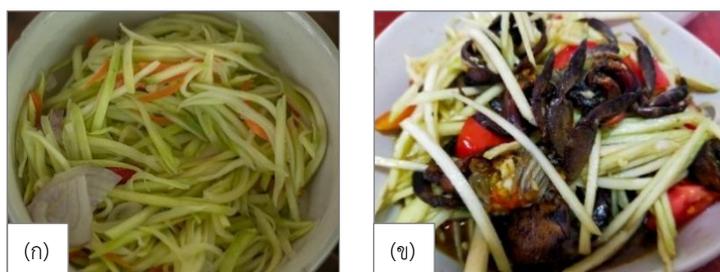
ผักประเภทลวกกะทิที่ใช้ผักพื้นถิ่นนั้นอาจเนื่องมาจากในพื้นที่ไม่มีผักพื้นถิ่นที่เหมาะสมในการนำมาแปรรูปด้วยการลวกกะทิ และผักพื้นถิ่นบางประเภทเหมาะสมที่จะนำไปแปรรูปด้วยวิธีการแบบอื่นมากกว่า (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ตัวอย่างผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภทลวกหรือต้มด้วยกะทิ เช่น ผักรวมลวกกะทิ (ก) สีสหาย ลวกกะทิ (ฤดูฝน) (ข) และสีสหายลวกกะทิ (ฤดูร้อน) (ค)

### 1.3 ผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภทยำ

ลักษณะของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภทยำในกรรมวิธีการผลิตแบบพื้นถิ่นภาคใต้ คือ นิยมใช้ผักหรือผลไม้ที่มีรสชาติเปรี้ยวอยู่แล้วมาเป็นส่วนผสมหลักที่ให้รสเปรี้ยวโดยไม่ต้องใช้ความเปรี้ยวจากน้ำมะนาว คณะผู้วิจัยพบว่าในพื้นที่ที่มีการนำมะม่วงเบาซึ่งเป็นมะม่วงที่มีขนาดเล็ก รสชาติเปรี้ยวจัด มาแปรรูปเป็นยำมะม่วงเบา และยำปูเปี้ยวหรือปูเค็มใส่มะม่วงเบา โดยพบมากในช่วงฤดูร้อนเนื่องจากเป็นช่วงที่มีมะม่วงเบาออกมาเป็นจำนวนมากและเป็นช่วงที่ชาวบ้านในพื้นที่มีการตองปูเปี้ยวหรือปูเค็มกันแทบทุกครัวเรือน ซึ่งโดยปกติแล้วในสำหรับชนมเงินภาคใต้บางพื้นที่ก็จะมี การนำเอามะม่วงเบาซอยบาง ๆ มาจัดเป็นผักเหนาะอยู่แล้ว แต่อาจจะไม่มีความโดดเด่นหรือความน่าสนใจให้กับชุดผักเหนาะในสำหรับชนมเงินมากนัก ประกอบกับในพื้นที่ที่มีการตองปูเค็มกันอย่างแพร่หลายอยู่แล้วจึงนำเอาอาหารพื้นถิ่นสองประเภทนี้มาแปรรูปเพื่อเพิ่มรสชาติและความน่าสนใจให้กับสำหรับชนมเงินในพื้นที่มากขึ้น (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ตัวอย่างผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภทยำ เช่น ยำมะม่วงเบา (ก) และยำมะม่วงปูเปี้ยว (ปูเค็ม) (ข)

โดยสรุป คือ ในพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล ของจังหวัดนครศรีธรรมราชนั้น มีผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปทั้งประเภทดองสามารถ ลวกกะทิ และยำ แตกต่างกันไปตามแต่ละพื้นที่ โดยจะเห็นได้ว่าทั้ง 4 พื้นที่ที่มีการนำผักสดมาแปรรูปด้วยวิธีการดองสามารถ โดยใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคชนมเงินใน 4 พื้นที่นี้มีความนิยมบริโภคผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภทดองสามารถมากกว่าประเภทอื่น ๆ ส่วนการแปรรูปผักเหนาะพื้นถิ่นด้วยการลวกหรือต้มกะทิที่โดดเด่นนั้นปรากฏอยู่ในสำหรับผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปของพื้นที่เล ในขณะที่การแปรรูปผักเหนาะพื้นถิ่นด้วยการยำที่มีความโดดเด่น ปรากฏอยู่ในสำหรับผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปของพื้นที่นา อาจเนื่องด้วยความพร้อมในด้านวัตถุดิบและภูมิปัญญาของคนในพื้นที่ (ตารางที่ 1)

**ตารางที่ 1** ชนิดและความหลากหลายของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปตามบริบทพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล จังหวัดนครศรีธรรมราช

ประเภทของ ผักเหนาะพื้นถิ่น แปรรูป	บริบทพื้นที่			
	พื้นที่เขา	พื้นที่ป่า	พื้นที่นา	พื้นที่เล
ประเภทดอง สามารถ	แตงกวาดอง มะละกอดอง ผักกาดดอง สะตอดอง ลูกประดอง	แตงกวาดอง มะละกอดอง ผักกาดดอง	แตงกวาดอง มะละกอดอง หยวกกล้วยดอง มะม่วงดอง ลูกจากดอง	แตงกวาดอง มะละกอ ดอง ผักเสี้ยนดอง
ประเภทลวกหรือ ต้มด้วยกะทิ	กะหล่ำปลีผสม ผักกาดขาวลวกกะทิ	ผักบุ้งผสมกะหล่ำปลี ลวกกะทิ	ผักรวมลวกกะทิ	สี่สหาย ลวกกะทิ
ประเภทยำ	-	-	ยำมะม่วงเบา ยำมะม่วงปูเปี้ยว (ปูเค็ม)	-

ที่มา: จากการสังเคราะห์ข้อมูลแบบสัมภาษณ์ เก็บข้อมูลในช่วงกันยายน พ.ศ. 2565 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2566

## 2. การศึกษาข้อมูลด้านโภชนาการ ปริมาณวิตามินและเกลือแร่สำคัญของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปตามบริบทพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล จังหวัดนครศรีธรรมราช

การศึกษาคคุณค่าโภชนาการ ปริมาณวิตามินและเกลือแร่สำคัญของผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภทต่าง ๆ จากพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล โดยใช้ตัวอย่างผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่มีความโดดเด่นแตกต่างจากพื้นที่อื่น ๆ และเป็นผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่ผ่านการแปรรูปด้วย พบว่าปริมาณพลังงานและสารอาหารในผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปจากแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน ผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่ให้พลังงานทั้งหมด ปริมาณโปรตีนและไขมันสูงสุด คือ ลูกประดอง ( $136.56 \pm 0.15$   $5.90 \pm 0.01$  และ  $8.24 \pm 0.05$  กรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม (g/100 g edible) ตามลำดับ) ในขณะที่ผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่ให้พลังงานทั้งหมด ปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยที่สุด แต่มีปริมาณใยอาหารสูงสุด คือ

ผักเสี้ยนดอง ( $16.77 \pm 0.01$   $2.76 \pm 0.00$  และ  $10.47 \pm 0.04$  กรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ตามลำดับ) และไม่พบปริมาณน้ำตาลเลย ( $0.00 \pm 0.00$  กรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม) ส่วนผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลสูงที่สุด คือ ลูกจากดอง ( $19.97 \pm 0.02$  และ  $15.09 \pm 0.04$  กรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ตามลำดับ) ในขณะที่ผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่มีปริมาณโปรตีนต่ำสุดคือ หยวกกล้วยดอง ( $0.18 \pm 0.00$  กรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม) ปริมาณไขมันและใยอาหารต่ำสุดคือ มะม่วงดอง ( $0.10 \pm 0.00$  และ  $0.40 \pm 0.00$  กรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ตามลำดับ) ดังตารางที่ 2

ปริมาณเกลือแร่ที่พบในผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปจากแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน โดยผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่มีปริมาณโซเดียม แคลเซียม สังกะสี และแมกนีเซียมสูงที่สุด คือ ลูกประดอง ( $1,256.70 \pm 0.57$   $200.00 \pm 0.03$   $2.08 \pm 0.00$  และ  $200.00 \pm 0.21$  มิลลิกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม (mg/100 g edible) ตามลำดับ) ส่วนปริมาณโซเดียมต่ำที่สุด พบในแตงกวาดอง ( $110.50 \pm 0.01$  มิลลิกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม) ปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุด พบในลูกจากดอง ( $124.00 \pm 0.04$  มิลลิกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม) ปริมาณเหล็กสูงที่สุด พบในหยวกกล้วยดอง ( $4.30 \pm 0.05$  มิลลิกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม) ส่วนปริมาณโพแทสเซียมสูงที่สุด พบในสีสหยวกกะทิ ( $507.00 \pm 0.54$  มิลลิกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม) ส่วนผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่ไม่พบโพแทสเซียมเลย คือ หยวกกล้วยดอง ลูกจากดอง มะม่วงดอง ยำมะม่วงปูเปี้ยว และผักเสี้ยนดอง ดังตารางที่ 3

ปริมาณวิตามินที่พบในผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปจากแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน ผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด คือ ยำมะม่วงปูเปี้ยว ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับในยำมะม่วงดอง ( $2,758.00 \pm 1.59$  และ  $2,676.00 \pm 1.78$  ไมโครกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ( $\mu\text{g}/100 \text{ g edible}$ ) ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบว่าในผักเสี้ยนดอง สะตอดอง และหยวกกล้วยดอง ก็มีปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ค่อนข้างสูงเช่นกัน ( $1,218.00 \pm 1.24$   $474.00 \pm 0.47$  และ  $412.00 \pm 0.28$  ไมโครกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ตามลำดับ) และยิ่งสอดคล้องกับปริมาณวิตามินเอซึ่งพบว่า มีปริมาณสูงในยำมะม่วงปูเปี้ยว ยำมะม่วงดอง และสะตอดอง ( $230.00 \pm 0.17$   $223.00 \pm 0.06$  และ  $200.00 \pm 0.45$  ไมโครกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ตามลำดับ) ในขณะที่วิตามินพบมากในหยวกกล้วยดอง สะตอดอง ยำมะม่วงปูเปี้ยว (ปูเค็ม) และผักเสี้ยนดอง ( $46.55 \pm 0.02$   $32.70 \pm 0.05$   $32.50 \pm 0.02$  และ  $32.40 \pm 0.01$  ไมโครกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ตามลำดับ) ส่วนวิตามินอีพบเพียงแคในลูกประดองและสีสหยวกกะทิเท่านั้น ( $10.75 \pm 0.05$  และ  $1.25 \pm 0.01$  ไมโครกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ตามลำดับ) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 2 ปริมาณพลังงาน และสารอาหารให้พลังงานในผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปจากพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล จังหวัดนครศรีธรรมราช

พื้นที่	ผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูป	พลังงาน* (กิโลแคลอรีต่อ ส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม)	ปริมาณสารอาหาร* (กรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม)				
			คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ไขมัน	ใยอาหาร	น้ำตาล
เขา	สะตอดอง	59.02±0.01 <sup>cd</sup>	7.71±0.02 <sup>c</sup>	4.03±0.01 <sup>c</sup>	1.34±0.00 <sup>ab</sup>	2.05±0.00 <sup>b</sup>	0.51±0.00 <sup>ab</sup>
	ลูกประดอง	136.56±0.15 <sup>f</sup>	9.70±0.02 <sup>cd</sup>	5.90±0.01 <sup>d</sup>	8.24±0.05 <sup>d</sup>	9.20±0.02 <sup>f</sup>	0.47±0.00 <sup>ab</sup>
	กะหล่ำปลีผสมผักกาดขาวลวกกะทิ	41.84±0.01 <sup>c</sup>	4.82±0.00 <sup>b</sup>	1.05±0.00 <sup>ab</sup>	2.04±0.01 <sup>b</sup>	1.84±0.00 <sup>b</sup>	2.04±0.00 <sup>bc</sup>
ป่า	มะละกอดอง	49.60±0.05 <sup>c</sup>	11.36±0.03 <sup>d</sup>	0.35±0.00 <sup>a</sup>	0.23±0.00 <sup>a</sup>	4.60±0.03 <sup>d</sup>	2.56±0.01 <sup>bc</sup>
	แตงกวาดอง	46.55±0.04 <sup>c</sup>	10.82±0.03 <sup>d</sup>	0.57±0.00 <sup>a</sup>	0.11±0.00 <sup>a</sup>	1.60±0.00 <sup>b</sup>	9.74±0.04 <sup>e</sup>
	ผักบุ้งผสมกะหล่ำปลีลวกกะทิ	84.34±0.13 <sup>e</sup>	8.56±0.01 <sup>cd</sup>	0.47±0.00 <sup>a</sup>	3.58±0.01 <sup>c</sup>	4.23±0.04 <sup>d</sup>	3.55±0.01 <sup>c</sup>
นา	หยวกกล้วยดอง	54.16±0.03 <sup>cd</sup>	13.00±0.04 <sup>de</sup>	0.18±0.00 <sup>a</sup>	0.16±0.00 <sup>a</sup>	4.92±0.02 <sup>d</sup>	11.20±0.03 <sup>f</sup>
	มะม่วงดอง	48.90±0.07 <sup>c</sup>	11.40±0.02 <sup>d</sup>	0.60±0.00 <sup>a</sup>	0.10±0.00 <sup>a</sup>	0.40±0.00 <sup>a</sup>	5.60±0.03 <sup>d</sup>
	ลูกจากดอง	85.79±0.07 <sup>e</sup>	19.97±0.02 <sup>e</sup>	1.05±0.00 <sup>ab</sup>	0.19±0.00 <sup>a</sup>	3.90±0.02 <sup>c</sup>	15.09±0.04 <sup>g</sup>
	ผักรวมลวกกะทิ	76.19±0.11 <sup>de</sup>	9.02±0.01 <sup>cd</sup>	0.78±0.00 <sup>ab</sup>	4.11±0.03 <sup>c</sup>	5.60±0.02 <sup>e</sup>	2.24±0.02 <sup>bc</sup>
	ยำมะม่วงปูเปี้ยว (ปูเค็ม)	54.90±0.05 <sup>cd</sup>	11.20±0.03 <sup>d</sup>	1.40±0.00 <sup>b</sup>	0.50±0.00 <sup>a</sup>	0.60±0.00 <sup>a</sup>	0.80±0.00 <sup>ab</sup>
เล	ผักเสี้ยนดอง	16.77±0.01 <sup>a</sup>	2.76±0.00 <sup>a</sup>	0.87±0.00 <sup>ab</sup>	0.25±0.00 <sup>a</sup>	10.47±0.04 <sup>g</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	สีสหาลวกกะทิ	81.84±0.06 <sup>c</sup>	4.82±0.00 <sup>b</sup>	1.05±0.00 <sup>ab</sup>	2.04±0.00 <sup>b</sup>	1.84±0.01 <sup>b</sup>	2.04±0.00 <sup>bc</sup>

