



วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร

สำหรับวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปีที่ 43 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2569

ISSN 2985-0118 (Online)

ผลของความยาววันและอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้แวนดาพันธุ์ปากช่องบลู

พรจนา คงแก้ว กนกวรรณ ปัญญา มาชัยอาทิตย์ อินคำ ภาณุพล หงษ์ภักดี ถกลวรรณ ศิริสวัสดิ์ และโสระยา ร่วมรังษี.....1-8

ผลของตำแหน่งชิ้นส่วนใบต่อการชักนำแคลสสินในกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2

จักรกริช อนันต์ศรัณย์ ศิริรัฐสพล หนูพรหม และนรากร ตริโคชา.....9-22

ปริมาณการใช้น้ำของกาแฟพันธุ์ระบาภิภายใต้สภาพร่มเงาต่างกันในช่วงแล้ง

วรพล ปัญญาสุรารส วิษณุภาส สังพาลี วิสูตร อาสนวิจิตร สุทธิพงษ์ ศรีนิมิตรใจ อุมารินทร์ อ้ายดู่ และวาสนา วิรุณรัตน์.....23-32

ผลของระยะปลูกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารแคนนาบินอยด์ของกัญชง

สายพันธุ์ EHFGP#1, EHFGP#3 และ EHFGP#8 ภายใต้สภาพโรงเรือน

วัชรินทร์ จันทวรรณ อรพินธุ์ สฤตธีนา ศศิมา คณะชาบวิรัชย์ เสกสรร สงจันทร์กั ดะวัน อัศวสุนัน และวินัย วิริยะอลกรณ์.....33-45

การเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมกลุ่มโปรโมมิที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานโรคไหม้ในข้าว

รัตนวรรณ จันทศิริธร สุพัตรา นาวาวัฒน์ ภัทรศยา สายอืด ดวงกมล บุญช่วย และชนินพัฒน์ ทองรอด.....46-58

การเปลี่ยนแปลงในรอบวันของฟารมาเคอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงในอ้อยโคลนคิเค้น ภายใต้สภาวะขาดน้ำและการฟื้นตัวที่ระยะแก่

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ธีระรัตน์ ชินแสน กรองกาญจน์ ป้องปัญจมิตร ชัยนัฏ ภักดีไทย อัมมวราวรรณ พิทยวัฒน์ และแสงเดือน ชนะชัย.....59-77

ความเป็นไปได้ในการใช้น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีในการเพาะเลี้ยงผ้า (*Wolffia* sp.)

อารมณ เดียวสกุล สุดใจ รัตน์ยุวกร ดวงสุดา ทองจันทร์ และสุภา ศรียงยศ.....78-89

ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการเจริญเติบโต คุณภาพผลผลิต และการจำแนกเชื้อสาเหตุโรคเมล็ดอ่อนสายพันธุ์แม่โจ้ปลูกในโรงเรือน

ศิริพร อำทอง พงศุภพร นวลบุญเรือง ชิตี ศรีรัตนทิพย์ ปัทมา จันทร์เรือง เมทินี นาคดี และกิตติพันธ์ เทียนศรี.....90-102

ความหลากหลายของชุมชนแบคทีเรียจากห้อมใบใหญ่ (*Strobilanthes cusia*) และห้อมใบเล็ก (*Strobilanthes* sp.)

โดยการวิเคราะห์ไมตาจีโนมิกส์

ณัฐพร จันทฉาย ปิยวรรณ แสงทอง และอัญญา บุญประจวบ.....103-113

การประเมินมูลค่าค่าบริการของต้นไม้ในพื้นที่ป่าไม้บริเวณฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

อริสรา หนานาเขตต์ สุธีระ เหมอีก วิษณุภาส สังพาลี วนิดา ปัญญา ธีรนาถ ปาสุธรรม และชนิษฐา เสถียรพิระกุล.....114-132

การใช้ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ร่วมกับดัชนีความต่างความชื้นของพืช (NDMI) เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากไฟป่าในพื้นที่ป่าไม้

ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กรณีศึกษา ป่าสงวนแห่งชาติจังหวัดแพร่

พนิตดนัย กังหัน ธนากร ลัทธิระสุววรรณ ชีมา โยธภักดี อุบลวรรณ สุภาแสน สนิทญา สองศรี และปิยะพิศ ขอนแก่น.....133-146

การเจริญเติบโตของปลาบึกที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายอาร์โธโรสไปราผง สด และหมัก

สุดาพร ดงศิริ จงกล พรหมะ และนิสรา กิจเจริญ.....147-157

การเพิ่มมูลค่าปลานวลจันทร์ทะเลด้วยการพัฒนาตัวรับอาหารราดรสและสารรสและการประเมินคุณค่าทางโภชนาการ

นันธิดา แดงขาว พชร พิธิยาพร อภิราม สันอุพาชี โสมรัตน์ กล้ากล่อมจิตร กรวิทย์ สักแก้ว และมารศรี จันลี.....158-172

ผลของการเสริมผงไข่ไก่ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกว

นราธร สัตย์ชื่อ ณปภา หอมหวล วุฒิชัย อุทอิ ญาณพัฒน์ พรมประสิทธิ์ สมิตานันท์ จันทะบุรี.....173-189

และประติพันธ์ ทองแถม ณ อยู่ธยา.....

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่มจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในจังหวัดเพชรบุรี

อัญชยาภา พวงเพชร จินตนา สังโสภา พรอริยา นิธิวัณ นราธร สัตย์ชื่อ ทวีพัฒน์ วิจิตรปัญญารักษ์.....190-206

ศศิมา นันตสุคนธ์ และปณณทัต สุทธิรักษ์.....

ผลของการเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจังหวัดทองแดงลายต่อคุณภาพทางโภชนาการ สมบัติทางกายภาพ-เคมี

และสมบัติเชิงหน้าที่ของพาสต้าปราศจากกลูเตน

จันทร์จิรา วันชนะ นันทวัฒน์ รัชเสถ์ สมิตร์ เข้มชัยตระกูล กาญจนา นาคประสม.....207-219

ปัทมากร สังสวัสดิ์ และศรัณญา สุวรรณอังกูร.....

ความมั่นคงในการถือครองและการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา การจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล

ภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ (คทช.) ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ

นวนิดา ไวรศิริชกร รัชนิ โพธิ์แท่น และวันชัย อรุณประภารัตน์.....220-237

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจการผลิตข้าวสาลีของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่

ภัทรธิดา อินทลับ รพี ดอกไม้เทศ จิรวิญญาณ์ ถังเงิน และสิปปวิญญ์ ปัญญาด้วย.....238-246

ความท้าทายและโอกาสของการพัฒนาผู้ให้บริการโดรนกำจัดแมลงศัตรูมะพร้าวในจังหวัดสมุทรสงคราม

ศราวุฒ อินทพยอม.....247-260

การเปรียบเทียบความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวัยเกา

อมรรัตน์ ถนอมแก้ว พรพิมล มध्येเนียว พิมพ์ชนก ออภา วิไลลักษณ์ กล่อมพงษ์ และเสาวนีย์ เล็กบางพง.....261-275

AgriBREST SEARON

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร เป็นวารสารทางวิชาการของสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการด้านการเกษตร อาหาร สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนงานนวัตกรรมด้านการเกษตร และส่งเสริมการเกษตร โดยวารสารเผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ ISSN 2985-0118 (Online) เป็นวารสารราย 4 เดือน กำหนดออกปีละ 3 ฉบับ บทความที่ส่งมาจะต้องผ่านการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) อย่างน้อย 3 ท่าน

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร ปีที่ 43 ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม-สิงหาคม 2569) ฉบับนี้ เรายังคงอยู่ภายใต้ของสงครามความขัดแย้งตะวันออก ที่ได้สร้างความผันผวนทางเศรษฐกิจ และวิกฤตพลังงาน จากความขัดแย้งบริเวณช่องแคบฮอร์มุซ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อเส้นทางขนส่งน้ำมันและก๊าซหลักของโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันซึ่งเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรกลทางการเกษตร รวมถึงการเริ่มการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศแบบ "ซูเปอร์เอลนีโญ" กล่าวคือปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกสูงขึ้นกว่าค่าเฉลี่ยอย่างรุนแรง (มากกว่า 2 องศาเซลเซียส) ส่งผลกระทบให้สภาพอากาศทั่วโลกแปรปรวนอย่างรุนแรง โดยประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เสี่ยงเผชิญกับสภาวะฝนทิ้งช่วง อากาศร้อนจัด ภัยแล้งรุนแรง และกระทบต่อความมั่นคงทางอาหาร โดยคาดการณ์ว่าเริ่มในช่วงราวมิถุนายนปีนี้ ยาวไปจนถึงกลางปีหน้า ดังนั้น พี่น้องเกษตรกรไทยจะต้องปรับการดำเนินกิจกรรมให้สอดคล้องอย่างชาญฉลาด เพื่อผ่านวิกฤตการณ์ให้ได้ โดยผ่านการสนับสนุนช่วยเหลือจากภาครัฐผ่านโครงการต่าง ๆ ที่ทางรัฐบาลได้เตรียมมาตรการและแผนการรองรับไว้

วารสารวิจัยฯ ฉบับนี้ มีบทความวิจัยที่น่าสนใจหลากหลายประเด็นโดยเฉพาะด้านเทคโนโลยีการผลิตและการขยายพันธุ์ การใช้ประโยชน์จากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กตั้งแต่ระดับจุลินทรีย์ แบคทีเรีย การเพาะเลี้ยงปลาบึกและการศึกษาการเติบโตของพืชพรรณต่าง ๆ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ จนถึงบทความด้านการให้บริการของระบบนิเวศและเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล นอกจากนี้ยังประกอบด้วยบทความที่ศึกษาถึงความมั่นคงในการถือครองและการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืนในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ ซึ่งถือได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาการเกษตรในพื้นที่ป่า วารสารฉบับนี้ได้รวบรวมผ่านการกลั่นกรองและคัดสรรไว้พร้อมแล้วสำหรับนักวิจัย นักศึกษา และผู้สนใจได้ศึกษาค้นคว้าต่อยอดเพื่อการพัฒนาการเกษตรไทยให้รุ่งเรือง

กองบรรณาธิการวารสารวิจัยฯ หวังว่าท่านผู้อ่านจะได้รับความรู้ ได้แนวคิดในการต่อยอดศึกษาวิจัย เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านการเกษตรให้ดียิ่ง ๆ ขึ้นต่อไป แล้วพบกันใหม่ในฉบับสุดท้ายของปีครับ



รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ศรีเงินวง

บรรณาธิการวารสารวิจัยฯ

ผลของความยาววันและอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้แวนดาพันธุ์ปากช่องบลู
Effects of Day Length and Temperature on Growth and Development
of *Vanda* ‘Pakchong Blue’

พรพวงา คงแก้ว¹ กนกวรรณ ปัญจะมา^{1,3} ชัยอาทิตย์ อินคำ^{2,3} ภาณุพล หงษ์ภักดี⁴

ถกลวรรณ ศิริสวัสดิ์³ และโสระยา ร่มรังษี^{1,3,*}

Pornwajana Kongkeaw¹, Kanokwan Panjama^{1,3}, Chaiatid Inkham^{2,3}, Panupon Hongpakdee⁴

Takonwan Sirisawad³ and Soraya Ruamrungsri^{1,3,*}

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

²สถาบันวิจัยพหุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

³ศูนย์บริการการพัฒนาขยายพันธุ์ไม้ดอกไม้ผลบ้านไร่ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ เชียงใหม่ 50230

⁴สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

¹Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50200

²Multidisciplinary Research Institute, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50200

³H.M. The King’s Initiative Centre for Flower and Fruit Propagation, Chiang Mai, Thailand 50230

⁴Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand 40002

*Corresponding author: sorayaruumrung@gmail.com

*ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3316-1877>

Received: October 19, 2025

Revised: February 12, 2026

Accepted: March 11, 2026

Abstract

The demand for orchids, both domestically and internationally, is consistently high throughout the year. However, the production of *Vanda* orchids, particularly the hybrid *Vanda* ‘Pakchong Blue’, is still challenging in the summer season when the market demand is high. This research aimed to study the effects of day length and temperature on vegetative growth and flowering regulation during the summer season. The plants were subjected to two different factors: two levels of day length conditions, day length about 12 hours and short-day length of 7 hours (Factor 1); and two levels of cultivation temperature, 30±2°C in a 50% shading greenhouse (Factor 2), and 25±2 °C in an evaporative cooling greenhouse (4 treatments: ND+SG, ND+ECG, SD+SG, SD+ECG). The plants received the same light intensity, averaging 350 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The experimental results showed that different day length and temperature conditions had no significant effects on vegetative growth parameters, including plant height, leaf length, and number of leaves throughout the experiment. However, the experimental treatments resulted in statistically significant differences in flowering response. Providing the *Vanda* ‘Pakchong Blue’ with short-day conditions delayed the flowering compared with a 12-hour day length

Additionally, growing the orchids in an evaporative cooling greenhouse significantly improved flower quality and flowering efficiency, with a higher blooming percentage and a longer flower spike lifespan compared with those grown in the 50% shading greenhouse.

Keywords: *Vanda* orchid, shading, low temperature, offseason, photoperiod

บทคัดย่อ

ตลาดทั้งในและต่างประเทศมีความต้องการกล้วยไม้ตลอดทั้งปี ซึ่งการผลิตกล้วยไม้แวนดา โดยเฉพาะกล้วยไม้แวนดาลูกผสมพันธุ์ ‘ปากช่องบลู’ ในฤดูร้อนเป็นที่ต้องการของตลาดแต่ยังผลิตได้ยาก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความยาววันและอุณหภูมิที่มีต่อการเจริญเติบโตและการควบคุมการบานของดอกในช่วงฤดูร้อน โดยให้พืชได้รับปัจจัยที่แตกต่างกัน 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 สภาพความยาววัน 2 ระดับ ได้แก่ ความยาวช่วงแสงประมาณ 12 ชั่วโมง และสภาพวันสั้น 7 ชั่วโมง ปัจจัยที่ 2 ให้พืชได้รับอุณหภูมิปลูกเลี้ยงที่แตกต่างกัน 2 ระดับ ได้แก่ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ ภายใต้โรงเรือนพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ และ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (4 กรรมวิธี) โดยพืชได้รับความเข้มแสงเท่ากันเฉลี่ย 350 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ผลการทดลองพบว่า การให้กรรมวิธีความยาววันและอุณหภูมิที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางลำต้น คือ ความสูงต้น ความยาวใบ และจำนวนใบ ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง อย่างไรก็ตาม พบว่ากรรมวิธีทดลองทำให้การบานมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการให้กล้วยไม้แวนดาได้รับสภาพวันสั้นสามารถชะลอการบานของดอกออกไปได้ตามระยะเวลาที่ให้วันสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับความยาววัน 12 ชั่วโมง และการปลูกเลี้ยงในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิทำให้คุณภาพและประสิทธิภาพการบานของแวนดามีเปอร์เซ็นต์การบาน และอายุช่อดอกมากกว่าการปลูกเลี้ยงในโรงเรือนพรางแสงธรรมชาติ

คำสำคัญ: กล้วยไม้แวนดา การพรางแสง อุณหภูมิต่ำ นอกฤดูปลูก ความยาวช่วงแสง

บทนำ

แวนดา (*Vanda*) เป็นกล้วยไม้ในวงศ์ Orchidaceae มีมากกว่า 70 สายพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย และได้รับความนิยมอย่างมากในตลาดโลกสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ทั้งเป็นไม้ประดับและไม้ตัดดอก แวนดาได้รับความนิยมเนื่องจากมีขนาดดอกและช่อที่ใหญ่ สีสดใส และอายุดอกยาวนาน 2–3 สัปดาห์ (Arditti, 1992) โดยทั่วไปแวนดาลูกผสมฟ้ามูย (*V. coerulea*) ต้องการอุณหภูมิต่ำในการออกดอก ทำให้ไม่สามารถผลิตดอกได้ช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคมในสภาพอากาศของประเทศไทย นอกจากนี้จากการสำรวจประเด็นปัญหาด้านการส่งออกกล้วยไม้แวนดา ยังพบว่า ผู้ส่งออกประสบปัญหาไม่สามารถควบคุมการออกดอกได้เมื่อส่งไปถึงประเทศปลายทาง ซึ่งอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Sirisawad *et al.*, 2015) ทำให้ดอกไม่สามารถเติบโตจนดอกบานได้ จึงไม่สามารถกำหนดปริมาณการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด อีกทั้งช่วงการผลิตกล้วยไม้ในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ตลาดต่างประเทศ เช่น อิตาลี นิยมใช้กล้วยไม้ในฤดูร้อน เยอรมนี มีความต้องการใช้กล้วยไม้สม่ำเสมอในทุกช่วงเทศกาล ซึ่งทำให้ปริมาณการส่งออกกล้วยไม้ในช่วงเวลาดังกล่าวไม่เพียงพอต่อความต้องการ นับเป็นการสูญเสียโอกาสอย่างมาก (Department of International Trade Promotion, 2024)

กล้วยไม้ลูกผสมแวนดาพันธุ์ ‘ปากช่องบลู’ (V. ‘Pakchong Blue’) เกิดจากการผสมกันระหว่าง V. Doctor Anek และ V. *coerulea* ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มดอกแวนดาที่มีโทนน้ำเงิน ม่วง เป็นที่ต้องการเป็นอย่างมากในตลาดต่างประเทศ โดยแวนดากลุ่มนี้มักมีความต้องการอากาศเย็นหรืออุณหภูมิต่ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการออกดอกและการบานของดอก (Ruamrungsri *et al.*, 2024) จากการศึกษาของ Sirisawad and Ruamrungsri (2018) พฤติกรรมการออกดอกของแวนดามนุษย์สามารถพัฒนาจากตาข้างเป็นตาดอกได้เกือบทุกช่วงของปี ภายใต้สภาพ 9–12 ชั่วโมง อุณหภูมิ 18–33°C และความชื้นสัมพัทธ์ 60–96 เปอร์เซ็นต์ โดยปัจจัยสภาพแวดล้อมในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายนมีผลทำให้ตาดอกฝ่อและไม่เกิดตาดอกพัฒนาขึ้น อีกทั้ง Sirisawad *et al.* (2015) ยังมีรายงานว่า การปลูกในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ นาน 2 และ 4 สัปดาห์ สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์การออกดอกได้ เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ปลูกภายใต้สภาพธรรมชาติ อย่างไรก็ตามข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิที่มีผลต่อการออกดอกของลูกผสมแวนดาพันธุ์ ‘ปากช่องบลู’ ยังมีไม่มากนัก จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมสำหรับการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตและการควบคุมการออกดอกซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด โดยมีการควบคุมกำหนดช่วงการบานของดอกแวนดาให้ได้ตามที่ต้องการ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของความยาวช่วงแสงและอุณหภูมิ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการควบคุมการบานของดอกที่มีประสิทธิภาพของกล้วยไม้ลูกผสมแวนดาพันธุ์ ‘ปากช่องบลู’ และสามารถนำข้อมูลจากผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์ในกลุ่มผู้ผลิตกล้วยไม้แวนดาในประเทศไทยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองผลของความยาววันและอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้แวนดาพันธุ์ ‘ปากช่องบลู’ ใช้สถานที่ในการทดลอง ณ ศูนย์บริการการพัฒนากายพันธุ์

ไม้ดอกไม้ผลบ้านไร่ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบางคอง จังหวัดเชียงใหม่

คัดเลือกต้นกล้วยไม้แวนดาลูกผสมพันธุ์ ‘ปากช่องบลู’ อายุ 3 ปี มีความสูงต้น ความยาวใบ และจำนวนใบเฉลี่ย 13.23, 16.90 ซม. และ 13 ใบ ตามลำดับ โดยปลูกเลี้ยงในโรงเรือนกันฝน พรางแสงด้วยตาข่ายสีดำ 50 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 1 เดือน หลังจากนั้นให้พืชได้รับปัจจัยสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน จำนวน 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 สภาพความยาววัน จำนวน 2 แบบ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ คือ 1) ให้พืชได้รับสภาพความช่วงแสงประมาณ 12 ชั่วโมง และ 2) สภาพวันสั้น 7 ชั่วโมง ด้วยการคลุมผ้าสีดำมิดสนิท ในช่วงเวลา 16.00–09.00 น. เมื่อครบกำหนดนำต้นกล้วยไม้เข้ารับปัจจัยที่ 2 ได้แก่ การปลูกเลี้ยงในสภาพโรงเรือนที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน 2 แบบ ได้แก่ 1) โรงเรือนอุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ และพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ และ 2) โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (evaporative cooling greenhouse) ซึ่งมีอุณหภูมิ $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ได้รับความยาววันและความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากัน ประมาณ 350 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ระหว่างการได้รับกรรมวิธีทดลอง มีการให้ปุ๋ยสูตร 16-21-27 สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในอัตรา 60 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตร ผสมสารจับใบ (0.1 เปอร์เซ็นต์) 10 มิลลิลิตรต่อน้ำ 10 ลิตร และให้น้ำทุกวันเช้า-เย็น ยกเว้นวันที่ได้รับธาตุอาหาร

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลในสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CRD) จำนวน $2 \times 2 = 4$ กรรมวิธี กรรมวิธีละ 10 ซ้ำ (ต้น)

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงต้น (ซม.) ความยาวใบ (ซม.) จำนวนใบ ความยาวก้านดอก (ซม.) เส้นผ่านศูนย์กลางดอก (ซม.) และจำนวนดอก บันทึกข้อมูลทุก ๆ 4 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 40 สัปดาห์

วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics Version 29 และเปรียบเทียบความต่างของข้อมูลโดยใช้วิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

ผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่า ในทุกระยะการเจริญเติบโต ความสูงต้น ความยาวใบ และจำนวนใบเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มกรรมวิธีจนถึงสัปดาห์ที่ 40 (ไม่ได้แสดงข้อมูล) แวนดามีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และไม่มี

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการทดลองในสัปดาห์ที่ 36 หลังได้รับกรรมวิธี แวนดามีความสูงต้นเฉลี่ย 18.32–20.18 ซม. ความยาวใบเฉลี่ย 20.35–21.09 ซม. และมีจำนวนใบเฉลี่ย 18.50–19.29 ใบ (Table 1)

Table 1 Growth of V. ‘Pakchong Blue’ under different day length and temperature at 36 weeks after treatments

Day length	Growing condition	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Number of leaves
ND	SG	20.18	20.97	18.50
	ECG	19.43	20.59	19.29
SD	SG	18.71	21.09	18.30
	ECG	18.32	20.35	19.00
DMRT _{0.05}		ns	ns	ns
CV (%)		11.34±0.47	5.21±0.21	8.28±0.30

ns = not significant differences at $p>0.05$; ND = natural day length condition (12 hours); SD = short day condition;

SG = shading greenhouse and ECG = evaporative cooling greenhouse

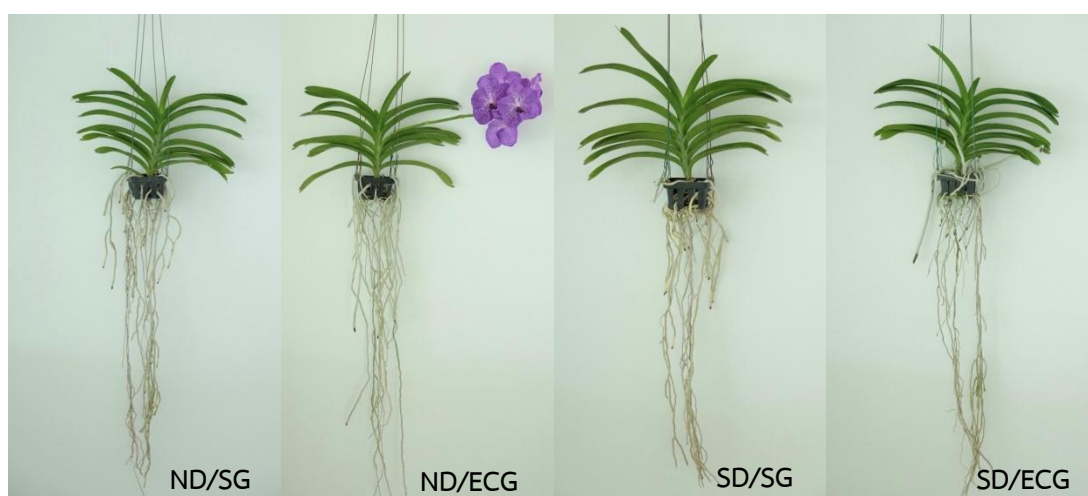
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาการออกดอกพบว่า การให้สภาพความยาววัน (ประมาณ 12 ชั่วโมง) แล้วนำไปปลูกเลี้ยงในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิเฉลี่ย $25\pm 2^{\circ}\text{C}$) ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การออกดอกและจำนวนวันในการบานของดอกดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ และ 115.54 วัน ตามลำดับ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การออกดอกและจำนวนวันการบานของดอกมีประสิทธิภาพน้อยกว่าเมื่อได้รับสภาพวันสั้น (7 ชั่วโมง) แล้วนำไปปลูกเลี้ยงในโรงเรือนอุณหภูมิปกติ โดยมีค่าเฉลี่ย 7.7 เปอร์เซ็นต์ และ 256 วัน ตามลำดับ

ส่วนคุณภาพของดอกพบว่า อายุการบานของดอกยาวนานขึ้นเมื่อได้รับสภาพวันสั้นแล้วนำไปปลูกเลี้ยงในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ โดยมีค่าเฉลี่ย 19.25 วัน ในขณะที่อายุการบานของดอกเร็วมากขึ้น เมื่อได้รับสภาพความยาววัน 12 ชั่วโมง แล้วนำไปปลูกเลี้ยงในโรงเรือนอุณหภูมิปกติ โดยมีค่าเฉลี่ย 12.50 วัน อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างของจำนวนดอกต่อช่อและเส้นผ่านศูนย์กลางของดอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2)

Table 2 Effects of V. 'Pakchong Blue' under different day length and temperature on flowers quality

Day length	Growing condition	Percentage of flowering (%)	Blooming period (days)	Day to flower (days)	Number of flowers	Flower diameter (cm)
ND	SG	69.2	250.56 c	12.50 c	4.71	11.00
	ECG	100	115.54 a	17.90 a	6.20	11.02
SD	SG	7.7	256.00 c	14.25 b	6.00	9.50
	ECG	92.3	147.08 b	19.25 a	5.44	10.72
DMRT _{0.05}			*	*	ns	ns
CV (%)			7.52±10.07	12.58±0.81	8.00±0.21	16.75±0.18

ns = not significant differences at $p > 0.05$, * = significant differences at $P \leq 0.01$ Means values followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT. ND = natural day length condition (12 hours); SD = short day condition; SG = shading greenhouse and ECG = evaporative cooling greenhouse

**Figure 1** Effects V. 'Pakchong Blue' under different temperature and day length at 16 weeks after treatments including; ND = natural day length condition (12 hours); SD = short day condition; SG = shading greenhouse and ECG = evaporative cooling greenhouse

จาก Figure 1 แสดงการเปรียบเทียบการบานของช่อดอกแวนดาพันธุ์ ‘ปากช่องบลู’ ที่ได้รับความยาววันปกติและปลูกเลี้ยงในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (กรรมวิธีที่ 2) พบว่าช่อดอกเกิดการบานทั้งช่อก่อนทุกกรรมวิธี และในกรรมวิธีที่ได้รับสภาพวันสั้นและปลูกเลี้ยงในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (กรรมวิธีที่ 3) มีการแทงช่อดอกเช่นกันซึ่งมีการพัฒนาจนช่อดอกบานโดยทั้งช่วงห่างกันประมาณ 4 สัปดาห์

วิจารณ์ผลการวิจัย

ความยาวช่วงแสงและอุณหภูมิเป็นปัจจัยส่วนหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกดอกของพืชหลายชนิดรวมทั้งกล้วยไม้ ซึ่งกล้วยไม้แต่ละสกุลมีความต้องการความยาววันและอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการออกดอกที่แตกต่างกัน พาแลนอปปิซิสต้องการอุณหภูมิกลางวันและกลางคืนที่ $25/20^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ เพื่อกระตุ้นการออกดอก (Blanchard and Runkle, 2006) แคทรียาหลายสายพันธุ์ มีการชักนำให้เกิดตาดอกในสภาพความยาววัน 9 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 13°C (Lopez and Runkle, 2005) Jearwattana *et al.* (2014) พบว่า สภาพความยาววันสั้น 10 ชั่วโมงต่อวันทำให้กล้วยไม้ข้างกระเกิดตาดอกและการพัฒนาของตาดอกได้เร็วกว่าสภาพธรรมชาติและมีอายุการบานดอกมากกว่า ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Banyai *et al.* (2010) กล้วยไม้ข้างกระที่ได้รับสภาพวันสั้นมีการแทงช่อดอกและบานเร็วกว่าสภาพความยาววันปกติ รายงานของ Grove (1995) กล่าวว่ากล้วยไม้สกุลแวนดาต้องการความยาววันอย่างน้อย 11 ชั่วโมงต่อวัน ในการออกดอกและเจริญเติบโตที่ดีทางลำดับ ซึ่ง Sirisawad and Ruamrungsri (2018) รายงานว่า การปลูกแวนดานวดี้ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ที่มีสภาพความยาววัน 11–12 ชั่วโมงต่อวันสามารถออกดอกได้ดี แต่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือน

เมษายน แม้มีสภาพความยาววันนานกว่า 11–12 ชั่วโมงต่อวัน พบว่าไม่มีการออกดอก

นอกจากปัจจัยความยาววันแล้ว อาจมีปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่อการส่งเสริมการพัฒนาของตาดอก ผลจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า สำหรับกล้วยไม้แวนดาลูกผสมพันธุ์ ‘ปากช่องบลู’ มีการพัฒนาการยึดตัวของช่อดอกจากการเจริญเติบโตของตาดอกได้ดี จากการได้รับความยาววันที่ประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม แสดงว่าความยาววันวิกฤตของแวนดาปากช่องบลูอยู่ที่ไม่เกิน 11 ชั่วโมง และการปลูกเลี้ยงในโรงเรือนที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ในเวลากลางวัน (กรรมวิธีที่ 2) และถึงแม้ว่าจะได้รับความยาววันสั้น 7 ชั่วโมงต่อวันมาก่อน นำไปปลูกเลี้ยงในโรงเรือนที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 4 สัปดาห์ (กรรมวิธีที่ 4) ยังสามารถออกดอกได้หลังจากกรรมวิธีที่ 2 ประมาณ 4–5 สัปดาห์ถัดมา แสดงให้เห็นว่า ความยาววันสั้นสามารถชะลอการออกดอกและการพัฒนาการบานของดอกแวนดาปากช่องบลูออกไปได้ตามช่วงระยะเวลาที่ได้รับวันสั้น ผลการทดลองนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับรายงานของ Ruamrungsri *et al.* (2021) พบว่าช่วงเวลาการออกดอกจากการปลูกในสภาพความยาววันสั้น 6 และ 9 สัปดาห์ สามารถชะลอการออกดอกระยะเวลาห่างจากกรรมวิธีควบคุม อีกทั้งอุณหภูมิยังมีผลต่อการพัฒนาการยึดตัวของช่อดอกจากการแทงตาดอกอย่างมีประสิทธิภาพจนดอกสามารถบานได้อีกด้วย Sirisawad and Ruamrungsri (2018) รายงานเพิ่มเติมอีกว่า ในสภาพแวดล้อมช่วงเดือนมกราคม ตาดอกและช่อดอกอ่อนของแวนดานวดี้ไม่เจริญเติบโตและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทำให้ดอกไม่สามารถพัฒนาต่อจนดอกบานได้ ซึ่งช่วงดังกล่าวพบว่าอุณหภูมิกลางวันลดต่ำถึง 16°C แม้จะมีการแทงตาดอกแล้ว ก็ยังคงต้องควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของช่อดอกอ่อนจนสามารถพัฒนาและสร้างส่วนประกอบของดอกครบจนบานได้ ซึ่งผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การได้รับ