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

- \* ปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน สำหรับคนไทย อายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป โดยกำหนดให้ค่าความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 300 กรัมต่อวัน โปรตีน 50 กรัมต่อวัน ไขมันทั้งหมด 65 กรัมต่อวัน ใยอาหาร 25 กรัมต่อวัน และน้ำตาลไม่เกินร้อยละ 10 ของพลังงานทั้งหมด หรือคิดเป็น 24 กรัมต่อวัน (สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2563)

ตารางที่ 3 ปริมาณเกลือแร่ในผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปจากพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล จังหวัดนครศรีธรรมราช

พื้นที่	ผักเหนาะ แปรรูป	ปริมาณเกลือแร่ (มิลลิกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม)						
		โซเดียม	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	เหล็ก	สังกะสี	แมกนีเซียม
เขา	สะตอดอง	1102.40±0.25 <sup>e</sup>	76.00±0.02 <sup>e</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	376.00±0.14 <sup>e</sup>	3.40±0.01 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	ลูกประดอง	1256.70±0.57 <sup>e</sup>	200.00±0.03 <sup>g</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	500.00±0.51 <sup>f</sup>	4.20±0.02 <sup>e</sup>	2.08±0.00 <sup>c</sup>	200.00±0.21 <sup>e</sup>
	กะหล่ำปลีผสมผักกาดขาวลวกกะทิ	145.60±0.15 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	180.00±0.21 <sup>c</sup>	0.42±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	60.00±0.06 <sup>c</sup>
ป่า	มะละกอดอง	115.70±0.11 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	60.00±0.06 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	45.00±0.04 <sup>c</sup>
	แตงกวาดอง	110.50±0.01 <sup>a</sup>	16.00±0.03 <sup>c</sup>	24.00±0.09 <sup>bc</sup>	147.00±0.17 <sup>c</sup>	0.28±0.00 <sup>b</sup>	0.20±0.00 <sup>b</sup>	13.00±0.07 <sup>b</sup>
	ผักบุ้งผสมกะหล่ำปลีลวกกะทิ	128.60±0.05 <sup>ab</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	240.00±0.14 <sup>d</sup>	0.12±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	52.00±0.04 <sup>c</sup>
นา	หยวกกล้วยดอง	113.60±0.09 <sup>a</sup>	22.00±0.02 <sup>c</sup>	47.00±0.06 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	4.30±0.05 <sup>e</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	มะม่วงดอง	145.20±0.07 <sup>b</sup>	5.40±0.00 <sup>b</sup>	15.00±0.07 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.40±0.05 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	ลูกจากดอง	157.30±0.05 <sup>b</sup>	44.00±0.03 <sup>d</sup>	124.00±0.04 <sup>g</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	ผักรวมลวกกะทิ	134.40±0.02 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	220.00±0.15 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00	130.00±0.14 <sup>d</sup>
	ยำมะม่วงปูเปี้ยว (ปูเค็ม)	165.10±0.09 <sup>b</sup>	3.50±0.01 <sup>b</sup>	21.00±0.06 <sup>bc</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	1.20±0.05 <sup>bc</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
เล	ผักเสี้ยนดอง	829.40±0.06 <sup>d</sup>	152.00±0.24 <sup>f</sup>	107.00±0.01 <sup>f</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	2.30±0.01 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	สี่สหายลวกกะทิ	134.40±0.01 <sup>b</sup>	18.70±0.01 <sup>c</sup>	72.00±0.07 <sup>e</sup>	507.00±0.54 <sup>f</sup>	0.82±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	130.00±0.16 <sup>d</sup>

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

- \* ปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน สำหรับคนไทย อายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป โดยกำหนดให้ค่าความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย โซเดียมไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อวัน แคลเซียมไม่เกิน 800 มิลลิกรัมต่อวัน ฟอสฟอรัสไม่เกิน 800 มิลลิกรัมต่อวัน โพแทสเซียมไม่เกิน 3,500 มิลลิกรัมต่อวัน เหล็กไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อวัน สังกะสีไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อวัน และแมกนีเซียมไม่เกิน 350 มิลลิกรัมต่อวัน

ตารางที่ 4 ปริมาณวิตามินในผักเหาะพื้นถิ่นแปรรูปจากพื้นที่เขา-ป่า-นา-เล จังหวัดนครศรีธรรมราช

พื้นที่	ผักเหาะพื้นถิ่นแปรรูป	ปริมาณวิตามิน*** (ไมโครกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม)			
		เบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม)	วิตามินเอ* (ไมโครกรัมของเรตินอล)	วิตามินซี** (มิลลิกรัมของกรดแอสคอร์บิก)	วิตามินอี (มิลลิกรัม แอลฟา-โทโคเฟอรอล)
เขา	สะตอดอง	474.00±0.47 <sup>e</sup>	200.00±0.45 <sup>d</sup>	32.70±0.05 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	ลูกประดอง	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	10.75±0.05 <sup>c</sup>
	กะหล่ำปลีผสมผักกาดขาวลวกกะทิ	145.00±0.24 <sup>c</sup>	54.00±0.04 <sup>b</sup>	1.65±0.06 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
ป่า	มะละกอดอง	204.00±0.27 <sup>d</sup>	46.50±0.01 <sup>b</sup>	1.20±0.01 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	แตงกวาดอง	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	2.80±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	ผักบุ้งผสมกะหล่ำปลีลวกกะทิ	124.00±0.16 <sup>c</sup>	60.00±0.07 <sup>b</sup>	1.74±0.01 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
นา	หยวกกล้วยดอง	412.00±0.28 <sup>e</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	46.55±0.02 <sup>e</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	มะม่วงดอง	2676.00±1.78 <sup>g</sup>	223.00±0.06 <sup>d</sup>	25.50±0.01 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	ลูกจากดอง	10.00±0.01 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	10.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	ผักรวมลวกกะทิ	246.00±0.77 <sup>d</sup>	125.00±0.24 <sup>c</sup>	2.59±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	ยำมะม่วงปูเปี้ยว (ปูเค็ม)	2758.00±1.59 <sup>g</sup>	230.00±0.17 <sup>d</sup>	32.50±0.02 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
เล	ผักเสี้ยนดอง	1218.00±1.24 <sup>f</sup>	102.00±0.11 <sup>c</sup>	32.40±0.01 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
	สีสหายลวกกะทิ	246.00±0.75 <sup>d</sup>	125.00±0.15 <sup>c</sup>	2.59±0.00 <sup>b</sup>	1.25±0.01 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในระดับเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

- \* ปริมาณวิตามินเอ รายงานผลในหน่วยของไมโครกรัมของเรตินอล ( $\mu\text{g RE}$ , retinol)

- \*\* ปริมาณวิตามินซี รายงานผลในหน่วยของมิลลิกรัมของกรดแอสคอร์บิก (mg ascorbic)

- \*\*\* ปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน สำหรับคนไทย อายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป โดยกำหนดให้ค่าความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย วิตามินเอ 800 ไมโครกรัมของเรตินอล และวิตามินซี 60 มิลลิกรัม

## การอภิปรายผลการวิจัย

คุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณวิตามินและเกลือแร่สำคัญที่ปรากฏในผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปจาก 4 พื้นที่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในแต่ละพื้นที่เป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีการเพาะปลูกแตกต่างกัน รวมถึงสภาพอากาศ สารอาหารที่ได้รับก็อาจส่งผลทำให้ปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ในวัตถุดิบต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของนันทวัน และคณะ (2560) ที่ระบุว่าปริมาณวิตามินในผักผลไม้จากแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันซึ่งอาจเป็นผลมาจากลักษณะภูมิประเทศในการปลูก วิธีการเก็บผักหรือผลไม้ วิธีในการขนส่ง อายุ การเก็บรักษา ฤดูกาลที่ปลูกและเก็บเกี่ยว และสายพันธุ์ (Singh *et al.*, 2007; Ramful *et al.*, 2011; Spínola *et al.*, 2013) จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าในผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภททองสามารถ ลวกกะทิและยำมีปริมาณสารอาหาร วิตามิน และเกลือแร่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ในผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภททองสามารถส่วนใหญ่แล้วมีปริมาณน้ำตาลและโซเดียมสูง โดยเฉพาะในหยวกกล้วยทองที่มีปริมาณน้ำตาลสูงที่สุดเมื่อเทียบกับผักเหนาะพื้นถิ่นชนิดอื่นที่ผ่านการแปรรูปประเภททองสามารถ ส่วนสะตอทองและลูกประดองพบว่ามีปริมาณโซเดียมสูงกว่าผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภทอื่น ๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของนฤมล และคณะ (2563) ที่พบว่าในลูกประดองมีปริมาณโซเดียมสูงถึง 340 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (คิดเป็นร้อยละ 17 ของปริมาณที่แนะนำให้บริโภค (%RDA)) แสดงให้เห็นว่าการบริโภคผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปประเภททองเหล่านี้เป็นประจำและการบริโภคในปริมาณที่มากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดภาวะผิดปกติของร่างกายได้ เช่น น้ำตาลในเลือดสูง เบาหวาน ความดันโลหิตสูง หรือภาวะไตทำงานผิดปกติ เป็นต้น ส่วนในลูกประดองซึ่งยังคงมีปริมาณไขมัน เหล็ก แคลเซียม โพแทสเซียม สังกะสี แมกนีเซียม และวิตามินอีในปริมาณที่สูงกว่าผักเหนาะพื้นถิ่นประเภทอื่น ๆ

เมื่อพิจารณาในส่วนของผักที่นิยมนำมาแปรรูปประเภททองสามารถมักเป็นผักที่ไม่สามารถบริโภคแบบสดได้หรือหากบริโภคแบบสดอาจจะมีข้อจำกัดเฉพาะในผู้บริโภคบางกลุ่ม หรือเป็นพืชผักที่หาได้ง่ายในพื้นที่และไม่นิยมนำไปแปรรูปเป็นอาหารประเภทอื่นมากนัก เช่น สะตอ ผักเสี้ยน หยวกกล้วย ผลจากอ่อน เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของจารุวรรณ (2543) ที่ระบุว่าพืชผักที่ชาวบ้านนิยมนำมาทำการหมักดองนั้นส่วนใหญ่แล้วจะเป็นพืชท้องถิ่นที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปและสามารถนำมาแปรรูปเพื่อรับประทานได้ตลอดทั้งปี แต่จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารในผักพื้นถิ่นแปรรูปประเภททองหลายชนิด (ตารางที่ 2 และ 3) มีปริมาณน้ำตาลและโซเดียมที่ค่อนข้างสูง เช่น แดงกวาดอง ลูกจากดอง ลูกประดอง และสะตอทอง เป็นต้น แต่ผักดองเหล่านี้ก็ยังเป็นที่นิยมในกลุ่มผู้บริโภคที่ชื่นชอบอาหารภาคใต้รวมถึงชนมจีน เนื่องจากรสชาติเปรี้ยวหวานของผักดองเหล่านี้ช่วยให้เจริญอาหาร ทำให้รับประทานอาหารได้ร่อยขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของชุตินุช และไวภูณัฐ (2556) ที่กล่าวว่าอาหารหมักดองเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดหนึ่งที่มีจุลินทรีย์เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งปฏิกิริยาการหมักดองจะทำให้อาหารเปลี่ยนไปทั้งด้านเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ รสชาติ และกลิ่นรสของอาหาร

## สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้พบว่าผักพื้นถิ่นแปรรูป (ผักเหนาะ) ในจังหวัดนครศรีธรรมราช แบ่งตามบริบทพื้นที่ คือ พื้นที่ภูเขา ป่าไม้ ทุ่งนา และทะเล พบว่ามีวิธีการแปรรูปทั้งสิ้น 3 วิธีการ คือ การดองสามารถการลวกด้วยกะทิ และการยำ ซึ่งผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่มีความคล้ายคลึงกันและพบได้ทั้ง 4 พื้นที่ คือ แตงกวาดอง มะละกอดอง และผักลวกกะทิ ซึ่งมักเป็นผักบุง กะหล่ำปลี หรือผักที่ได้จากในพื้นที่นั้น ๆ เช่น ผักกูด หน่อไม้ เป็นต้น ส่วนผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่โดดเด่นของแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันประกอบด้วย พื้นที่เขา คือ ลูกประดอง และสะตอดอง พื้นที่ป่า คือ ผักบุงผสมหอยกกล้วยลวกกะทิ และแตงกวาดองอากาศ พื้นที่นา คือ หอยกกล้วยดอง ลูกจากดอง มะม่วงดอง ยำมะม่วงเบา และยำมะม่วงปูเปี้ยวหรือปูเค็ม ส่วนพื้นที่เล คือ ผักเสี้ยนดอง และสี่สหายลวกกะทิ แสดงให้เห็นว่าผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปจากแต่ละพื้นที่ของจังหวัดนครศรีธรรมราชนั้นมีความแตกต่างกันและมีเอกลักษณ์ที่น่าสนใจในทั้ง 4 พื้นที่ ทั้งในแง่มูลค่าทางโภชนาการและภูมิปัญญาพื้นถิ่นที่ใช้ในการแปรรูปวัตถุดิบเหล่านี้ ซึ่งหากสามารถส่งเสริมและกระตุ้นให้มีการบริโภคผักเหนาะเหล่านี้ได้มากขึ้นในวงกว้างก็ทำให้อาหารพื้นถิ่นของชาวจังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นที่รู้จักมากยิ่งขึ้นและส่งผลดีต่อทั้งในด้านการต่อยอดองค์ความรู้ด้านอาหาร วัฒนธรรมท้องถิ่น การท่องเที่ยว รวมถึงกระตุ้นเศรษฐกิจของจังหวัดนครศรีธรรมราชได้อีกด้วย

## ข้อเสนอแนะ

ควรมีการวิจัยเรื่องของการวิเคราะห์ถึงสารออกฤทธิ์ที่สำคัญต่อสุขภาพในผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปจากแต่ละพื้นที่ หรือ การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการ วิตามินและเกลือแร่ในผักเหนาะพื้นถิ่นแปรรูปที่คล้ายคลึงกันใน 4 พื้นที่ จังหวัดนครศรีธรรมราช

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยจากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565

## เอกสารอ้างอิง

- กามีละห์ ยะโกะ. (2566). ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในจังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 42(1), 93-103, doi: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.256643>.
- จารุวรรณ ธรรมวัตร. (2543). ภูมิปัญญาอีสาน. *โครงการตำรา. คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*.
- ชุตินุช สุจริต และไวภูณัฐ ฤทธิธูม. (2556). การผลิตกึ่งสัมประจุในภาชนะปิดที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน. *รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*.
- นฤมล มีบุญ เยาวมาลย์ เขียวสะอาด สมพร เรืองอ่อน สมรักษ์ รอดเจริญ และสิริลักษณ์ สินธุพาชี. (2568). การประเมินความหลากหลาย ปริมาณสารอาหาร และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในเมนูขนมจีนเมืองนครศรีธรรมราช ประเทศไทย. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 44(2), 102-120, doi: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2025.v44i2.264856>.