ความยาววันสั้น 7 ชั่วโมงต่อวัน แล้วนำไปปลูกเลี้ยงในโรงเรือนพรางแสงธรรมชาติ เป็นสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาช่อดอกอ่อนของแวนดาปากช่องบลู เนื่องจากประสิทธิภาพการพัฒนาจนดอกสามารถบานได้มีเพียง 7.7 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ซึ่งอุณหภูมิในช่วงการทดลองการพัฒนาการออกดอก คือ เดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึง $35\pm 2^{\circ}\text{C}$

ผลการวิจัยนี้พบว่าอุณหภูมิมีความสำคัญสำหรับคุณภาพของดอกที่บ้านแล้ว จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อายุการบานของดอกแวนดาปากช่องบลู ในกรรมวิธีที่ได้รับการปลูกเลี้ยงในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (กรรมวิธีที่ 2 และ 4) มีอายุของดอกบานได้นานกว่ากรรมวิธีที่ปลูกเลี้ยงในโรงเรือนพรางแสงธรรมชาติ โดย Ruamrungsri *et al.* (2021) รายงานว่าแวนดามนุติที่ทำการทดลองในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ แต่ได้รับสภาพความยาววันสั้น 6 และ 9 สัปดาห์ มีอายุการบานของดอกนานกว่ากรรมวิธีควบคุม ซึ่งได้รับความยาววันตามธรรมชาติ 12 ชั่วโมงต่อวัน แสดงให้เห็นว่าอายุการบานของดอกอาจขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของอุณหภูมิ สำหรับแวนดาปากช่องบลูอุณหภูมิต่ำอาจส่งผลในระยะการพัฒนาของดอก เมื่อมีการแทงตาดอกแล้วหากอุณหภูมิไม่เหมาะสมจะทำให้ดอกฝ่อไป แต่หากได้รับอุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมตามผลการทดลอง คือ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ส่งผลต่อการพัฒนาของดอกให้เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับการทดลองนี้ความยาววันและอุณหภูมิส่งผลให้การเจริญเติบโตทางลำต้นของแวนดาปากช่องบลูมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งความสูงต้น ความยาวใบ และจำนวนใบ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Ruamrungsri *et al.* (2024) รายงานผลการทดลองว่า ความสูงต้น ความยาวใบ และจำนวนใบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในการทดลองปลูกแวนดาในสภาพอุณหภูมิ 18°C โดยได้รับระยะเวลาของแต่ละกรรมวิธีแตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

ความยาววันสั้นมีผลต่อการชะลอระยะเวลาการบานของดอกกล้วยไม้แวนดาลูกผสมพันธุ์ ‘ปากช่องบลู’ ซึ่งหมายความว่า การชะลอไม่ได้ทำให้แวนดาปากช่องบลูไม่ออกดอกเลย เพียงแต่การได้รับความยาวช่วงแสงที่มากกว่า 11 ชั่วโมง จะทำให้ประสิทธิภาพการออกดอกได้ดีมากกว่า แสดงว่ากล้วยไม้แวนดาลูกผสมพันธุ์ ‘ปากช่องบลู’ จัดอยู่ในกลุ่มเมื่อได้รับวันยาวจะออกดอกได้ดียิ่งขึ้น (facultative long day plant) ซึ่งผลของวันสั้นที่สามารถชะลอการออกดอกนั้น ทำให้ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการสามารถกำหนดควบคุมช่วงเวลาการบานของดอกได้ และการปลูกเลี้ยงในสภาพโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิซึ่งมีอุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบานของดอกเป็นไปได้เป็นอย่างดีในระยะตาดอกพัฒนาไปจนดอกบาน อีกทั้งยังให้ผลผลิตที่มีคุณภาพด้านอายุการใช้งานของช่อดอกที่บ้านติดกับต้นอีกด้วย การให้กรรมวิธีความยาววันและอุณหภูมิของโรงเรือนปลูกเลี้ยงที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางลำต้น คือ ความสูงต้น ความยาวใบ และจำนวนใบ เจริญเติบโตในอัตราที่เพิ่มขึ้นจากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถควบคุมการออกดอกของกล้วยไม้แวนดาพันธุ์ ‘ปากช่องบลู’ หรือพันธุ์ลูกผสมฟ้ามุ่ยที่ต้องการความยาววันและอุณหภูมิคล้ายกัน โดยการจัดการสภาพวันสั้นและอุณหภูมิต่ำสำหรับการผลิตนอกฤดูได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้โครงการวิจัยเทคโนโลยีการควบคุมการออกดอกกล้วยไม้แวนดา และขอขอบคุณศูนย์บริการการพัฒนาขยายพันธุ์ไม้ดอกไม้ผลบ้านไร่ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Arditti, J. 1992. **Fundamentals of Orchid Biology**. New York: John Wiley & Sons. 691 p.
- Banyai, K., S. Ruamrungsri and N. Potapohn. 2010. Effects of photoperiod and GA₃ on plant nutrients and off-season flowering of *Rhynchostylis gigantea* (Lindl.) Ridl. **The Horticulture Journal** 26(1): 43–50. [in Thai]
- Blanchard, M.G. and E.S. Runkle. 2006. Temperature during the day, but not during the night, controls flowering of *Phalaenopsis* orchids. **Journal of Experimental Botany** 57: 4043–4049.
- Department of International Trade Promotion. 2024. **Herb and spice market in Japan**. Retrieved from <https://www.ditp.go.th/post/169480> [in Thai]
- Grove, D.L. 1995. **Vandas and Ascocendas and Their Combinations with Other Genera**. Portland: Timber Press, Inc. 241 p.
- Jearwattana, M., D. Naphrom and N. Potapohn. 2014. Changes of gibberellin-like substances content during flowering of *Rhynchostylis gigantea* (Lindl.) Ridl. **The Horticulture Journal** 30(3): 263–269. [in Thai]
- Lopez, R.G. and E.S. Runkle. 2005. Environmental physiology of growth and flowering of orchids. **HortScience** 40(7): 1969–1973.
- Ruamrungsri, S., C. Inkham, T. Sirisawad, P. Kongkeaw, P. Hongpakdee and K. Panjama. 2024. Flowering behavior and temperature affected on growth and flowering of blue *Vanda* hybrid. **Social Science Research Network** 30: 1–32.
- Ruamrungsri, S., T. Sirisawad, K. Panjama, N. Potapohn and C. Inkham. 2021. Effects of short day cycles on flowering time and nutritional status of *Vanda*. **The Horticulture Journal** 90(1): 108–113.
- Sirisawad, T. and S. Ruamrungsri. 2018. Annual flower bud development of *Vanda* Manuvadee. **Journal of Agriculture and Crops** 34(3): 341–351. [in Thai]
- Sirisawad, T., N. Potapohn and S. Ruamrungsri. 2015. Effects of evaporative cooling greenhouse growing on flowering of *Vanda*. **Acta Horticulturae** 1078: 107–112.

ผลของตำแหน่งชิ้นส่วนใบต่อการชักนำแคลลัสในกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2
Effects of Leaf Segment Positions on Callus Induction
in Robusta Coffee (*Coffea canephora*) cv. Chumphon 2

จักรกริช อนันตสรณ์* ศรีฐิสพล หนูพรหม และนรากร ตรีเดชา

Jackrit Anantasarn*, Karistsapol Nooprom and Narakorn Treedecha

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000

Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, Thailand 90000

*Corresponding author: Jackrit.an@skru.ac.th

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0006-7047-8028>

Received: January 21, 2025

Revised: February 12, 2026

Accepted: March 11, 2026

Abstract

Callus induction from leaf explants is a crucial step in coffee tissue culture for rapid and efficient mass propagation of seedlings. This research aimed to study factors affecting callus induction from leaves of Robusta coffee (*Coffea canephora*) cv. Chumphon 2, a popular variety in southern Thailand. The study examined three sequential experiments to test: (1) the effects of explant origin on sterility and callus formation; (2) the effects of leaf segment position and culture medium; and (3) the effects of leaf incisions on callus development. Young leaves from the 2nd – 3rd pairs from the shoot apex were collected from four sources: farmers' fields in Khlong Hoi Khong district, Songkhla province; experimental plots; a greenhouse and a controlled environment room at Songkhla Rajabhat University. Each leaf was divided into three segments (base, middle, and apex), sterilized with 1.2% sodium hypochlorite for 20 minutes, then cultured on NPCM medium (containing 1/2MS modified salts, 0.5 mg L⁻¹ 2,4-D, and 1 mg L⁻¹ 2ip) and C medium (containing 1/2MS salts, 0.5 mg L⁻¹ 2,4-D, 2 mg L⁻¹ 2ip and 1 mg L⁻¹ IBA) under dark conditions for four weeks followed by light conditions for six weeks, combined with leaf incisions to increase surface area. The results Results showed that leaves from the control environment room had the highest rates of sterility and callus formation (95 and 90%, respectively). Leaf base segments cultured on NPCM medium produced the best quality callus in terms of morphological characteristics, number of initiation sites (5.3 sites per explant), and diameter (3.8 mm). Incisions on both dorsal and ventral leaf surfaces promoted high-quality callus formation with a compact texture and dark green

color (100%), suitable for further development into organs or somatic embryos. These findings can be applied to enhance the production of high-quality callus for commercial propagation of *Coffea canephora* cv. Chumphon 2.

Keywords: Coffee tissue culture, *Coffea canephora*, Chumphon 2, callus induction, leaf wounding

บทคัดย่อ

การชักนำแคลลัสจากชิ้นส่วนใบเป็นขั้นตอนสำคัญในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกาแฟเพื่อการขยายพันธุ์ต้นกล้าจำนวนมากอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการชักนำแคลลัสจากใบกาแฟโรบัสต้า (*Coffea canephora*) พันธุ์ชุมพร 2 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกในภาคใต้ของประเทศไทย การศึกษาประกอบด้วย 3 การทดลองต่อเนื่อง ได้แก่ (1) ผลของแหล่งที่มาของชิ้นส่วนพืชต่อการฟอกฆ่าเชื้อและการชักนำแคลลัส (2) ผลของตำแหน่งชิ้นส่วนใบและสูตรอาหารเพาะเลี้ยง และ (3) ผลของการกรีดใบต่อการพัฒนาของแคลลัส โดยเก็บรวบรวมใบอ่อนคู่ที่ 2-3 จากยอดของต้นกาแฟจาก 4 แหล่ง ได้แก่ แปลงเกษตรกรในอำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา แปลงสาธิต โรงเรียน และห้องควบคุมสภาพแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา นำใบมาตัดแบ่งเป็น 3 ส่วน (โคนใบ กลางใบ และปลายใบ) ฟอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 1.2% เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร NPCM (ประกอบด้วยเกลือ 1/2MS ดัดแปลง, 2,4-D 0.5 มก./ล. และ 2ip 1 มก./ล.) และสูตร C (ประกอบด้วยเกลือ 1/2MS, 2,4-D 0.5 มก./ล. 2ip 2 มก./ล. และ IBA 1 มก./ล.) ในที่มีด 4 สัปดาห์ ตามด้วยสภาวะที่มีแสง 6 สัปดาห์ ร่วมกับการกรีดใบเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ผลการทดลองพบว่า ใบจากห้องควบคุมสภาพแวดล้อมมีอัตราความปลอดเชื้อและการเกิดแคลลัสสูงที่สุด (ร้อยละ 95 และ 90 ตามลำดับ) ชิ้นส่วนโคนใบที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร NPCM ให้แคลลัสที่มีคุณภาพดีที่สุดในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา มีจำนวนตำแหน่งการเกิดแคลลัสเฉลี่ย

5.3 ตำแหน่งต่อชิ้นส่วน และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 มม. การกรีดใบทั้งด้านหลังใบและท้องใบช่วยส่งเสริมการเกิดแคลลัสคุณภาพสูงที่มีเนื้อสัมผัสแน่นและมีสีเขียวเข้ม (ร้อยละ 100) ซึ่งเหมาะสมสำหรับการพัฒนาต่อเป็นอวัยวะหรือโซมาติกเอ็มบริโอ องค์ความรู้ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแคลลัสคุณภาพสูง สำหรับการขยายพันธุ์กาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

คำสำคัญ: การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกาแฟ กาแฟโรบัสต้า พันธุ์ชุมพร 2 การชักนำแคลลัส การสร้างผลใบ

บทนำ

กาแฟโรบัสต้า (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) พันธุ์ชุมพร 2 เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในพื้นที่เพาะปลูกภาคใต้ของประเทศไทย เนื่องจากมีศักยภาพในการปรับตัวต่อสภาพภูมิอากาศและให้ผลผลิตสูง งานวิจัยด้านการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกาแฟที่ผ่านมาส่วนใหญ่นำมาใช้ในการชักนำเอ็มบริโอจากเนื้อเยื่อทั่วไปในกาแฟอราบิกาและพันธุ์อื่น ๆ (Maruka *et al.*, 2023a) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวต้องอาศัยการชักนำแคลลัสเป็นเนื้อเยื่อตั้งต้น ความสำเร็จของการชักนำแคลลัสจากใบกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 ขึ้นอยู่กับสภาพสรีรวิทยาของต้นแม่พันธุ์ โดยเฉพาะระดับฮอร์โมนภายในและอัตราการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งที่มาของชิ้นส่วนพืชกับประสิทธิภาพการเกิดแคลลัสนี้ยังจำกัด

การชักนำแคลลัสจากใบเป็นเทคนิคสำคัญที่ช่วยให้สามารถผลิตเนื้อเยื่อคุณภาพสูงได้ในปริมาณมาก และอนุรักษ์ความหลากหลายทางพันธุกรรมของกาแฟความสำเร็จของกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ แหล่งที่มาของเนื้อเยื่อ สภาพสรีรวิทยาของต้นพันธุ์ ตำแหน่งของชิ้นส่วนใบ องค์ประกอบของสูตรอาหาร และวิธีการเตรียมชิ้นส่วนใบ รวมถึงการสร้างบาดแผลบนใบเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับอาหารเพาะเลี้ยง (Santana-Buzzy *et al.*, 2007; Campos *et al.*, 2017; Darwesh *et al.*, 2024) งานวิจัยหลายฉบับระบุว่า การเลือกใช้ตำแหน่งใบที่เหมาะสม เช่น โคนใบที่มีเนื้อเยื่อเจริญ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการชักนำแคลลัสได้ดีกว่าตำแหน่งอื่น (Campos *et al.*, 2017; Maruka *et al.*, 2023b) นอกจากนี้ สูตรอาหารเพาะเลี้ยงที่มีองค์ประกอบของสารควบคุมการเจริญเติบโต เช่น 2,4-D และ Zip ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เช่น สูตร NPCM หรือสูตร C มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพและปริมาณของแคลลัสที่เกิดขึ้น (Ibrahim *et al.*, 2024; Pádua *et al.*, 2014) การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของชิ้นส่วนใบด้วยการกรีดแผลยังช่วยกระตุ้นการชักนำแคลลัสได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 25–30 เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนที่ไม่ได้รับการกรีด (Ikeuchi *et al.*, 2017; Tunjung *et al.*, 2021)

แม้ว่าจะมีรายงานการศึกษาในกาแฟพันธุ์อื่นที่แสดงอัตราความสำเร็จในการชักนำแคลลัสอยู่ในช่วงร้อยละ 55–90 แต่สำหรับกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 ยังขาดข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับประสิทธิภาพของปัจจัยเหล่านี้ในบริบทของพื้นที่เพาะปลูกที่แตกต่างกัน สมมติฐานของงานวิจัยนี้จึงตั้งอยู่บนพื้นฐานว่า ปัจจัยด้านแหล่งที่มาของใบ ตำแหน่งชิ้นส่วนใบ สูตรอาหารเพาะเลี้ยง และการกรีดใบ จะส่งผลต่ออัตราการรอดเชื้อจุลินทรีย์และประสิทธิภาพการชักนำแคลลัสของกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของใบกาแฟจากแหล่งที่มาต่าง ๆ ศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งชิ้นส่วนใบ

ต่อการชักนำแคลลัส ทดสอบสูตรอาหารเพาะเลี้ยงที่มีรายงานจากการศึกษาก่อนหน้าต่อคุณภาพและปริมาณของแคลลัสที่เกิดขึ้น และวิเคราะห์ผลของการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของชิ้นส่วนใบด้วยเทคนิคการกรีดต่อประสิทธิภาพการเกิดแคลลัส เพื่อพัฒนาแนวทางการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 ให้มีประสิทธิภาพสูง และประยุกต์ใช้ในการขยายพันธุ์เชิงพาณิชย์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมตัวอย่างพืช คัดเลือกใบอ่อนคู่ที่ 2–3 จากยอดกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 ที่มีอายุระหว่าง 8–12 เดือน จากต้นพันธุ์ในแปลงเกษตรกร แปลงสาธิตโรงเรียน และห้องควบคุมสภาพแวดล้อม เพื่อเปรียบเทียบผลของแหล่งที่มาต่อการรอดเชื้อและการชักนำแคลลัสเลือกใบอ่อน ขนาด 10–15 ซม. ทำความสะอาดเบื้องต้นด้วยน้ำยาล้างจาน 1–2 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยน้ำไหล 30 วินาทีต่อใบ แล้วตัดแต่งชิ้นส่วนใบขนาด 5×2 ซม. โดยวางตำแหน่งให้เส้นกลางใบอยู่ตรงกลาง ชิ้นส่วนใบถูกพอกฆ่าเชื้อในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ 1.2% ที่เติม Tween-20 2 หยด /100 มล. เป็นเวลา 20 นาทีด้วยการเขย่าเบา ๆ จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ตัดเป็นชิ้นส่วนขนาด 1×1 ซม. โดยให้เส้นกลางใบอยู่ตรงกลางชิ้นส่วน แล้ววางชิ้นส่วนใบลงบนอาหารแข็งที่เตรียมไว้สำหรับการเพาะเลี้ยง

การวางแผนการทดลอง

การวิจัยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนแยกกัน โดยใช้ผลที่ดีที่สุดในการทดลองถัดไป ได้แก่

(1) ทดสอบสภาพความปลอดเชื้อจุลินทรีย์และการพัฒนาของเนื้อเยื่อพืชจากใบกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 ของต้นกาแฟจากสภาพแวดล้อมต่างกัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 กรรมวิธี จำนวน 25 ชิ้นส่วนต่อกรรมวิธี 3 ซ้ำ คือ ต้นกาแฟแปลงเกษตรกร

อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา แปลงสาธิต โรงเรือน และห้องควบคุมสภาพแวดล้อม (ความเข้มแสง 1,000 ลักซ์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมงต่อวัน อุณหภูมิ $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ของ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ขึ้นส่วนใบถ่วงแสงเลี้ยงบนอาหาร NPCM 1/2MS + 2,4-D 0.5 มก./ล. + 2ip 1 มก./ล.) บนชั้นไฟเป็นเวลา 4 สัปดาห์ แล้วบันทึกผลเปอร์เซ็นต์การปลดเชื้อและการเกิดแคลลัส

(2) ทดสอบตำแหน่งของชิ้นใบและสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการชักนำแคลลัส วางแผนการทดลองแบบ Split-plot in CRD โดยให้สูตรอาหารเป็นปัจจัยหลัก และตำแหน่งชิ้นส่วนใบเป็นปัจจัยรอง จำนวน 6 กรรมวิธี (2 สูตรอาหาร $\times$ 3 ตำแหน่ง) จำนวน 25 ชิ้นส่วนต่อกรรมวิธี ซ้ำ 3 ครั้ง โดยใช้ใบจากแหล่งที่เหมาะสมจาก (1) แบ่งใบออกเป็น 3 ส่วน ตามแนวเส้นกลางใบ ได้แก่ ปลายใบ (apex) กลางใบ (middle) และโคนใบ (base) (Figure 1) วางเลี้ยงบนอาหารชักนำแคลลัส 2 สูตร ได้แก่ NPCM (ธาตุอาหารดัดแปลงสูตร 1/2MS + 2,4-D 0.5 มก./ล. + 2ip 1 มก./ล.) (Samson *et al.*, 2006) และสูตร C (ธาตุอาหารสูตร 1/2MS + 2,4-D 0.5 มก./ล. + 2ip 2 มก./ล. + IBA 1 มก./ล.) (Tajetdini *et al.*, 2023) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ แล้วบันทึกจำนวนตำแหน่งที่เกิดแคลลัส และขนาดก้อนแคลลัสในตำแหน่งต่าง ๆ ของชิ้นส่วนใบ (รอบเส้นกลางใบ โคนใบ ปลายใบ ขอบใบ ฯลฯ) (Figure 2) และชั่งน้ำหนักสด

(3) ทดสอบการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสอาหารบน ชิ้นส่วนด้วยการกรีด วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 กรรมวิธี จำนวน 25 ชิ้นส่วนต่อกรรมวิธี 3 ซ้ำ คือ ด้วยการสร้างบาดแผลตามยาวของใบเล็กไม่เกิน 0.5 มม. ด้วยปลายมีด 4 ลักษณะ คือ ไม่กรีด (ชุดควบคุม) กรีดท้องใบ กรีดหลังใบ และกรีดทั้งท้อง-หลังใบ โดยใช้ ชิ้นส่วนใบในตำแหน่งและสูตรอาหารเพาะเลี้ยงที่เหมาะสม จาก (2) วางเลี้ยงบนชั้นวางและย้ายเลี้ยงทุก 5 สัปดาห์ จำนวน 2 ครั้ง ภาชนะอาหารที่บรรจุชิ้นส่วนใบวาง เลี้ยงบนชั้นวางในที่มีด 4 สัปดาห์ จากนั้นย้ายไปเลี้ยงต่อบนชั้นไฟโดยให้แสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 1,000 ลักซ์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมงต่อวัน ควบคุมอุณหภูมิ $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ตลอดการทดลองจนครบ 10 สัปดาห์ แล้วบันทึก ลักษณะแคลลัส (เนื้อสัมผัส สี) รวมถึงลักษณะของชิ้นส่วน เนื้อเยื่อใบเดิม

การวิเคราะห์ผล ผลของสภาพแวดล้อมต่อการ ฆ่าเชื้อและการเกิดแคลลัส (1) วิเคราะห์ด้วย One-way ANOVA ผลของตำแหน่งชิ้นส่วนใบและสูตรอาหาร (2) วิเคราะห์ด้วย 2-way ANOVA โดยให้สูตรอาหารเป็น ปัจจัยหลัก ตำแหน่งใบเป็นปัจจัยรอง ผลของการกรีดใบ (3) วิเคราะห์ด้วย One-way ANOVA หากพบความ แตกต่างมีนัยสำคัญ ใช้ DMRT เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ด้วยโปรแกรม SPSS

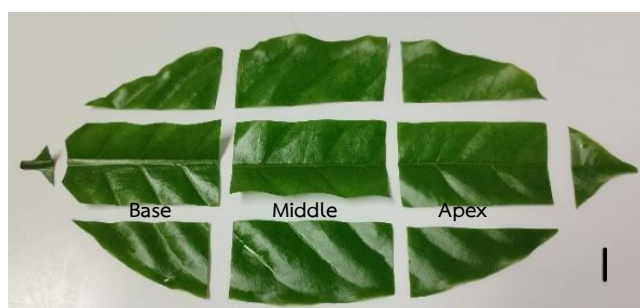


Figure 1 Segment of leaf explants: base, middle and apex (scale bar = 1 cm)

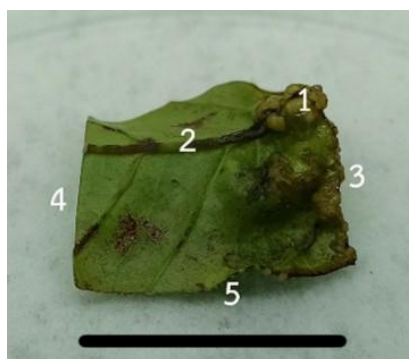


Figure 2 A surface-sterilized leaf explant of *Coffea canephora* cv. Chumphon 2 used for callus induction experiments. Indicated positions; (1) proximal midrib, (2) midrib, (3) basal cut edge, (4) apical cut edge, and (5) lateral cut edge. (scale bar = 1 cm)

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็นตอนตามลำดับการทดลอง ได้ดังนี้

ผลการฟอกฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และพัฒนาของเนื้อเยื่อใบกาแฟจากสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน

การศึกษาเปรียบเทียบผลของแหล่งที่มาของชิ้นส่วนพืชที่มีต่อประสิทธิภาพการฟอกฆ่าเชื้อและการเกิดแคลลัส โดยเก็บตัวอย่างใบอ่อนจากต้นพันธุ์ในสภาพแวดล้อมต่างกันจากแหล่งปลูกสองแห่ง ได้แก่ แปลงเกษตรกรในอำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา และมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จากนั้นนำมาฟอกฆ่าเชื้อจุลินทรีย์แล้วนำมาฟอกฆ่าเชื้อและติดตามผลเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (Table 1) ผลการทดลองพบว่า สภาพแวดล้อมของแหล่งปลูกมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อระดับการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ โดยชิ้นส่วนใบจากสภาพธรรมชาติในแปลงเกษตรกรมีอัตราการปลอดเชื้อต่ำที่สุดเพียง ร้อยละ 15 ซึ่งสอดคล้องกับใบจากแปลงสาธิตที่มีการปนเปื้อนสูง

เช่นกัน ในทางตรงกันข้าม ชิ้นส่วนใบจากต้นกล้าที่เลี้ยงในระบบปิด (control condition) มีอัตราการปลอดเชื้อสูงสุดถึง ร้อยละ 95 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ชัดเจนระหว่างแหล่งที่มาของเนื้อเยื่อและอัตราการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ โดยเนื้อเยื่อใบจากต้นที่เปิดสัมผัสกับสภาพแวดล้อมธรรมชาติ (ทั้งแปลงเกษตรกรและแปลงสาธิต) มีอัตราการปนเปื้อนสูงกว่า นอกจากนี้ แหล่งที่มาของชิ้นส่วนพืชยังส่งผลโดยตรงต่อศักยภาพการชักนำแคลลัส โดยใบจากระบบปิดมีอัตราการเกิดแคลลัสสูงสุด (ร้อยละ 90) ในขณะที่ใบจากแปลงเกษตรกรมีอัตราต่ำที่สุด (ร้อยละ 33) ทั้งนี้ พบว่าชิ้นส่วนที่ไม่สามารถพัฒนาเป็นแคลลัสจะเกิดสีน้ำตาลเข้มจากการหลั่งสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) ในปริมาณมากและตายในที่สุด ปรากฏการณ์นี้บ่งชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการคัดเลือกแม่พันธุ์จากสภาพแวดล้อมที่สะอาด (clean culture) เพื่อลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนและการเกิดสารสีน้ำตาล ซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดสำคัญในความสำเร็จของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

Table 1 Effect of explant origins on levels of sterilization and callus induction of *Coffea canephora* cv. Chumphon 2

Source of Explant	Sterility percentage	Callus induction percentage
Control condition*	95±3a	90±5a
Field at SKRU*	90±4a	80±6ab
Nursery at SKRU*	80±6b	55±7b
Agriculture Area**	15±4c	33±5c
F-value	98.75	76.42
CV (%)	8.32	12.64

*Songkhla Rajabhat university, Muang Songkhla, Songkhla province; ** Khlong Hoi Khong, Songkhla province

Means±SEM within the same column followed by different letters (a, b, c) are significantly different at $p<0.05$ according to DMRT.