- นฤมล มีบุญ วันดี แก้วสุวรรณ อุษา น้อยจันทร์ ฐิรารัตน์ แก้วจางง และจีราภรณ์ สังข์ฟูต. (2563). การพัฒนากระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกประ กรณีสีกษา: ผลิตภัณฑ์ลูกประตอง และลูกประตอต. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
- นันทวัน เอื้อวงศ์กุล ชนาพร รัตนมาลี และศักดา ดาดวง. (2560). การวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้พื้นบ้าน จังหวัดนครพนม. *วารสารมหาวิทยาลัยสวนดุสิต*, 10(1), 153-169.
- นุจรินทร์ ศิริวาลัย. (2551). การหาปริมาณธาตุอาหารบางชนิดในผักพื้นบ้าน จังหวัดสกลนคร. ใน *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46 (สาขาวิทยาศาสตร์)* (หน้า 624-630). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มยุร หล้าสุบ. (2553). การหาปริมาณเหล็กในผักพื้นบ้านภาคใต้บางชนิดโดยวิธีเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เคมี). มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, นครศรีธรรมราช.
- ลลิตา ธีระสิริ. (2545). ผักพื้นบ้านคุณค่าธรรมชาติของผักไทย. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: พร้อมพรรณ.
- วาริชัย พิมพ์บุตร. (2554). ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในใบอ่อนของผักพื้นบ้าน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตพืช). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- วิชุดา เกตุใหม่ ทิพย์ทิวา สัมพันธ์มิตร และนันทิดา สุธรรมวงศ์. (2553). คุณค่าทางโภชนาการและสมบัติต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้าน 4 ชนิด ที่คัดเลือกได้จากอำเภองงหรา จังหวัดพัทลุง. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 13(3), 133-140.
- สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2561). *ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย*. กรุงเทพฯ: สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.
- สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2563). *ตารางปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2563*. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ.วี. โปรเกรสซิฟ.
- อชิรญา คำจันทร์ศุภสิน จุรีภรณ์ นวนมุสิก วราศรี แสงกระจ่าง และวันดี แก้วสุวรรณ. (2556). ความหลากหลายและการใช้ประโยชน์ทางอาหารของพืชผักท้องถิ่นในพื้นที่ตำบลกรุงชิง อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 34(2), 52-63.
- อ้อมใจ วงษ์มณฑา. (2547). ธรรมชาติบำบัด. *วารสารภูมิแล*, 25(1), 52-57.
- AOAC International. (2000). *Official methods of analysis*. (17<sup>th</sup> ed). Maryland: The Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC International. (2016). *Official methods of analysis*. (20<sup>th</sup> ed). Washington DC: The Association of Official Analytical Chemists.
- Bogdanov, S. (2010). Nutritional and functional properties of honey. *Voprosy Pitaniia*, 79(6), 4-13.

- Kongkachuichai, R., Charoensiri, R., Yakoh, K., Kringkasemee, A. and Insung, P. (2015). Nutrients value and antioxidant content of indigenous vegetables from Southern Thailand. *Food Chemistry*, 173, 838-846, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.123>.
- Panpipat, W., Suttirak, W. and Chaijan, M. (2010). Free radical scavenging activity and reducing capacity of five Southern Thai indigenous vegetable extracts. *Walailak Journal of Science and Technology*, 7(1), 51-60.
- Ramful, D., Tarnus, E., Aruoma, O.I., Bourdon, E. and Bahorun, T. (2011). Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of *Mauritian citrus* fruit pulps. *Food Research International*, 44(7), 2088-2099, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.056>.
- Singh, J., Upadhyay, A.K., Prasad, K., Bahadur, A. and Rai, M. (2007). Variability of carotenes, vitamin C, E and phenolics in brassica vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(2), 106-112, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.08.002>.
- Speek, A.J., Temalilwa, C.R. and Schrijver, J. (1986). Determination of  $\beta$ -carotene content and vitamin A activity of vegetables by high-performance liquid chromatography and spectrophotometry. *Food Chemistry*, 19(1), 65-74, doi: [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(86\)90128-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(86)90128-7).
- Spínola, V., Mendes, B., Câmara, J.S. and Castilho, P.C. (2013). Effect of time and temperature on vitamin C stability in horticultural extracts UHPLC-PDA vs iodometric titration as analytical methods. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 489-495, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.020>.

## Focal Mechanisms from Waveform Inversion and Multiple Velocity Models: Phayao Fault Zone, Northern Thailand

Kasemsak Saetang<sup>1</sup> and Helmut Duerrast<sup>1\*</sup>

### Abstract

Northern Thailand, situated within the complex Sunda Tectonic Plate, shows significant seismic activity due to its proximity to major tectonic boundaries; however, it often has lower to medium magnitudes. One of the delineated active fault zones is the Phayao Fault Zone (PFZ), which generated an  $M_w$  6.3 earthquake in 2014. Its further south located Pan Segment is also active, but with lower magnitudes. However, understanding and characterizing its seismicity is essential for ongoing seismic hazard assessment of the area. To overcome the challenges, waveform inversion techniques in combination with multiple velocity models were employed, with the aim to characterize the seismic source parameters of earthquakes in this area. Hypocentres were determined with exceptional precision and subsequently validated by applying a velocity model that demonstrated the highest double-couple percentage. This indicates the model's efficacy in precisely calculating hypocentral parameters in this specific geological context. Our findings unveil a complex interplay between right-lateral strike-slip and reverse faulting mechanisms, consistent with a transpressional tectonic regime in the Pan Segment. This regime reflects the accommodation of regional compressional stresses superimposed on the dominant strike-slip motion along the Phayao Fault Zone, thereby yielding a significant contribution to seismic hazard assessment in Northern Thailand. The study also underscores the need for further research to refine these models and methodologies, thereby enhancing our understanding of the seismic characteristics of earthquakes in such regions. Methodologies and insights gained here could serve as a model for characterizing seismic source parameters in other understudied low-seismicity regions globally.

**Keywords:** Focal mechanism, ISOLA, Velocity model, Waveform inversion, Hypocenter determination

---

<sup>1</sup> Division of Physical Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University

\* Corresponding author e-mail: helmut.j@psu.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajnstu.2026.v45i1.267341>

Received: 24 April 2025, Revised: 2 May 2025, Accepted: 6 May 2025

## Introduction

Located within the Sunda tectonic plate in Southeast Asia, Thailand demonstrates considerable seismic activity, as shown in Figure 1, which is partly attributed to the country's proximity to the Sunda Subduction Zone, a component of the globally recognized 'Ring of Fire', and partly related to active faults, which are the result of the India-Eurasian continent-continent collision. The latter ones are responsible for the seismicity in Thailand's western and northern regions. In terms of its tectonic setting, Thailand lies between the Shan-Thai Terrane (STT) to the west and the Indochina Terrane (ICT) to the east (Aihara *et al.*, 2007). During the uplift of the Himalayas during the Cenozoic era, Thailand experienced tectonic and geologic events that resulted in the development of diverse geological structures, as outlined by Morley *et al.* (2011), including the formation of the Khorat Plateau in northeastern Thailand. Additionally, regions such as the Andaman Sea (AS), Central Basin (CB), Gulf of Thailand (GOF), Peninsular Thailand (PT), and Western Thailand (WT) have also been influenced by these tectonic processes, leading to the creation of a variety of geological features, including active faults, and sedimentary deposits in extensional basin structures (Figure 1). A comprehensive understanding of these Cenozoic processes is crucial for unraveling the geological framework and evolutionary history of Thailand and its surrounding marine regions as it carries significant implications for geological hazards and natural resources, including substantial reserves of hydrocarbon and lignite, as well as mineral deposits (Morley *et al.*, 2011).

The structural geology of Thailand during the Cenozoic era is characterized by a combination of compression, strike-slip faulting, and folding, all of which can be attributed to the tectonic stresses within the region as a result of the Indian-Eurasian continent-continent collision (Morley *et al.*, 2011). Northern Thailand is characterized by mountain ranges and Tertiary basins formed by extensional escape tectonics (Uttamo, 2000). A variety of rock types can be found in the basins alongside younger sedimentary rocks (Department of Mineral Resources (DMR), 2007).

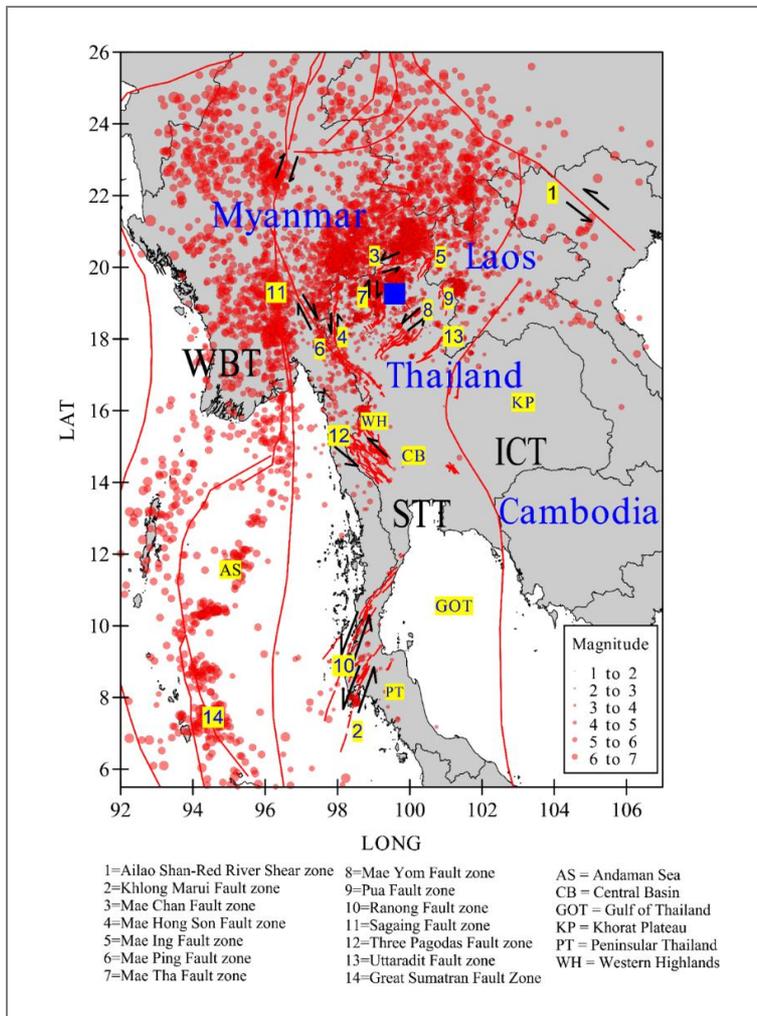
Regarding the seismicity of Thailand and surrounding areas, notable earthquakes include the  $M_w$  9.2 Sumatra-Andaman earthquake on December 26, 2004, which caused significant damage, tsunamis, and loss of lives across the country and the region. Further, a 6.3 magnitude earthquake occurred on May 5, 2014, located at the Phayao Fault Zone (PFZ), resulting in one fatality. However, after the  $M_w$  9.2 event, the Thai Meteorological Department (TMD) significantly improved Thailand's seismic monitoring network by increasing the number of seismic stations. These improvements have resulted in enhanced earthquake detection, more accurate location determination, ground-motion assessment, and a more comprehensive seismic hazard evaluation (Thai Meteorological

Department (TMD), 2014) TMD is the sole government agency responsible for continuous earthquake monitoring and reporting; however, the resulting data are frequently used for academic research (Noisagool *et al.*, 2014; Saetang and Duerrast, 2023).

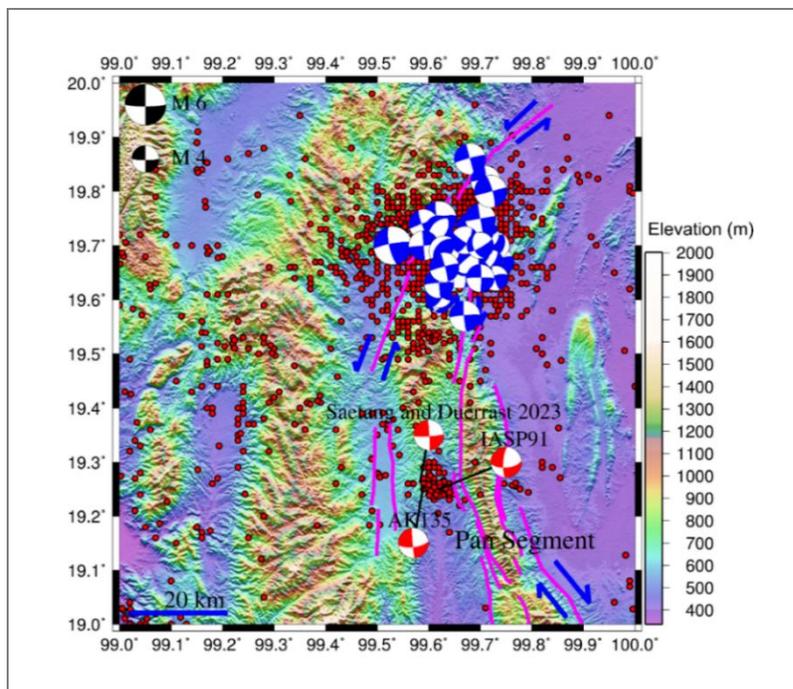
Seismological research in Thailand has significantly increased following the  $M_w$  9.2 Sumatra-Andaman earthquake, leading to a better understanding of Thailand's seismicity and seismic hazard. Noisagool *et al.* (2014) conducted a study investigating crustal thicknesses across Thailand, ranging from 28 to 42 km. Saetang (2022) published research work done on mantle anisotropy, presenting a two-layer model and concluding that the movement within the Shan-Thai Terrane is more complex than that within the West-Burma Terrane. Furthermore, Saetang *et al.* (2018) presented local earthquake tomography to explore geothermal sources and pathways beneath the crust of Northern Thailand. Recently, Saetang and Duerrast (2023) published a 1-D velocity model with station delays for northern Thailand, demonstrating significantly lower root-mean-square values of travel time residuals. They also demonstrated a clear relationship between station delays and near-surface geology. However, an understanding of Thailand's complex tectonic details is still required. While previous focal mechanism studies (Noisagool *et al.*, 2014; Pananont *et al.*, 2017; Saetang, 2017) concentrated on the Mae Lao Segment following the 2014  $M_w$  6.3 earthquake, the Pan Segment has remained largely uncharacterized in terms of its seismic source parameters. The 2019 earthquake sequence provides an opportunity to constrain the faulting style and tectonic regime of this southern segment, thereby extending our understanding of strain partitioning along the entire Phayao Fault Zone. Although seismic activity in Thailand is generally lower compared to surrounding countries such as Myanmar, it remains susceptible to earthquakes due to its proximity to major fault zones (see Figure 1 and 2). Several geological areas exhibit a relatively higher degree of seismicity, particularly in the northern and western regions adjacent to Myanmar and Laos.

This investigation is focusing on the Phayao Fault Zone (PFZ), which is divided into the Mae Lao Segment (MLS) in the north and the Pan Segment (PS) in the south, as delineated in Figure 2 (Boonchaisuk *et al.*, 2017), and which generated the  $M_w$  6.3 earthquake on 5 May 2014 in its northern section. Subsequent studies by Noisagool *et al.* (2014), Pananont *et al.* (2017), and Saetang (2017) used moment tensor solutions to estimate the geometry of this northern segment. They revealed main shock magnitudes between  $M_w$  6.2 and  $M_w$  6.5 and aftershock depths ranging from 10 to 15 km. The present study, however, is focusing on the Pan Segment in the southern part of the PFZ. The central question of this research is how waveform inversion techniques and multiple velocity models, including the recently developed Saetang and Duerrast (2023) model, can be effectively employed to characterize the seismic source parameters of

earthquakes in this specific region, ultimately improving seismic hazard assessment for Northern Thailand. In pursuit of this, we aim to determine the focal mechanism of the  $M_w$  4.9 earthquake reported by the Thai Meteorological Department (TMD) in February 2019. Moreover, the methodologies and insights gained here could serve as a model for characterizing seismic source parameters in other understudied seismicity regions globally.



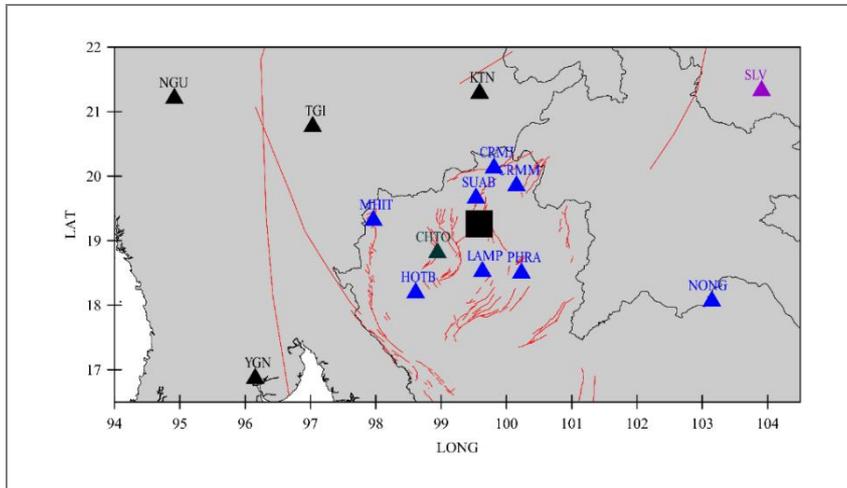
**Figure 1** General tectonic setting of Thailand and its surrounding areas. Red circles indicate 9,792 seismic events reported by the Thai Meteorological Department (TMD) from 2009 to 2022. Red lines represent surface fault lines, as identified by Department of Mineral Resources (DMR) (2007) and Morley *et al.* (2011). Blue square highlights the study area. WBT: West Burma (Myanmar) Terrane, ICT: Indochina Terrane, STT: Shan-Thai Terrane.



**Figure 2** Phayao Fault Zone and focal mechanisms. Pink lines show fault segments. Red dots indicate earthquake epicenters from TMD (2009-2022). Red beach balls at Pan Segment represent focal mechanisms based on velocity models used in our analysis. Blue beach balls at Mae Lao Segment are from Pananont *et al.* (2017).

### Research methods

For this study, we utilized seismic stations from four distinct networks, as depicted in Figure 3. These networks include the Global Seismograph Network (IU), the Myanmar National Seismic Network (MM), the Regional Integrated Multi-Hazard Early Warning System (RM), and the Thai Seismic Monitoring Network (TM). The integration of data from these multiple networks enhances the reliability and accuracy of the results. For the initial hypocenter determination, seven stations located within 200 km of the epicenter were selected, as this distance criterion ensured clear P- and S-wave first arrivals for accurate phase picking. For the waveform inversion, 10 stations from the four networks were utilized: SUAB, LAMP, CHTO, HOTB, KTN, NONG, TGI, YGN, SLV, and NGU (Figure 3). The inclusion of additional, more distant stations in the waveform inversion enhanced the azimuthal coverage and provided better constraints on the moment tensor solution. Data were downloaded through the Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) platform, whereas the Thai Meteorological Department (TMD) provided direct access to TM data.



**Figure 3** Distribution of seismic stations from four networks. Blue, green, black, and purple triangles illustrate stations from the TM, IU, MM, and RM networks, respectively. A black square indicates the study area. Red lines show fault lines.

Source: Department of Mineral Resources (DMR) (2007); Morley *et al.* (2011)

Identification of hypocentres, representing earthquake locations, was manually conducted by selecting initial P- and S-arrival times. Multiple velocity models were used in this process, including AK 135 (Kennett *et al.*, 1995), IASP91 (Kennett and Engdahl, 1991), and a minimum 1-D velocity model with station delays from Saetang and Duerrast (2023). A modified version of the HYPOCENTER software (Lienert *et al.*, 1986; Lienert and Havskov, 1995) with an earthquake location method that utilizes centered, scaled, and adaptively damped least squares, was used for hypocentral calculation, as incorporated by Seisan (Havskov and Ottemöller, 1999). Latitudes and longitudes obtained from HYPOCENTER were used and remained constant, whereas depths were systematically adjusted within the range of 0.5 to 35 km with increments of 0.5 km each, during the waveform inversion process.

In this research, we employed the ISOLA Fortran code (Sokos and Zahradnik, 2008) for focal mechanism analyses. This freely available software is based on the six-element moment tensor approach proposed by Kikuchi and Kanamori (1991) and the inverse problem formulations developed by Zahradnik and Plešinger (2005). Within this software, we utilized a single-point source solution and the deviatoric moment tensor (DMT) inversion technique. This technique requires two key components; a double-couple (DC), and a compensated linear vector dipole (CLVD), both with 0% volumetric coverage.

Due to the large-scale regions of hypocentral distances from stations, an automatic calculation of station weights was applied in the analysis using the ISOLA Fortran code (Sokos and Zahradnik, 2008). For the estimation of centroid depths, a 3D spatial grid search methodology was employed, and the Green's function was computed using a frequency-wavenumber method (Bouchon, 1981). The Green's function was calculated using the AK135, IASP91, and a specific 1D velocity model (Saetang and Duerrast, 2023) with a maximum frequency limit of 0.10 Hz. This frequency band (0.03-0.10 Hz) was selected because surface waves, which dominate seismograms at regional distances, carry the most information for moment tensor inversion in this frequency range. Furthermore, we determined the densities of the crustal layers using equation (1),

$$\text{Density (g/cm}^3\text{)} = 1.7 + 0.2 \times V_p \text{ (km/s)} \quad (1)$$

The data processing procedures employed in this study involved several steps to ensure accuracy and reliability of the results. Before initiating the inversion process for the DMT analysis, it was necessary to apply instrumental corrections. These corrections consisted of removing the direct current (DC) offset and long-term trends from the observed waveforms. To prepare the waveforms for subsequent analysis, both the synthetic and observed data were band-pass filtered. The selected frequency range for the filtering process was set between 0.03 Hz and 0.10 Hz. Frequencies below 0.03 Hz were not expected to contribute significantly due to the presence of long-period noise and the inherent frequency limitations of the seismometers used in this study. Conversely, frequencies above 0.10 Hz were previously tested and found to yield inconsistent results compared to the observed waveforms. This inconsistency may be attributed to the hypocentral distances, which were not adequately small. A more detailed investigation and expansion of the selected frequency ranges have been carried out, as discussed in the subsequent sections of the study, specifically in the results and discussion.

Following the band-pass filtering and instrument corrections, the seismic data were converted from count units to displacement units, expressed in meters. This conversion was crucial for ensuring the data's physical meaningfulness and interpretability. Subsequently, the corrected data were truncated to encompass a time span of 250 seconds, starting from the hypocentral time. This duration was carefully selected to encompass all earthquake events under investigation, enabling a comprehensive analysis of the seismic signals. To improve analysis and computational efficiency, the data were automatically resampled from the original frequency to 33 Hz. This ensured temporal resolution while reducing the computational load on high-frequency components. By rigorously processing the data through instrument corrections, band-

pass filtering, unit conversion, truncation, and resampling, the seismic data were effectively prepared for detailed analysis, enabling an investigation into the seismic characteristics and properties of the studied earthquakes.

The DMT inversion process played a pivotal role in this study, aiming to minimize the discrepancies between observed and synthetic data in terms of displacements. By adopting a least-squares approach, the inversion considered trial origin times and trial source positions meticulously. The primary objective was to identify the optimal depth and time that would best align the observed and synthetic data. This search for the optimum parameters was conducted by incrementally exploring predefined intervals. For depth determination, a systematic exploration was carried out by incrementing the depth values according to a parameter derived from the Green's function. Each increment provided an opportunity to evaluate how well the synthetic data matched the observed data at different depths.

For time determination, a range of time steps was examined, each corresponding to 0.2 seconds. This time range extended from 5.0 seconds before the hypocentral time calculated from HYPOCENTER to 5.0 seconds after it. The resulting optimum depth and optimum time, obtained through this exhaustive search process, were referred to as the centroid depth and centroid time, respectively. These parameters represented the best-fit values that minimized the discrepancies between the observed and synthetic data. The determination of the centroid depth and centroid time provided crucial insights into the seismic source characteristics and temporal evolution of the studied earthquakes.

The determination of the best centroid positions (epicenters and depths) and time, based on the correlation coefficient between the observed and synthetic waveforms, is achieved through a grid-search method. The correlation coefficient represents the match between the waveforms and is quantified by a variance reduction. The variance reduction (var.red.) is calculated using the following equation (2),

$$\text{var.red} = 1 - \frac{E}{O} \quad (2)$$

where  $E = \sum (O_i - S_i)^2$ ,  $O = \sum O_i^2$ ,  $S$  is synthesis, and  $O$  is original waveforms along with the summation of all collected data. A higher value of var.red. indicates a better fit between observed and synthesised waveforms.

Waveform inversion is an important technique used in focal mechanism studies to determine seismic source parameters, such as strike, dip, and rake angles. The inversion tries to minimize differences between observed and synthetic waveforms, providing valuable insights into faulting mechanisms. The process finds model parameters that best

match the observed data, including arrival times, amplitudes, and waveform shapes. Here, three-component waveform inversions were performed using an iterative deconvolution method (Kikuchi and Kanamori, 1991). A waveform inversion approach was adopted without separating body and surface waves. The waveform fit was optimized through a grid search over various trial positions. The grid-search method employed and determined the best centroid positions and time based on the correlation coefficient, aiming to fit between the observed and synthetic waveforms.

## Results and discussion

The Waveform inversion with multiple velocity models was selected to determine the focal mechanisms of earthquakes in the Pan Segment of the Phayao Fault Zone in Northern Thailand. Table 1 presents the calculated hypocenter parameters, including latitude, longitude, depth, and time of origin. Seven stations (CRMJ, CRMM, HOTB, LAMP, MHIT, PHRA, and SUAB) as illustrated in Figure 3. Each station was selected based on its hypocentral distance, ensuring that each station was situated within 200 km distance from the seismic events to ensure that arrival times could be determined from clear first breaks and arrivals, thus providing reliable and unambiguous data for waveform inversion analysis. The 200 km epicentral distance criterion was applied to ensure sufficient signal-to-noise ratio, and all available stations within this distance range were utilized. These stations provide azimuthal coverage from multiple directions relative to the epicenter (Figure 3). A seismic velocity model is essential to know for a region of interest, as it directly affects the accuracy of hypocentral determination. By comparing results obtained from multiple velocity models, a more comprehensive analysis and assessment of the uncertainties associated with hypocenter determination can be achieved.

The TMD (Thailand Meteorological Department) reported a seismic event in the Pan Segment of the Phayao Fault Zone that occurred on February 20, 2019, at 09:05:41 local time (UTC+07:00). The Saetang and Duerrast (2023) velocity model estimated the hypocenter at approximately 19.262° N and 99.583° E with a depth of 27.1 km. The AK135 model estimated the hypocenter at approximately 19.258° N and 99.590° E with a depth of 20.3 km. Further, the IASP91 model determined the hypocenter to be approximately 19.250° N and 99.620° E with a depth of 15.8 km.

To identify the most accurate velocity model for calculating hypocentral parameters within the Pan Segment, we conducted a comparative analysis. This involved evaluating various hypocentre results, which included the following parameters: latitude (LT), longitude (LN), depth (DP), and origin time. Additionally, we considered the error estimates (ER) for each parameter (ERLT, ERLN, and ERDP) as presented in Table 1.

Notably, the AK135 model exhibited a significantly higher error in depth (ERDP) at 46.6 km, suggesting less reliability in depth estimation compared to the Saetang and Duerrast (2023), and IASP91 models. Conversely, the IASP91 model yielded the lowest error estimates across all parameters, suggesting a potentially more reliable model for this specific region. Despite these observations, no single model emerged as the best for all parameters. Therefore, the determination of focal mechanisms for earthquakes within the Pan Segment, as presented in Table 2, required a careful discussion. This was particularly informed by waveform inversion results using various velocity models, whilst the error estimates from Table 1 provided additional context on the reliability and limitations of each model.

To summarize the results of the DMT inversion process using multiple velocity models, Table 2 presents an overview of the centroid depths and times for the analyzed earthquakes. The relatively low variance reduction values (0.13 to 0.37) are likely attributed to the limitations of 1-D velocity models in capturing three-dimensional crustal heterogeneities in this tectonically complex region, as well as the signal-to-noise ratio at the recording stations. This table includes event-specific details, such as velocity models, date and centroid time, latitude and longitude, centroid depth, moment magnitude ( $M_w$ ), strike, dip, and rake angles for two nodal planes, double couple percentage (DC%), and variance reduction (var.red.).