ผลของตำแหน่งชิ้นส่วนใบและสูตรอาหารต่อการชักนำแคลลัส

การศึกษาได้ดำเนินการฟอกฆ่าเชื้อจุลินทรีย์บนใบกาแฟที่เก็บจากต้นกาแฟที่เพาะปลูกภายใต้สภาวะควบคุมในโรงเรือนปิด จากนั้นทำการแบ่งเนื้อเยื่อออกเป็นสามส่วน ประกอบด้วย ส่วนโคนใบ กลางใบ และปลายใบ ก่อนนำไปเพาะเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ 2 สูตร คือ NPCM และ C เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ผลการศึกษา (Table 2) พบว่าเมื่อพิจารณาปัจจัยด้านสูตรอาหาร (A) ต่อการเกิดแคลลัสบนชิ้นส่วนเพาะเลี้ยง สูตรอาหาร NPCM มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเกิดแคลลัสสูงกว่าสูตรอาหาร C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในด้านขนาดของแคลลัส อย่างไรก็ตาม สูตรอาหารไม่มีผลต่อจำนวนจุดกำเนิดแคลลัส โดยพบค่าเฉลี่ย 4.8–5.1 จุดต่อชิ้นส่วน เมื่อวิเคราะห์เฉพาะปัจจัยตำแหน่งชิ้นส่วนใบที่นำมาเพาะเลี้ยง (B) ต่อการเกิดแคลลัส พบว่าขนาดของแคลลัสที่เกิดบนชิ้นส่วนใบที่ได้จากบริเวณโคน (base) มีขนาดใหญ่กว่าชิ้นส่วนจากกลาง (middle) และปลายใบ (apex) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสูตรอาหารและตำแหน่งชิ้นส่วนใบที่นำมาเพาะเลี้ยง (A × B) แสดงให้เห็นว่ามีนัยสำคัญทางสถิติของขนาดแคลลัสที่เกิดเฉพาะบริเวณแกนใบ (midrib)

และโคนเส้นกลางใบ (proximal-midrib) เท่านั้น โดยชิ้นส่วนจากตำแหน่งโคนใบที่เพาะเลี้ยงในอาหารทั้งสองสูตรเกิดแคลลัสที่มีขนาดใหญ่ที่สุด แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในด้านจำนวนจุดเริ่มต้นการเกิดแคลลัส ทั้งนี้ จุดกำเนิดแคลลัสพบมากบริเวณเส้นกลางใบและฐานของเส้นกลางใบซึ่งเป็นบริเวณที่มีเนื้อเยื่อท่อลำเลียง ในขณะที่บริเวณรอยตัดที่ขอบใบทั้งด้านโคนและปลายใบนั้น แคลลัสมีการพัฒนาที่ช้าและมีขนาดเล็ก สำหรับบริเวณขอบใบที่ไม่มีรอยตัดพบการพัฒนาของแคลลัสน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

ภายหลังจากการเพาะเลี้ยงแคลลัสในที่มืดเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ และได้รับการกระตุ้นด้วยแสง (Figure 3) พบว่าแคลลัสมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากสีขาวใสเป็นสีเหลืองอ่อนอมเขียว และพัฒนาเป็นสีเขียวเข้มขึ้นตามระยะเวลาการเพาะเลี้ยง โดยมีลักษณะเนื้อเยื่อที่แข็งและแผ่กระจายออกจากเนื้อเยื่อใบไปตามผิวหน้าอาหารแข็งหรือบริเวณแกนใบ นอกจากนี้ ยังพบการพัฒนาของแคลลัสขนาดเล็กที่มีลักษณะสีขาวและมีความฟู ทั้งนี้ แคลลัสส่วนใหญ่มีการเจริญเติบโตด้านท้องใบ (abaxial) ที่สัมผัสกับผิวอาหารมากกว่าด้านหลังใบ (adaxial) ในระหว่างการเพาะเลี้ยง มีการสังเกตเห็นการสะสมสารประกอบฟีนอลิกสีน้ำตาล

และเนื้อเยื่อชิ้นส่วนเดิมมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลคล้ำจนถึงดำและเกิดการตาย อย่างไรก็ตาม แคลลัสยังคงมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง จึงมีความจำเป็นต้องแยกแคลลัสออกจากชิ้นส่วนเดิมเพื่อป้องกันผลกระทบจากการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อใบและการแพร่กระจายของสารประกอบฟีนอลิกในอาหารเพาะเลี้ยงหลังเสร็จสิ้นการ

ชักนำแคลลัส ดังนั้นกล่าวได้ว่า ตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการชักนำแคลลัสในใบกาแฟ คือ บริเวณโคนใบที่มีเส้นกลางใบ (base) โดยเฉพาะบริเวณส่วนฐานและแกนใบ (proximal-midrib, midrib) ซึ่งมีศักยภาพในการชักนำแคลลัสได้สูงทั้งในด้านจำนวนและขนาดของแคลลัส โดยเฉพาะเมื่อเพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร NPCM

Table 2 Effects of culture medium and leaf position on callus induction in *Coffea canephora* cv. Chumphon 2 after 6 weeks of culture

	Number of calli per explant	Callus size (mm)				
		Proximal- midrib	Midrib	Basal cut edge	Apical cut edge	Lateral cut edge
Medium (A)						
C (1)	4.9±0.2	2.0±0.2b	2.0±0.2b	1.6±0.1b	1.3±0.1b	1.2±0.1b
NPCM (2)	5.1±0.3	2.9±0.3a	2.8±0.3a	2.1±0.2a	1.6±0.1a	1.6±0.1a
Leaf position (B)						
Base (1)	5.1±0.4	2.6±0.2a	3.1±0.3a	2.2±0.2a	1.8±0.1a	1.7±0.1a
Middle (2)	5.0±0.2	1.9±0.2c	1.9±0.2c	1.5±0.1c	1.1±0.1c	1.0±0.0c
Apex (3)	4.8±0.2	2.1±0.2b	2.1±0.3b	1.7±0.2b	1.3±0.1b	1.2±0.1b
Medium x Leaf position (A x B)						
1x1	4.9±0.5	2.1±0.2bc	2.6±0.3a	1.9±0.2	1.8±0.16	1.6±0.1
1x2	5.1±0.1	2.0±0.2bc	2.0±0.3b	1.6±0.2	1.2±0.1	1.1±0.1
1x3	4.6±0.2	1.6±0.1c	1.4±0.1c	1.4±0.1	1.1±0.1	1.1±0.1
2x1	5.3±0.6	3.2±0.3a	3.8±0.4a	2.5±0.2	1.9±0.2	1.9±0.2
2x2	4.8±0.5	1.7±0.1c	1.7±0.2bc	1.3±0.1	1.0±0.0	1.0±0.0
2x3	5.2±0.5	2.6±0.4a	2.6±0.4ab	2.2±0.3	1.5±0.2	1.4±0.2
F-value						
A	0.8ns	8.8*	4.6*	7.3*	4.3*	7.7*
B	1.7ns	3.7*	5.3*	3.9*	12.5*	8.4*
A x B	2.1ns	4.1*	3.5*	2.8ns	1.9ns	1.8ns
CV (%)	18.4	22.2	24.8	19.4	16.8	15.9

Mean values ± standard error (SE) within the same column followed by different superscript letters (a, b) indicate significant differences ($p < 0.05$) according to Duncan's Multiple Range Test; ns = not statistically significant; * = $p < 0.05$.

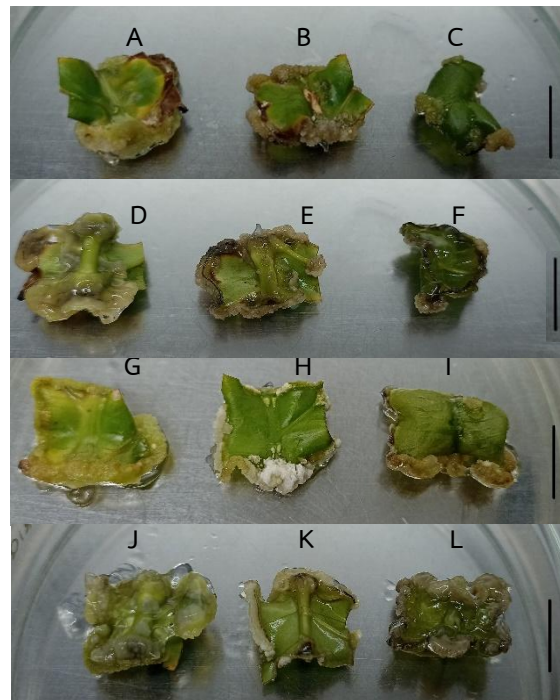


Figure 3 Callus formation on *Coffea canephora* cv. Chomphon 2 leaf explants after six weeks. Panels show explants cultured on C medium (A-F) or NPCM medium (G-L). The explants, taken from the base, middle, and apex of the leaf (left to right in each row), were oriented with either their adaxial side (A-C, G-I) or abaxial side (D-F, J-L) in contact with the medium. (scale bars = 1 cm)

ผลของการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของอาหารบนชิ้นส่วนใบ โดยการกรีดเพื่อสร้างแผล

ในการวิจัยนี้ใช้ชิ้นส่วนโคนใบของต้นกาแฟที่เพาะเลี้ยงในระบบโรงเรือนปิดและผ่านกระบวนการพอกฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ จากนั้นตัดให้มีขนาด 1×1 ซม. โดยให้มีแกนใบอยู่ตรงกลาง และทำการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของอาหารโดยการกรีดตามยาวในตำแหน่งที่แตกต่างกันบนชิ้นส่วนใบ แล้วนำไปเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร NPCM เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า จำนวนและน้ำหนักสดของแคลลัสที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) การกรีดใบเพียงด้านเดียวไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนใบที่ไม่ถูกกรีด อย่างไรก็ตาม การกรีดทั้งสอง

ด้าน (ด้านหลังใบและท้องใบ) กระตุ้นการเกิดแคลลัสได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยพบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของแคลลัสอยู่ที่ 0.85 กรัมต่อชิ้นส่วน และจำนวนจุดที่เกิดแคลลัสเฉลี่ยที่ 4.5 จุดต่อชิ้นส่วน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ในกรณีของขอบใบ (apical cut edge) พบว่าการกรีดทั้งสองด้าน (both) ช่วยกระตุ้นให้เกิดแคลลัสที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ซึ่งสูงกว่าชิ้นส่วนที่กรีดเพียงด้านเดียวหรือไม่กรีดเลยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยบริเวณที่มีแนวโน้มเกิดแคลลัสได้ดี ได้แก่ บริเวณรอบและฐานของแกนใบ ซึ่งให้ผลดีกว่าบริเวณโคน ปลาวย และขอบใบ

ลักษณะของแคลลัสที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามรูปแบบการกรีดชิ้นส่วนใบกาแฟ

(Table 4) โดยชิ้นส่วนใบที่ได้รับการกรีดทั้งสองด้าน สามารถพัฒนาเนื้อเยื่อได้ดีที่สุด เมื่อเพาะเลี้ยงในชั้นไฟ พบว่า แคลลัสที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นก้อนแข็ง สีเขียวเข้ม (100%) มีการแบ่งเซลล์กระจายไปทั่วผิวของอาหาร และเริ่มพัฒนาเป็นชั้นเนื้อเยื่อที่เรียงตัวกัน เกิดเป็นตุ่มเนื้อเยื่อ และบางส่วนพัฒนาเป็นราก ทั้งนี้ ไม่พบแคลลัสที่ไม่มี รงควัสดุหรือมีอาการเนื่อตาย สำหรับชิ้นส่วนใบที่กรีดเฉพาะ ด้านหลังใบ พบการพัฒนาเนื้อเยื่อในลักษณะเดียวกันกับการกรีดทั้งสองด้าน แต่มีการพัฒนาช้ากว่าเล็กน้อย โดย ก้อนเซลล์มีสีเขียวเข้มเล็กน้อย (ประมาณ 7%) อย่างไรก็ตาม มีการเกิดเนื้อเยื่อใหม่ขึ้นมาทดแทน โดยเฉพาะบริเวณ

แผลกรีดด้านหลังใบ ซึ่งมีการแบ่งตัวของเนื้อเยื่อใกล้เคียง เกิดเป็นตุ่มลักษณะคล้ายราก ในทางตรงกันข้าม ชิ้นส่วน ใบที่ไม่ได้รับการกรีดหรือกรีดเฉพาะด้านท้องใบ จะให้ แคลลัสที่มีลักษณะนุ่ม ฉ่ำน้ำ ไม่แข็ง สีออกน้ำตาลใส และแผ่กระจายบนผิวอาหารโดยไม่เกิดเป็นชั้นเนื้อเยื่อ ไม่ ปรากฏการสร้างตุ่มหรือราก และให้แคลลัสสีเขียวใน อัตราที่ต่ำกว่า (60%) ทั้งยังพบว่าการสร้างรงควัสดุ เกิดขึ้นช้ากว่า จากผลการทดลองพบว่า การกรีดด้านหลัง ใบสามารถเพิ่มโอกาสในการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ และลดการ ตายของเนื้อเยื่อตั้งต้นได้ โดยสังเกตจากปริมาณแคลลัส สีน้ำตาลเข้มที่ลดลง (Figure 4c และ 4d)

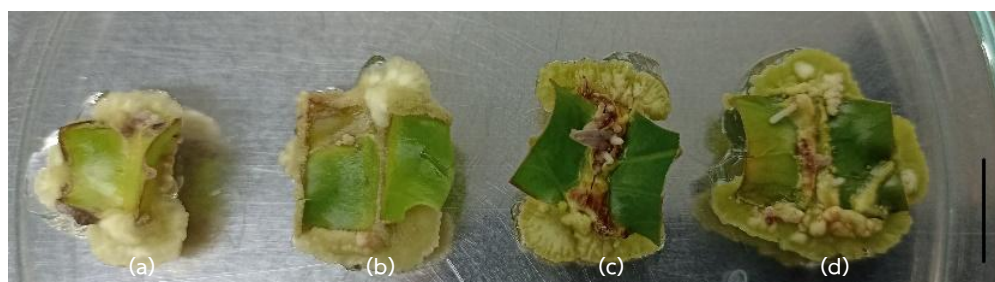


Figure 4 Wound effects on callus induction characteristics in *Coffea canephora* cv. Chomphon 2 after 10 weeks of culture; (a) no wound, (b) adaxial, (c) abaxial and (d) both (scale bar = 1 cm)

Table 3 Effects of leaf wounding on callus induction and development in *Coffea canephora* cv. Chumphon 2 after 10 weeks of culture on NPCM medium

Wounding position	Fresh weight (g)	Number of calli per explant	Callus size (mm)				
			Proximal midrib	Midrib	Basal cut edge	Apical cut edge	Lateral cut edge
No wound	0.55±0.17b	2.9±0.3b	3.3±0.2	3.0±0.4	2.3±0.3	2.4±0.3	1.5±0.2b
Adaxial	0.54±0.19b	3.2±0.5b	3.0±0.3	2.8±0.7	2.3±0.25	2.1±0.2	1.4±0.2b
Abaxial	0.60±0.11b	2.5±0.1b	3.4±0.3	3.6±0.4	3.00±0.2	2.6±0.3	1.8±0.2b
Both	0.85±0.21a	4.5±0.4a	3.3±0.4	3.7±0.3	3.00±0.5	2.9±0.4	2.4±0.3a
F-value	6.3*	5.9*	0.3ns	0.9ns	0.58ns	1.2ns	4.4*
CV (%)	37.65	41.9	35.5	38.0	43.9	41.3	41.8

Mean values ± standard error (SE) within the same column followed by different superscript letters (a, b) indicate significant differences ($p < 0.05$) according to Duncan's Multiple Range Test; ns = not statistically significant

Table 4 Wound effects on callus induction characteristics in *Coffea canephora* cv. Chomphon 2 after 10 weeks of culture in NPCM

Wound	Callus color (%)			Characteristic texture
	Green	Brown	Dark	
No wound	58	21	21	Compact Callus, spread float on medium
Adaxial	60	0	40	Friable Callus, spread float on medium and explant.
Abaxial	93	0	7	Dark Green and Compact Callus, spread float on medium, root bud was induced at abaxial leaf explant
Both	100	0	0	Dark Green and Compact Callus, spread float on medium, root bud was induced at abaxial leaf explant

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาการชักนำแคลลัสจากชิ้นส่วนใบกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยแวดล้อมของต้นพันธุ์ ตำแหน่งชิ้นส่วนใบ สูตรอาหาร และการกรีดใบมีผลต่อประสิทธิภาพการชักนำแคลลัสอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดว่าความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากแฟขึ้นอยู่กับการพิจารณาปัจจัยที่ต้องพิจารณาร่วมกัน

แหล่งที่มาของชิ้นส่วนใบมีผลโดยตรงต่อความสำเร็จในการฟอกฆ่าเชื้อและการชักนำแคลลัส โดยพบว่าใบจากต้นกล้าที่เลี้ยงในระบบปิดมีอัตราการรอดเชื้อจุลินทรีย์และการเกิดแคลลัสสูงที่สุด (ร้อยละ 95 และ 90 ตามลำดับ) เนื่องจากต้นกล้าในระบบปิดมีการสัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์ในธรรมชาติน้อยกว่า ทำให้มีการสะสมเชื้อภายในเนื้อเยื่อต่ำ สอดคล้องกับรายงานของ Santos *et al.* (2015) ที่พบว่าต้นกาแฟในสภาพธรรมชาติมีการสะสมเชื้อจุลินทรีย์ภายในชั้นเนื้อเยื่อสูง ซึ่งแม้ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตในธรรมชาติ แต่ทำให้การฟอกฆ่าเชื้อทำได้ยากเมื่อนำมาเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ Darwesh *et al.* (2024) ยังรายงานว่า การควบคุมสภาพแวดล้อมตั้งแต่เป็นต้นกล้าช่วยเพิ่มความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การนำต้นกาแฟจากแปลงเกษตรกรมาเลี้ยงใน

สภาพแวดล้อมควบคุมก่อนเริ่มต้นเตรียมชิ้นส่วนเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มโอกาสความสำเร็จ (Valdés *et al.*, 2021)

ตำแหน่งของชิ้นส่วนใบมีผลต่อประสิทธิภาพการชักนำแคลลัสอย่างชัดเจน โดยชิ้นส่วนโคนใบ (base) ให้ผลการชักนำแคลลัสดีที่สุดในด้านจำนวนและขนาด โดยเฉพาะบริเวณฐานและเส้นกลางใบ (base-midrib, midrib) เนื่องจากบริเวณนี้ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเจริญท่อลำเลียงที่มีเซลล์อายุน้อยและยังไม่เปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่เฉพาะมาก ทำให้มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นแคลลัสสูง (Asghari *et al.*, 2012) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยในกาแฟอราบิกา (Maruka *et al.*, 2023b; Munawarti *et al.*, 2024) ที่พบว่าตำแหน่งโคนใบให้ผลการชักนำแคลลัสดีที่สุด นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาในพืชอื่น ๆ เช่น กระเทียม (Zuldin *et al.*, 2013) กระพุ่ม (Li *et al.*, 2019) เป็นต้น ที่พบว่าการเลือกตำแหน่งชิ้นส่วนใบที่มีเซลล์อายุน้อยจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการชักนำแคลลัสสูงขึ้น

สูตรอาหารเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการชักนำแคลลัส โดยพบว่าอาหารสูตร NPCM ให้ผลการชักนำแคลลัสดีกว่าสูตร C ทั้งในด้านขนาดและคุณภาพของแคลลัส โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับชิ้นส่วนโคนใบ ซึ่งให้ขนาดแคลลัสสูงสุด 3.8 มม. ความแตกต่างนี้อาจ

เนื่องจากจากสูตร NPCM มีองค์ประกอบของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เหมาะสมกว่า โดยเฉพาะอัตราส่วนระหว่างออกซินและไซโตไคนิน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการชักนำแคลลัสในกาแฟ (Campos *et al.*, 2017) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การเลือกสูตรอาหารที่เหมาะสมร่วมกับการเลือกตำแหน่งชิ้นส่วนใบที่เหมาะสม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการชักนำแคลลัสได้อย่างมีนัยสำคัญ

การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสด้วยการกรีดใบเป็นเทคนิคที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการชักนำแคลลัสได้อย่างชัดเจน โดยพบว่ากรีดทั้งด้านหลังใบและท้องใบให้ผลดีที่สุดทั้งในด้านน้ำหนักสด (0.85 กรัม) และจำนวนแคลลัส (4.5 ตำแหน่ง/ชิ้นส่วน) นอกจากนี้ยังส่งผลต่อคุณภาพของแคลลัสด้วย โดยแคลลัสที่ได้จากการกรีดทั้งสองด้านมีลักษณะเป็นก้อนแข็ง สีเขียวเข้มและมีการพัฒนาเป็นตุ่มรากได้ การกรีดใบช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับอาหารและอากาศ ทำให้เนื้อเยื่อได้รับสารอาหารและออกซิเจนดีขึ้น ส่งผลให้เซลล์มีชีวิตอยู่ได้นานและพัฒนาเป็นแคลลัสได้ดี (Tunjung *et al.*, 2021) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยใน *Arabidopsis thaliana* (Ikeuchi *et al.*, 2017) ที่พบว่าการสร้างบาดแผลกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางฮอโมนและการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแคลลัส รวมถึงการศึกษาในพืชอื่น ๆ เช่น มะเขือเทศ (Yaroshko *et al.*, 2023) ที่พบว่าการกรีดใบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการชักนำแคลลัสได้

ลักษณะของแคลลัสที่ได้จากการศึกษานี้มีความหลากหลาย ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของเซลล์ต้นกำเนิดและสภาวะการเพาะเลี้ยง โดยพบแคลลัสสองลักษณะหลัก คือ แคลลัสเนื้อละเอียดนิ่มฟู ฉ่ำน้ำ สีถึงขาว ซึ่งไม่เปลี่ยนสีเมื่อได้รับแสง และแคลลัสก้อนแข็ง แผ่นเป็นแผ่นไปตามผิวอาหาร เริ่มเกิดเป็นสีเขียวจนถึงน้ำตาลอ่อนในที่มืด และเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้มเมื่อได้รับแสง แคลลัสประเภทแรกมีองค์ประกอบภายในเป็นไซโทพลาสซึมน้อยและมีแวคิวโอลมาก ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการพัฒนาต่อ ส่วนแคลลัสประเภทที่สองมีลักษณะเป็นก้อนแข็งเล็ก ๆ ทรงกลม สีขาวนวลถึงน้ำตาล ซึ่งมีศักยภาพ

ในการพัฒนาต่อเป็นอวัยวะหรือเอ็มบริโอได้ (Carsono *et al.*, 2021; Ibrahim *et al.*, 2024) ลักษณะแคลลัสที่แตกต่างกันนี้สอดคล้องกับรายงานในกาแฟอราบิกา (Pádua *et al.*, 2014; Maruka *et al.*, 2023b) ที่พบความหลากหลายของแคลลัสจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อใบเช่นกัน

ปัญหาสำคัญในการชักนำแคลลัสกาแฟ คือ การสร้างสารพิษนอลิก ซึ่งเกิดจากความเครียดของเซลล์เมื่อได้รับการฟอกฆ่าเชื้อ ทำให้เนื้อเยื่อตายหรือปล่อยสารลงในอาหารเลี้ยง (Pristiana, 2017; Setiawan *et al.*, 2020) การศึกษานี้พบว่า การกรีดใบช่วยลดการเกิดสารสีน้ำตาลได้ โดยเฉพาะการกรีดด้านหลังใบหรือกรีดทั้งสองด้าน ซึ่งช่วยให้เนื้อเยื่อใบเดิมดำรงชีวิตอยู่ได้นานขึ้น ไม่ปรากฏเซลล์ตาย ส่งผลให้ไม่เกิดแคลลัสสีดำ (Teshome and Feyissa, 2015; Ikeuchi *et al.*, 2017) นอกจากนี้ ยังพบว่าชิ้นส่วนใบจากต้นอายุน้อยในระบบปิด มีการสร้างสารสีน้ำตาลน้อยกว่าชิ้นส่วนจากต้นในแปลงเกษตรกร ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการสะสมสารประกอบฟีนอลิกที่น้อยกว่าในต้นกาแฟ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าความสำเร็จในการชักนำแคลลัสคุณภาพสูงในกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 ขึ้นอยู่กับการบูรณาการปัจจัยหลักร่วมกัน โดยพบว่า (1) แหล่งต้นพันธุ์ จากระบบโรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อมให้ผลดีที่สุด โดยลดอัตราการปนเปื้อนและเพิ่มอัตราการเกิดแคลลัสได้อย่างมีนัยสำคัญ (2) ชิ้นส่วนโคนใบเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการชักนำแคลลัส และ (3) สูตรอาหาร NPCM ร่วมกับการกรีดใบทั้งสองด้านเป็นกรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการชักนำแคลลัสที่มีลักษณะเนื้อแน่น สีเขียวเข้ม ซึ่งมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นโซมาติกเอ็มบริโอได้ดีที่สุด องค์ความรู้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบกระบวนการผลิตแคลลัส เพื่อการขยายพันธุ์กาแฟโรบัสต้าในเชิงพาณิชย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ ครุภัณฑ์และสถานที่ทำวิจัย และขอขอบคุณเกษตรกร ตำบลทุ่งลาน อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา ที่สนับสนุนตัวอย่างกาแฟโรบัสต้าชุมพร 2 ในการทำวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จเรียบร้อยด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Asghari, F., B. Hossieni, A. Hassani and H. Shirzad. 2012. Effect of explant source and different hormonal combinations on direct regeneration of basil plants (*Ocimum basilicum* L.). **Australian Journal of Agricultural Engineering** 3: 12–17.
- Campos, J., C.A. Souza, J.F. Rocha and M.C. Espindula. 2017. Leaf anatomy and its role in callus formation of *Coffea arabica*. **Scientia Agricola** 74(6): 501–508. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0123>
- Carsono, N., A. Purwanto, A. Rachmadi, A. Wahyudin and M. Setiawati. 2021. Callus induction and regeneration of rice (*Oryza sativa* L.) varieties under different 2,4-D concentrations and explant sources. **Biodiversitas** 22(5): 2618–2625. <https://doi.org/3057/biodiv/d220520>
- Darwesh, R., M. Gawad, K. Ashebre and M. Abdelzaher. 2024. Optimization of closed-system cultivation for coffee micropropagation. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture** 156(1): 89–101. <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02635-0>
- Ibrahim, R., S. Hosny, A. Amer and W. Vendrame. 2024. Somatic embryogenesis from leaf-derived callus of *Coffea arabica*. **Plant Cell Reports** 43(1): 45–55. <https://doi.org/10.1007/s00299-023-03114-4>
- Ikeuchi, M., Y. Ogawa, A. Iwase and K. Sugimoto. 2017. Plant regeneration: cellular origins and molecular mechanisms. **Development** 144(9): 1442–1451. <https://doi.org/10.1242/dev.134668>
- Li, J., D. Zhang, K. Ouyang and X. Chen. 2019. High frequency plant regeneration from leaf culture of *Neolamarckia cadamba*. **Plant Biotechnology** 36(1): 13–19. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.18.1119a>
- Maruka, R.A.R., M. Ananda, E. Yuniati and A.P. Paserang. 2023a. Strategy propagation of *Coffea arabica* L. by tissue culture techniques. pp. 205–208. *In Proceedings of the 2nd International Interdisciplinary Conference on Environmental Sciences and Sustainable Developments 2022 Environment and Sustainable Development (IICESD-ESD 2022)*. Palu: Universitas Tadulako.

- Maruka, R., B. Daryono, Y.T.M. Astuti and E. Semiarti. 2023b. Comparative study of callus induction in *Coffea arabica* cultivars. **Plant Biotechnology** 40(2): 89–97. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.23.0427a>
- Munawarti, A., R L Nurhury, R. Arimarsetiowati, E. Prastowo and L. Hakim. 2024. Induction and multiplication of callus of AS2K clones *Coffea arabica* L. through 2,4-D and BAP combination. **Earth and Environmental Science** 1356(2024): 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1356/1/012035>
- Pádua, M.S., L.V. Paiva, C.R.G. Labory, E. Alves and V.C. Stein. 2014. Induction and characterization of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) pro-embryogenic masses. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 86(4): 1563–1572. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201420130181>
- Pristiana, D. 2017. Aktivitas antioksidan dan kadar fenol berbagai ekstrak daun kopi (*Coffea* sp.): Potensi aplikasi bahan alami untuk fortifikasi pangan. **Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan** 6(2): 89–92. <https://doi.org/10.17728/jatp.205>
- Samson, N., C. Campa, L. Gal, M. Noirot, G. Thomas, T.S. Lokeswari and A. De Kochko. 2006. Effect of primary culture medium composition on high-frequency somatic embryogenesis in different *Coffea* species. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture** 86: 37–45. <https://doi.org/10.1007/s11240-006-9094-2>
- Santana-Buzzy, N., R. Rojas-Herrera, R.M. Galaz-Ávalos and V.M. Loyola-Vargas. 2007. Advances in coffee tissue culture and its practical applications. **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant** 43(6): 507–520. <https://doi.org/10.1007/s11627-007-9074-1>
- Santos, M.R.A., C.A. de Souza, J.F. da Rocha, L.V. de Araujo and M.C. Espindula. 2015. Comparison of economic efficiency between *in vitro* and field methods for vegetative propagation of *Coffea canephora*. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences** 9(20): 1–7.
- Setiawan, A., M. Rahmah, H. Trisnia and A. Jamsari. 2020. Browning suppression in coffee callus using ascorbic acid. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture** 141(2): 321–329. <https://doi.org/10.1007/s11240-020-01887-2>
- Tajetdini, F., M. Talebi, R. Naderi and D. Hassani. 2023. Effect of growth regulators on callus induction and plant regeneration from leaf explants of *Coffea arabica* L. cultivars. **Scientific Reports** 13(1): 6782. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33814-8>
- Teshome, S. and T. Feyissa. 2015. *In vitro* callus induction and shoot regeneration from leaf explants of *Glinus lotoides* (L.)- an important medicinal plant. **American Journal of Plant Sciences** 6(9): 1329–1340. <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.69132>

- Tunjung, W.A.S., A.F. Widyasari, A. Iskandar, A.J. Nurulita, A.B. Sasongko, A. Indrianto and Maryani. 2021. Effect of 2,4-D and BAP on morphological characters and genetic stability of kaffir lime (*Citrus hystrix* DC.) callus cultures among generations. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences** 20(3): 1–14. <https://doi.org/10.12982/cmujns.2021.067>
- Valdés, Y.C., M.R. Shukla, M.E.G. Vega and P.K. Saxena. 2021. Improved conservation of coffee (*Coffea arabica* L.) germplasm via micropropagation and cryopreservation. **Agronomy** 11(9): 1861. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091861>
- Yaroshko, O., T. Pasternak, E. Larriba and J.M. Pérez-Pérez. 2023. Optimization of callus induction and shoot regeneration from tomato cotyledon explants. **Plants** 12(16): 2942. <https://doi.org/10.3390/plants12162942>
- Zuldin, N.N.M., I.M. Said, N.M. Noo, Z. Zainal, C.J. Kiat and I. Ismail. 2013. Induction and analysis of the alkaloid mitragynine content of a *Mitragyna speciosa* suspension culture system upon elicitation and precursor feeding. **The Scientific World Journal** 2013: 209434. <https://doi.org/10.1155/2013/209434>

ปริมาณการใช้น้ำของกาแฟพันธุ์อะราบิกาภายใต้สภาพร่มเงาต่างกันในช่วงแล้ง
Water Requirement of Arabica Coffee under Different Shade Conditions
during the Dry Season

วรพล ปัญจาสุธารส¹ วิชญ์ภาส สังพาลี¹ วิสูตร อาสนวิจิตร² สุธิพงษ์ ศรีฉัตรใจ¹
อุมารินทร์ อ้ายตุ้ย³ และวาสนา วิรุณรัตน์^{1,*}

Woraphon Panjasutaros¹, Witchaphart Sungpalee¹, Visut Asanavijit², Suttipong Srichatjai¹
Aumarin Aitui³ and Wassana Wiroonrat^{1,*}

¹หลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50220

³กลุ่มวิจัยวิทยาศาสตร์กาแฟ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Agricultural Program, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

²College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand 50220

³Coffee Science Group Research, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: vassana@mju.ac.th

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0001-6310-9690>

Received: December 31, 2024

Revised: February 19, 2026

Accepted: March 17, 2026

Abstract

This study investigated the water use of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) under different shading environments during the dry season. The experiment was conducted from February 22 to 28, 2024, at Maejo University. Four 3-year-old Arabica coffee trees were each planted in a 30-liter pot and assigned to one of two treatments: under a 50% shade net or in an open field (full sunlight), with two plants per treatment. All trees were at the floral bud stage, which is known to respond strongly to irrigation. Sap flow sensors were installed to measure actual plant water use (ET_c), and weather data were collected from an automatic weather station to calculate reference evapotranspiration (ET_o) and the daily crop coefficient (K_c). The objectives were: 1) to evaluate the water use of arabica coffee under different shading conditions using the sap flow technique; 2) to determine crop coefficients (K_c) for accurate irrigation scheduling during the dry season; and 3) to assess the relationships between vapor pressure deficit (VPD) with both ET_o and ET_c. Results showed that open-field plants had higher average ET_c (2.15 L plant⁻¹ day⁻¹) and K_c (1.39) compared to shaded plants (ET_c = 1.06 L plant⁻¹ day⁻¹, K_c = 0.61). The coefficient of determination (R²) between VPD and ET_o was 0.934, while the R² between VPD and ET_c was 0.526, reflecting the plant's physiological regulation of transpiration under

varying microclimate conditions. These findings provide a basis for more precise irrigation planning in coffee cultivation, especially during flowering induction in dry periods.