Applying the Saetang and Duerrast (2023) velocity model, the centroid coordinates were estimated at  $19.262^\circ$  N and  $99.583^\circ$  E with a centroid depth of 8 km. The moment magnitude was calculated as  $M_w$  4.4. The strike, dip, and rake angles for the first nodal plane were determined as  $356^\circ$ ,  $87^\circ$ , and  $173^\circ$ , respectively, while the second nodal plane exhibited strike, dip, and rake angles of  $087^\circ$ ,  $83^\circ$ , and  $003^\circ$ , respectively. The dip direction of the first nodal plane is  $086^\circ$  (eastward), which is consistent with the structural geology of the western Phayao Fault Zone characterized as a half-graben with an eastward dip direction. The DC% was determined to be 93.1, indicating a dominant doublecouple component, and the variance reduction was 0.13. Using the AK135 velocity model, the centroid coordinates were estimated at approximately  $19.258^\circ$  N and  $99.590^\circ$  E with a centroid depth of 6.5 km. The moment magnitude remained unchanged at  $M_w$  4.4. The strike, dip, and rake angles for the first nodal plane were determined as  $175^\circ$ ,  $86^\circ$ , and  $-158^\circ$ , respectively, while the second nodal plane exhibited strike, dip, and rake angles of  $084^\circ$ ,  $68^\circ$ , and  $-005^\circ$ , respectively. The DC% was calculated as 61.2, and the variance reduction was 0.18. Using the IASP91 velocity model, the centroid was determined to be approximately  $19.250^\circ$  N and  $99.620^\circ$  E, with a centroid depth of 5.5 km. The moment magnitude was slightly higher with  $M_w$  4.5. The strike, dip, and rake angles for the first nodal plane were computed as  $184^\circ$ ,  $75^\circ$ , and  $-149^\circ$ , respectively,

while the second nodal plane demonstrated strike, dip, and rake angles of  $086^\circ$ ,  $61^\circ$ , and  $-017^\circ$ , respectively. The DC% was evaluated as 50.7, and the variance reduction was 0.37.

As waveform inversion is used to determine the focal mechanisms of earthquakes in the Pan Segment of the Phayao Fault Zone, variance reduction serves as a key metric for evaluating the reliability of the results. A higher value of variance reduction suggests a better fit between observed and synthetic waveforms. This, in turn, increases confidence in the derived focal mechanisms. We used variance reduction as a quantitative measure to assess this fit. The IASP91 velocity model yielded the highest variance reduction, with a value of 0.37. It was followed by the AK135 model with 0.18 and the Saetang and Duerrast (2023) model with 0.13. Results are detailed in Table 2. A visual representation of the fit between observed and synthetic waveforms is shown in Figure 4. However, it is essential to note that variance reduction is not the only criterion for model selection. For a more nuanced understanding of the correlation between each model and seismic data across parameters such as time shift, depth, and focal mechanism, readers are referred to Figure 5, 6, and 7.

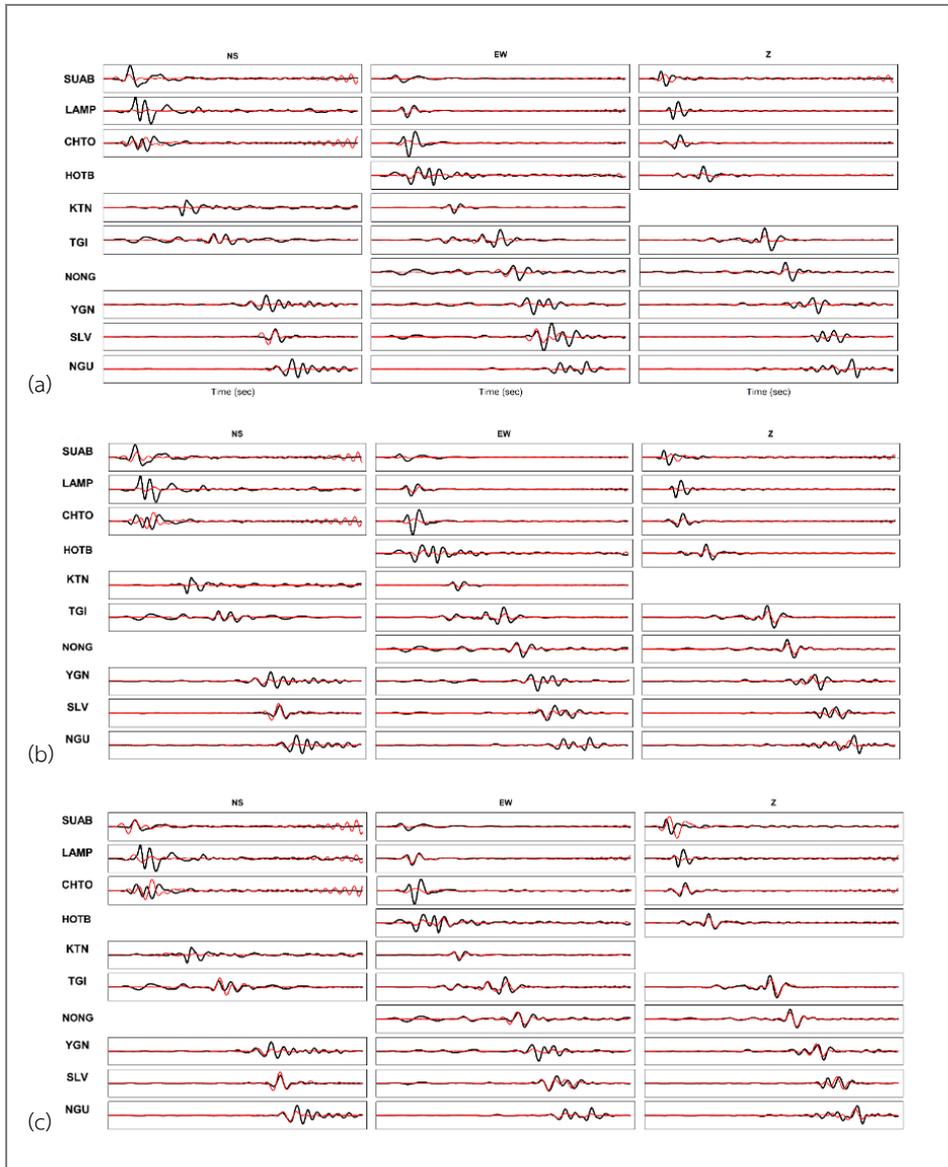
**Table 1** Hypocenters determined by the HYPOCENTER computer program using multiple velocity models.

Velocity model	Date (DD/MM/YYYY)	Local time (UTC+07:00)	Latitude (° N)	Longitude (° E)	Depth (km)	RMS (s)	ERLN (km)	ERLT (km)	ERDP (km)
Saetang and Duerrast, 2023	20/02/2019	09:05:39.49	19.262	99.583	27.1	0.38	2.5	1.2	6.6
AK135	20/02/2019	09:05:41.17	19.258	99.590	20.3	0.59	4.5	2.0	46.6
IASP91	20/02/2019	09:05:40.87	19.250	99.620	15.8	0.30	2.2	0.9	2.4

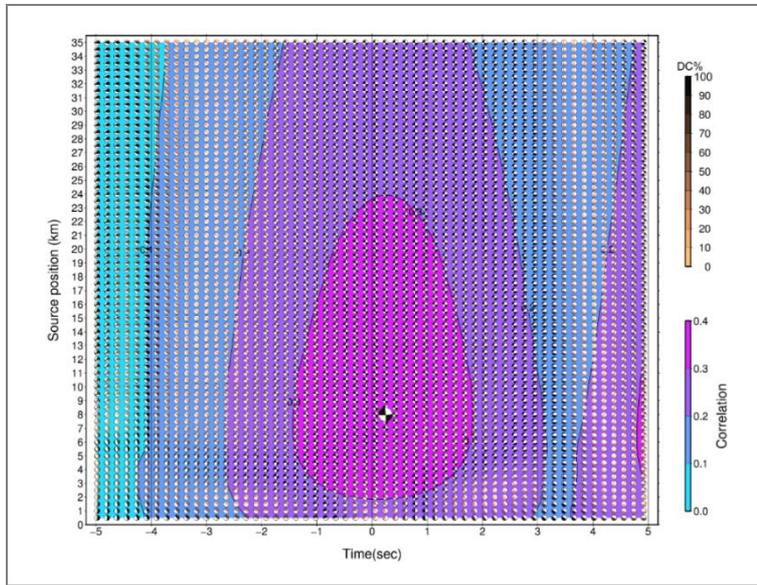
Note: - RMS = root mean square; ERLN = longitude error; ERLT = latitude error; and ERDP = depth error.

**Table 2** Results from the DMT inversion using multiple velocity models are illustrated in Figure 4.

Velocity model	Date (DD/MM/YYYY)	Centroid time (UTC+07:00)	Latitude (° N)	Longitude (° E)	Centroid Depth (km)	M <sub>w</sub>	Strike1	Dip1	Rake1	Strike2	Dip2	Rake2	DC%	Var.red.
Saetang and Duerrast, 2023	20/02/2019	09:05:39.73	19.262	99.583	8	4.4	356	87	173 right	87	83	3	93.1	0.13
AK135	20/02/2019	09:05:44.11	19.258	99.590	6.5	4.4	175	86	-158 right	84	68	-5	61.2	0.18
IASP91	20/02/2019	09:05:41.11	19.250	99.620	5.5	4.5	184	75	-149 right	86	61	-17	50.7	0.37

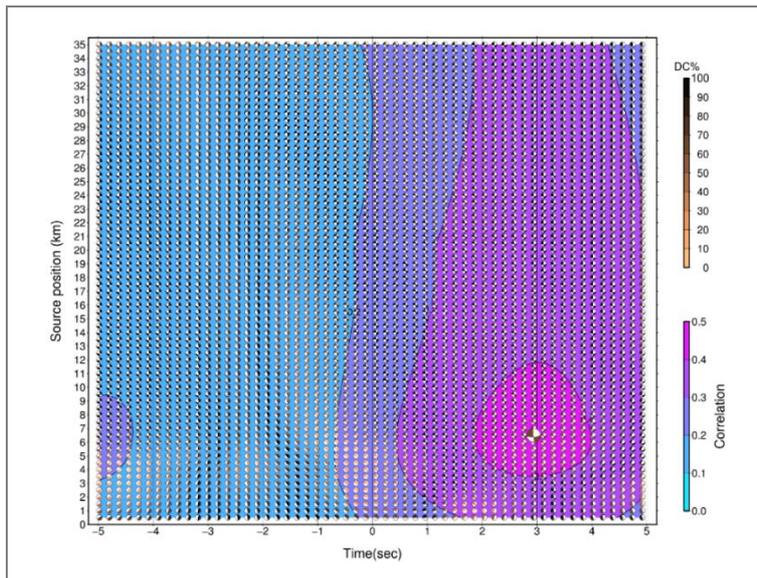


**Figure 4** Comparative analysis of waveform inversions using multiple velocity models: the Saetang and Duerrast (2023) velocity model (a), the AK135 model (b), and the IASP91 model (c).



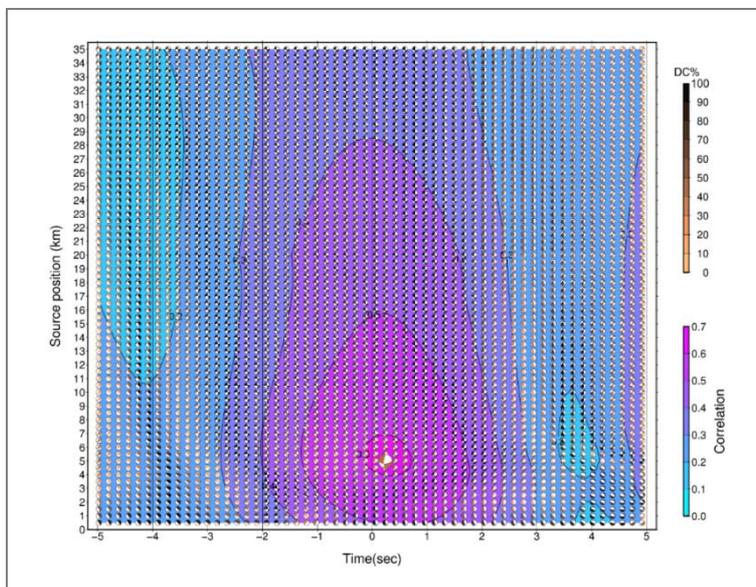
**Figure 5** Correlation versus time shift and depths for single-source inversion. Using the Saetang and Duerrast (2023) model. Higher correlation values indicate a more accurate fit between seismic data and model parameters, such as time shift and depth.

Source: Sokos and Zahradnik (2008)



**Figure 6** Correlation versus time shift and depths for single-source inversion using the AK135 model. Higher correlation values indicate a more accurate fit between seismic data and model parameters, such as time shift and depth.

Source: Sokos and Zahradnik (2008)



**Figure 7** Focal mechanism for single-source inversion using the IASP91 model. Higher correlation values indicate a more accurate fit between seismic data and model parameters, such as focal mechanism.

Source: Sokos and Zahradnik (2008)

Interestingly, the high variance reduction value for the IASP91 model aligns well with the geological features of the Pan Segment. This highlights the importance of integrating seismological and geological data for a more complete understanding of earthquake mechanisms. Geological consistency and double-couple percentages also play a significant role. For instance, the Saetang and Duerrast (2023) model has a relatively high DC% value of 93.1. While variance reduction is an important metric, not the sole criterion for model selection, these values come with limitations. A high value does not necessarily imply that the model is free from errors or uncertainties. Future studies could focus on a more in-depth uncertainty analysis to validate the robustness of the waveform inversion results. To determine the most suitable model for the Pan Segment region, it is essential to consider not only the variance reduction but also additional geological information, such as fault strike from geological maps.