Keywords: coffee, arabica, water requirement, evapotranspiration, sap flow

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณการใช้น้ำของกาแฟพันธุ์อะราบิกา (*Coffea arabica* L.) ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีร่มเงาแตกต่างกันในช่วงฤดูแล้ง ดำเนินการทดลองระหว่างวันที่ 22-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ กาแฟอายุ 3 ปี ปลูกในกระถางขนาด 30 ลิตร จำนวน 4 ต้น (1 ต้นต่อกระถาง) แบ่งเป็นได้แสงนพรางแสง 50% และกลางแจ้ง อย่างละ 2 ต้น ต้นกาแฟอยู่ในช่วงพัฒนาตาดอก (bud growth stage) ซึ่งเป็นระยะที่ตอบสนองต่อการให้น้ำอย่างชัดเจน ติดตั้งหัววัดอัตราการไหลของน้ำในลำต้น (sap flow) และเก็บข้อมูลสภาพอากาศด้วยสถานีอัตโนมัติ เพื่อบริหารจัดการการใช้น้ำของพืช (ETc) ค่าการคายระเหยอ้างอิง (ETo) และค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) รายวัน โดยมีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อศึกษาปริมาณการใช้น้ำของกาแฟพันธุ์อะราบิกาในช่วงฤดูแล้งภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีร่มเงาแตกต่างกัน โดยใช้เทคนิคการวัดอัตราการไหลของน้ำในลำต้น (sap flow) 2) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) สำหรับใช้ในการวางแผนจัดการน้ำอย่างแม่นยำในช่วงฤดูแล้ง และ 3) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไอรระเหย (VPD) กับค่าการคายระเหยอ้างอิง (ETo) และปริมาณการใช้น้ำจริงของพืช (ETc) ผลการทดลองพบว่า ต้นที่ปลูกกลางแจ้งมีค่า ETc เฉลี่ย 2.15 ลิตร/ต้น/วัน และ Kc เฉลี่ย 1.39 ขณะที่ได้รับเงามีค่า ETc เฉลี่ย 1.06 ลิตร/ต้น/วัน และ Kc เฉลี่ย 0.61 ความสัมพันธ์ระหว่าง VPD กับ ETo มีค่า $R^2=0.934$ ส่วนระหว่าง VPD กับ ETc มีค่า $R^2=0.526$ สะท้อนให้เห็นถึงกลไกการควบคุมการคายน้ำของพืชที่ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม ผลที่ได้สามารถนำไปใช้วางแผนจัดการน้ำ

อย่างแม่นยำในระบบการปลูกกาแฟ โดยเฉพาะช่วงกระตุ้นตาดอกในฤดูแล้ง

คำสำคัญ: กาแฟ อะราบิกา ปริมาณการใช้น้ำ การคายระเหยน้ำ การเคลื่อนที่ของน้ำในต้นพืช

บทนำ

มูลค่าของกาแฟอะราบิกาในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 มีประมาณ 1,200 ล้านบาท (Office of Agricultural Economics, 2023) การผลิตกาแฟรวมทั้งประเทศยังคงไม่เพียงพอต่อความต้องการบริโภคที่สูงถึงประมาณ 95,500 ตันต่อปี ในขณะที่ผลิตได้เพียงประมาณ 15,651 ตัน ส่งผลให้ต้องนำเข้ากาแฟจากต่างประเทศกว่า 80,000 ตันต่อปี (Nation Thailand, 2024) กาแฟอะราบิกาเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่ปลูกในพื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และแม่ฮ่องสอน ซึ่งเป็นแหล่งผลิตกาแฟอะราบิกาคุณภาพสูงที่มีชื่อเสียงทั้งในและต่างประเทศ ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกกาแฟอะราบิกาประมาณ 140,000 ไร่ แต่ผลผลิตรวมกลับมีเพียงประมาณ 10,682 ตัน (Nation Thailand, 2024) ปัญหาสำคัญที่ทำให้ผลผลิตลดลง คือ ภัยแล้ง ที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) ส่งผลให้พื้นที่เพาะปลูกขาดน้ำอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนมกราคมถึงมีนาคมที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 100 มิลลิเมตร (Thai Meteorological Department, 2023) ทำให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ลดลงเหลือประมาณ 94

กิโกรัมต่อไร่ (Office of Agricultural Economics, 2023) นอกจากนี้ คุณภาพของเมล็ดกาแฟก็ลดลง เนื่องจากเมล็ดมีขนาดเล็กและเกิดข้อบกพร่องต่าง ๆ จากปัญหาข้างต้น การศึกษาความต้องการน้ำของกาแฟพันธุ์อาราบิก้าภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีร่มเงาต่างกันในช่วงแล้งจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับเกษตรกรในการวางแผนจัดการน้ำให้เหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟอาราบิก้าต่อไป การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อศึกษาปริมาณการใช้น้ำของกาแฟพันธุ์อาราบิก้าในช่วงฤดูแล้งภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีร่มเงาแตกต่างกัน โดยใช้เทคนิคการวัดอัตราการไหลของน้ำในลำต้น (sap flow) 2) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) สำหรับใช้ในการวางแผนจัดการน้ำอย่างแม่นยำในช่วงฤดูแล้ง และ 3) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไอรเหย (VPD) กับค่าการคายระเหยอ้างอิง (ETo) และปริมาณการใช้น้ำจริงของพืช (ETc)

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ทดลอง ดำเนินการ ณ อาครดินและปุ๋ยชั้นสูง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 325 เมตร ต้นกาแฟที่ศึกษาปลูกในกระถางขนาด 30 ลิตร ใช้ดินปลูก 40 กิโลกรัมต่อกระถาง ต้นกาแฟอาราบิก้าอายุ 3 ปี จำนวน 4 ต้น ความสูงเฉลี่ย 0.745 ± 0.03 เมตร ขนาดทรงพุ่มเฉลี่ย 0.201 ± 0.0064 ตารางเมตร ดำเนินการในช่วงวันที่ 22-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 จำนวน 7 วัน ช่วงเวลาดังกล่าวการพัฒนาตาดอกอยู่ในระยะขยายตัว (bud growth stage) ที่ตาดอกมีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจน สามารถสังเกตเห็นได้ง่าย หลังจากให้น้ำ 6 สัปดาห์ ระยะนี้ต้นกาแฟพร้อมออกดอก และต้องการน้ำเพื่อกะตุ้นการแตกดอกพร้อมกัน (Department of Agriculture Extension, 2023; Wintgens, 2012) เนื่องจากข้อจำกัดด้านอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำในลำต้น (sap flow sensor) ที่

สามารถติดตั้งได้เพียง 4 หัว งานวิจัยนี้จึงเลือกติดตั้งหัววัดกับต้นกาแฟจำนวน 4 ต้น แบ่งเป็นภายใต้แสงนพรางแสง 50% (50% shade) จำนวน 2 ต้น และสภาพกลางแจ้ง (open field) จำนวน 2 ต้น มีการให้น้ำต้นกาแฟและรักษาความชื้นในดิน 75% ของความจุสนาม (FC) ทุกวันเป็นเวลา 7 วัน

การเก็บข้อมูลการใช้น้ำจาก sap flow ใช้หัววัดแบบ Granier-type sap flow probe ติดตั้งบริเวณลำต้นห่างจากโคนต้น 30 ซม. โดยวัดค่าทุก 15 นาทีต่อเนื่องตลอด 7 วัน เพื่อคำนวณค่าการใช้น้ำจริงของต้นพืช (ETc) รายวัน โดยแปลงผลรวมรายวันเป็นลิตรต่อต้นต่อวัน (L/plant/day)

การเก็บข้อมูลสภาพอากาศ ติดตั้งสถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ รุ่น WS-GP2 Weather Station ติดตั้ง ณ แปลงทดลองพืชไร่ (ช่วงบุญศรี) คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พิกัด X 501,891.02 mE และ Y 2,089,134.34 mN ห่างจากตำแหน่งทดลอง 100 เมตร เพื่อบันทึกข้อมูลราย 15 นาที ได้แก่ รังสีแสง (Solar Radiation: Rs) อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (T) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ความเร็วลม (u_2) และปริมาณน้ำฝน (rainfall)

คำนวณ Reference Evapotranspiration (ETo) คำนวณค่า ETo รายวันโดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศที่เก็บจากสถานีอัตโนมัติ และสมการ FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) ดังนี้

$$ET_o = [0.408\Delta(R_n - G) + \gamma 900/(T + 273)u_2 (e_s - e_a)] / [\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)]$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient: Kc) รายวัน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสภาพแวดล้อม คำนวณ Kc โดยใช้สูตร

$$K_c = ET_c / ET_o$$

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ETo และ ETc กับ ปัจจัยสภาพแวดล้อม นำค่าความต่างศักย์ไอรเหย (Vapor Pressure Deficit; VPD) ที่คำนวณจากความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (relative humidity) และอุณหภูมิ (temperature) หลังจากนั้น วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression analysis) เพื่อประเมินความเชื่อมโยงและความแปรผันระหว่างปัจจัยทางอากาศกับการใช้น้ำของต้นกาแฟภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

ผลการวิจัยและวิจารณ์

สมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่ใช้ปลูก

กาแฟอาราบิกา เนื้อดิน คือ ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (ชุดดินสันทราย) มีอนุภาคขนาดทราย (sand) ที่ 15% อนุภาคขนาดทรายแป้ง (silt) 50% และอนุภาคขนาดดินเหนียว (clay) 35% ความชื้นที่ระดับดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil) เท่ากับ 34.2% ความชื้นที่ความจุสนาม (Field Capacity: FC) เท่ากับ 26.1% และระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (Permanent Wilting Point: PWP) เท่ากับ 12.2% ดัง Table 1 สำหรับปริมาณน้ำที่ให้กับต้นกาแฟจะให้ที่ 75% FC ซึ่งจะเท่ากับ 19.58% ทั้งนี้ข้อจำกัดที่พบคือ การอัดแน่นของดิน (soil compaction) ซึ่งส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของน้ำ (infiltration rate) บริเวณผิวดินลดลง

Table 1 Some soil physical properties for planting arabica coffee

Some soil physical properties	Value
Soil texture	Silty clay loam
Sand:silt:clay ratio	15:50:35
%soil moisture in saturated soil (-0.1 bars)	34.2
%soil moisture in field capacity (0.33 bars)	26.1
%soil moisture in 33% field capacity or available (1 bars)	17.8
%soil moisture in permanent wilting point (PWP) (-15 bars)	12.2

จากการศึกษาปริมาณการใช้น้ำของกาแฟพันธุ์อาราบิกายภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีร่มเงาแตกต่างกัน โดยใช้เทคนิคการวัดอัตราการไหลของน้ำในลำต้น (sap flow) พบว่าต้นที่ปลูกกลางแจ้งมีค่า ETc สูงกว่าต้นที่อยู่ภายใต้แสงจนพรางแสง 50% ตลอดช่วงการทดลอง 7 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.78 ลิตร/ต้น/วัน สำหรับต้นกลางแจ้ง และ 1.04 ลิตร/ต้น/วัน (Figure 1) สำหรับต้นภายใต้ร่มเงาแสงจนพรางแสง 50% แสดงให้เห็นว่า แสงแดดและ

อุณหภูมิในสภาพกลางแจ้งส่งผลให้เกิดการคายน้ำที่สูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Carr (2001) ที่พบว่าการปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาจะช่วยลดความเครียดจากความร้อน และลดการเปิดปากใบ ส่งผลให้พืชมีการใช้น้ำน้อยลง นอกจากนี้ DaMatta *et al.* (2007) ยังระบุว่า การจัดการร่มเงามีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมพฤติกรรมการใช้น้ำ รวมถึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในระบบการผลิตกาแฟเขตร้อนอย่างยั่งยืน

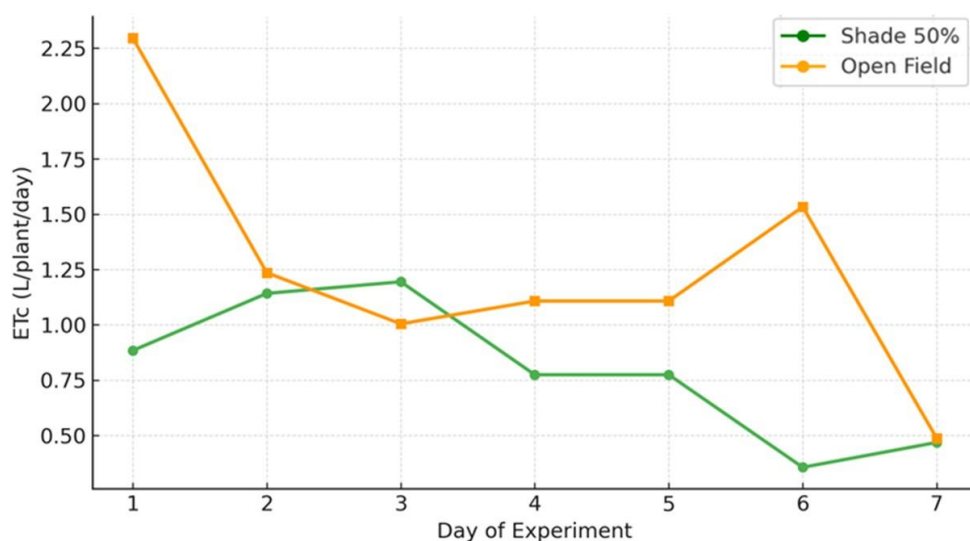


Figure 1 Arabica water requirement (ETc) between 50% shade and open field conditions

สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) รายวันของกาแฟที่วางใต้ร่มเงาแสงพรางแสง 50% และกลางแจ้ง พบว่าต้นที่วางกลางแจ้งมีค่า Kc สูงกว่าชัดเจนเกือบทุกวัน และค่า Kc ต้นที่วางกลางแจ้งผันผวนมากกว่า โดยเฉพาะในวันที่ 22 กุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 1.11 และวันที่ 28 กุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.19 สำหรับต้นที่วางใต้ร่มเงาแสงพรางแสง 50% มีค่า Kc ค่อนข้างคงที่และต่ำกว่ากลางแจ้ง เช่น วันที่ 24–25 กุมภาพันธ์ มีค่าประมาณ 0.34–0.47 (Figure 2) แสดงให้เห็นว่า สภาพใต้ร่มเงาพรางแสง 50% ช่วยลดการคายน้ำ ซึ่งอาจเกิดจากการลดรังสีและความเข้มแสง อุณหภูมิ อากาศสูง ($\geq 32^{\circ}\text{C}$) และแรงลมที่พืชได้รับ ส่งผลให้ค่า Kc ต่ำลง สอดคล้องกับงานของ DaMatta *et al.* (2007) ที่ระบุว่าการปลูกกาแฟ

ภายใต้ร่มเงาส่งผลให้พืชมีการเปิดปากใบลดลง และมีการคายน้ำที่ต่ำกว่ากลางแจ้งอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้องการน้ำในแหล่งปลูกกาแฟประเทศบราซิลและโคลอมเบีย พบว่าค่า Kc ของกาแฟในช่วงพัฒนาตอมีค่าประมาณ 0.7–1.0 สำหรับกลางแจ้ง (Carr, 2001; DaMatta *et al.*, 2007) และประมาณ 0.5–0.7 ในระบบปลูกร่มเงา ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาในครั้งนี้ สำหรับความผันผวนของค่า Kc ของต้นกาแฟที่วางสภาพกลางแจ้งสะท้อนการตอบสนองของพืชต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงรายวัน เช่น ค่า VPD ที่สูงขึ้น จะกระตุ้นให้ค่า Kc เพิ่มขึ้น ในขณะที่วันที่มี VPD ต่ำหรือพืชปิดปากใบ ค่าการใช้น้ำจะลดลงทันที เช่นในวันที่ 28 กุมภาพันธ์ เป็นต้น

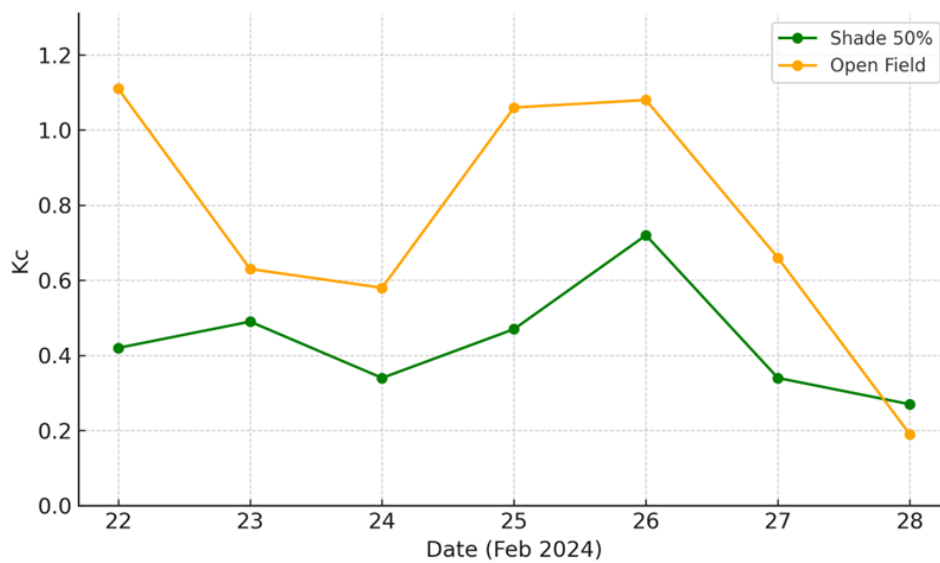


Figure 2 Daily Crop Coefficient (Kc) comparison between 50% shade and open field conditions

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไอร่าเหย (VPD) กับค่าการคายระเหยอ้าอิง (ETo) และปริมาณการใช้น้ำจริงของพืช (ETc) พบว่าค่าความต่างศักย์ไอร่าเหย (VPD) ในช่วงวันที่ 22-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 ที่ทำการทดลอง โดยใช้ข้อมูลจากเครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิวิทยุอัตโนมัติซึ่งถือเป็นตัวแทนของ VPD ภายใต้

สภาพกลางแจ้งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.85 ถึง 1.80 kPa โดยพบค่าสูงสุดในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ และต่ำสุดในวันที่ 26 กุมภาพันธ์ (Figure 3) ซึ่งค่าดังกล่าวมีแนวโน้มสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า ETo ที่วัดได้จากสมการ Penman-Monteith โดยค่า ETo รายวันอยู่ในช่วง 1.59-3.17 มม.ต่อวัน

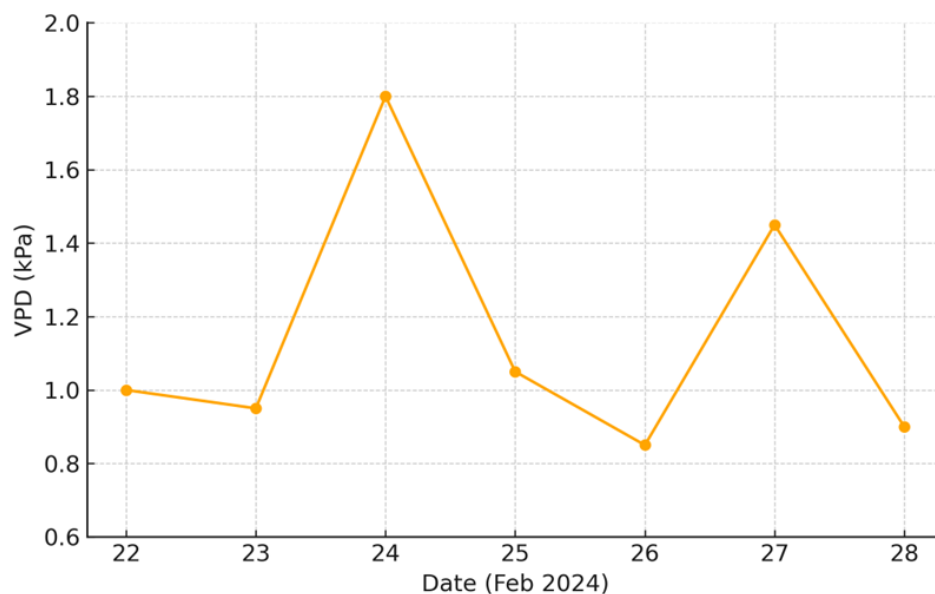


Figure 3 Daily vapor pressure deficit in open field conditions

ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง VPD และ ETo ให้สมการถดถอย คือ $ETo = 1.43 \times VPD + 0.49$ โดยมีค่า $R^2=0.934$ และค่า $p\text{-value}<0.001$ (Figure 4) แสดงให้เห็นว่า VPD มีความสัมพันธ์เชิงบวกและมีนัยสำคัญทาง

สถิติกับค่าการคายระเหยอ้างอิง (Eto) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Allen *et al.* (1998) ที่ชี้ว่า VPD เป็นหนึ่งในตัวแปรหลักที่ควบคุมอัตราการคายน้ำของพืชในช่วงฤดูแล้ง

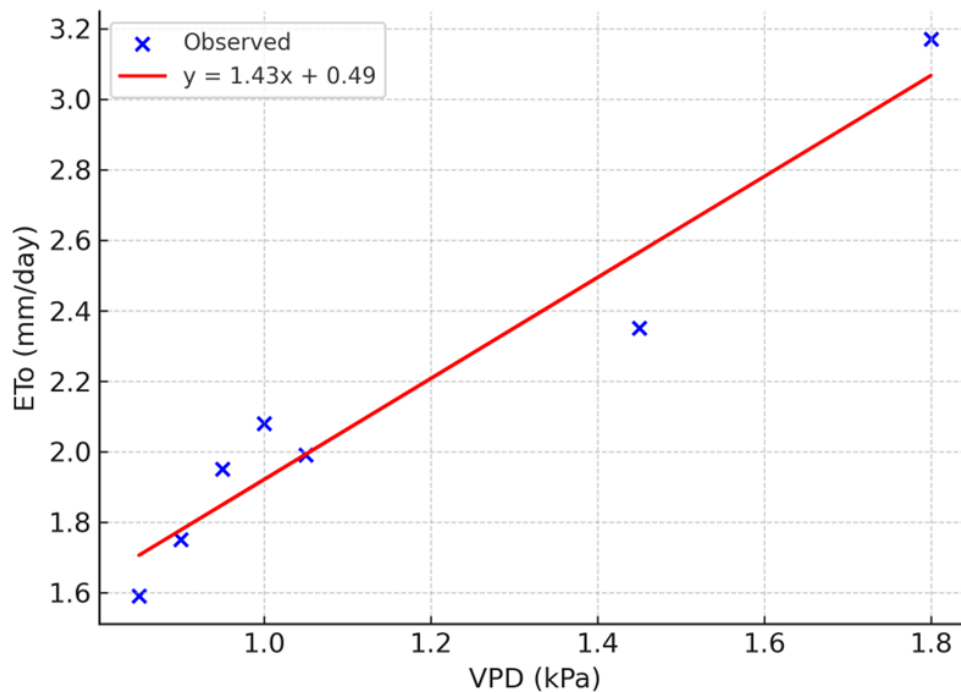


Figure 4 ETo-VPD relationship

ความสัมพันธ์ระหว่าง VPD กับปริมาณการใช้น้ำจริงของพืช (ETc) จากการวัด sap flow ของกาแฟที่วางสภาพกลางแจ้ง พบว่า ETc รายวันมีค่าอยู่ในช่วง 0.47–2.30 มม.ต่อวัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่า VPD รายวันพบแนวโน้มเชิงบวกเช่นกัน แต่มีความชันของเส้นถดถอย

ที่น้อยกว่า สมการที่ได้ คือ $ETc = 0.11 \times VPD + 0.80$ มีค่า R^2 ประมาณ 0.53 (ความสัมพันธ์ปานกลาง) (Figure 5) สะท้อนให้เห็นว่าความเปลี่ยนแปลงของ VPD มีผลต่อการดูดน้ำของต้นกาแฟ แต่ระดับการตอบสนองต่ำกว่าการคายระเหยที่คำนวณจากสภาพแวดล้อม

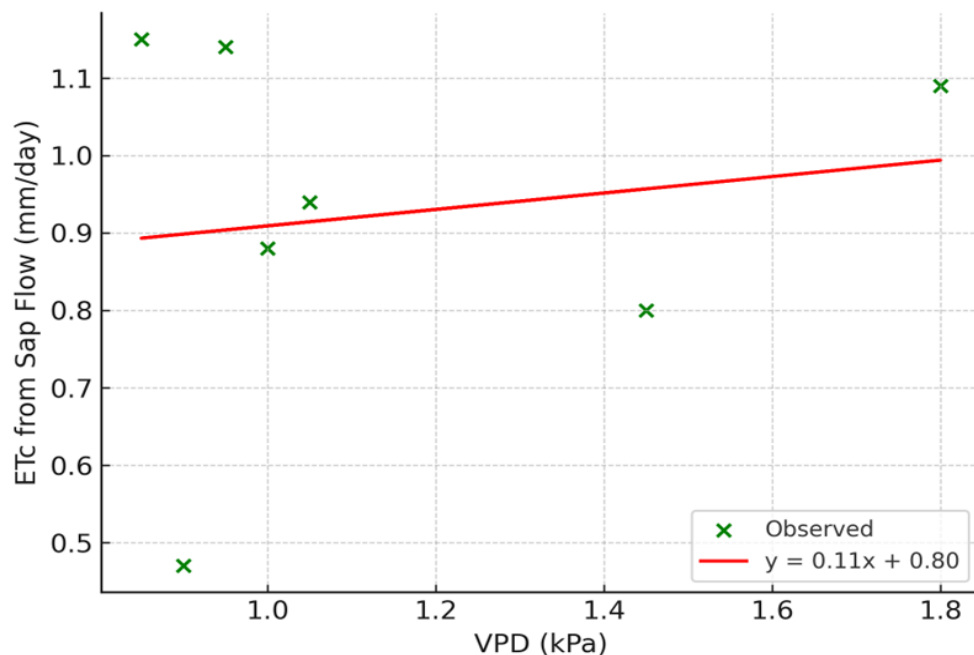


Figure 5 ETc-VPD relationship

ความสัมพันธ์ระหว่าง VPD กับ ETo และระหว่าง VPD กับ ETc พบว่า VPD มีความสัมพันธ์กับ ETo สูงกว่า ETc อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในวันที่มี VPD สูง แต่ค่า ETc ไม่ได้เพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่เท่ากับ ETo ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ DaMatta *et al.* (2007) ที่รายงานว่าพืชในร่มมีความสามารถในการควบคุมการคายน้ำได้มากกว่า นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานของ Kunjet *et al.* (2020) ที่ศึกษาทุเรียน ยังแสดงให้เห็นว่าการคายน้ำโดยใช้เทคนิคการวัด sap flow มีความสัมพันธ์กับ VPD ต่ำกว่าที่คำนวณจาก ETo เช่นกัน ดังนั้นการใช้ ETo เพียงอย่างเดียวอาจประเมินความต้องการน้ำของพืชเกินจริงในบางช่วงเวลา

การเปรียบเทียบดังกล่าวทำให้เห็นถึงบทบาทของสภาพแวดล้อมย่อย (microclimate) ต่อการใช้ น้ำของกาแฟ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ รังสี แสงอาทิตย์ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ซึ่งส่งผลต่ออัตราการคายน้ำของต้นกาแฟอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับแนวคิดของ Allen *et al.* (1998) ที่ชี้ว่าค่า Kc มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของรังสี แสงลม และโครงสร้างทรงพุ่ม

ในสภาพที่มีแสงพร่างแสง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในทรงพุ่มสูงขึ้น อุณหภูมิลดลง ซึ่งค่า VPD ต่ำ ส่งผลให้การคายน้ำลดลง สอดคล้องกับผลการศึกษาโดย Carr (2001) ที่พบว่ากาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มเงาจะมีการนำพาน้ำผ่านปากใบต่ำกว่ากลางแจ้งอย่างมีนัยสำคัญในช่วงฤดูแล้ง นอกจากนี้ แสงยังช่วยอนุรักษ์ความชื้นในดินได้ดี และยังสอดคล้องกับ Van Asten *et al.* (2011) ที่ชี้ว่าโครงสร้างทรงพุ่มและร่มเงามีผลต่อปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชดิน และบรรยากาศอย่างมีนัยสำคัญในระบบเกษตรแบบยั่งยืน แม้ว่าค่า Kc จากทั้งสองสภาพแวดล้อมจะอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการวางแผนจัดการน้ำ แต่การปลูกในสภาพกลางแจ้งอาจต้องการการให้น้ำที่ถี่ขึ้น หรือปริมาณมากขึ้นเพื่อชดเชยการสูญเสียน้ำที่มากกว่า ทั้งนี้การใช้เทคนิควัด sap flow ร่วมกับการคำนวณ Kc จึงเป็นเครื่องมือที่แม่นยำและสำคัญต่อการกำหนดปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับระบบการปลูกกาแฟในเขตร้อน

แม้การศึกษารังนี้จะมีข้อจำกัดด้านจำนวนตัวอย่าง แต่ผลการศึกษาสามารถสื่อถึงแนวโน้มของการใช้น้ำของต้นกาแฟที่แตกต่างกันระหว่างสภาพกลางแจ้ง

และได้ร่วมเงาได้อย่างชัดเจน สอดคล้องกับแนวคิดของ Carr (2001) ที่ชี้ให้เห็นว่าร่วมเงาช่วยลดแรงเครียดจากสภาพแวดล้อม ส่งผลให้พืชเปิดปากใบน้อยลงและมีการคายน้ำน้อยลง การใช้ข้อมูลจากเทคนิคการวัด sap flow ร่วมกับการคำนวณ Kc ช่วยให้สามารถประเมินการใช้น้ำได้อย่างแม่นยำกว่า ETo เพียงอย่างเดียว การใช้ Kc แล้วร่วมกับ ETo รายวันนั้นเหมาะกับการวางแผนจัดการน้ำในระบบการปลูกกาแฟที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรน้ำ

สรุปผลการวิจัย

สภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการใช้น้ำของต้นกาแฟพันธุ์อะราบิกา โดยต้นที่ปลูกในสภาพกลางแจ้งมีค่า ETc และ Kc สูงกว่าต้นที่ปลูกใต้แสงพรายแสง 50% ตลอดระยะที่ทำการศึกษา ค่า Kc แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองของพืชต่อความต้องการน้ำในแต่ละวัน ขณะเดียวกันความสัมพันธ์ระหว่าง VPD กับ ETo มีค่าสูง ($R^2=0.93$) แสดงให้เห็นว่า VPD มีอิทธิพลสูงต่อการคำนวณค่า ETo แต่ค่า ETc ที่ได้จากการวัดจริงด้วยเทคนิค sap flow มีความสัมพันธ์ต่ำกว่า ($R^2\approx 0.53$) สะท้อนกลไกการควบคุมการคายน้ำของพืชโดยเฉพาะในสภาพร่มเงา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยวิทยาศาสตร์กาแฟ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่สำหรับการวิจัย และหน่วยวิเคราะห์ดิน น้ำ พืช และปุ๋ยอินทรีย์ หลักสูตรปริญญาตรี คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์การใช้ห้องปฏิบัติการงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements** (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56) FAO. Retrieved from <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>
- Carr, M.K.V. 2001. The water relations and irrigation requirements of coffee. **Experimental Agriculture** 37 (1): 1–36. <https://doi.org/10.1017/S0014479701001017>
- DaMatta, F.M., C.P. Ronchi, M. Maestri and R.S. Barros 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology** 19(4): 485–510. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>
- Department of Agricultural Extension. 2023. **Arabica Coffee Production Manual** Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. 31 p. [in Thai].
- Kunjet, S., S. Yamuangmorn and P. Theerakulpisut. 2020. Sap flow and stomatal conductance of durian trees under different irrigation regimes. **Kasetsart Journal - Natural Science** 54(5): 647–656.

- Nation Thailand. 2024. **Thailand's coffee import statistics rise 12%**. Retrieved from <https://www.nationthailand.com>
- Office of Agricultural Economics. 2023. **Agricultural production statistics: coffee**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. Retrieved from <http://www.oae.go.th/>
- Thai Meteorological Department. 2023. **Monthly climate summary**. Retrieved from <http://www.tmd.go.th>
- Van Asten, P.J.A., L.W.I. Wairegi, D. Mukasa and N.O. Uringi. 2011. Agronomic and economic benefits of coffee–banana intercropping in Uganda's smallholder farming systems. **Agricultural Systems** 104 (4): 326–334. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.12.004>
- Wintgens, J.N. 2012. The Coffee Plant. pp. 1–24 *In* Wintgens, J.N. (ed.). **Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers**. Weinheim: Wiley-VCH.

**ผลของระยะปลูกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารแคนนาบิไดโอล
ของกัญชงสายพันธุ์ EHFGP#1, EHFGP#3 และ EHFGP#8 ภายใต้สภาพโรงเรือน**
**Effect of Plant Spacing on Growth, Yield, and Cannabidiol Content of Hemp
Cultivars EHFGP#1, EHFGP#3, and EHFGP#8 under Greenhouse Condition**

**วัชรินทร์ จันทวรรณ^{1,2,*} อรพินธุ์ สฤทธินำ¹ ศศิมา คณชาบริรักษ์¹ เสกสรร สงจันทิก² ตะวัน ฉัตรสูงเนิน³
และวินัย วิริยะอลงกรณ์¹**

**Watcharin Jantawan^{1,*}, Orapin Saritnum¹, Sasima Ganeshaborirak¹
Seksan Songchainthuek² Tawan Chatsungnoen³ and Winai Wiriya-Alongkorn¹**

¹คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

³สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

²The Office of Agricultural Research and Extension, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

³Institute of Product Quality and Standardization, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: jantawan16@gmail.com

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0001-2632-6709>

Abstract

Received: October 22, 2025

Revised: February 24, 2026

Accepted: March 17, 2026

This study aimed to investigate the effect of plant spacing on growth, yield, and cannabidiol content of hemp cultivars EHFGP#1, EHFGP#3, and EHFGP#8 under greenhouse conditions. The experiment followed a 2x3 factorial arrangement in a Randomized Complete Block Design (RCBD), with factor A being two plant spacings (0.5x1.0 m and 1.0x1.0 m), and factor B being three hemp varieties (EHFGP#1, EHFGP#3, and EHFGP#8). This study was conducted at the Hemp Research and Development Center, Maejo University, Chiang Mai, Thailand. The results revealed that cultivar, plant spacing, and their interaction significantly ($p \leq 0.01$) affected several morphological and yield characteristics. For growth traits, cultivars EHFGP#3 and EHFGP#8 grown at the 0.5x1.0 m spacing exhibited the greatest plant height, averaging 213.57 and 214.13 cm, respectively, whereas cultivar EHFGP#8 grown at the 1.0x1.0 m spacing had the lowest height. Plant canopy diameter varied considerably among cultivars, with EHFGP#8 showing the widest canopy at both spacings. The largest stem diameter was recorded for EHFGP#8 at the 1.0x1.0 m spacing, indicating stronger stem development under wider spacing. Plants grown at 1.0x1.0 m also had significantly greater numbers of nodes (4.00–4.40 per plant) and numbers of

branches (7.20–8.00 per plant) than those at 0.5x1.0 m. A significant interaction between plant spacing and cultivar was observed for inflorescence size, with EHFGP#1 at 0.5x1.0 m and EHFGP#3 at 1.0x1.0 m producing the widest inflorescences (36.37 and 36.29 mm, respectively). For yield attributes, the 1.0x1.0 m spacing resulted in higher fresh and dry inflorescence yields per plant (0.90–1.08 kg and 0.21–0.26 kg, respectively) than the 0.5x1.0 m spacing (0.52–0.78 kg fresh weight per plant and 0.12–0.18 kg dry weight per plant). However, the total dry inflorescence yield per greenhouse (160 m²) did not differ significantly between treatments, ranging from 16.24 to 26.93 kg, indicating that plant spacing did not affect total yield per growing area. Regarding cannabidiol content, cultivar, plant spacing, and their interaction had a highly significant effect on CBD concentration. The highest CBD content (14.32%) was found in cultivar EHFGP#1 grown at 1.0x1.0 m spacing, followed by EHFGP#3 (12.63%) and EHFGP#8 (10.58%), while narrower spacing (0.5x1.0 m) resulted in lower CBD contents. Therefore, a plant spacing of 1.0x1.0 m under greenhouse cultivation was the most suitable for optimizing flower production and enhancing CBD accumulation, particularly for cultivar EHFGP#1, which demonstrated the highest potential for high-value compound production. This study provides essential insights for developing production strategies for high-quality hemp cultivation to support the emerging hemp industry.

Keywords: plant spacing, hemp, cannabidiol, planting factors, variety

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของระยะปลูกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารแคนนาบินอยด์ออกฤทธิ์ได้การปลูกในโรงเรือนเพาะปลูก (greenhouse cultivation) ของกัญชงสายพันธุ์ EHFGP#1, EHFGP#3 และ EHFGP#8 โดยวางแผนการทดลองแบบ 2x3 Factorial in Randomized Complete Block Design ดังนี้ ปัจจัย A ระยะปลูก 2 ระยะ คือ 0.5x1.0 และ 1.0x1.0 เมตร ปัจจัย B สายพันธุ์กัญชง 3 สายพันธุ์ คือ EHFGP#1, EHFGP#3 และ EHFGP#8 งานวิจัยนี้ดำเนินการ ณ ศูนย์ทดสอบ วิจัยและพัฒนา กัญชง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยด้านสายพันธุ์ ระยะปลูก และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีผลต่อหลายลักษณะทางสัณฐานวิทยาและคุณภาพผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ได้แก่ ด้านการเจริญเติบโตพบว่าสายพันธุ์ EHFGP#3 และ

EHFGP#8 ที่ระยะ 0.5x1.0 เมตร มีความสูงของต้นเฉลี่ยมากที่สุด 213.57 และ 214.13 ซม. ตามลำดับ ขณะที่สายพันธุ์ EHFGP#8 ที่ระยะปลูก 1.0x1.0 เมตร มีความสูงน้อยที่สุด ความกว้างทรงพุ่มแตกต่างกันชัดเจน โดยสายพันธุ์ EHFGP#8 มีค่ามากที่สุดทั้งสองระยะปลูก ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นพบว่าระยะปลูก 1.0x1.0 เมตร สายพันธุ์ EHFGP#8 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ระยะปลูกที่กว้างส่งผลต่อความแข็งแรงของลำต้น ด้านโครงสร้างพืชระยะปลูกที่ 1.0x1.0 เมตร มีจำนวนข้อปล้องและจำนวนกิ่งต่อต้นมากกว่าระยะ 0.5x1.0 เมตร อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ย 4.00–4.40 ข้อปล้องต่อต้น และ 7.20–8.00 กิ่งต่อต้น ตามลำดับ ส่วนขนาดช่อดอกพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและสายพันธุ์ โดยสายพันธุ์ EHFGP#1 ที่ระยะ 0.5x1.0 เมตร และ EHFGP#3 ที่ระยะปลูก 1.0x1.0 เมตร มีช่อดอกกว้างที่สุด เท่ากับ 36.37 และ 36.29 มม. ตามลำดับ ด้านผลผลิตพบว่าระยะปลูก 1.0x1.0 เมตร ให้ผลผลิตดอกสดและดอกแห้ง

ต่อต้านสูงกว่าระยะ 0.5×1.0 เมตร โดยน้ำหนักผลผลิตช่อดอกสดมีค่าเฉลี่ย 0.90–1.08 กิโลกรัมต่อต้น และน้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งเท่ากับ 0.21–0.26 กิโลกรัมต่อต้น ในขณะที่ระยะ 0.5×1.0 เมตร มีน้ำหนักผลผลิตช่อดอกสดเท่ากับ 0.52–0.78 กิโลกรัม และน้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งเท่ากับ 0.12–0.18 กิโลกรัมต่อต้น อย่างไรก็ตาม ผลผลิตดอกแห้งต่อโรงเรือนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ด้านปริมาณสารแคนนาบินาไดออล (Cannabidiol: CBD) พบว่า สายพันธุ์ระยะปลูก และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะปลูกและสายพันธุ์ส่งผลต่อปริมาณสารแคนนาบินาไดออลอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยสายพันธุ์ EHFGP#1 ที่ระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร มีปริมาณสารแคนนาบินาไดออลสูงที่สุด 14.32% รองลงมาคือ EHFGP#3 เท่ากับ 12.63% และ EHFGP#8 เท่ากับ 10.58% ขณะที่ระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร มีค่าลดลง การปลูกกัญชงในโรงเรือนที่ระยะ 1.0×1.0 เมตร มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตช่อดอกและเพิ่มปริมาณสารแคนนาบินาไดออล โดยเฉพาะสายพันธุ์ EHFGP#1 ที่มีศักยภาพสูงที่สุดในการผลิตสารสำคัญเชิงเศรษฐกิจ งานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญต่อการกำหนดยุทธศาสตร์การผลิตกัญชงคุณภาพสูง เพื่อใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรมกัญชงในอนาคต

คำสำคัญ: ระยะปลูก กัญชง สารแคนนาบินาไดออล
ปัจจัยการเพาะปลูก สายพันธุ์

บทนำ

กัญชง (*Cannabis sativa* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย โดยในอดีตมีการใช้ประโยชน์หลักในด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอจากเส้นใย อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันประเทศไทยสามารถนำกัญชงมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายมากยิ่งขึ้น ทั้งในด้านเส้นใย เมล็ดน้ำมัน และสารสำคัญทางยา โดยเฉพาะแคนนาบินาไดออล (Cannabidiol: CBD) ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมสุขภาพและ

การแพทย์สมัยใหม่ เนื่องจากมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์เชิงการรักษาและส่งเสริมสุขภาพ (Salentijn *et al.*, 2014; Danziger and Bernstein, 2022) กระทรวงสาธารณสุขได้ประกาศเรื่อง สมุนไพรควบคุม (กัญชา) พ.ศ. 2568 ในการใช้ประโยชน์เชิงทางการแพทย์ ทำให้การพัฒนาระบบการผลิตที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกกัญชงให้ได้ผลผลิตและคุณภาพสูงสุด

ปัจจัยด้านระยะปลูกและความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ถือเป็นตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต สันฐานวิทยาและการสะสมสารสำคัญในพืช (Amaducci *et al.*, 2008; Schober *et al.*, 2024) ระยะปลูกที่แตกต่างกันสามารถส่งผลต่อความสูงของต้น การแตกกิ่ง ความกว้างของทรงพุ่ม และขนาดช่อดอก ได้อย่างมีนัยสำคัญ เช่น การปลูกในระยะชิดส่งผลทำให้พืชมีการยืดตัวของลำต้นเพื่อตอบสนองต่อการแข่งขันให้ลำต้นสูง แต่มีจำนวนกิ่งและขนาดช่อดอกลดลง ซึ่งเหมาะสมกับการผลิตเส้นใย (Tang *et al.*, 2017; Yazici, 2022) ปัจจัยด้านสายพันธุ์ก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน โดยพันธุ์หรือ genotype เป็นตัวกำหนดหลักของระดับและองค์ประกอบของสารแคนนาบินอยด์โดยตรง (de Meijer *et al.*, 1992) ความแตกต่างของพันธุ์มีผลโดยตรงต่อระดับการผลิตแคนนาบินาไดออล เนื่องจากยีน CBDAS ซึ่งควบคุมการสังเคราะห์สารแคนนาบินาไดออล มีความหลากหลายทางพันธุกรรมระหว่างสายพันธุ์ (Grassa *et al.*, 2021) ปัจจุบันการปรับปรุงพันธุ์กัญชงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสกัดสารสำคัญ มุ่งเน้นการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีช่อดอกขนาดใหญ่และมีปริมาณสารแคนนาบินาไดออลสูงกว่าสายพันธุ์ที่พัฒนาเพื่อการผลิตเส้นใย

ในประเทศไทยพืชกัญชงเป็นพืชสมุนไพรที่มีศักยภาพสูงและได้รับการส่งเสริมให้ปลูกเชิงพาณิชย์ โดยมีการออกประกาศให้เป็นสมุนไพรควบคุมเพื่อให้เกิดการซื้อขายถูกต้องตามวัตถุประสงค์ (Ministry of Public Health (Thailand), 2025) แต่ข้อมูลเชิงวิชาการด้านปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์ กัญชงและระยะปลูก

ในโรงเรือนเพาะปลูก (greenhouse cultivation) มีข้อมูลอย่างจำกัด โดยเฉพาะในสายพันธุ์ที่ใช้ในการสกัดสารแคนนาบินอยด์ที่มีการปรับปรุงพันธุ์และนำเข้ามาทดสอบในประเทศ กัญชงสายพันธุ์ EHFGP#1, EHFGP#3 และ EHFGP#8 เป็นสายพันธุ์นำเข้าจากประเทศสหรัฐอเมริกา มีการระบุข้อมูลปริมาณสารแคนนาบินอยด์ของสายพันธุ์ EHFGP#1 เท่ากับ 19.86% EHFGP#3 เท่ากับ 16.90% และ EHFGP#8 เท่ากับ 16.88% และมีปริมาณสารเตตระไฮโดรแคนนาบินอล หรือ ทีเอชซี (Tetrahydrocannabinol: THC) ในระดับต่ำคือ สายพันธุ์ EHFGP#1 เท่ากับ 0.74% EHFGP#3 เท่ากับ 0.68% และ EHFGP#8 เท่ากับ 0.78% โดยทั้งสามสายพันธุ์ดังกล่าว ได้มีการขออนุญาตจำหน่ายอย่างถูกต้องตามกฎหมาย มีเอกสารการรับรองคุณภาพสายพันธุ์ Certificate of Analysis (COA) รวมถึงมีการขอรับรองพันธุ์พืชขึ้นทะเบียน (Department of Agriculture (Thailand), 2022)

ดังนั้น การศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตของกัญชงภายใต้การจัดการระยะปลูก 0.5×1.0 และ 1.0×1.0 เมตร ภายใต้สภาพการปลูกในโรงเรือนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อสร้างองค์ความรู้ที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมการปลูกของประเทศไทย โดยมุ่งอธิบายปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและสายพันธุ์ต่อการตอบสนองทางสัณฐานวิทยา คุณภาพของผลผลิต และปริมาณสารแคนนาบินอยด์ การศึกษานี้จะก่อให้เกิดข้อมูลเชิงประจักษ์ที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและจัดการระบบการปลูกกัญชงเชิงพาณิชย์ในโรงเรือนให้มีประสิทธิภาพ รองรับการผลิตกัญชงเชิงอุตสาหกรรมที่ให้ผลผลิตและปริมาณสาร CBD สูง ตลอดจนสนับสนุนการพัฒนาแนวทางการปลูกกัญชงในประเทศไทยให้มีความยั่งยืน และสามารถแข่งขันในระดับสากลได้

อุปกรณ์และวิธีการ

การปลูกกัญชงเพื่อทดสอบระยะปลูกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารแคนนาบินอยด์ที่ปลูกในโรงเรือนเพาะปลูก (greenhouse) ดำเนินการทดลอง ณ ศูนย์ทดสอบ วิจัยและพัฒนา กัญชง สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลป่าแฝ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

ทำการกระตุ้นการเกิดรากและบ่มเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการ paper towel method หลังจากนั้นย้ายปลูกในโรงเรือนเพาะปลูก (greenhouse) ซึ่งเป็นโรงเรือนที่ใช้ตาข่ายกันแมลง (insect net) ขนาด 50 mesh โดยปลูกกัญชงในถุงปลูกขนาด 60 ลิตร ใช้วัสดุปลูกเป็นกาบมะพร้าวสับขนาดกลางและขุยมะพร้าวละเอียด อัตราส่วน 1:1 ให้น้ำและสารละลายธาตุอาหารสูตร AB ผ่านระบบน้ำหยด โดยในระยะเริ่มต้นให้น้ำวันละ 1 ครั้ง ปริมาณ 10 ลิตรต่อต้น และมีการปรับเพิ่มความถี่และปริมาณการให้น้ำตามการเจริญเติบโตของต้นกัญชง เป็นวันละ 2 ครั้ง ปริมาณ 20 ลิตรต่อต้นต่อครั้ง สารละลายธาตุอาหารมีค่าการนำไฟฟ้า (EC) อยู่ในช่วง 0.5–1.8 dS m⁻¹ และมีค่า pH เท่ากับ 6.5

วางแผนการทดลองแบบ 2x3 factorial in randomized complete block design โดยปัจจัย A คือ ระยะปลูก ได้แก่ ระยะ 0.5×1.0 เมตร และระยะ 1.0×1.0 เมตร ปัจจัย B คือ สายพันธุ์กัญชง ได้แก่ EHFGP#1, EHFGP#3 และ EHFGP#8 รวมทั้งหมด 6 ชุด การทดลอง (treatment combinations) แต่ละชุดมี 5 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น รวมจำนวนทั้งสิ้น 300 ต้น

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตที่อายุ 90 วันหลังปลูก ดังนี้ 1) ความสูงของต้น สุ่มวัดความสูงของต้นจากระดับถุงปลูกถึงปลายยอดที่สูงที่สุด 2) ความกว้างของทรงพุ่ม

วัดเส้นผ่านศูนย์กลางทรงพุ่มจากปลายใบด้านหนึ่งไปยังปลายใบอีกด้านหนึ่งตรงบริเวณทรงพุ่มที่กว้างที่สุด 3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่ความสูง 10 ซม. จากระดับวัสดุปลูก 4) จำนวนข้อปล้องต่อต้น นับจำนวนข้อปล้อง (nodes) ของแต่ละต้น โดยนับจากโคนต้นขึ้นไปจนถึงข้อสุดท้าย 5) จำนวนกิ่งต่อต้น นับจำนวนกิ่ง (branches) ของแต่ละต้น โดยนับจากกิ่งที่แตกออกจากลำต้นหลักทั้งหมด

เพื่อชักนำให้กัญชงเข้าสู่ระยะออกดอก (reproductive stage) ภายใต้ช่วงแสงแบบวันสั้น ได้หยุดการเสริมแสงจากหลอดไฟที่ใช้เพิ่มระยะเวลาช่วงแสง 6 ชั่วโมงต่อวัน ในระยะเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative stage) หลังจากเข้าสู่ระยะออกดอกประมาณ 40 วัน (100 วันหลังปลูก) ซึ่งช่อดอกมีการพัฒนามากกว่า 70% ทำการเก็บข้อมูลขนาดของช่อดอก โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่อดอกกัญชงในบริเวณที่กว้างที่สุด สุ่มวัดค่าเฉลี่ยจาก 3 ตำแหน่งบนต้น ได้แก่ ส่วนยอด ส่วนกลาง และส่วนล่างของต้นกัญชง ตำแหน่งละ 5 ช่อดอก

หลังจากเข้าสู่ระยะพัฒนาด้านดอกประมาณ 60 วัน (120 วันหลังปลูก) และมีไตรโครมเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอำพันทำการเก็บเกี่ยวโดยตัดเฉพาะช่อดอกแยกออกจากกิ่งและใบ เก็บข้อมูลผลผลิตช่อดอกกัญชง ดังนี้ 1) น้ำหนักผลผลิตช่อดอกสดต่อต้น ทำการเก็บเกี่ยวช่อดอกสด ชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักผลผลิตช่อดอกสดต่อต้น 2) น้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งต่อต้น ทำการลดความชื้นช่อดอกสดโดยการอบด้วยเครื่องอบลมร้อน (heat pump dehydrator) ที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จนความชื้นลดลงต่ำกว่า 10% ชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งต่อต้น 3) น้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งต่อโรงเรือน คำนวณจากน้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งต่อต้นของแต่ละระยะปลูกในพื้นที่ปลูก 160 ตารางเมตร/โรงเรือน

วิเคราะห์ปริมาณสารแคนนาบินอยด์หรือซีบีดี (Cannabidiol: CBD) ด้วยเครื่อง High Performance

Liquid Chromatography (HPLC) ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 1260 Infinity II ประเทศผู้ผลิตสหรัฐอเมริกา

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยโปรแกรม Sirichai Statistics V.6.09b และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การปลูกกัญชงในโรงเรือนเพาะปลูก (greenhouse) ที่ระยะปลูก 0.5×1.0 และ 1.0×1.0 เมตร และกัญชงจำนวน 3 สายพันธุ์ คือ EHFGP#1, EHFGP#3 และ EHFGP#8 พบว่ามีการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลผลิตดังนี้

ความสูงของต้น

ความสูงของต้นกัญชงสายพันธุ์ EHFGP#1, EHFGP#3 และ EHFGP#8 ที่ปลูกภายใต้ระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร และ 1.0×1.0 เมตร พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะปลูกและสายพันธุ์ พบว่ามีอิทธิพลต่อความสูงของต้นกัญชงอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) เช่นเดียวกัน ซึ่งระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร พบว่าสายพันธุ์ EHFGP#3 และ EHFGP#8 มีความสูงของต้นกัญชงมากที่สุดเท่ากับ 213.57 และ 214.13 ซม. ตามลำดับ ถัดมาคือสายพันธุ์ EHFGP#1 เท่ากับ 192.93 ซม. ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร ร่วมกับสายพันธุ์ EHFGP#1 และ EHFGP#3 แต่สายพันธุ์ EHFGP#8 มีความสูงของต้นน้อยที่สุดเท่ากับ 180.83 ซม. และเมื่อพิจารณาปัจจัยด้านสายพันธุ์กัญชง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) Danziger and Bernstein (2022) ระบุว่า กัญชาที่ปลูกในระบบโรงเรือน (greenhouse) แบบควบคุมที่ระยะ 2 ต้นต่อตารางเมตร มีความสูงมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับระยะ 1 ต้นต่อตารางเมตร พืชที่มีการ

ปลูกในระยะชิดจะมีการยึดตัวของลำต้นเพื่อเพิ่มโอกาสในการรับแสง การปลูกระยะชิดจึงมักใช้สำหรับการปลูกกล้วยงเพื่อผลิตเส้นใยไม่เหมาะต่อการปลูกกล้วยงเพื่อใช้ผลิตสารสำคัญ

ความกว้างของทรงพุ่ม

ปัจจัยด้านระยะปลูกมีอิทธิพลต่อความกว้างของทรงพุ่มอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ปัจจัยด้านสายพันธุ์มีอิทธิพลต่อความกว้างของทรงพุ่มอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะปลูกและสายพันธุ์พบว่า ปัจจัยระยะปลูกและสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร พบว่าสายพันธุ์ EHFGP#8 มีความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดเท่ากับ 149.47 ซม. รองลงมาคือ EHFGP#3 เท่ากับ 141.84 และ EHFGP#1 เท่ากับ 133.23 ซม. ที่ระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร พบว่าสายพันธุ์ EHFGP#8 มีความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดเท่ากับ 141.37 ซม. รองลงมาคือ EHFGP#3 เท่ากับ 133.70 ซม. และ EHFGP#1 เท่ากับ 127.44 ซม. (Table 1) ทั้งนี้ อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยระยะปลูกและสายพันธุ์ที่ไม่ส่งผลต่อความกว้างของทรงพุ่ม อาจเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของต้นกล้วยทั้ง 2 ระยะปลูกไม่ได้มีความแตกต่างกันมาก จากการศึกษาสอดคล้องกับ Schober *et al.* (2024) ซึ่งพบว่า ความกว้างของทรงพุ่มขึ้นอยู่กับระยะปลูกหรือความหนาแน่นของจำนวนต้นต่อตารางเมตร การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อปลูกระยะชิดจะมีแนวโน้มทำให้ความกว้างของทรงพุ่มลดลง แต่ไม่พบความแตกต่างในระดับที่มีนัยสำคัญทางสถิติ

เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น

ปัจจัยด้านระยะปลูก ปัจจัยด้านสายพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างระยะปลูกและสายพันธุ์ มีอิทธิพล

ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ที่ระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร พบว่า EHFGP#8 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกว้างที่สุดคือ 32.89 มม. รองลงมาคือ สายพันธุ์ EHFGP#1 และ EHFGP#3 เท่ากับ 26.95 และ 27.74 มม. ตามลำดับ ที่ระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร พบว่าสายพันธุ์ EHFGP#1 และ EHFGP#8 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นเท่ากัน คือ 25.69 มม. และ EHFGP#3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นน้อยที่สุด เท่ากับ 24.04 มม. (Table 1) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างระยะปลูกและสายพันธุ์พบว่า สายพันธุ์ EHFGP#8 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสูงที่สุดทั้งสองระยะปลูก คือ ระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเท่ากับ 25.69 มม. และระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ ลำต้นเท่ากับ 32.89 มม. ระยะปลูกที่มีความกว้างมากขึ้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของลำต้น ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Yazici (2022) พบว่าการปลูกระยะชิดทำให้ขนาดของลำต้นลดลง Panday *et al.* (2025) พบว่าระยะระหว่างแถวขนาด 19 ซม. ทำให้ลำต้นมีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับระยะระหว่างแถว 38 ซม. Amaducci *et al.* (2008) พบว่า การปลูกโดยระยะปลูกที่กว้างทำให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นใหญ่กว่าการปลูกระยะชิด และ McLennon *et al.* (2024) ศึกษาสายพันธุ์ Jin Ma พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นขนาดเท่ากับ 19.50 มม. ทั้งนี้การศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นส่วนใหญ่เป็นสายพันธุ์ที่ใช้ผลิตเส้นใย จึงมีขนาดลำต้นเล็กกว่ากล้วยงที่ผลิตช่อดอกเพื่อสกัดสารสำคัญ (CBD) ที่นิยมปลูกในประเทศไทยและยังไม่มีรายงานผลการศึกษาลักษณะนี้ในประเทศมาก่อน

Table 1 Effect of plant spacing and variety on plant height (cm), plant canopy diameter (cm) and stem diameter (mm) of hemp grown in greenhouse

Plant spacing	Varieties	Plant height	Plant canopy diameter	Stem diameter
(mxm)		(cm)	(cm)	(mm)
0.5×1.0	EHFGP#1	192.93±7.00ab	127.44±4.74	25.69±0.69bc
	EHFGP#3	213.57±13.69a	133.70±5.57	24.04±0.32c
	EHFGP#8	214.13±6.85a	141.37±15.08	25.69±1.42bc
1.0×1.0	EHFGP#1	197.37±11.77ab	133.23±7.35	26.95±1.41b
	EHFGP#3	194.83±7.08ab	141.84±4.05	27.74±0.89b
	EHFGP#8	180.83±11.21b	149.47±5.84	32.89±1.78a
Plant spacing (A)		**	*	**
Varieties (B)		ns	**	**
A × B		**	ns	**
CV (%)		5.70	5.50	4.45

ns = non-significant; ** = There was highly a significant difference. There was no significant difference between identical letters in the same column ($p \leq 0.01$) according to the Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at ($p \leq 0.05$).

จำนวนข้อปล้องต่อต้น

จำนวนข้อปล้องต่อต้นของกัญชงสายพันธุ์ EHFGP#1, EHFGP#3 และ EHFGP#8 ภายใต้ระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร และ 1.0×1.0 เมตร พบว่าระยะปลูกส่งผลต่อจำนวนข้อปล้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ที่ระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร มีจำนวนข้อปล้องมากที่สุดเท่ากับ 4.00–4.40 ข้อปล้องต่อต้น ที่ระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร มีจำนวนข้อปล้องเท่ากับ 2.80–3.00 ข้อปล้องต่อต้น (Table 2) ส่วนปัจจัยด้านสายพันธุ์ กัญชงทั้ง 3 สายพันธุ์ รวมถึงอิทธิพลร่วมระหว่างสายพันธุ์และระยะปลูก ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางสถิติ (Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับ Lisson *et al.* (2000) รายงานว่าการปลูกที่ระยะชิดทำให้เกิดข้อปล้องลดลง ตลอดจนมีจำนวนข้อปล้องและขนาดใบเต็มที่ต่อข้อปล้องน้อยกว่าการปลูกด้วยระยะที่ห่างกว่า

จำนวนกิ่งต่อต้น

จำนวนกิ่งต่อต้นของกัญชงสายพันธุ์ EHFGP#1, EHFGP#3 และ EHFGP#8 ภายใต้ระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร และ 1.0×1.0 เมตร พบว่าระยะปลูกส่งผลต่อจำนวนกิ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ที่ระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร มีจำนวนกิ่งมากที่สุดเท่ากับ 7.20–8.00 กิ่งต่อต้น ที่ระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร มีจำนวนข้อปล้องเท่ากับ 4.60–5.20 กิ่งต่อต้น ส่วนปัจจัยด้านสายพันธุ์ รวมถึงอิทธิพลร่วมระหว่างสายพันธุ์และระยะปลูกไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางสถิติ (Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Brown *et al.* (2025) พบว่าจำนวนกิ่งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะปลูกกว้างขึ้น โดยระดับความหนาแน่นสูงสุด 221 ต้นต่อตารางเมตร แตกกิ่งน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.0001$) ระดับความหนาแน่น 111, 74 และ 55 ต้นต่อตารางเมตร มีจำนวนกิ่งที่มากกว่า

ขนาดของช่อดอก

แม้ว่าปัจจัยด้านระยะปลูกไม่มีอิทธิพลต่อขนาดของช่อดอก แต่เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและสายพันธุ์ พบว่าส่งผลต่อขนาดของช่อดอกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) พบว่าสายพันธุ์ EHFGP#1 ที่ปลูกระยะ 0.5×1.0 เมตร และ EHFGP#3 ที่ปลูกระยะ 1.0×1.0 เมตร ให้ขนาดช่อดอกใหญ่ที่สุด คือ

36.37 และ 36.29 มม. ตามลำดับ ส่วนระยะปลูกและสายพันธุ์อื่น ๆ มีขนาดช่อดอกอยู่ในช่วง 31.53–36.67 มม. (Table 2) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการตอบสนองด้านการพัฒนาช่อดอกของกัญชงมีความแตกต่างกันตามลักษณะทางพันธุกรรมของแต่ละสายพันธุ์ การเพิ่มหรือลดระยะปลูกเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอในการเพิ่มขนาดช่อดอก หากไม่พิจารณาความเหมาะสมร่วมกับสายพันธุ์

Table 2 Effect of plant spacing and variety on number of node per plant, number of branches per plant and inflorescence size (mm) of hemp grown in greenhouse

Plant spacing (mxm)	Varieties	Number of node per plant	Number of branches per plant	Inflorescence size (mm)
0.5×1.0	EHFGP#1	3.00±0.00	5.20±0.42	36.37±1.02a
	EHFGP#3	2.80±0.42	4.60±0.52	33.00±2.19b
	EHFGP#8	2.80±0.42	4.80±0.42	31.53±1.28b
1.0×1.0	EHFGP#1	4.00±0.00	8.00±0.00	33.67±0.97b
	EHFGP#3	4.40±0.52	7.60±0.52	36.29±1.47a
	EHFGP#8	4.00±0.00	7.20±1.03	33.65±0.82b
Plant spacing (A)		**	**	ns
Varieties (B)		ns	ns	**
A x B		ns	ns	**
CV (%)		10.03	10.31	3.67

ns = non-significant, ** = There was highly a significant difference. There was no significant difference between identical letters in the same column ($p \leq 0.01$) according to the Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at ($p \leq 0.05$).