Strike angles from the first nodal plane, obtained from all velocity models, consistently align with the fault line depicted in Figure 2, showing a clear north-south trending pattern. The strike angles from the second nodal plane across all velocity models do not exhibit a discernible relationship with geological or topographic maps. By comparing results obtained from multiple velocity models, the fault orientations illustrated in Figure 2 are considered. Fault orientations of the Pan Segment follow

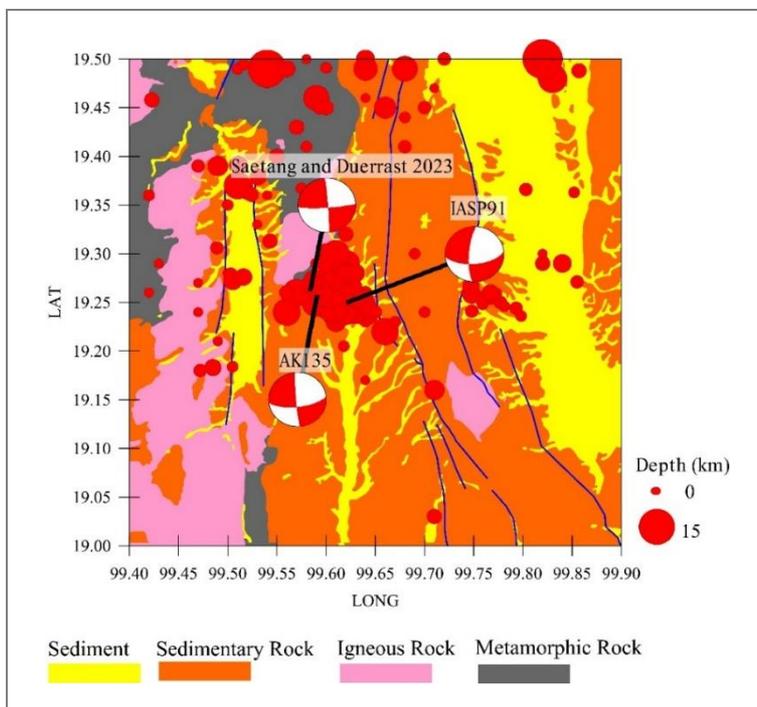
approximately a north-south trend, where the strike angle is assumed to be a value between 0 and 180 degrees. This emphasises again that integrating geological and seismological data into earthquake studies is essential, especially for identifying the correct nodal plane. Based on these findings, we interpreted and considered only the strike angles from the first nodal plane for determining the rake angle.

The rake angle characterizes the direction of movement of the hanging wall during fault rupture relative to the fault strike (-180 to 180 degrees). A rake angle of 0 degrees indicates left-lateral motion; while +/-180 degrees signify right-lateral motion. Positive rake angles involve upward movement (thrust/reverse fault), while negative angles indicate downward movement (normal fault) (Aki and Richards, 1980). Based on the focal mechanisms derived from the results presented in Table 2, it is evident that the earthquakes occurring in the Pan Segment of the Phayao Fault Zone in Northern Thailand predominantly exhibit right-lateral strike-slip motion. This conclusion is drawn from the consistent rake angles provided in the table for the first nodal planes across the three velocity models. In each case, the obtained rake angles are close to +/-180 degrees, confirming the predominant right-lateral strike-slip characteristic.

The double couple percentage (DC%) is an important parameter to assess the generality of pure shear motion during seismic events. A higher DC% indicates a dominant presence of strike-slip or dip-slip faulting, while a lower value suggests the involvement of non-pure shear components. Notably, the recent model presented by Saetang and Duerrast (2023) reveals a significantly higher DC% values of 93.1, contrasting with lower DC% values found in the other two velocity models, namely 61.2 for AK135, and 50.7 for IASP91. A complex rupture and normal faulting earthquake system may lead to lower DC% values (Zaccagnino and Doglioni, 2022). However, this explanation might not hold for the lower DC% values observed in AK135 and IASP91 compared to the model of Saetang and Duerrast (2023), as the same event within the same fault zone should yield similar DC% levels. Instead, Zahradnik and Sokos (2018) propose that a low DC% might indicate an issue with the velocity model. Consequently, it can be inferred that the velocity model published by Saetang and Duerrast (2023), based on localearthquake travel-time data in Northern Thailand, is better suited for focal mechanism analyses in the Pan Segment. Hence, the determination of the strike, dip, and rake angles for the first nodal plane of the event that occurred on 20 February 2019, in the Pan Segment of the Phayao Fault Zone with values of 356°, 87°, and 173°, respectively, is considered reasonable and very likely.

The local velocity model (Saetang and Duerrast, 2023) yielded the highest double-couple percentage. This result is consistent with the understanding that non-double-couple components can arise as artifacts when the velocity model does not

accurately represent the Earth's structure. The local model, derived from earthquake data in Northern Thailand, better captures regional crustal characteristics, resulting in more accurate Green's functions and focal mechanisms with higher double-couple components.



**Figure 8** Hypocenter locations and focal mechanisms of the February 20, 2019 earthquake sequence in the Pan Segment of the Phayao Fault Zone, Northern Thailand. Locations were determined using the Saetang and Duerrast (2023), AK135, and IASP91 models. Seismic events from the TMD catalog (2009–2022) are denoted by circles, with circle diameter scaled proportionally to hypocenter depth (larger circles indicate deeper events; see legend inset). Beach ball diagrams represent the faulting mechanisms derived for each velocity model. The color-coded background illustrates the regional geological framework, comprising sedimentary, igneous, and metamorphic lithological units.

Figure 8 presents a comprehensive synthesis of the hypocenter locations and focal mechanisms derived for the 20 February 2019 earthquake sequence in the Pan Segment of the Phayao Fault Zone, Northern Thailand. Red circles indicate events reported by the Thai Meteorological Department (TMD), with the size of each circle proportional to the hypocenter depth. This depth-dependent scaling provides a clear

visualization of the spatial distribution and depth variation of the seismic events. Notably, the highest seismicity area, as indicated by the concentration of red circles, coincides with the epicentral locations determined by the Saetang and Duerrast (2023), AK135 (Kennett *et al.*, 1995), and IASP91 (Kennett and Engdahl, 1991) velocity models for the February 20, 2019 earthquake. This convergence of seismicity and the epicentral locations derived from multiple velocity models underscores the significance of this area as a focal point of seismic activity within the Pan Segment.

The focal mechanisms, represented by beach ball diagrams, illustrate the predominance of strike-slip faulting mechanisms derived from each velocity model. The consistency of these mechanisms across different models offers crucial insights into the orientation and sense of motion of the fault planes responsible for the earthquakes, reinforcing the reliability of the derived fault plane solutions. The strike-slip mechanisms indicate lateral motion along the fault, suggesting a dominant role of shear stress in the tectonic setting of the Pan Segment.

The color-coded background of Figure 8 represents the regional geological framework, encompassing sedimentary, igneous, and metamorphic lithological units. The integration of geological context with seismological data enables a comprehensive understanding of the relationships among earthquake locations, fault mechanisms, and the underlying lithology. The spatial distribution of the hypocenters reveals a clustering of seismic events within the Pan Segment, particularly in the area of highest seismicity, indicating the active nature of this fault zone. The depth distribution of the hypocenters, as evidenced by the varying sizes of the red circles, suggests that the earthquakes occurred at different depths within the crust, which may be attributed to the complex interplay of tectonic stresses and the presence of multiple fault segments or splays within the Pan Segment (Boonchaisuk *et al.*, 2017; Department of Mineral Resources (DMR), 2007).

The integration of the geological framework in Figure 8 enables a more comprehensive interpretation of seismicity in the Pan Segment. The presence of different lithological units, such as sedimentary, igneous, and metamorphic rocks, may influence the propagation of seismic waves and the distribution of crustal stress (Saetang *et al.*, 2017; Saetang and Duerrast, 2023). The alignment of the hypocenters with specific geological features, such as fault boundaries or lithological contacts, can provide insights into the structural controls on the earthquake locations and mechanisms.

Figure 8 provides a detailed and integrated analysis of the hypocenter locations and focal mechanisms of the 20 February 2019 earthquake sequence in the Pan Segment of the Phayao Fault Zone. The coincidence of the highest seismicity area with the epicentral locations determined by multiple velocity models underscores the

robustness of the seismological analysis. It highlights the significance of this area in understanding the tectonic setting and seismic hazard of the region. The predominance of strike-slip faulting mechanisms derived from different velocity models reinforces the reliability of the fault plane solutions. It provides a consistent picture of the tectonic regime in the Pan Segment. The combination of seismological data and geological context provides a comprehensive framework for unravelling the complex nature of the fault zone and the potential influence of lithological heterogeneity on the seismicity. This integrated approach serves as a valuable tool for seismic hazard assessment and further research in the Pan Segment and similar tectonic environments.

## Conclusion

In this study, we have gained invaluable insights into the focal mechanisms of the Pan Segment of the Phayao Fault Zone in Northern Thailand. Utilizing waveform inversion techniques, we employed multiple velocity models, including Saetang and Duerrast (2023), AK135, and IASP91, to analyse seismic data from four different networks. Our comprehensive analysis revealed a complex interplay of strike-slip and reverse faulting, with a dominant mechanism of right-lateral strike-slip faulting. This finding is particularly significant for seismic hazard assessment in the region. The study also highlighted the importance of variance reduction in validating the reliability of our models. Furthermore, the results presented here are consistent with the fault geometry and orientation of the Pan Segment. Among the models used, the Saetang and Duerrast (2023) model yielded the highest double-couple percentage (DC%), suggesting its potential accuracy for calculating hypocentral parameters in this specific context. This is the first study to employ the Saetang and Duerrast (2023) model for this particular geological setting, offering a new benchmark for future research. Our findings also introduce a novel perspective on the interplay among faulting mechanisms, which has not been reported previously for the Pan Segment. Specifically, the coexistence of right-lateral strike-slip and reverse faulting components indicates that the Pan Segment is subjected to a transpressional stress regime, wherein both horizontal shear and compressional stresses are simultaneously active across the fault zone. These advancements have critical implications for seismic hazard assessment and model validation, setting the stage for future research not only in this area but also in other similar regions worldwide. Further, the findings underscore the need for additional research to fine-tune the models and methodologies used here.

## Acknowledgements

The authors extend their sincere gratitude to the Thailand Meteorological Department (TMD) and the Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) for providing seismic data. Special thanks to Patinya Pornsopin for his outstanding technical support in the TM network, which greatly facilitated this study.

## References

- Aihara, K., Takemoto, K., Zaman, H., Inokuchi, H., Miura, D., Surinkum, A., Paiyaron, A., Phajuy, B., Chantraprasert, S., Panjasawatwong, Y., Wongpornchai, P. and Otofujii, Y. (2007). Internal deformation of the Shan-Thai block inferred from paleomagnetism of Jurassic sedimentary rocks in Northern Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(3-4), 530-541, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2007.01.002>.
- Aki, K. and Richards, P.G. (1980). *Quantitative seismology: Theory and methods, volumes I and II*. San Francisco: W.H. Freeman and Co.
- Boonchaisuk, S., Noisagool, S., Amatyakul, P., Rung-Arunwan, T., Vachiratienchai, C. and Siripunvaraporn, W. (2017). 3-D magnetotelluric imaging of the Phayao Fault Zone, Northern Thailand: Evidence for saline fluid in the source region of the 2014 Chiang Rai earthquake. *Journal of Asian Earth Sciences*, 147, 210-221, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.07.034>.
- Bouchon, M. (1981). A simple method to calculate green's functions for elastic layered media. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71(4), 959-971, doi: <https://doi.org/10.1785/BSSA0710040959>.
- Department of Mineral Resources (DMR). (2007). *Geological map of Thailand (scale 1:1,000,000)*. Bangkok: Department of Mineral Resources.
- Havskov, J. and Ottemöller, L. (1999). SeisAn earthquake analysis software. *Seismological Research Letters*, 70(5), 532-534, doi: <https://doi.org/10.1785/gssrl.70.5.532>.
- Kennett, B.L.N. and Engdahl, E.R. (1991). Traveltimes for global earthquake location and phase identification. *Geophysical Journal International*, 105(2), 429-465, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1991.tb06724.x>.
- Kennett, B.L.N., Engdahl, E.R. and Buland, R. (1995). Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes. *Geophysical Journal International*, 122(1), 108-124, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1995.tb03540.x>.
- Kikuchi, M. and Kanamori, H. (1991). Inversion of complex body waves-III. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 81(6), 2335-2350, doi: <https://doi.org/10.1785/BSSA0810062335>.

- Lienert, B.R. and Havskov, J. (1995). A computer program for locating earthquakes both locally and globally. *Seismological Research Letters*, 66(5), 26-36, doi: <https://doi.org/10.1785/gssrl.66.5.26>.
- Lienert, B.R., Berg, E. and Frazer, L.N. (1986). Hypocenter: An earthquake-location method using centered, scaled, and adaptively damped least squares. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 76(3), 771-783, doi: <https://doi.org/10.1785/BSSA0760030771>.
- Morley, C.K., Charusiri, P. and Watkinson, I.M. (2011). Structural geology of Thailand during the Cenozoic. In Ridd, M.F., Barber, A.J. and Crow, M.J. (Eds.). *The geology of Thailand*, pp. 273-334. London: Geological Society of London.
- Noisagool, S., Boonchaisuk, S., Pornsopin, P. and Siripunvaraporn, W. (2014). Thailand's crustal properties from teleseismic receiver-function studies. *Tectonophysics*, 632, 64-75, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.06.014>.
- Pananont, P., Herman, M.W., Pornsopin, P., Furlong, K.P., Habangkaem, S., Waldhauser, F., Wongwai, W., Limpisawad, S., Warnitchai, P., Kosuwan, S. and Wechbunthung, B. (2017). Seismotectonics of the 2014 Chiang Rai, Thailand, earthquake sequence. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(8), 6367-6388, doi: <https://doi.org/10.1002/2017JB014085>.
- Saetang, K. (2017). Focal mechanisms of Mw 6.3 aftershocks from waveform inversions, Phayao Fault Zone, Northern Thailand. *International Journal of Geophysics*, 2017, 9059825, doi: <https://doi.org/10.1155/2017/9059825>.
- Saetang, K. (2022). Two-layer model of anisotropy beneath Myanmar and Thailand revealed by shear-wave splitting. *Annals of Geophysics*, 65(6), SE213, doi: <https://doi.org/10.4401/ag-8769>.
- Saetang, K. and Duerrast, H. (2023). A minimum 1-D velocity model of Northern Thailand. *Journal of Seismology*, 27, 493-504, doi: <https://doi.org/10.1007/s10950-023-10148-6>.
- Saetang, K., Srisawat, W. and Duerrast, H. (2018). Crustal structures, geothermal sources and pathways beneath Northern Thailand revealed by local earthquake tomography. *Chiang Mai Journal of Science*, 45(1), 565-575.
- Sokos, E.N. and Zahradnik, J. (2008). ISOLA a Fortran code and a MATLAB GUI to perform multiple-point-source inversion of seismic data. *Computers and Geosciences*, 34(8), 967-977, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.005>.
- Thai Meteorological Department (TMD). (2014). *Chiang Rai earthquake report, 5 May 2014 (18:08 LST)*. Retrieved 15 May 2014, from: <https://earthquake.tmd.go.th/documents/file/seismo-doc-1404703458.pdf>.