น้ำหนักผลผลิตช่อดอกสดต่อต้น

ปัจจัยด้านระยะปลูกมีอิทธิพลต่อน้ำหนักผลผลิตช่อดอกสดต่อต้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ที่ระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร พบว่าเป็นระยะที่มีน้ำหนักผลผลิตช่อดอกสดต่อต้นเท่ากับ 0.90–1.08 กิโลกรัมต่อต้นมากกว่าที่ระยะ 0.5×1.0 เมตร เท่ากับ 0.52–0.78 กิโลกรัมต่อต้น เมื่อพิจารณาด้านสายพันธุ์และอิทธิพลร่วม

ระหว่างสายพันธุ์และระยะปลูกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 3)

น้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งต่อต้น

ปัจจัยด้านระยะปลูกมีอิทธิพลต่อน้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งต่อต้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ที่ระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร พบว่าเป็นระยะที่มีน้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งต่อต้นเท่ากับ 0.21–0.26 กิโลกรัมต่อต้น

มากกว่าที่ระยะ 0.5×1.0 เมตร ซึ่งเท่ากับ 0.12–0.18 กิโลกรัมต่อต้น เมื่อพิจารณาด้านสายพันธุ์และอิทธิพลร่วมระหว่างสายพันธุ์และระยะปลูกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 3) สอดคล้องกับการศึกษาของ Vanhove *et al.* (2011) ระบุว่าระยะปลูกที่กว้าง จำนวน 16 ต้นต่อตารางเมตร ให้ผลผลิตต่อต้นสูงกว่าการปลูกระยะชิด จำนวน 20 ต้นต่อตารางเมตร เนื่องจากการปลูกระยะชิดทำให้พืชแข่งขันกันมากขึ้น โดยเฉพาะปัจจัยเรื่องแสงและพื้นที่ จึงทำให้ผลผลิตต่อต้นลดลง Schober *et al.* (2024) ระบุว่า การปลูกในระยะกว้างช่วยเพิ่มการพัฒนาช่อดอกของพืชแต่ละต้น โดยเฉพาะบริเวณส่วนล่างของต้น เนื่องจากได้รับแสงเพียงพอและมีการแข่งขันภายในทรงพุ่มน้อยกว่า ในทางกลับกันการปลูกในระยะชิดทำให้เกิดการแย่งแสงในส่วนล่างของต้นส่งผลให้น้ำหนักช่อดอกแห้งของส่วนล่างลดลงอย่างชัดเจน รวมถึง Linder

et al. (2022) ที่รายงานว่ารยะห่างระหว่างต้นที่มากขึ้นส่งผลให้มีผลผลิตช่อดอกกัญชงแห้งต่อต้นสูงที่สุด

น้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งต่อโรงเรือน

ปัจจัยด้านระยะปลูก ปัจจัยด้านสายพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างระยะปลูกและสายพันธุ์ไม่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งต่อโรงเรือน พบว่าที่ระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร มีน้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งต่อโรงเรือนอยู่ระหว่าง 16.24–25.67 กิโลกรัม และที่ระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร มีน้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งต่อโรงเรือนอยู่ระหว่าง 21.22–26.93 กิโลกรัม (Table 3) ทั้งนี้ อาจเป็นเนื่องจากระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร และ 1.0×1.0 เมตร มีความแตกต่างกันไม่มากนัก ส่งผลให้จำนวนต้นต่อพื้นที่และความสามารถในการชดเชยผลผลิตระหว่างขนาดต้นและจำนวนต้นอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน จึงทำให้ปริมาณผลผลิตช่อดอกแห้งต่อโรงเรือนไม่แตกต่างกันทางสถิติ

Table 3 Effect of plant spacing and variety on fresh inflorescence yield per plant (kg), dry inflorescence yield per plant (kg) and dry inflorescence yield per greenhouse (kg/160 m²) of hemp grown in greenhouse

Plant spacing (mxm)	Varieties	Fresh inflorescence yield per plant (kg)	Dry inflorescence yield per plant (kg)	Dry inflorescence yield per greenhouse (kg/160 m ²)
0.5×1.0	EHFGP#1	0.52±0.10	0.12±0.02	16.24±2.89
	EHFGP#3	0.78±0.27	0.18±0.06	25.67±8.64
	EHFGP#8	0.66±0.21	0.14±0.05	19.60±6.47
1.0×1.0	EHFGP#1	0.90±0.22	0.21±0.05	21.22±11.17
	EHFGP#3	1.08±0.39	0.26±0.11	26.93±5.20
	EHFGP#8	1.03±0.32	0.24±0.06	24.48±5.93

Table 3 (Continued)

Plant spacing	Varieties	Fresh inflorescence yield per plant (kg)	Dry inflorescence yield per plant (kg)	Dry inflorescence yield per greenhouse (kg/160 m ²)
(m x m)				
Plant spacing (A)		**	**	ns
Varieties (B)		ns	ns	ns
A x B		ns	ns	ns
CV (%)		35.44	35.22	34.31

ns = non-significant, ** = There was highly a significant difference. There was no significant difference between identical letters in the same column ($p \leq 0.01$) according to the Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at ($p \leq 0.05$).

ปริมาณสารแคนนาบิไดโอด (Cannabidiol: CBD)

ปัจจัยด้านระยะปลูก ปัจจัยด้านสายพันธุ์ และ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและสายพันธุ์ ส่งผลต่อ ปริมาณสารแคนนาบิไดโอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ที่ระยะปลูก 1.0x1.0 เมตร พบว่าสายพันธุ์ EHFGP#1 มีค่าเฉลี่ยปริมาณสารแคนนาบิไดโอดสูงที่สุด เท่ากับ 14.32 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ EHFGP#3 เท่ากับ 12.63 เปอร์เซ็นต์ และ EHFGP#8 เท่ากับ 10.58 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะปลูก 0.5x1.0 เมตร พบว่าสายพันธุ์ EHFGP#1 มีค่าเฉลี่ยปริมาณสารแคนนาบิไดโอดสูงที่สุด เท่ากับ 13.44 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ EHFGP#3 เท่ากับ 13.19 เปอร์เซ็นต์ และ EHFGP#8 เท่ากับ 10.51 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของ ระยะปลูกและสายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ EHFGP#1

ที่ระยะปลูก 1.0x1.0 เมตร มีปริมาณสารแคนนาบิไดโอด สูงที่สุดเท่ากับ 14.32 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาสายพันธุ์ EHFGP#1 ที่ปลูกระยะปลูก 0.5x1.0 เมตร มีปริมาณสาร แคนนาบิไดโอดเท่ากับ 13.44 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสายพันธุ์ EHFGP#8 ที่ปลูกทั้ง 2 ระยะปลูก มีปริมาณสารแคนนา บิไดโอดต่ำที่สุดเท่ากับ 10.51 และ 10.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 4) สอดคล้องกับรายงานของ Salentijn *et al.* (2014) ระบุว่าปริมาณสารแคนนาบิไดโอด (CBD) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามสายพันธุ์ (cultivar) ซึ่งมีพื้นฐานจากความแตกต่างทางพันธุกรรม และ De Meijer *et al.* (1992) ที่ระบุว่าความแตกต่าง ทางพันธุกรรม (genotype differences) มีผลต่อปริมาณ และสัดส่วนของสารแคนนาบินอยด์ (เช่น CBD และ THC) อย่างชัดเจน

Table 4 Effect of plant spacing and variety on cannabidiol content of hemp grown in greenhouse

Plant spacing (m×m)	Varieties	Cannabidiol (%)
0.5×1.0	EHFGP#1	13.44±0.09b
	EHFGP#3	13.19±0.14bc
	EHFGP#8	10.51±0.18d
1.0×1.0	EHFGP#1	14.32±0.16a
	EHFGP#3	12.63±0.34c
	EHFGP#8	10.58±0.21d
Plant spacing (A)		**
Varieties (B)		**
A × B		**
CV (%)		1.82

ns = non-significant, ** = There was highly a significant difference. There was no significant difference between identical letters in the same column ($p \leq 0.01$) according to the Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at ($p \leq 0.05$).

สรุปผลการวิจัย

การปลูกกัญชงสายพันธุ์ EHFGP#1, EHFGP#3 และ EHFGP#8 ภายใต้ระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร และ 1.0×1.0 เมตร ในโรงเรือนเพาะปลูกพบว่า ระยะปลูก 0.5×1.0 เมตร ส่งผลให้ต้นกัญชงมีความสูงเฉลี่ยมากกว่า ขณะที่ระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร ส่งผลให้ต้นกัญชงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนข้อปล้องต่อต้น และจำนวนกิ่งต่อต้นมากกว่า นอกจากนี้ ระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร ยังส่งผลให้น้ำหนักผลผลิตช่อดอกสดและน้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งต่อต้นสูงกว่า โดยเฉพาะในสายพันธุ์ EHFGP#3 และ EHFGP#8 ซึ่งให้ผลผลิตต่อต้นสูงที่สุด ด้านสายพันธุ์พบว่า สายพันธุ์มีผลต่อความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และขนาดของช่อดอก โดยสายพันธุ์ EHFGP#1 และ EHFGP#3 มีขนาดช่อดอกใหญ่ และมีปริมาณสารแคนนาบิไดโอยด์ (CBD) สูงกว่าสายพันธุ์ EHFGP#8 เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและสายพันธุ์พบว่า สายพันธุ์ EHFGP#1 ที่ปลูกภายใต้

ระยะ 1.0×1.0 เมตร ให้ปริมาณสาร CBD สูงที่สุด แม้ว่าระยะปลูก 0.5×1.0 และ 1.0×1.0 เมตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในด้านน้ำหนักผลผลิตช่อดอกแห้งต่อโรงเรือน แต่ค่าผลผลิตเฉลี่ยแสดงแนวโน้มว่าระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร ให้ผลผลิตสูงกว่า อาจเนื่องมาจากการลดการแข่งขันระหว่างต้น ส่งผลให้พืชสามารถพัฒนาขนาดต้นและช่อดอกได้ดีขึ้น ดังนั้น การปลูกสายพันธุ์ EHFGP#1 ภายใต้ระยะปลูก 1.0×1.0 เมตร จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกกัญชงในโรงเรือน โดยคำนึงถึงทั้งคุณภาพผลผลิตด้านปริมาณสาร CBD และศักยภาพเชิงพาณิชย์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ทดสอบ วิจัยและพัฒนา กัญชง สำนักวิจัย และส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และบริษัท ทีเอ็นอาร์ ไบโอไซน์ซ์ จำกัด (TNRBio) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณการ

ดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณบริษัท เอฟจีพี (ไทยแลนด์)
จำกัด ที่ให้การสนับสนุนสายพันธุ์กัญชงในการศึกษาวิจัย
ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Amaducci, S., A. Zatta, F. Pelatti and G. Venturi. 2008. Influence of agronomic factors on yield and quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) fibre and implication for an innovative production system. **ScienceDirect** 107: 161–169.
- Brown, A., M. Soutor and S. Ellison. 2025. Impact of plant density on stem diameter, plant height, and branching in hemp (*Cannabis sativa* L.). **Agrosystems, Geosciences & Environment** 8: e70126.
- Danziger, N. and N. Bernstein. 2022. Too dense or not too dense: higher planting density reduces cannabinoid uniformity but increases yield/area in drug-type medical cannabis. **Frontiers in Plant Science** 13: 713481.
- de Meijer, E.P.M., H.J. van der Kamp and F.A. van Eeuwijk. 1992. Characterisation of *Cannabis* accessions with regard to cannabinoid content in relation to other plant characters. **Euphytica** 62: 187–200.
- Department of Agriculture (Thailand). 2022. **Notification of the Department of Agriculture Re: Public Announcement of the Application for the Issuance of a Certificate of Registered Plant Variety Pursuant to the Plant Varieties Act, B.E. 2518 (1975)**. Bangkok: Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. 57 p. [in Thai]
- Grassa, C.J., G.D. Weiblen, J.P. Wenger, C. Dabney, S.G. Poplawski, S.T. Motley, T.P. Michael and C.J. Schwartz. 2021. A new *Cannabis* genome assembly associates elevated cannabidiol (CBD) with hemp introgressed into marijuana. **New Phytologist** 230: 1665–1679.
- Linder, E.R., S. Young, X. Li, S. Henriquez Inoa and D.H. Suchoff. 2022. The effect of transplant date and plant spacing on biomass production for floral hemp (*Cannabis sativa* L.). **Agronomy** 12: 1856.
- Lisson, S.N., N.J. Mendham and P.S. Carberry. 2000. Development of a hemp (*Cannabis sativa* L.) simulation model 3: The effect of plant density on leaf appearance, expansion and senescence. **Australian Journal of Experimental Agriculture** 40: 419–423.

- McLennon, E., B. Charlton and K. Carson. 2024. **Comparison of Stem and Fiber Yield: Industrial Hemp Varietal Trial.** 8 p. *In* Research Report. Oregon: Oregon State University Extension Service.
- Ministry of Public Health (Thailand). 2025. **Notification of the Ministry of Public Health on Controlled Herbal Plant (Cannabis), B.E. 2568.** Retrieved from <https://www.dtam.moph.go.th/sub-law/42864/> [in Thai]
- Panday, D., B.S. Acharya, M. Dhakal, T. Caton, C. Lapham, A. Smith and A. Ghalehgholabbehbahani. 2025. Industrial hemp yield and chemical composition as influenced by row spacing, fertilization, and environmental conditions. **Agrosystems, Geosciences and Environment** 8: e70093.
- Salentijn, E.M.J., Q. Zhang, S. Amaducci, M. Yang and L.M. Trindade. 2014. New developments in fiber hemp (*Cannabis sativa* L.) breeding. **Industrial Crops and Products** 68(1): 32–41.
- Schober, T., A. Präger, J. Hartung and S. Graeff-Hönninger. 2024. The effects of plant density and duration of vegetative growth phase on agronomic traits of medicinal cannabis (*Cannabis sativa* L.): a regression analysis. **PLOS ONE** 19(12): 1–28.
- Tang, K., P.C. Struik, X. Yin, C. Thouminot, M. Bjelková, V. Stramkale and S. Amaducci. 2017. Comparing hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars for dual-purpose production under contrasting environment. **Industrial Crops and Products** 87: 33–44.
- Vanhove, W., P.V. Dammea and N. Meert. 2011. Factors determining yield and quality of illicit indoor cannabis (*Cannabis* spp.) production. **Forensic Science International** 212: 158–163.
- Yazici, L. 2022. Optimizing plant density for fiber and seed production in industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). **Journal of King Saud University – Science** 35: 102419.

การเปลี่ยนแปลงเมแทบอลอเมติกส์กลุ่มปฐมภูมิที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานโรคไหม้ในข้าว

Primary Metabolomic Profiling Associated with Rice Blast Resistance

รัตน์วรรณ จันทรศิริ^{1,*} สุพัทธา นราวัฒน์¹ ภัทรศยา สายยี่ด¹

ดวงกมล บุญช่วย² และชนินพัฒน์ ทองรอด²

Rattanawan Jansasithorn^{1,*}, Supatthra Narawattana¹, Pattarasaya Sai-yued¹

Duangkamon Boonchuay² and Chaninphat Thongrod²

¹สถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ สุพรรณบุรี 72000

²ศูนย์วิจัยข้าวชัยนาท ชัยนาท 17000

¹Thailand Rice Science Institute, Suphanburi, Thailand 72000

²Chainat Rice Research Center, Chainat, Thailand 17000

*Corresponding author: rattanawan.j@rice.mail.go.th

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-8550-2206>

Received: October 15, 2025

Revised: April 24, 2026

Accepted: May 14, 2026

Abstract

This research aimed to apply metabolomics technology to investigate changes in rice metabolites in response to infection by the rice blast pathogen *Pyricularia oryzae*. The blast-resistant rice varieties (Hangyee 71 and RD59) and blast-susceptible rice varieties (KDML 105 and PTT1) were used. The thirty-day-old rice plants were inoculated with a spore suspension of *P. oryzae* at a concentration of 5×10^4 spores·mL⁻¹. The leaf samples were collected 8 and 12 hours, and 1–7 days after inoculation. Metabolite profiling was performed using comprehensive two-dimensional gas chromatography with a time-of-flight mass spectrometer (GCxGC-TOFMS). The results revealed distinct metabolic profiles between the blast-resistant and blast-susceptible rice varieties. In the resistant rice varieties, a significant increase ($p \leq 0.1$) in phenylalanine, citrulline, and shikimic acid was detected three days after inoculation, whereas in the susceptible cultivars these metabolites were observed, starting five days after inoculation. These compounds are key precursors in the phenylpropanoid and shikimate pathways, which are associated with plant defense mechanisms. In addition, the resistant rice varieties showed the presence of methoxyflavone, an antioxidant compound, and salicylic acid, a plant hormone involved in defense induction. These findings provide insights into the metabolic mechanisms underlying rice blast resistance.

Keywords: blast disease, metabolomics, rice, *Pyricularia oryzae*, GCxGC-TOFMS

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเทคโนโลยีเมแทบอลอไมกส์มาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารเมแทบอลิไต์ที่เกิดขึ้นในข้าว เมื่อมีการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคไหม้ *Pyricularia oryzae* โดยพันธุ์ข้าวที่นำมาทดลองประกอบด้วย พันธุ์ต้านทานโรค ได้แก่ ข้าวพันธุ์หางยี 71 และ กข59 และพันธุ์อ่อนแอต่อโรค ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 ทำการปลูกเชื้อให้กับต้นข้าวอายุ 30 วัน ด้วยเชื้อ *P. oryzae* บริเวณใบข้าวด้วยสปอร์แขวนลอยความเข้มข้น 5×10^4 สปอร์ต่อมล. จากนั้นเก็บตัวอย่างใบข้าวหลังจากปลูกเชื้อเป็นเวลา 8 ชม. 12 ชม. และ 1-7 วัน เพื่อนำมาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารเมแทบอลิไต์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GCxGC-TOFMS) ผลการทดลองพบความแตกต่างของสารเมแทบอลิไต์ในข้าวพันธุ์ต้านทานและพันธุ์อ่อนแอโดยข้าวพันธุ์ต้านทานพบการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.1$) ของกรดอะมิโน phenylalanine citrulline และ shikimic acid ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์สารในกลุ่ม phenylpropanoid และ shikimate pathway ตามลำดับ หลังการปลูกเชื้อ *P. oryzae* เป็นเวลา 3 วันขึ้นไป ในขณะที่ข้าวพันธุ์อ่อนแอพบสารดังกล่าวหลังการปลูกเชื้อเป็นเวลา 5 วันขึ้นไป ซึ่งสารเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับกลไกความต้านทานโรคของพืช นอกจากนี้ในข้าวพันธุ์ต้านทานยังพบสาร methoxyflavone ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ รวมไปถึง salicylic acid ที่ทำหน้าที่สำคัญเกี่ยวกับการส่งสัญญาณในการสร้างความต้านทาน หลังจากเชื้อสาเหตุโรคเข้าทำลายพืช ผลการศึกษานี้ช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกความต้านทานโรคไหม้ของข้าว

คำสำคัญ: โรคไหม้ เมแทบอลอไมกส์ ข้าว
เชื้อ *Pyricularia oryzae* เครื่อง GCxGC-TOFMS

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2568/2569 พบว่าข้าวไทยมีผลผลิตถึง 26.99 ล้านตัน และมีปริมาณส่งออก 8 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าสูงถึง 4,545 ล้านเหรียญสหรัฐ (Department of Foreign Trade, 2025) อย่างไรก็ตาม การเข้าทำลายของโรคและแมลงส่งผลต่อผลผลิตของข้าวไทย โดยโรคระบาดที่สำคัญและก่อให้เกิดความเสียหายกับผลผลิตข้าวมากกว่าร้อยละ 50 ได้แก่ โรคไหม้ (blast disease) สามารถพบได้ทุกภาคของประเทศไทย มีสาเหตุจากเชื้อรา *Pyricularia oryzae* เริ่มเข้าทำลายตั้งแต่ระยะกล้าจนถึงระยะออกรวง โดยมีอาการตั้งแต่การเกิดแผลจุดสีน้ำตาลคล้ายรูปตาบนใบข้าว กลางแผลมีสีเทา สามารถกระจายไปทั่วทั้งใบ ไปจนถึงอาการแห้งตายคล้ายถูกไฟไหม้ หากพบในระยะออกรวงทำให้เมล็ดลีบ พบรอยแผลข้าวบริเวณคอรวง ทำให้รวงเปราะ หักง่าย หล่นเสียหายหรือเรียกอาการในระยะนี้ว่า โรคไหม้คอรวง (Mekwatanakam and Mekwatanakam, 2016) เกษตรกรจึงนิยมเลือกปลูกข้าวพันธุ์ต้านทานเพื่อลดอัตราการเกิดโรคดังกล่าว

งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ใหม่ที่ต้านทานต่อโรคไหม้ แต่การปรับปรุงพันธุ์ข้าวต้านทานในปัจจุบันใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน จึงนำมาสู่การนำเทคโนโลยีเมแทบอลอไมกส์มาช่วยในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น โดยเมแทบอลอไมกส์เป็นการศึกษาชนิดและปริมาณของสารเมแทบอลิไต์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตในช่วงเวลาหนึ่งที่จะนำไปสู่การพัฒนารูปร่างลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึม รวมถึงการเชื่อมโยงการทำงานกับกระบวนการอื่น ๆ ในการควบคุมการเจริญเติบโตและการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ความเข้าใจและการค้นพบกลไกการทำงานของพืชภายใต้

สภาวะแวดล้อมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การศึกษาดังกล่าวจะทำให้เกิดความเข้าใจถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่สัมพันธ์กับลักษณะปรากฏ (phenotype) หรือคุณลักษณะเฉพาะ (characteristics) ซึ่งส่งผลให้สิ่งมีชีวิตแสดงออกภายใต้สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ (Settachaimongkon and Luangwilai, 2017) การศึกษาเมแทบอลอไมกส์ที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานโรคใหม่ในข้าวที่ผ่านมา พบว่าในใบข้าวที่ติดเชื้อราจะพบสารในกลุ่มเมแทบอลิไต์ปฐมภูมิ (primary metabolites) และสารในกลุ่มลิกนิน (lignin monomers) โดยเชื้อราก่อโรคชนิดนี้จะไปยับยั้งการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันและสามารถดึงอาหารจากเนื้อเยื่อข้าวไปใช้ และมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของวิถี shikimate pathway ทำให้ข้าวอ่อนแอลง (Parker *et al.*, 2009) ซึ่งจากองค์ความรู้ทางเมแทบอลอไมกส์ดังกล่าว จะสามารถนำไปใช้ในการศึกษากลไกความต้านทานโรคใหม่ของข้าวพันธุ์ต้านทาน โดยมุ่งเน้นสารเมแทบอลิไต์ที่เกี่ยวข้องกับ shikimate pathway เป็นต้น งานวิจัยนี้เป็นการนำเทคโนโลยีเมแทบอลอไมกส์มาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารเมแทบอลิไต์ในข้าวพันธุ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะในพันธุ์ต้านทาน เพื่อนำไปศึกษาความสามารถในการต้านทานและนำไปสู่การค้นพบเครื่องหมายโมเลกุลที่ช่วยลดระยะเวลาในการปรับปรุงข้าวพันธุ์ต้านทานโรคใหม่ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การแยกเชื้อสาเหตุโรคไหม้

โดยเก็บตัวอย่างใบข้าวที่แสดงอาการของโรคไหม้ในพื้นที่จังหวัดชัยนาท นครสวรรค์ และอุทัยธานี นำตัวอย่างใบข้าวมาล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นตัดเนื้อเยื่อขนาด 0.5 x 1 ซม. บริเวณที่มีแผลรูปตา โดยตัดผ่ากลางแผล ให้เนื้อเยื่อที่ต้องการมีบริเวณแผลและส่วนสีเขียวอย่างละครึ่ง นำเนื้อเยื่อที่ตัดแล้วใส่กล่องพลาสติกและให้ความชื้นโดยวิธี moist chamber method หลังจากนั้น 1-2 วัน เชื้อราสาเหตุโรคจะสร้างสปอร์บริเวณรอยตัด

ที่ผ่ากลางแผล นำเนื้อเยื่อดังกล่าวมาตรวจดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า จากนั้นแยกสปอร์เดี่ยวของเชื้อราด้วยวิธี single-spore technique โดยใช้เข็มพาสเจอร์ปีเปิดแก้ว ที่ลนไฟแล้วตัดให้ปลายโค้งงอแตะกลุ่มสปอร์ และนำมาเลี้ยงบนอาหาร Water Agar (WA) 1-2 วัน นำจานเพาะเชื้อดังกล่าวมาตรวจดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า เพื่อนำสปอร์ที่งอกเส้นใยบนอาหาร WA ไปเลี้ยงบนอาหาร PDA (1 สปอร์ต่อ 1 จานเพาะเชื้อ) จากนั้นนำเชื้อที่แยกได้มาตรวจพิสูจน์การก่อโรคพืชตามวิธี Koch's postulates ดังนี้ 1) เก็บตัวอย่างข้าวที่แสดงอาการโรคไหม้มาแยกเชื้อสาเหตุโรค (isolation) ให้บริสุทธิ์ (pure culture) บนอาหารเลี้ยงเชื้อ 2) ตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาหรือชีวโมเลกุลเพื่อระบุ/จำแนกชนิดของเชื้อ (identification) 3) นำเชื้อบริสุทธิ์ที่แยกได้มาปลูกเชื้อ (inoculation) ลงบนต้นข้าวพันธุ์เดียวกับที่เก็บมาแยกเชื้อหรือพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรคไหม้ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เพื่อให้แสดงอาการของโรคเหมือนกับตัวอย่างที่เก็บมาแยกเชื้อ 4) เมื่อข้าวที่ได้รับการปลูกเชื้อแสดงอาการของโรค ทำการแยกเชื้อสาเหตุจากข้าวที่แสดงอาการใหม่ (re-isolation) หากพบว่าเป็นเชื้อชนิดเดียวกันกับที่แยกได้ในขั้นตอนแรกจะถือว่าเชื้อนั้นเป็นสาเหตุโรคจริง (Agrios, 2005)

ดำเนินการคัดเลือกไอโซเลตของเชื้อที่ทำให้ข้าวทดสอบเป็นโรคอย่างรุนแรง และเก็บรักษาเชื้อบริสุทธิ์แบบแห้งบนกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 หรือในกลีเซอรอล 15 เปอร์เซ็นต์ และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°C (Piasai, 2017) สำหรับการเตรียมสปอร์แขวนลอย (spore suspension) ของเชื้อรา *P. oryzae* ทำโดยการเลี้ยงเชื้อบนอาหาร PDA ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 10-14 วัน จากนั้นเติมน้ำนิ่งฆ่าเชื้อปริมาตร 10 มล. และใช้เข็มเขี่ยชุดสปอร์เชื้อราบนผิวหน้าอาหาร กรองผ่านผ้าขาวบางที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้วเพื่อกรองเส้นใยและขุ่นออก แล้วนำไปนับจำนวนสปอร์ของเชื้อราด้วย Haemocytometer ปรับระดับความเข้มข้นให้ได้ 5×10^4 สปอร์ต่อมล. ด้วยน้ำนิ่งฆ่าเชื้อที่เดิม สารลดแรงตึงผิว Tween 80 ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำไปใช้ทดสอบต่อไป

การเตรียมตัวอย่างข้าวและการปลูกเชื้อสาเหตุโรคไหม้

เตรียมตัวอย่างข้าว โดยทำความสะอาดและฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสารละลายคลอโรกซ์ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ แช่นาน 10 นาที และล้างด้วยน้ำนิ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง ผสมดินที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อกับปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 10 กรัมต่อดิน 12 กก. ปลูกในกระบะพลาสติก ขนาด 28x42x8 ซม. โดยปลูกข้าวทดสอบ จำนวน 4 พันธุ์ ดังนี้ พันธุ์อ่อนแอ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 (KDML105) และปทุมธานี 1 (PTT1) พันธุ์ต้านทาน ได้แก่ หางยี 71 (Hangyee 71) และ กข59 (RD59) โดยปลูกข้าวจำนวน 6 กระบะต่อ 1 พันธุ์ อัตราเมล็ดพันธุ์ 50 กรัมต่อกระบะ การปลูกเชื้อ *P. oryzae* สาเหตุโรคไหม้ ดำเนินการช่วงเดือนมิถุนายน - กรกฎาคม ปีพ.ศ. 2566 โดยพ่นสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *P. oryzae* ความเข้มข้น 5×10^4 สปอร์ต่อมล. ที่ผสมสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ด้วยแปรงพ่นสี (airbrush) บนต้นข้าวทดสอบอายุ 30 วัน ทิ้งทั้งต้นที่อัตรา 30 มล.ต่อกระบะ (Mekwatanakarn and Mekwatanakarn, 2016) จำนวน 2 กระบะต่อพันธุ์ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (control) ที่พ่นด้วยน้ำนิ่งฆ่าเชื้อผสมสารลดแรงตึงผิว Tween 80 ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ (ไม่ปลูกเชื้อ) จำนวน 2 กระบะต่อพันธุ์ ประเมินความรุนแรงของโรคหลังปลูกเชื้อเป็นเวลา 7 วัน โดยแบ่งระดับคะแนนและลักษณะอาการของโรคไหม้ ตามระบบของ Standard Evaluation System for Rice; SES (IRRI, 2013) (Table 1) จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างใบข้าว หลังปลูกเชื้อเป็นเวลา 8 ซม. 12 ซม. และ 1-7 วัน (Hata *et al.*, 2021; Zhan *et al.*, 2020) โดยเก็บใบจากต้นข้าวที่ปลูกเชื้อจำนวน 2 ต้นต่อกระบะ ๆ ละ 2-3 ใบ โดยเก็บใบตำแหน่งที่ 3 และ 4 จากใบยอด เพื่อวิเคราะห์เมแทบอลอไมกส์ต่อไป