- Uttamo, W. (2000). *Structural and sedimentological evolution of Tertiary sedimentary basins in Northern Thailand*. Ph.D. thesis in Geology. Royal Holloway, University of London, Egham.
- Zaccagnino, D. and Doglioni, C. (2022). The impact of faulting complexity and type on earthquake rupture dynamics. *Communications Earth and Environment*, 3, 258, doi: <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00593-5>.
- Zahradník, J. and Plešinger, A. (2005). Long-period pulses in broadband records of near earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(5), 1928-1939, doi: <https://doi.org/10.1785/0120040210>.
- Zahradník, J. and Sokos, E. (2018). ISOLA code for multiple-point-source modeling: Review. In D'Amico, S. (Ed.). *Moment tensor solutions: A useful tool for seismotectonics*, pp. 1-28. Berlin: Springer.

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับบทความสำหรับผู้พิมพ์  
เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช (Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University: Wichcha J NSTRU) จัดทำขึ้นเพื่อเป็นสื่อกลางในการตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัย (research article) และบทความวิชาการ (academic article) ของคณาจารย์ บุคลากร นักศึกษา ภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยฯ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะรับตีพิมพ์เผยแพร่บทความในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบด้วย ด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งมีกลุ่มเป้าหมายคือ คณาจารย์ นักศึกษา และนักวิจัยทั้งในและนอกสถาบัน ทั้งนี้วารสารมีกำหนดตีพิมพ์เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับละ 10 บทความ) คือ ฉบับที่ 1 ในเดือนมกราคม - มิถุนายน และฉบับที่ 2 ในเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม โดยไม่มีค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์ในทุกกระบวนการ

บทความทุกบทความที่ได้รับการพิจารณาลงตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช “ต้องไม่เคยได้รับการตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการเสนอเพื่อพิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารฉบับอื่น” พร้อมทั้งได้รับการพิจารณาจากผู้ประเมินอิสระ (peer review) จากหลากหลายสถาบันที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง อย่างน้อย 3 ท่าน ในรูปแบบผู้ประเมินอิสระและผู้แต่งไม่ทราบชื่อซึ่งกันและกัน (double-blind review) และได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ ทั้งนี้ บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไขคำ สำนวน รูปแบบการอ้างอิง รูปแบบการนำเสนอ และอื่น ๆ (ซึ่งไม่เกี่ยวกับเนื้อหาหรือสาระสำคัญ) ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร และผู้เขียนต้องรับผิดชอบในเนื้อหาของบทความ โดยกองบรรณาธิการวารสารวิชา และมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ไม่จำเป็นต้องรับผิดชอบใด ๆ

การเตรียมต้นฉบับบทความ

1. ต้นฉบับบทความ

- พิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้
- ต้นฉบับบทความที่ตีพิมพ์ภาษาไทย: การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์และการเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ควรหลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีคำแปลหรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนปนภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ
- ต้นฉบับบทความที่ตีพิมพ์ภาษาอังกฤษ: ไม่ต้องมีบทคัดย่อภาษาไทย (แต่บทความที่ตีพิมพ์ภาษาไทย หรือภาษาอื่น ๆ ต้องมีบทคัดย่อภาษาอังกฤษด้วย) และควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาเป็นเบื้องต้นก่อน

## 2. รายละเอียดตัวอักษรและรูปแบบการพิมพ์

- จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word ขนาดของต้นฉบับใช้กระดาษขนาด Executive (18.41 × 26.67 เซนติเมตร)
- ตั้งค่าน้ำกระดาษสำหรับการพิมพ์
 

ด้านบน 2.5 เซนติเมตร	ด้านล่าง 2.5 เซนติเมตร
ด้านซ้าย 2.3 เซนติเมตร	ด้านขวา 2.5 เซนติเมตร
- พิมพ์คอลัมน์เดียวกระจายเต็มบรรทัด
- ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดตัวอักษร 15

## 3. ส่วนประกอบในบทความ

**3.1 บทความวิจัย (research article)** เป็นบทความที่เป็นผลงานต่อเนื่อง สกัดมาจากงานวิจัยที่เสร็จสมบูรณ์แล้วซึ่งผู้เขียนได้ดำเนินการด้วยตนเอง ประมวลสรุปกระบวนการวิจัยให้มีความกระชับและสั้น

### 3.1.1 ส่วนประกอบตอนต้น

➤ ชื่อเรื่อง (title) ควรสั้น กระชับ ไม่ยาวจนเกินไป ให้เขียนชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษในบรรทัดถัดไป

➤ ชื่อผู้เขียนบทความ (authors and co-authors) ให้ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะอักษรตัวแรกของชื่อตัวและนามสกุล ถ้ามีผู้วิจัยหลายคนให้ใส่ลำดับเลข พร้อมระบุที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ และชื่อหน่วยงานของผู้วิจัยที่ส่วนล่างของหน้าแรก และให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (\*) ที่ตำแหน่งผู้ประสานงานหลัก (corresponding author) พร้อมทั้งระบุอีเมลสำหรับติดต่อ (e-mail: address)

➤ บทคัดย่อ (abstract) ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกินอย่างละ 300 คำ บทคัดย่อที่เขียนควรสั้น ตรงประเด็น และให้สาระสำคัญเท่านั้น โดยเรียงลำดับบทคัดย่อภาษาไทยก่อนตามด้วยบทคัดย่อภาษาอังกฤษ (*ต้นฉบับบทความที่ดีพิมพ์ภาษาอังกฤษไม่ต้องมีบทคัดย่อภาษาไทย*)

➤ คำสำคัญ (keywords) ให้ใช้คำที่ปรากฏอยู่ในเนื้อเรื่องซึ่งเป็นตัวแทนบอกวิธีการวิจัย ประเด็นที่วิจัย ผลการวิจัย การใช้ประโยชน์หรือสถานที่ที่ทำการวิจัย คำสำคัญนี้ให้เขียนทั้งในภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ในตอนท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาอย่างละไม่เกิน 5 คำ

### 3.1.2 เนื้อหาในบทความวิจัย ให้มีองค์ประกอบดังนี้

➤ บทนำ (introduction) อธิบายถึงที่มา ความสำคัญของปัญหา และเหตุผลที่นำไปสู่การศึกษาวิจัย ให้ข้อมูลทางวิชาการที่มีการตรวจเอกสาร (literature review) โดยระบุถึงแหล่งที่มาของข้อมูล (อ้างอิง) และจุดมุ่งหมายที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งวัตถุประสงค์ของการวิจัย

➤ วิธีดำเนินการวิจัย (research methods) อธิบายกระบวนการดำเนินการวิจัย โดยบอกรายละเอียดวัสดุ วิธีการศึกษา สิ่งที่น่าสนใจ จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา ตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษา อธิบายแบบแผนการวิจัย การสุ่มตัวอย่าง วิธีการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

➤ ผลการวิจัย (results) รายงานผลการวิจัยให้ได้ใจความชัดเจนและตรงประเด็นโดยยึดแนวทางตามวัตถุประสงค์เป็นหลัก ควรอธิบายผลการวิจัยด้วยคำบรรยายเป็นหลัก แต่ถ้ามีตัวเลขหรือตัวแปรมากควรนำเสนอเป็นภาพและตาราง แทรกในเนื้อหา พร้อมอธิบายผลการวิจัยให้ได้สาระครบถ้วน

➤ การอภิปรายผลการวิจัย (discussion) เป็นการชี้แจงผลการวิจัยว่าตรงกับวัตถุประสงค์หรือสมมติฐานของการวิจัย สอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลการวิจัยของผู้อื่นที่มีอยู่ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

*ทั้งนี้หัวข้อ ผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย (results and discussion) อาจรวมเป็นหัวข้อเดียวกันก็ได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำเสนอเนื้อหา*

➤ สรุปผลการวิจัย (conclusion) สรุปผลการวิจัยให้ได้ใจความชัดเจนและตรงประเด็น

➤ ข้อเสนอแนะ (suggestion) (ถ้ามี)

➤ กิตติกรรมประกาศ (acknowledgements) ให้ระบุว่างานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนหรือความช่วยเหลือจากองค์กรใด และบุคคลใดบ้าง

➤ เอกสารอ้างอิง (references) ให้ระบุเฉพาะเอกสารที่ผู้เขียนบทความได้นำมาอ้างอิงในบทความวิจัยอย่างครบถ้วน โดยระบุรายละเอียดและใช้รูปแบบการเขียนที่ถูกต้องครบถ้วน (ตามข้อ 4) จัดเรียงลำดับตามตัวอักษร โดยเรียงเอกสารภาษาไทยก่อนและตามด้วยเอกสารภาษาอังกฤษ

**3.2 บทความทางวิชาการ (academic article)** เป็นบทความที่ผู้เขียนได้เรียบเรียงโดยศึกษาค้นคว้าจากเอกสาร งานแปล และผลงานจากประสบการณ์ของผู้เขียนหรือได้รับการถ่ายทอดจากผู้อื่น มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ องค์ความรู้ การเสนอความคิดเห็นที่มีคุณค่าและเป็นประโยชน์ทางวิชาการของสาขาต่าง ๆ

### 3.2.1 ส่วนประกอบตอนต้น

➤ ชื่อเรื่อง (title) ควรสั้นกะทัดรัด ไม่ยาวจนเกินไป ให้เขียนชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษในบรรทัดถัดไป

➤ ชื่อผู้เขียน (authors and co-authors) ให้ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะอักษรตัวแรกของชื่อตัวและนามสกุล ถ้ามีผู้วิจัยหลายคนให้ใส่ลำดับเลข พร้อมระบุที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ และชื่อหน่วยงานของผู้วิจัยที่ส่วนล่างของหน้าแรก และให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (\*) ที่ตำแหน่งผู้ประสานงานหลัก (corresponding author) พร้อมทั้งระบุอีเมลล์สำหรับติดต่อ (e-mail: address)

➤ สารสังเขป (summary) เป็นการย่อเนื้อความของบทความทั้งเรื่องให้สั้นได้เนื้อหาสาระครบถ้วน

➤ คำสำคัญ (keywords) ให้ใช้คำที่ปรากฏอยู่ในเนื้อเรื่องซึ่งเป็นตัวแทนบอกวิธีการ สิ่งที่ศึกษา ผลการศึกษา สาขา การใช้ประโยชน์และสถานที่ คำสำคัญให้เขียนทั้งคำสำคัญภาษาไทย และภาษาอังกฤษแต่ละชุดไม่เกิน 5 คำ

### 3.2.2 เนื้อหา (main text) ในบทความทางวิชาการมีองค์ประกอบดังนี้

➤ บทนำ (introduction) กล่าวถึงความน่าสนใจของเรื่องที่น่าเสนอก่อนเข้าสู่เนื้อหา

➤ เนื้อความ (content) ควรนำเสนอพัฒนาการของเรื่องได้อย่างน่าสนใจ และเนื้อเรื่องมีเนื้อหาใหม่เหมาะสมกับสภาพปัจจุบัน

➤ สรุป (conclusion) เป็นการย่อเฉพาะข้อมูลจากเนื้อความให้สั้นได้เนื้อหาสาระของเนื้อความครบถ้วน

➤ เอกสารอ้างอิง (references) ให้ระบุเฉพาะเอกสารที่ผู้เขียนบทความได้นำมาอ้างอิงในบทความวิชาการอย่างครบถ้วนรูปแบบของการเขียนเอกสารอ้างอิงให้จัดทำตามที่ระบุไว้ในข้อ 4 (เอกสารอ้างอิง)

**3.3 ตารางและภาพประกอบ** ให้จัดแทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็นเท่านั้น โดยเนื้อหาและคำอธิบายในตารางและภาพสามารถใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น

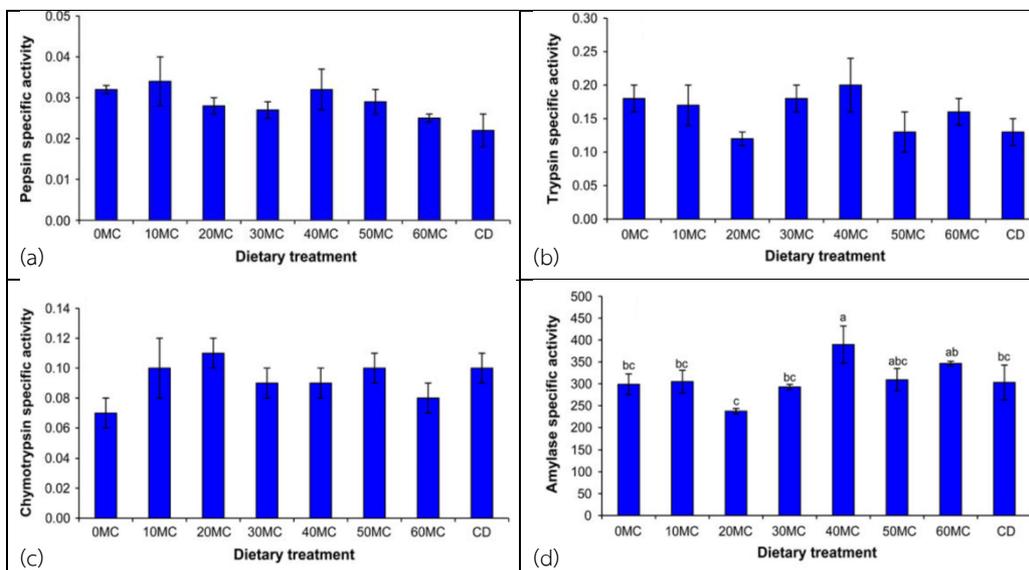
- ตาราง เมื่อวางรูปตารางข้อมูลเรียบร้อยแล้วต้อง “กำกับ” ไว้ที่ด้านบนของตารางด้วยข้อความที่เป็น “ตารางที่... (เว้น 1 บรรทัด และตามด้วยชื่อตารางหรือคำอธิบายสั้น ๆ)” ส่วน “ที่มา” ของตาราง (ถ้ามี) ให้อยู่ด้านล่างของตาราง “ที่มา: ... (เว้น 1 บรรทัดและตามด้วยอ้างอิง” (ชื่อ, ปี) ดังตัวอย่าง

#### ตารางที่ 1 จำนวนฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง และความเร็รรอบของจานโซ่

จานโซ่	จำนวนฟัน	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความเร็รรอบ (รอบต่อนาที)
ตัวที่ 1 ติดกับมอเตอร์	20	59	600
ตัวที่ 2 รับกำลังจากมอเตอร์	14	70	700
ตัวที่ 3 ต่อจากมอเตอร์	30	85	800

ที่มา: จารุณี (2559)

- ภาพประกอบ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ เป็นภาพที่ใช้ประกอบเนื้อหา เมื่อจัดภาพเสร็จแล้วต้อง “กำกับ” ไว้ที่ได้ภาพด้วยข้อความที่เป็น “ภาพที่.. (เว้น 1 บรรทัด และตามด้วยชื่อภาพหรือคำอธิบายภาพประกอบสั้น ๆ) และบรรทัดที่ถัดลงมาคือ “ที่มา...” ใช้รูปแบบเดียวกับตารางทุกประการ ดังตัวอย่าง



**Figure 1** The specific activities (U/mg protein) of pepsin (a), trypsin (b), chymotrypsin (c) and amylase (d) in giant freshwater prawns subjected to various dietary replacements of protein from fish meal with mackerel condensate (MC). The data are expressed as mean  $\pm$  SEM ( $n = 3$ ). Different superscripts indicate significant differences between groups ( $p < 0.05$ ). CD, commercial diet.

Source: Wattanakul *et al.* (2017)

## ตารางสรุปรูปแบบการพิมพ์ส่วนประกอบของบทความ

ส่วนประกอบ ของบทความ	ลักษณะ ของตัวอักษร	ขนาด ของตัวอักษร	รูปแบบ การจัดหน้าบทความ
<b>ชื่อเรื่อง</b>			
1) ภาษาไทย	หนา	18 pt.	กึ่งกลาง
2) ภาษาอังกฤษ	หนา	18 pt.	กึ่งกลาง
<b>ชื่อผู้เขียนบทความ</b>	หนา	15 pt.	ชิดขวา
<b>บทคัดย่อ</b>			
1) ภาษาไทย	ปกติ	15 pt.	
2) ภาษาอังกฤษ	ปกติ	15 pt.	
<b>คำสำคัญ</b>	หัวข้อตัวหนา และคำสำคัญปกติ	15 pt.	ชิดซ้าย
<b>เชิงอรรถ</b>	ปกติ	13 pt.	ชิดซ้าย
<b>หัวข้อหลัก</b>	หนา	15 pt.	ชิดซ้าย (ไม่มีตัวเลขกำกับ)
<b>หัวข้อย่อย</b>	หนา	15 pt.	1. ชิดซ้าย (1.5 ซม.)
	ปกติ	15 pt.	1.1 ชิดซ้าย (2 ซม.)
	ปกติ	15 pt.	1.1.1 ชิดซ้าย (2.75 ซม.)
<b>เนื้อหา</b>	ปกติ	15 pt.	
<b>ตาราง</b>	ปกติ	15 pt.*	
<b>หมายเหตุ</b>	ปกติ	(*ขึ้นอยู่กับ	
<b>ที่มา</b>	ปกติ	ข้อมูล)	

## 4. การอ้างอิง (References)

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชใช้รูปแบบการอ้างอิงที่ดัดแปลงมาจากสมาคมจิตวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (American Psychological Association: APA, 6<sup>th</sup> edition) ดังนี้ (เครื่องหมาย / หมายถึง การเว้นวรรค 1 ตัวอักษร)

4.1 การอิงในเนื้อหา (in-text citation) ใช้การอ้างอิงแบบ “นาม-ปี” ทั้งนี้ให้ใส่ชื่อผู้แต่ง และปีที่พิมพ์ เช่นเดียวกับการอ้างอิงท้ายบทความ

## 4.1.1 การเขียนอ้างอิงก่อนเนื้อหา

ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: จิรวัดน์/(2554) ข้อความ.....

ต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ: Tomson/(2014) ข้อความ.....

## 4.1.2 การเขียนเนื้อหาก่อนการอ้างอิง

ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: ข้อความ..... (จิรวัดน์,/2554)

ต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ: ข้อความ..... (Tomson,/2014)

กรณีมีผู้แต่งคนเดียว

- 1) ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: ชื่อ/(ปี พ.ศ.)
- 2) ต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ: ชื่อสกุล/(ปี ค.ศ.)

กรณีมีผู้แต่ง 2 คน

- 1) ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: ชื่อคนที่ 1/และชื่อคนที่ 2/(ปี พ.ศ.)
- 2) ต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ: ชื่อสกุลคนที่ 1/and/ชื่อสกุลคนที่ 2/(ปี ค.ศ.)

กรณีมีผู้แต่งมีตั้งแต่ 3 คนขึ้นไป

- 1) ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: ชื่อคนที่ 1/และคณะ/(ปี พ.ศ.)
- 2) ต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ: ชื่อสกุลคนที่ 1/*et al.*/(ปี ค.ศ.)

**4.2 การอ้างอิงท้ายบทความ (reference section)**

หนังสือที่ตีพิมพ์เป็นรูปเล่ม (print version)
ชื่อ/ชื่อสกุล./(ปีที่พิมพ์)/ชื่อหนังสือ./(ครั้งที่พิมพ์)/สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.
<b>ตัวอย่าง</b> กรณีตีพิมพ์ครั้งแรก (ไม่ต้องใส่ครั้งที่พิมพ์) สรเมธี วชิรปราการ. (2551). <i>เปิดชีวิตเทวดานางฟ้าไขปริศนาแดนสวรรค์</i> . นนทบุรี: สมาร์ทบุ๊ก. Almond, G.A. and Powell, B.G. (1976). <i>Comparative political today</i> . Boston: Little Brown and Company. กรณีตีพิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป เจือจันทร์ จงสถิต และรุ่งเรือง สุขชาติพิพย์. (2550). <i>การสังเคราะห์งานวิจัยคุณลักษณะและกระบวนการปลูกฝังจริยธรรมของประเทศต่าง ๆ</i> . (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ชุมชนมนุษยธรรมการเกษตรแห่งประเทศไทย. Carpenter, J.W., Mashima, T.Y. and Rupiper, D.J. (2001). <i>Exotic animal formulary</i> . (2 <sup>nd</sup> ed). Philadelphia: W.B. Saunders Company.
หนังสือที่ออนไลน์ (electronic book)
ชื่อ/ชื่อสกุล./(ปีที่ออนไลน์)/ชื่อหนังสือ./สืบค้นเมื่อ/วัน/เดือน/ปี./จาก:/http://..... .
<b>ตัวอย่าง</b> The World Society for the Protection of Animals. (2013). <i>The cayman turtle farm: A continued case for change</i> . Retrieved 10 July 2017, from: <a href="https://d31j74p4lpxrfpcloudfront.net/sites/default/files/us_files/turtle_a_continued_case_for_change_report.pdf">https://d31j74p4lpxrfpcloudfront.net/sites/default/files/us_files/turtle_a_continued_case_for_change_report.pdf</a> .

วารสาร (journal)
ชื่อ/ชื่อสกุล./ (ปีที่พิมพ์)./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./ปีที่หรือเล่มที่ (ฉบับที่),/หน้าแรก-หน้าสุดท้าย หรือเลขประจำบทความ, doi://http://doi.org/..... .
<p><b>ตัวอย่าง</b></p> <p>สมรักษ์ รอดเจริญ และการุณ ทองประจุแก้ว. (2559). สภาวะการเลี้ยงและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (<i>Nostoc commune</i> TISTR 8870) ที่ผ่านการดัดแปรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. <i>วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย</i>, 8(2), 219-229.</p> <p>Varzakas, T. and Antoniadou, M. (2024). A holistic approach for ethics and sustainability in the food chain: The gateway to oral and systemic health. <i>Foods</i>, 13(8), 1224, doi: <a href="https://doi.org/10.3390/foods13081224">https://doi.org/10.3390/foods13081224</a>.</p> <p>Whan-air, W., Thongprajukaew, K., Salaeharae, T. and Yoonram, K. (2018). Identification of wild and farmed broadhead catfish (<i>Clarias macrocephalus</i> Günther, 1864) based on morphometry, digestive indexes and flesh quality. <i>Journal of Oceanology and Limnology</i>, doi: <a href="https://doi.org/10.1007/s00343-018-7205-7">https://doi.org/10.1007/s00343-018-7205-7</a>.</p>
นิตยสารหรือหนังสือพิมพ์
ชื่อ/ชื่อสกุล./ (วัน/เดือน/ปี)./ชื่อบทความ./ชื่อนิตยสารหรือหนังสือพิมพ์./ปีที่,/หน้า.
<p><b>ตัวอย่าง</b></p> <p>มาลินี ป่องกัน. (3 กรกฎาคม 2560). ลงทะเบียนคนจน. <i>มติชน</i>, 50, หน้า 12.</p>
บทหนึ่งในหนังสือ (book chapter)
ชื่อ/ชื่อสกุลผู้เขียนบท./ (ปีที่พิมพ์)./ชื่อบทหรือตอน./ใน/ชื่อ/ชื่อสกุลบรรณาธิการ./ชื่อหนังสือ,/ หน้าแรก-หน้าสุดท้ายของบท./สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.
<p><b>ตัวอย่าง</b></p> <p>มาลินันท์ วุฒิจักร. (2560). สาหร่ายพวงองุ่น. ใน บัณฑิต คิตติ. <i>เกษตรหน้าใหม่</i>, หน้า 100-110. กรุงเทพฯ: อุดมศิลป์.</p> <p>Zambonino-Infante, J., Gisbert, E., Sarasquete, C., Navarro, I., Gutiérrez, J. and Cahu, C.I. (2009). Ontogeny and physiology of the digestive system of the marine fish larvae. In Cyrino, J.E.O., Bureau, D. and Kapoor, B.G. (Eds.). <i>Feeding and digestive function of fish</i>, pp. 277-344. Enfield: Science Publishers, Inc.</p>

วิทยานิพนธ์
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อวิทยานิพนธ์./ระดับวิทยานิพนธ์ (สาขาวิชา)/ชื่อมหาวิทยาลัย./เมืองที่ตั้งมหาวิทยาลัย.
<p><b>ตัวอย่าง</b></p> <p>ไพฑูรย์ พ็ชรบำรุง. (2562). การทำปุ๋ยหมักจากเศษใบจามจุรีกับเศษผักผลไม้ด้วยระบบภาชนะปิดขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.</p> <p>Mirera, D.O. (2013). <i>Capture-based mud crab (Scylla serrata) aquaculture and artisanal fishery in East Africa-Practical and ecological perspectives</i>. Ph.D. thesis in Environmental Science (Marine aquaculture). Linnaeus University, Kalmar.</p>
เว็บไซต์ (website)
ชื่อผู้จัดทำ/(ปีที่ออนไลน์)/ชื่อเรื่อง./สืบค้นเมื่อ/วัน/เดือน/ปี./จาก:/http:.....
<p><b>ตัวอย่าง</b></p> <p>อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. (2542). ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2542, จาก: <a href="http://158.108.200.11/scil/009hom~1/009421/chap1.html">http://158.108.200.11/scil/009hom~1/009421/chap1.html</a>.</p> <p>Adkins, J. (2016). <i>Marine scientist devotes career to reversing trend of by catch</i>. Retrieved 1 July 2018, from: <a href="https://phys.org/news/2016-03-marine-scientist-devotes-career-reversing.html">https://phys.org/news/2016-03-marine-scientist-devotes-career-reversing.html</a>.</p>
รายงานการประชุม
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อเรื่อง./ชื่อการประชุมหรือการสัมมนา./เมืองที่พิมพ์.
<p><b>ตัวอย่าง</b></p> <p>สุรยุทธ แจ็งเกิด. (2559). ความมั่นคงทางอาหารของชุมชนบ้านบางปรึก. <i>การประชุมวิชาการความมั่นคงทางอาหารแห่งชาติ</i>. กรุงเทพฯ.</p>
รายงานการวิจัย
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อเรื่อง./รายงานวิจัย./ชื่อมหาวิทยาลัย.
<p><b>ตัวอย่าง</b></p> <p>จันทิมา ชั่งสิริพร พรศิริ แก้วประดิษฐ์ และพฤกระยา พงศ์ยี่หล้า. (2559). การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราที่ได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับงานเครื่องกรองน้ำ. <i>รายงานวิจัย</i>. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.</p>

<b>บทหนึ่งในหนังสือการประชุม (proceeding) และเอกสารการสัมมนา</b>
ชื่อ/ชื่อสกุล./ (ปีที่พิมพ์)./ชื่อบทความหรือบท./ใน/ชื่อการประชุมหรือการสัมมนา/(หน้าแรก-หน้าสุดท้าย)./เมืองที่พิมพ์./หน่วยงานที่จัดทำ.
<b>ตัวอย่าง</b> กรวรรณ มากสุข. (2555). วาทกรรมความงามของเด็กมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช. ใน <i>การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏวิจัย ครั้งที่ 3</i> (หน้า 22-35). นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
<b>บทคัดย่อในการประชุมวิชาการ (abstract in conference)</b>
ชื่อ/ชื่อสกุล./ (ปีที่พิมพ์)./ชื่อบทความ./ในบทคัดย่อ/ชื่อการประชุม/(หน้า)./เมืองที่พิมพ์./หน่วยงานที่จัดทำ.
<b>ตัวอย่าง</b> Kovitvadi, A., Chandang, P., Luapan, J., Sriyaphai, P., Buahom, R., Cham-iam, T., Leelehapongsathon, K., Tirawattanawanich, C. and Thongprajukaew, K. (2018). Screening three cricket species ( <i>Gryllus bimaculatus</i> , <i>Acheta domestica</i> and <i>Modicogryllus confirmata</i> ) for broiler diets by <i>in vitro</i> digestibility techniques. In <i>Abstract of the 6<sup>th</sup> Mediterranean Poultry Summit</i> (pp. 62). Torino: The Mediterranean Poultry Network of the World's Poultry Science Association.
<b>ราชกิจจานุเบกษา (royal gazette)</b>
ชื่อกฎหมาย./ (ปีที่พิมพ์, วันที่/เดือน). ราชกิจจานุเบกษา./เล่มที่/ตอนที่, /หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.
<b>ตัวอย่าง</b> ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 349) พ.ศ. 2556 เรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ และชนิดที่ปรับกรด. (2556, 20 กุมภาพันธ์). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 130 ตอนพิเศษ 24 ง, หน้า 11-15.
<b>ทรัพย์สินทางปัญญา (intellectual property)</b>
ชื่อผู้ประดิษฐ์หรือผู้สร้างสรรค์./ (ปีที่อนุมัติทรัพย์สินทางปัญญา)./ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา./ประเภททรัพย์สินทางปัญญา/เลขที่./เมืองที่พิมพ์: /หน่วยงานที่จัดทำ.
<b>ตัวอย่าง</b> วรพงศ์ บุญช่วยแทน และชาติรี หอมเขียว. (2565). ส่วนผสมและกรรมวิธีการผลิตบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยเปลือกมะพร้าว. <i>อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 2203001405</i> . กรุงเทพฯ: กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.





# วารสาร วิชชา

WICHCHA JOURNAL

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช  
NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

วารสารวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
ISSN 3027-737X (Online)

WICHCHA  
JOURNAL

NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