การสกัดและวิเคราะห์เมแทบอลอไมกส์ในพันธุ์ข้าวต้านทานและพันธุ์อ่อนแอโรคไหม้

ดำเนินการสกัดตัวอย่างใบข้าวจากข้อ 2 โดยบดตัวอย่างให้ละเอียดด้วยไนโตรเจนเหลว และนำมาซึ่งปริมาณ 100 มก. เติมน้ำมันคลอโรฟอร์ม ในอัตราส่วน 2:1 ที่แช่เย็นปริมาตร 600 ไมโครลิตร และ Adonitol ซึ่งเป็น Internal Standard ความเข้มข้น 2 มก./มล. ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไป Sonicate ในน้ำแข็ง เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเติมคลอโรฟอร์มและน้ำกลั่นอย่างละ 300 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ $\times 13,200$ รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แยกส่วนใสในหลอด Eppendorf และนำไปทำให้แห้งภายใต้สภาวะไนโตรเจน จากนั้นนำตัวอย่างที่สกัดได้มาทำ Derivatization โดยเติม Methoxyamin hydrochloride ใน Pyridine (20 มก./มล.) ปริมาตร 70 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นนำไปปั่นที่ 37°C (ความเร็ว 950 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นเติม N-methyl-(trimethylsilyl) trifluoroacetamide, MSTFA เขย่าที่ 37°C เป็นเวลา 30 นาที กรองตัวอย่างใส่ขวดและนำไปฉีดวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography with Time-of-Flight Mass Spectrometer (GCxGC-TOFMS) ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลสารเมแทบอลอไมกส์ที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง GCxGC-TOFMS ได้รับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ChromaTOF-GC ที่ความเหมือนมากกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 70 และ signal-to noise ratio เท่ากับ 100 จากนั้นนำข้อมูลไปจัดเรียงด้วยโปรแกรม Statistical compare วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis, PCA) และสร้าง heatmap ด้วยโปรแกรม R โดยทำการ

เปรียบเทียบชนิดและปริมาณของสารเมแทบอลิไต์ในพันธุ์ (p≤0.1) จัดเป็นสารเมแทบอลิไต์ที่มีความแตกต่างกัน
ด้านทานและพันธุ์อ่อนแอ โดยสารเมแทบอลิไต์ที่มี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ปริมาณแตกต่างกันที่ระดับมากกว่า 1.5 fold change

Table 1 Field key for visual assessment of leaf blast severity

Scale	Description	Diseased leaf area
0	No typical susceptible lesion observed	0
1	Rapid observation does not reveal leaf lesions, but careful scrutiny of each row reveals few lesions.	<0.3
2	Rapid detection detects a few lesions.	0.3-0.9
3	Several lesions are randomly scattered within a plot, and the lesion number on an infected leaf ranges from 1 to 4.	1-2
4	Upper leaves are uniformly dotted with blast lesions but without necrotic (brown) leaf tips. A few to several leaves are brown.	3-7
5	Several to many lower leaves become necrotic and few dead leaves are observed. Tips of several upper leaves show brown color and begin to fold.	8-14
6	Lower leaves are uniformly exhibiting brown color and several dead leaves are visible. Tip necrosis of upper leaves is predominant.	15-24
7	Tips of most upper leaves are curling. Middle and lower leaves are brown. Several plants or tillers are stunted or dead.	25-39
8	Extensive leaf curling and browning of upper and middle leaves are prevalent. Plants are generally stunted and many plants are dead.	40-65
9	Majority of plants are severely stunted, brown and dead. Only few to several plants have green leaves with heavy infection.	>65

Disease Resistance: HR = highly resistant (scale = 0-1); R = resistant (scale = 2); MR = moderately resistant (scale = 3);

MS = moderately susceptible (scale = 4-6); S = susceptible (scale = 7); HS = highly susceptible (scale = 8-9)

ผลการวิจัย

การแยกเชื้อสาเหตุโรคไหม้ พบว่าสามารถคัดเลือกเชื้อรา *P. oryzae* ไอโซเลต PO2020_CNT006 จากตัวอย่างใบข้าวที่เกิดโรค และทำให้ข้าวทดสอบพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นพันธุ์อ่อนแอเป็นโรคไหม้อย่างรุนแรง สำหรับการปลูกเชื้อโรคไหม้ พบว่าจากการประเมินความรุนแรงของโรคไหม้หลังปลูกเชื้อ 7 วัน ข้าวทดสอบพันธุ์อ่อนแอ ได้แก่ พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แสดงปฏิกิริยาอ่อนแอมาก (HS) และปทุมธานี 1 แสดงปฏิกิริยาค่อนข้างอ่อนแอ (MS) ในขณะที่ข้าวทดสอบพันธุ์ต้านทาน

ได้แก่ พันธุ์หางยี 71 แสดงปฏิกิริยาด้านทาน (R) และ กข59 แสดงปฏิกิริยาค่อนข้างต้านทาน (MR)

การวิเคราะห์สารเมแทบอไลต์ในตัวอย่างใบข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 (พันธุ์อ่อนแอ) และ กข59 และหางยี 71 (พันธุ์ต้านทาน) ที่ผ่านการปลูกเชื้อสาเหตุโรคไหม้ เป็นเวลา 8, 12 ชม. และ 1-7 วัน พบสารเมแทบอไลต์ทั้งหมดจำนวน 169 สาร ซึ่งประกอบด้วยสารกลุ่มกรดอินทรีย์ กรดอะมิโน น้ำตาล แอลกอฮอล์ กรดไขมัน และสารอื่น ๆ ได้แก่ oxalic acid, shikimic acid, salicylic acid, phenylalanine, proline, valine, methionine, palmitic acid เป็นต้น (Figure 1)

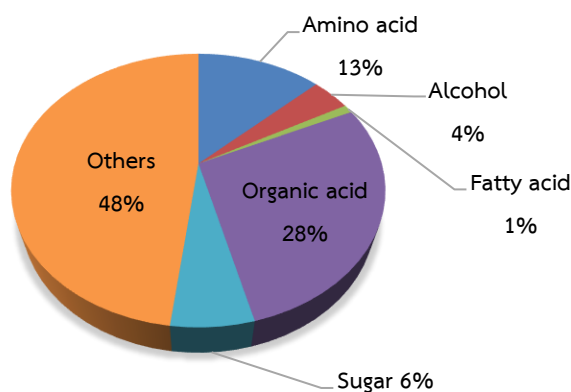


Figure 1 Metabolites found in leaves of KDML105, PTT1, RD59, and Hangyee 71 after 8-12 hours and 1-7 days of *Pyricularia oryzae* inoculation

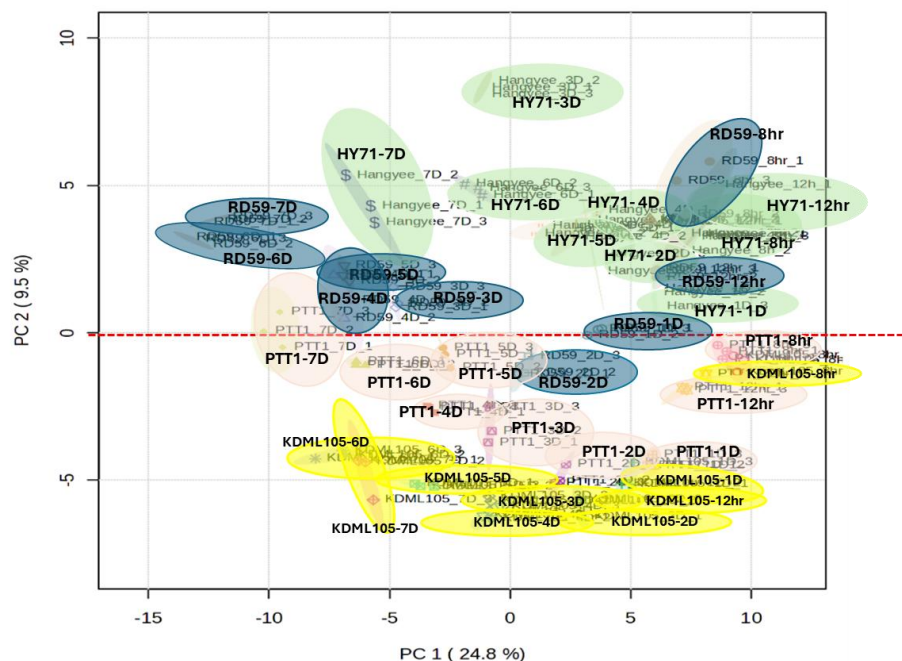


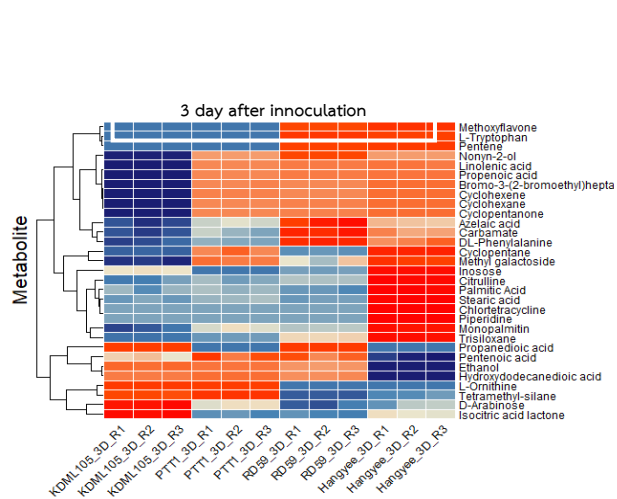
Figure 2 Principal component analysis (PCA) of metabolites found in leaves of KDML105, PTT1, RD59, and Hangyee 71 after 8 hours, 12 hours, and 1–7 days of *Pyricularia oryzae* inoculation (■ = KDML105, ■ = PTT1, ■ = RD59, ■ = Hangyee 71 (HY71))

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาความแปรปรวนของสารเมแทบอลิไทน์ในข้าวจำนวน 4 พันธุ์ ภายหลังการปลูกเชื้อในเวลาที่แตกต่างกัน โดยพบว่าองค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 (PC1 และ PC2) สามารถอธิบายความแปรปรวนรวมของข้อมูลได้ร้อยละ 34.9 เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของตัวอย่างแกน PC1 (แกน X) พบว่า ข้าวพันธุ์หางยี 71 และ กข59 ซึ่งเป็นพันธุ์ต้านทานมีรูปแบบองค์ประกอบของสารเมแทบอลิไทน์ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะในระยะเริ่มต้นหลังการปลูกเชื้อ ซึ่งสะท้อนจากการจัดกลุ่มที่มีการซ้อนทับกันของตัวอย่างข้าวในช่วงเวลา 8 และ 12 ชั่วโมงหลังปลูกเชื้อ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 ซึ่งเป็นพันธุ์อ่อนแอ มีแนวโน้มแสดงรูปแบบองค์ประกอบของสารเมแทบอลิไทน์ที่ใกล้เคียงกันในช่วงระยะเริ่มต้น (8 ชั่วโมงหลังการปลูกเชื้อ) เช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาภาพรวมของการกระจายตัวของข้อมูล พบว่าข้าวกลุ่มพันธุ์ต้านทานและพันธุ์

อ่อนแอมีแนวโน้มแยกกลุ่มกันอย่างชัดเจนตามแกน PC2 โดยข้าวพันธุ์ต้านทานมีแนวโน้มกระจายตัวอยู่ในช่วงค่าบวก ขณะที่ข้าวพันธุ์อ่อนแอมีแนวโน้มอยู่ในช่วงค่าลบ ซึ่งสะท้อนถึงความแตกต่างของรูปแบบสารเมแทบอลิไทน์ระหว่างพันธุ์ต้านทานและพันธุ์อ่อนแอภายหลังการตอบสนองต่อการปลูกเชื้อ (Figure 2)

เมื่อนำข้อมูลสารเมแทบอลิไทน์ที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเลือกเฉพาะสารที่มีความแตกต่างกันที่ระดับมากกว่า 1.5 fold change ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 กข59 และหางยี 71 และนำมาสร้าง heatmap เพื่อเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของสารเมแทบอลิไทน์ในข้าวแต่ละพันธุ์ด้วยโปรแกรม R โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสารเมแทบอลิไทน์หลังการปลูกเชื้อเป็นเวลา 3, 5, 6 และ 7 วัน (Figure 3–4) โดยข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นพันธุ์ข้าวอ่อนแอต่อโรคไหม้ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ กข59 เป็นข้าวที่ได้รับการพัฒนาให้มี

ความต้านทานต่อโรคไหม้ จากผลการวิเคราะห์พบการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของสารเมแทบอไลต์ประเภทกรดอะมิโน กรดไขมัน และน้ำตาล ได้แก่ asparagine, alanine, linolenic acid, palmitic acid และ ribofuranose โดยเฉพาะกรดอะมิโน phenylalanine และ citrulline ในข้าวพันธุ์หางยี 71 ซึ่งเป็นพันธุ์ต้านทานหลังการปลูกเชื้อเป็นเวลา 3 วัน โดยทั้งสองสารเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในกระบวนการสร้างสารในกลุ่ม phenylpropanoids และ polyamines ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโน L-ornithine หลังการปลูกเชื้อเป็นเวลา 3-5 วัน นอกจากนี้ พบการเพิ่มขึ้นของสารกลุ่ม flavonoid ซึ่งเป็น natural plant polyphenols ได้แก่ methoxyflavone ในข้าวพันธุ์ต้านทานหลังปลูกเชื้อเป็นเวลา 3 และ 5 วัน แต่ไม่พบการเพิ่มขึ้นของสารดังกล่าวในข้าวพันธุ์อ่อนแอ (Figure 3)



หลังการปลูกเชื้อเป็นเวลา 6 วัน พบการเพิ่มขึ้นหรือ up-regulation ของสารเมแทบอไลต์กลุ่ม ketoglutaric acid ในข้าวพันธุ์หางยี 71 และพบในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 หลังการปลูกเชื้อเป็นเวลา 7 วัน ซึ่งสารดังกล่าวมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืชและเหนี่ยวนำความต้านทานต่อโรคไหม้ในข้าว ในขณะที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 และ กข 59 พบการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโน phenylalanine และ citrulline หลังการปลูกเชื้อเป็นเวลา 5-6 วัน ตามลำดับ ซึ่งสารดังกล่าวพบในข้าวพันธุ์หางยี 71 ตั้งแต่ 3 วันหลังปลูกเชื้อ นอกจากนี้ ยังพบการเพิ่มขึ้นของ salicylic acid และ shikimic acid ในข้าวพันธุ์หางยี 71 และ กข59 หลังปลูกเชื้อสาเหตุโรคไหม้เป็นเวลา 6 วันขึ้นไป โดยทั้งสองสารมีความเกี่ยวข้องกับการสร้างความต้านทานหลังจากที่เชื้อสาเหตุเข้าทำลาย (Figure 4)

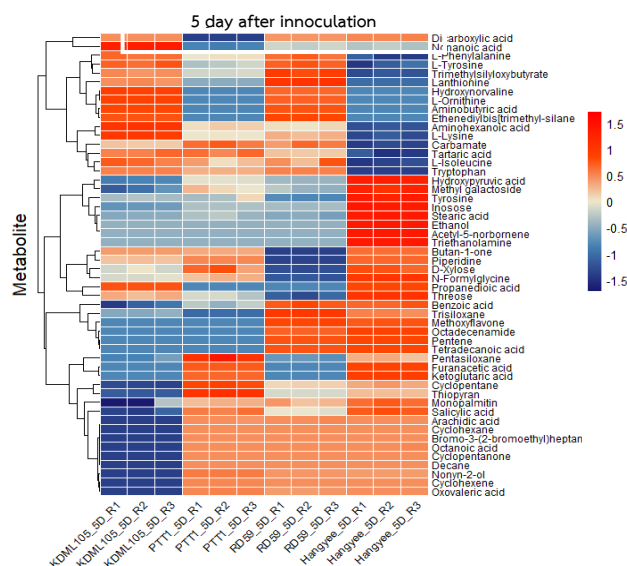


Figure 3 Heatmap of metabolites found in leaves of KDML105, PTT1, RD59, and Hangyee 71 after 3 and 5 days of *Pyricularia oryzae* inoculation

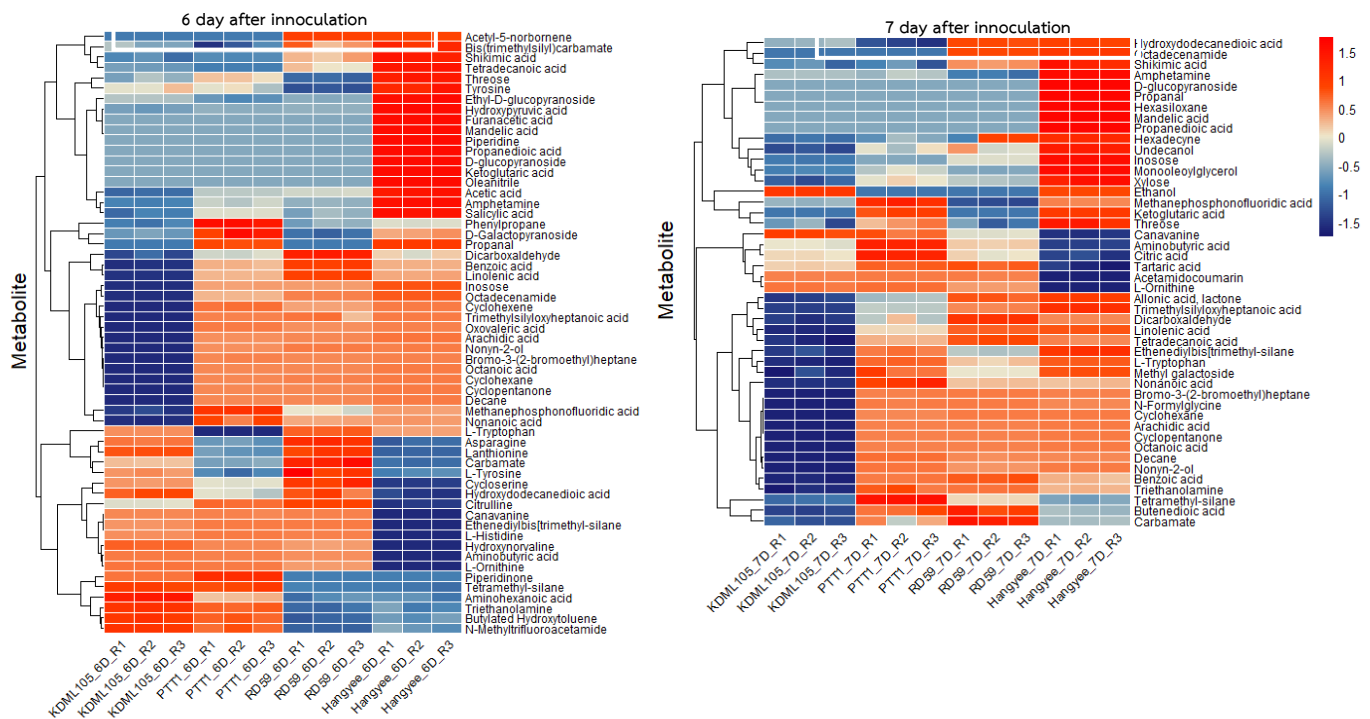


Figure 4 Heatmap of metabolites found in leaves of KDML105, PTT1, RD59, and Hangyee 71 after 6 and 7 days of *Pyricularia oryzae* inoculation

วิจารณ์ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารเมแทบอไลต์ในใบข้าวพันธุ์ต้านทานและพันธุ์อ่อนแอ ที่ผ่านการทดสอบเชื้อสาเหตุโรคไหม้ เป็นเวลา 8 ชม. 12 ชม. และ 1-7 วัน โดยพบสารเมแทบอไลต์ประเภท กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน น้ำตาล แอลกอฮอล์ กรดไขมัน เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบสารเมแทบอไลต์จำนวน 99 สาร ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม primary metabolites ได้แก่ สารในกลุ่ม aromatic amino acids, phenylpropanoids, polyamines และน้ำตาลต่าง ๆ เมื่อข้าวถูกเข้าทำลายด้วยเชื้อ *P. oryzae* ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุโรคไหม้ (Madhavan *et al.*, 2019) และเมื่อนำสารเมแทบอไลต์มาวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก พบว่าข้าว

พันธุ์ต้านทานและพันธุ์อ่อนแอมีการเปลี่ยนแปลงของสารเมแทบอไลต์แตกต่างกัน โดยพบการเพิ่มขึ้นของสารเมแทบอไลต์ที่เกี่ยวข้องกับกลไกการป้องกันตัวเอง ภายหลังการปลูกเชื้อเป็นเวลาตั้งแต่ 3 วันขึ้นไป โดยเฉพาะพันธุ์ต้านทาน จากการรายงานที่ผ่านมา พบว่าข้าวพันธุ์ Hwacheong เมื่อได้รับเชื้อโรคไหม้ *Magnaporthe grisea* สายพันธุ์แบบ compatibility (KJ201) และแบบ incompatibility (KJ401) มีการสร้างสารเมแทบอไลต์ไม่แตกต่างกันในช่วงแรกหลังการปลูกเชื้อ (24 ชม.) จากนั้นพบการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโน alanine ในข้าวที่มีการเข้าทำลายของเชื้อแบบ compatibility รวมทั้งสารเมแทบอไลต์อื่น ๆ ได้แก่ malate, glutamine, proline และ cinnamate เป็นต้น (Jones *et al.*, 2011) และเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์สารเมแทบอไลต์ในข้าวพันธุ์ต้านทาน พบว่าการ

เพิ่มขึ้นของกรดอะมิโนพวก phenylalanine และ citrulline ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกลไกการป้องกันตัวเองของพืชในกระบวนการ phenylpropanoids pathway โดยสามารถกระตุ้นให้เกิดขึ้นได้เมื่อเชื้อสาเหตุโรคเข้าทำลายพืช ทำให้พืชเกิดการตอบสนองต่อการเข้ารุกรานของเชื้อโรค เช่น การสร้างสารลิกนินและซูเบอร์ินที่ทำให้ผนังเซลล์ที่อยู่รอบบริเวณแผลหนาและแข็งแรงขึ้นเพื่อป้องกันการลุกลามของเชื้อ หรือมีการสร้างสาร phytoalexins เพื่อต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรค เป็นต้น (Yadav *et al.*, 2020)

นอกจากนี้ ยังพบการเพิ่มขึ้นของสารในกลุ่ม methoxyflavone ในข้าวพันธุ์หางยี 71 และ กข59 ซึ่งเป็นพันธุ์ต้านทานหลังการปลูกเชื้อเป็นเวลา 3 และ 5 วัน โดยสารดังกล่าวเป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ที่มีการรายงานว่ามีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และคาดว่าจะมีความเกี่ยวข้องกับสาร sakuranetin ซึ่งเป็น phytoalexins ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบในข้าว โดยสารดังกล่าวมีฤทธิ์ต่อต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์สาเหตุโรค (Shimizu *et al.*, 2012; Valletta *et al.*, 2023) และมีรายงานพบการเพิ่มขึ้นของสาร sakuranetin ในข้าวที่มีการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคไหม้ (Kodama *et al.*, 1992; Dillon *et al.*, 1997; Stomp, 2020) ซึ่งนำไปสู่การวิเคราะห์หาสารดังกล่าวในพันธุ์ข้าวไทยต่อไป

นอกจากนี้ ยังพบการเพิ่มขึ้นของสาร ketoglutaric acid และ shikimic acid ในข้าวพันธุ์หางยี 71 หลังการปลูกเชื้อเป็นเวลา 6 วันขึ้นไป ซึ่งมีการรายงานพบความเกี่ยวข้องของ ketoglutaric acid กับการสร้างความต้านทานและการตอบสนองต่อความเครียดของพืชที่สภาวะต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Lei and Huang, 2022) ในขณะที่พบความเกี่ยวข้องของ shikimic acid กับกลไกความต้านทานของพืชที่ส่งผลให้ผนังเซลล์ของพืชมีความแข็งแรง ทำให้เชื้อโรคไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Wu *et al.*, 2021) โดยใน shikimic pathway ประกอบด้วยสารกลุ่มฟีนอลิกที่พบในพืชหลากหลายชนิดที่มีความ

เกี่ยวข้องกับการเกิดสี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ การส่งสัญญาณ และกลไกการป้องกันตัวเองของพืช เป็นต้น (Francenia Santos-Sánchez *et al.*, 2019) สำหรับการเพิ่มขึ้นของ salicylic acid ในข้าวพันธุ์หางยี 71 กข59 และปทุมธานี 1 ตั้งแต่วันที่ 5 หลังปลูกเชื้อ มีความสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของ benzoic acid ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของ salicylic acid ในเซลล์แขวนลอย (suspension cultured cell) ของข้าวพันธุ์อ่อนแอต่อเชื้อโรคไหม้ (CO39) ภายหลังได้รับการกระตุ้นด้วยเชื้อโรคไหม้ *P. oryzae* (Madhavan *et al.*, 2019) โดย salicylic เป็นฮอร์โมนพืชที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณในการสร้างความต้านทานหลังจากเชื้อสาเหตุโรคเข้าทำลายพืช หรือที่เรียกว่า Systemic Acquired Resistance (SAR) ซึ่งเป็นระบบป้องกันตัวเองตามธรรมชาติของพืชได้รับการกระตุ้นให้เกิดขึ้นเมื่อเชื้อโรคทั้งเชื้อรา แบคทีเรีย และไวรัสเข้าทำลาย (Moselhy *et al.*, 2016) นอกจากนี้ยังมีการรายงานถึงการพบ salicylic acid ในข้าวพันธุ์อ่อนแอและพันธุ์ต้านทานโรคไหม้ พบกลไกควบคุมความต้านทานในข้าวทั้งสองพันธุ์ (Sun *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์สารเมแทบอไลต์ด้วยเครื่อง GCxGC-TOFMS ในงานวิจัยนี้ เป็นเพียงการวิเคราะห์สารตั้งต้นที่เกี่ยวข้องในกระบวนการต่าง ๆ จึงควรมีการวิเคราะห์สารเมแทบอไลต์ในกลุ่มทุติยภูมิ (secondary metabolite) เพื่อหาสารที่มีความจำเพาะและสามารถเชื่อมโยงกับยีนต้านทานโรคไหม้และนำไปสู่การพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์เพิ่มเติมต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์เมแทบอไลต์ในข้าวพันธุ์ต้านทาน (หางยี 71 และ กข59) และพันธุ์อ่อนแอ (ขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1) ต่อโรคไหม้ พบสารเมแทบอไลต์กลุ่มปฏิกิริยาประเภท กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน น้ำตาล แอลกอฮอล์ กรดไขมัน เป็นต้น จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักพบว่า ข้าวพันธุ์ต้านทานมีองค์ประกอบ

ของสารเมแทบอลิต์แตกต่างจากข้าวพันธุ์อ่อนแอ โดยในข้าวพันธุ์ต้านทาน พบการเพิ่มขึ้นของสารเมแทบอลิต์ประเภท phenylalanine citrulline methoxyflavone ketoglutaric acid และ shikimic acid หลังการปลูกเชื้อเป็นเวลาตั้งแต่ 3 วันขึ้นไป โดยสารดังกล่าวมีความเกี่ยวข้องกับกลไกความต้านทานและการป้องกันตนเองของพืช เช่น กระบวนการ phenylpropanoid หรือ shikimate pathway ตามลำดับ รวมไปถึงพบสาร salicylic acid ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชสำคัญที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการส่งสัญญาณในการสร้างความต้านทานโรค หลังการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรค ในขณะที่ข้าวพันธุ์อ่อนแอ พบการเพิ่มขึ้นของสารเมแทบอลิต์ที่เกี่ยวข้องกับกลไกความต้านทาน หลังการปลูกเชื้อเป็นเวลา 5 วันขึ้นไป จากผลการทดลองข้างต้นทำให้นักวิจัยทราบถึงกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานโรคใหม่ของข้าว อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาสารเมแทบอลิต์ที่มีความจำเพาะในการสร้างความต้านทานต่อโรคไหม้ในข้าว เพื่อเชื่อมโยงหาพื้นที่เกี่ยวข้องและใช้ในการพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ข้าว ให้มีความต้านทานต่อโรคไหม้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทว.) ที่ส่งเสริมและสนับสนุนงบประมาณ ทีมงานวิจัย และผู้ช่วยนักวิจัยจากสถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ กรมการข้าว ในการดำเนินงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Agrios, G.N. 2005. **Plant Pathology**. 5th. New York: Academic Press. 922 p
- Department of Foreign Trade. 2025. **World and Thai rice situation December, 2025**. Retrieved from <https://www.dft.go.th/th-th/Service-DFT/Service-Information/DATA-Group-Product/Detail-DATA-Group-Product/ArticleId/29927/29927> [in Thai]
- Dillon, V.M., J. Overton, R.J. Grayer and J.B. Harborne. 1997. Differences in phytoalexin response among rice cultivars of different resistance to blast. **Phytochemistry** 44: 599–603.
- Francenia Santos-Sánchez, N., R. Salas-Coronado, B. Hernández-Carlos and C. Villanueva-Cañongo. 2019. Shikimic acid pathway in biosynthesis of phenolic compounds. **IntechOpen** 83815.
- Hata E.M., M.T. Yusof and D. Zulperi. 2021. Induction of systemic resistance against bacterial leaf streak disease and growth promotion in rice plant by *Streptomyces shenzhenesis* TKSC3 and *Streptomyces* sp. SS8. **The Plant Pathology Journal** 37(2): 173–181.
- International Rice Research Institute (IRRI). 2013. **Standard Evaluation System (SES) for Rice**. 5th. ed. Manila: IRRI. 65 p.

- Jones, O., M. Maguire, J. Griffin, J. Young-Ho, J. Shibato, R. Rakwal, G. Agrawal and N.S. Jwa. 2011. Using metabolic profiling to assess plant-pathogen interactions: an example using rice (*Oryza sativa*) and the blast pathogen *Magnaporthe grisea*. **European Journal of Plant Pathology** 129: 539–554.
- Kodama, O., J. Miyakawa, T. Akatsuka and S. Kiyosawa. 1992. Sakuranetin, a flavanone phytoalexin from ultraviolet-irradiated rice leaves. **Phytochemistry** 31: 3807–3809.
- Lei, S. and B. Huang. 2022. Metabolic regulation of α -Ketoglutarate associated with heat tolerance in perennial ryegrass. **Plant Physiology and Biochemistry** 190: 164–173.
- Madhavan, S., V. Paranidharan, A. Erban, A.M. Al-sadi, J. Kopka and R. Velazhahan. 2019. The metabolic response of suspension-cultured cells from blast-resistant and -susceptible rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to a *Pyricularia oryzae* elicitor. **Indian Phytopathology** 72: 195–202.
- Mekwatanakarn, P. and W. Mekwatanakarn. 2016. **Thai Rice Blast**. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University Press. 157 p. [in Thai]
- Moselhy, S.S., T. Asami, K.O. Abualnaja, A.L. Al-Malki, H. Yamano, T. Akiyama, R. Wada, T. Yamagishi, M. Hikosaka, J. Iwakawa, K. Okada, M. Mori and T.A. Kumosani. 2016. Spermidine, a polyamine, confers resistance to rice blast. **Journal of Pesticide Science** 41(3): 79–82.
- Parker, D., M. Beckmann, H. Zubair, D. Enot and Z. Caracuel-Rios. 2009. Metabolomic analysis reveals a common pattern of metabolic re-programming during invasion of three host plant species by *Magnaporthe grisea*. **The Plant Journal** 59: 723–737.
- Piasai, O. 2017. **Aquatic and Soil Fungi**. Bangkok: Text and Journal Publication Co., Ltd. 251 p. [in Thai]
- Settachaimongkon, S. and M. Luangwilai. 2017. Application of metabolomics technology for investigation of biomolecular profile of milk and dairy products. **Journal of Food Technology, Siam University** 12(1): 1–16. [in Thai]
- Shimizu, T., F. Lin, M. Hasegawa, H. Nojiri, H. Yamane and K. Okada. 2012. The potential bioproduction of the pharmaceutical agent sakuranetin, a flavonoid phytoalexin in rice. **Bioengineered** 3(6): 352–357.

- Stompor, M. 2020. A review on sources and pharmacological aspects of sakuranetin. **Nutrients** 12: 513.
- Sun, R., S. Qin, T. Zhang, Z. Wang, H. Li, Y. Li and Y. Nie. 2019. Comparative phosphoproteomic analysis of blast resistant and susceptible rice cultivars in response to salicylic acid. **BMC Plant Biology** 19: 454.
- Valletta, A., L.M. Iozia, L. Fattorini and F. Leonelli. 2023. Rice phytoalexins: half a century of amazing discoveries; part I: distribution, biosynthesis, chemical synthesis, and biological activities. **Plants** 12(2): 260.
- Wu, Z., G. Wang, B. Zhang, T. Dai, A. Gu, X. Li, X. Cheng, P. Liu, J. Hao and X. Liu. 2021. Metabolic mechanism of plant defense against rice blast induced by probenazole. **Metabolites** 11(4): 246.
- Yadav, V., Z. Wang, C. Wei, A. Amo, B. Ahmed, X. Yang and X. Zhang. 2020. Phenylpropanoid pathway engineering: an emerging approach towards plant defense. **Pathogens** 9: 312.
- Zhan, S.W., Y. Yang, Z.M. Wu and K.T. Li. 2020. Induced defense responses against *Rhizoctonia solani* in rice seedling by a novel antifungal mycin N₂ from *Streptomyces* sp. N₂. **Australasian Plant Pathology** 49: 267–276.

Diurnal Changes in Photosynthetic Parameters of Promising Sugarcane Clones under Drought Conditions and Rehydration at the Mature Growth Stage in Northeast Thailand

การเปลี่ยนแปลงในรอบวันของพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงในอ้อยโคลนดีเด่น ภายใต้สภาวะขาดน้ำและการฟื้นตัวที่ระยะแก่ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

Theerarat Chinnasaen*, Krongkan Pongpanchamit, Chayant Pakdeethai

Ammarawan Tippayawat and Sangduan Chanachai

ธีระรัตน์ ชินแสน* กรองกาญจน์ ป้องปัญญจิตร ชัยนต์ ภักดีไทย อัมราวรรณ ทิพย์วัฒน์ และแสงเดือน ชนะชัย

Khon Kaen Field Crops Research Center, Khon Kaen, Thailand 40000

ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ขอนแก่น 40000

*Corresponding author: nongtheerarat@gmail.com

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0006-3911-9967>

Abstract

Received: September 19, 2025

Revised: June 09, 2026

Accepted: June 11, 2026

Understanding how sugarcane photosynthesis fluctuates throughout the day during drought and rehydration is vital for grasping how these plants adapt to challenging conditions. However, the knowledge on the diurnal change of photosynthesis of Thai sugarcane remains limited. Therefore, the aim of this study was to evaluate the diurnal changes in photosynthetic parameters under drought and after rehydration at mature growth stage of two promising sugarcane clones (KK07-599 and KK3/E09-1) and DOA KK3. The experiment was conducted at Khon Kaen Field Crops Research Center (KKFCRC), Khon Kaen Province, Thailand in 2023. Sugarcanes were planted in cement blocks with two irrigation managements: (1) well-watered based on plant requirement, and (2) restrict-watered for 19 days at 298–316 days after plantation (DAP) to induce water deficit, and re-watering at 317 DAPs to measured three days after rehydration at day 320. The results showed that the net photosynthesis rate, transpiration rate, and stomatal conductance of all sugarcane genotypes were reduced under drought conditions compared to well-watered condition. These parameters were lowest in the early morning and evening, reaching their highest levels in the morning or at noon. The net photosynthesis rate of well-watered group was $10\text{--}15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, which was higher than that of the restrict-watered group (less than $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Conversely, the restrict-watered group showed the highest internal CO_2 concentration at dusk or dawn (approximately $300\text{--}400 \mu\text{mol mol}^{-1}$). The diurnal variation in photosynthetic parameters observed across all sugarcane genotypes did not reflect drought tolerance. However, following rehydration, the sugarcanes were able to restore its photosynthetic

parameters to levels comparable to those under well-watered conditions. This demonstrates the strong adaptability of sugarcane in rain-fed regions, where cultivation commonly occurs in the late rainy season and is followed by a prolonged drought before rainfall resumes. Nevertheless, further research into the source-sink relationship and sugar translocation is necessary to gain a deeper understanding of sugar accumulation under drought conditions.

Keywords: net photosynthesis rate, transpiration rate, stomatal conductance, drought stress, diurnal variation

บทคัดย่อ

ความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงในรอบวันของการสังเคราะห์ด้วยแสงในอ้อย ภายใต้สภาวะขาดน้ำและการฟื้นตัวหลังได้รับน้ำอีกครั้งมีความสำคัญต่อการรับทราบถึงกลไกการปรับตัวของพืชภายใต้สภาวะดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ความรู้ด้านการสังเคราะห์ด้วยแสงในรอบวันของอ้อยในประเทศไทยยังมีจำกัด ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงในรอบวันของพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยโคลนดีเด่น (KK07-599 และ KK3/E09-1) และพันธุ์ กว.ก. ขอนแก่น 3 ที่ระยะแก่ ภายใต้สภาวะแล้งและการฟื้นตัวหลังได้รับน้ำอีกครั้ง ดำเนินการ ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ปี พ.ศ. 2566 โดยปลูกอ้อยในวงบ่อซีเมนต์ด้วยการจัดการการให้น้ำ 2 รูปแบบ คือ (1) ให้น้ำตามความต้องการของพืช (2) งดการให้น้ำนาน 19 วัน (เมื่ออ้อยมีอายุ 298–316 วันหลังปลูก เพื่อชักนำการขาดน้ำ) และให้น้ำอีกครั้งเมื่ออ้อยมีอายุ 317 วันหลังปลูก เพื่อบันทึกข้อมูลการฟื้นตัวหลังการได้รับน้ำอีกครั้งในวันที่ 3 หรืออ้อยมีอายุ 320 วันหลังปลูก จากการศึกษาพบว่า การขาดน้ำทำให้อ้อยทุกพันธุ์/โคลนมีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ อัตราการคายน้ำ และค่าชักนำการเปิด-ปิดปากใบลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอ้อยที่ได้น้ำตามปกติ โดยค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีค่าน้อยสุดในช่วงเช้าตรู่และช่วงเย็น แต่มีค่าสูงสุดในช่วงเช้าและช่วงกลางวัน ซึ่งค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติมีค่า $10\text{--}15\ \mu\text{mol CO}_2\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ ขณะที่ กลุ่มอ้อยที่ขาดน้ำมีค่าน้อยกว่า $10\ \mu\text{mol CO}_2\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ ทั้งนี้ พบว่า ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบของอ้อยกลุ่มขาดน้ำมีค่ามากที่สุดในช่วงเช้าตรู่หรือช่วงพลบค่ำ (ประมาณ $300\text{--}400\ \mu\text{mol mol}^{-1}$) การเปลี่ยนแปลงในรอบวันของพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยทุกพันธุ์/โคลนที่ดำเนินการศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้บ่งชี้ถึงความต้านทานต่อสภาวะแล้ง แต่พบว่าเมื่ออ้อยได้รับน้ำอีกครั้งจะสามารถฟื้นฟูพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงให้ใกล้เคียงกับกลุ่มอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพการปรับตัวของอ้อยในเขตอาศัยน้ำฝนที่ส่วนใหญ่นิยมเพาะปลูกในช่วงปลายฤดูฝนและต้องเผชิญกับสภาวะแล้งที่ยาวนานก่อนที่จะได้รับน้ำฝนตกอีกครั้ง นอกจากนี้ การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง source-sink และการลำเลียงสารอาหารจะช่วยสร้างความเข้าใจต่อการสะสมน้ำตาลภายใต้สภาวะแล้งของอ้อยได้มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ อัตราการคายน้ำ ค่าชักนำการเปิด-ปิดปากใบ สภาวะเครียดจากการขาดน้ำ การเปลี่ยนแปลงในรอบวัน

Introduction

Sugarcane is one of the most important industrial crops in the world. It is mainly used to produce sugar or biofuels like ethanol for renewable energy. Sugarcane is a C4 plant that fixes CO₂ into oxaloacetate within mesophyll and bundle sheath cells. This product is converted into sucrose and translocated through the phloem to stalk parenchyma cells, where it is stored for industrial sugar production (Moore, 1995). The global population is experiencing climate change, which increases plant abiotic stresses such as heat and drought. These abiotic stresses severely impact plant growth and yield, with estimates suggesting that they reduce agricultural crop production by approximately 51–82% (Verma *et al.*, 2020). The Northeastern region (Isan) of Thailand is the largest area for rainfed sugarcane cultivation, characterized by unique environmental constraints such as high temperatures, drought, and low or erratic rainfall in sandy soils that severely affect sugarcane production. To address these issues, the KKFCRC has established the sugarcane breeding program to develop new high sugar yield varieties with high sugar content, or drought tolerance under rainfed area in sandy soil of ISAN region (Chanachai *et al.*, 2023). Introducing these new varieties will help reduce the genetic vulnerability and epidemic risks associated with the decade-long monoculture of the widely planted DOA KK3 variety (Buakom *et al.*, 2020). Photosynthesis involves two linked stages: light reaction in the thylakoid membrane and carbon fixation in the stroma. These processes produce

primary intermediates 3-PGA in C3 plant and oxaloacetate in C4 plant to synthesize carbohydrates from ATP and NADPH. Therefore, light is the crucial energy source for plant photosynthesis by three critical attributes: light intensity, light quality, and photoperiod (De Souza and Buckeridge, 2014; Santos and Diola, 2015; Wu *et al.*, 2025). Light is limited by the natural day-night cycle, which significantly affects daily photosynthesis, especially during stressful conditions like drought (De Souza *et al.* 2018). In sugarcane, drought stress directly affects photosynthesis by reducing stomatal conductance (g_s), the net photosynthesis (A), or the transpiration rate (E) (Buakom *et al.*, 2020; Graça *et al.*, 2010; Jaiphong *et al.*, 2016; Khonghintaisong *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2013), which consequently diminishes the accumulation of photosynthetic products. (Wang *et al.*, 2017). The highest carbon dioxide exchange rate and stomatal conductance occurred at midday (Du *et al.*, 2000). Sugarcane consistently showed significantly faster stomatal opening than closure over the diurnal variation (Suwannarut *et al.*, 2023). In the sugarcane cv. ‘GT 42’, the net photosynthesis, stomatal conductance, and transpiration rate began increasing after sunrise, reached maximum between 09:00 and 10:00, and decreased thereafter (Verma *et al.*, 2020). Moreover, Wang *et al.* (2022) indicated that the physiological characteristics of drought-resistant plants can not only be observed under water deficit stress but also be determined by the plant's recovery process after re-watering. Likewise, Aidar *et al.* (2014) reported that drought-tolerant plants can immediately restore physiological processes, resulting in increased photosynthesis rates and further

accelerated plant growth. According to photosynthesis fluctuates diurnally under field conditions in response to light, studies on the diurnal photosynthetic patterns of Thai sugarcane clones are limited. That knowledge represents one of characteristics for selecting promising clones within the rainfed breeding programs of the KKFCRC. Consequently, this study investigated diurnal photosynthetic parameters of mature Thai sugarcane clones under drought and rewatering to identify their adaptation strategies for survival under adverse environmental conditions.

Materials and Methods

Plant materials and experimental conditions

Sugarcane cv. DOA KK3 and two promising clones, KK07-599 and KK3/E09-1, were selected by the KKFCRC due to their high commercial cane sugar (C.C.S.) and sugar yield, respectively. (Chinnasaen *et al.*, 2021), were used in this study. The experiment was arranged in a split-plot design with three replications. Irrigation management served as the main plot factor, consisting of two treatments: well-watered and water-restricted conditions. The sugarcane genotypes were assigned to the subplots. In early January 2023, four 1.5-month-old sugarcane seedlings derived from bud cutting were planted per experimental unit in cement blocks (80 cm diameter × 100 cm height) containing 345 kg of Yasothorn soil collected from the KKFCRC. The initial chemical properties of the soil were as follows: pH 5.4, electrical conductivity (EC) of 0.033 dS cm⁻¹, 0.32% organic matter, 0.014% total N, 27.49 mg kg⁻¹ available P,

47.21 mg kg⁻¹ exchangeable K, and 280.53 mg kg⁻¹ exchangeable Ca. Chemical fertilizer grades 15-15-15 at rate of 312.5 kg ha⁻¹ was applied on planting date and at 60 DAPs. Drip irrigation was supplied according to the sugarcane water requirement calculated by the formula, $ET_{crop} = ET_o \times K_c$, where ET_{crop} is the crop water requirement (mm day⁻¹), ET_o is the reference crop water requirement (mm day⁻¹), and K_c is the crop water requirement coefficient for sugarcane (Paisanchaoen *et al.*, 2012). From 298 to 316 DAP, one group of sugarcane was subjected to 19 days of water deficit followed by re-watering at 317 DAP, while the other group remained well-watered throughout the experiment. Photosynthetic parameters, daily climate, and soil moisture content were measured. The experiment was conducted under natural environmental conditions in Northeast Thailand at the KKFCRC (16°28'55.6"N and 102° 49'35.3"E), Sila, Mueang Khon Kaen, Khon Kaen Province.

Meteorological data and soil moisture contents (SMC)

Daily meteorological data including relative humidity, total rainfall, and minimum and maximum temperatures were recorded by the KKFCRC's weather station, located 1.5 km from the experimental field, from 294 to 320 DAPs. Soil samples were collected in triplicate at depths of 0–20, 20–50, and 50–80 cm for each sugarcane genotype and irrigation management. Sampling was performed at 297, 304, 311, 316, and 320 DAPs to determine soil moisture content. The soil samples were weighed before and after drying

in a hot-air oven at 120°C for 72 hours, and the moisture content was calculated as per Khonghintaisong *et al.* (2017) as follows:

soil moisture content (%)

$$= \frac{[(\text{wet weight} - \text{dried weight})]}{\text{dried weight}} \times 100$$

Photosynthetic parameters

Data were collected from November to December 2023. Photosynthetic parameters were measured in the second or third youngest, fully expanded, healthy leaves with three replications per sugarcane genotypes in each irrigation management. Measurements were taken between 06:00 and 18:00 h at 2-hour intervals on sunny days at 297, 316, and 320 DAPs, corresponding to before water restriction (day 0), after 19 days of water restriction (day -19), and 3 days after re-watering (day +3), respectively. Photosynthetic parameters including net photosynthetic rate (A), internal CO₂ concentration (Ci), transpiration rate (E), and stomatal conductance (gs) were measured using an automated photosynthesis measurement system (LCpro T Advanced, ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, UK). The chamber light source was set at 1,500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Liu *et al.*, 2020), whereas the CO₂ concentration and temperature tracked ambient conditions in each collection date.

Statistical analysis

The differences of photosynthetic parameters between the average values of the water-restricted and well-watered treatments at the same variation times for each genotype were

compared using *p*-values of a *t*-test in a statistical software package.

Results

Meteorological data and soil moisture contents

Daily climate data during the experimental period are presented in Figure 1-A. Throughout the experiment, the average minimum and maximum temperatures were 20.5 and 31.7°C, respectively, while the average relative humidity was 68.6%, and the total rainfall was 0.4 mm. A previous study reported that the SMC at the permanent wilting point for sugarcane was 4.2% at a soil depth of 0–20 cm (Paisanchaoen *et al.*, 2012). Therefore, the SMC at three depth levels were monitored during the water-restricted period. After 19 days of water restriction, the average SMC at depths of 0–20, 20–50, and 50–80 cm decreased to 3.86, 4.68, and 3.82%, respectively, whereas the average SMC of the well-watered group were 7.62, 7.25, and 6.50% (Figures 1B–D). Since irrigation was scheduled every seven days, the SMC was lowest on day 316 and increased by day 320, three days after re-watering. To avoid causing irreversible damage to the sugarcane plants, the water restriction period was terminated after 19 days (on day 316), followed by three days of rehydration to observe sugarcane recovery from the drought stress. Moreover, on days 297, 316, and 320, the sunrise times in Khon Kaen Province were 06:09, 06:18, and 06:21 h, while the sunset times were 17:36, 17:34, and 17:34 h, respectively (The Thai Astronomical Society, 2023).

Net photosynthesis rate (A)

Prior to irrigation management on day 297, all three genotypes experienced an increase in net photosynthetic rates (A) from morning through midday. The net photosynthesis rates of all three genotypes peaked between 08:00 and 12:00 h at approximately $15 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ before decreasing at noon (12:00 h). By evening (18:00 h), the net photosynthesis rates dropped to nearly zero (Figures 2A–C). On day 316, following 19 days of water restriction, all sugarcane genotypes in the water-restricted (drought) group exhibited significantly lower net photosynthesis rates than their well-watered counterparts. Notably, KK3/E09-1 showed a significant difference between 10:00 and 16:00 h. Furthermore, the net photosynthesis rates on this day showed a declining trend from noon through the evening, mirroring the pattern observed on day 297 (Figures 2D–F). After three days of rehydration (on day 320), almost all sugarcane genotypes showed no significant differences in net photosynthesis rates between the well-watered and water-restricted groups. The net photosynthesis rates gradually increased from early morning to midday, peaking at 08:00 h at approximately $10 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ before slowly decreasing to nearly zero by dusk (18:00 h) (Figure 2, G–I).

Internal CO₂ concentration (Ci)

The diurnal changes in internal CO₂ concentration (Ci) for all sugarcane genotypes on day 297 (before water restriction) revealed a consistent pattern, peaking at approximately $400 \mu\text{molmol}^{-1}$ in the early morning (06:00 h). This

was followed by a rapid decrease to $100\text{--}200 \mu\text{mol mol}^{-1}$ during the daytime (08:00 to 16:00 h) and a subsequent increase at 18:00 h (Figures 3A–C). On day 316, after 19 days of water restriction, all sugarcane plants exhibited a similar internal CO₂ concentration pattern: high at dawn (06:00 h), dropping during the day, and rising again in the evening (18:00 h). Generally, the internal CO₂ concentration values under the water-restricted were higher than those under the well-watered, particularly between 10:00 and 18:00 h (Figures 3D–F). On day 320, after three days of rehydration, the diurnal changes in internal CO₂ concentration for all sugarcane genotypes followed a pattern similar to that observed on day 297. No significant differences were found between the well-watered and rehydrated groups within the same varieties, except for KK3/E09-1, which exhibited a significantly higher internal CO₂ concentration in the well-watered group than in the rehydrated group at 10:00 h (Figure 3, G–I).

Transpiration rate (E)

On day 297, prior to irrigation management, the transpiration rates (E) of all sugarcane genotypes gradually increased from $0.58\text{--}1.37 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at 06:00 h to a midday peak, with DOA KK3 reaching $2.63 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Subsequently, the transpiration rates declined toward zero, with an average value of $0.20 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ by evening (Figures 4A–C). On day 316, after 19 days of water restriction, all sugarcane genotypes across both irrigation practices showed an increase in transpiration rates from 06:00 to 08:00 h. Thereafter, the water-restricted groups experienced

a continuous decline until 18:00 h in KK3/E09-1, or showed a slight secondary increase between 14:00 and 16:00 h before dropping to nearly zero at 18:00 h. Overall, the well-watered group maintained significantly higher transpiration rates than the water-restricted group, particularly for KK07-599 and KK3/E09-1. The highest transpiration rate was observed in the well-watered group of KK07-599, reaching $2.08 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ at 12:00 h (Figures 4D–F). Following three days of rehydration (on day 320), the transpiration rates of all sugarcane genotypes were nearly zero at 06:00 h. The rates increased throughout the day, with the well-watered DOA KK3 group exhibiting the highest transpiration rate at 14:00 h, before returning to nearly zero by 18:00 h (Figures 4G–I).

Stomatal conductance (g_s)

On day 297, prior to water restriction, the stomatal conductance (g_s) of KK07-599 and KK3/E09-1 increased slowly from approximately $0.10 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in the early morning (06:00 h) before declining to nearly zero by evening (18:00 h).

Meanwhile, the stomatal conductance of DOA KK3 increased slightly from early morning into the daytime, peaking at around $0.10 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, before decreasing at 14:00 h and reaching nearly zero at 18:00 h (Figures 5A–C). After 19 days of water restriction (drought condition), the stomatal conductance of all genotypes increased from 06:00 to 08:00 h across both irrigation managements. The highest stomatal conductance values were recorded at 08:00 h, ranging from $0.05\text{--}0.06 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for KK07-599, $0.06\text{--}0.09 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for KK3/E09-1, and $0.04\text{--}0.07 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for DOA KK3, followed by complete stomatal closure by 18:00 h. The water-restricted group consistently maintained lower stomatal conductance values than the well-watered group across all genotypes, with significant differences observed at 10:00 and 14:00 h, particularly in KK3/E09-1 (Figures 5D–F). Following three days of rehydration (on day 320), the stomatal conductance of all genotypes was nearly zero at 06:00 h, increased during the daytime, and declined after 16:00 h, leading to stomatal closure by 18:00 h (Figures 5G–I).

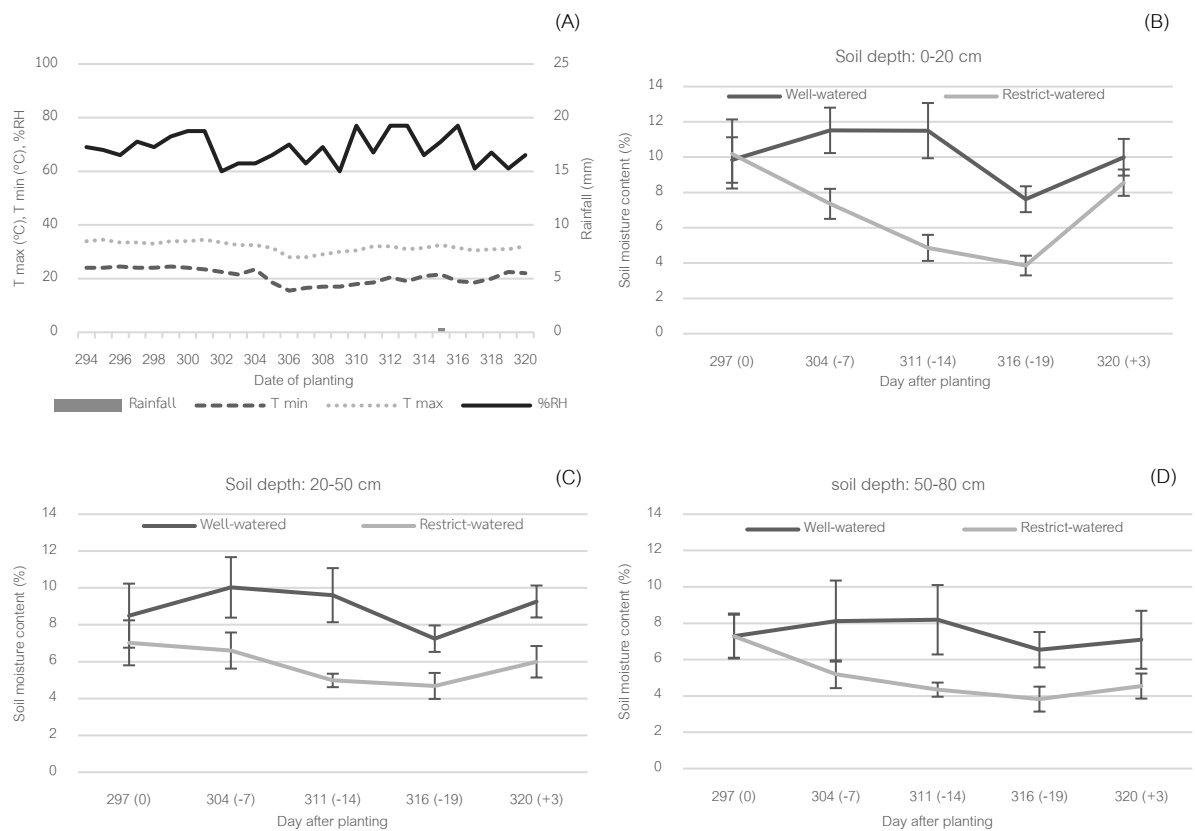


Figure 1 Daily climate (A) and soil moisture content at various soil depths of 0–20 cm (B), 20–50 cm (C), and 50–80 cm (D), (data are mean±SE) during conducting the experiment at KKFCRC, Khon Kaen Province, on 5 to 27 November, 2023. The water-restricted period was at 298–316 days after planting

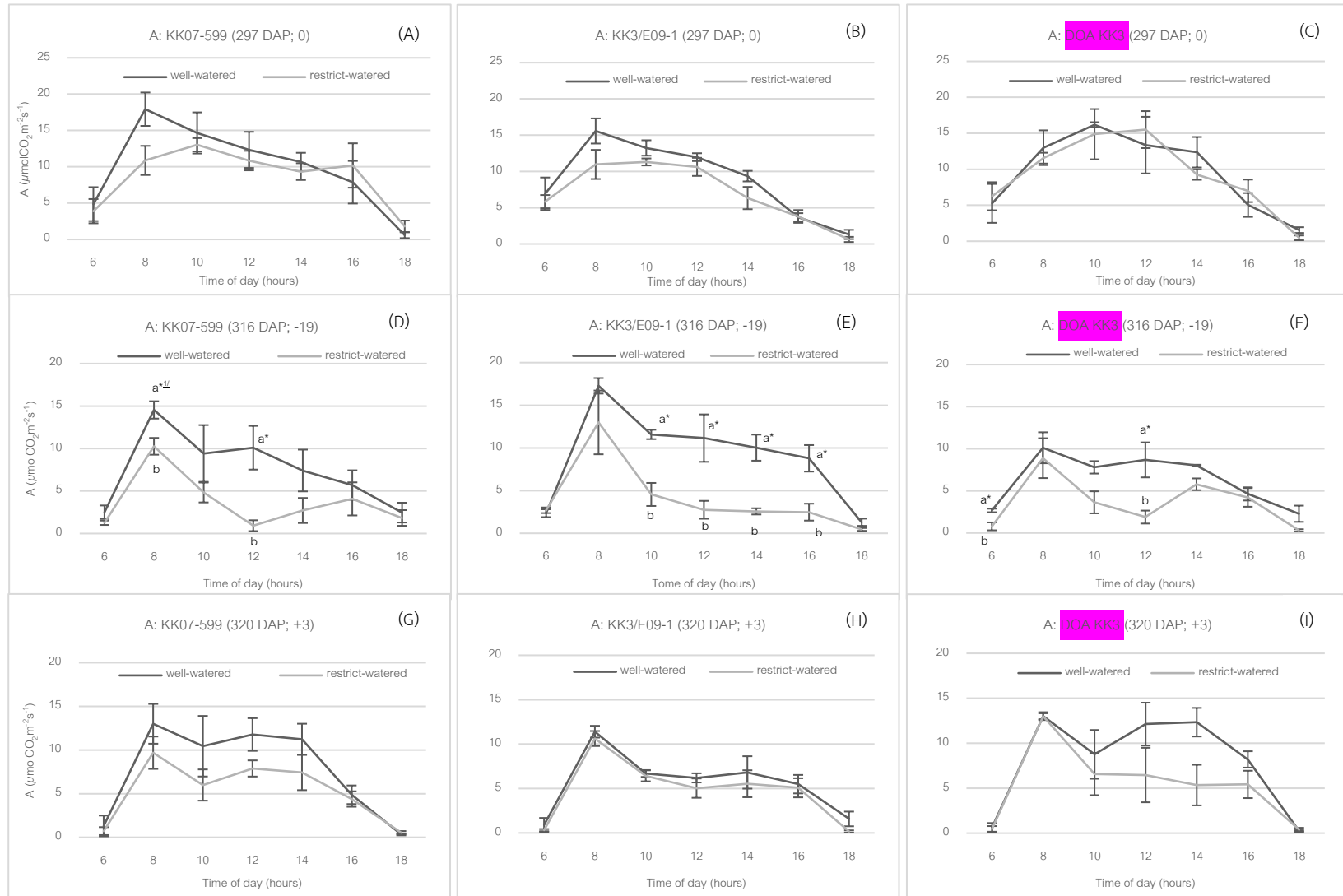


Figure 2 Diurnal net photosynthesis rate (A) of KK07-599, KK3/E09-1, and DOA KK3 on day 297 or before water restriction (A–C), on day 316 or after 19 days of water restriction (D–F), on day 320 or three days after rehydration (G–I). (¹⁴Mean followed by different letters in each day are significantly different by *p*-values of a *t*-test, * = Significant at *p* < 0.05, ** = Significant at *p* < 0.01.)

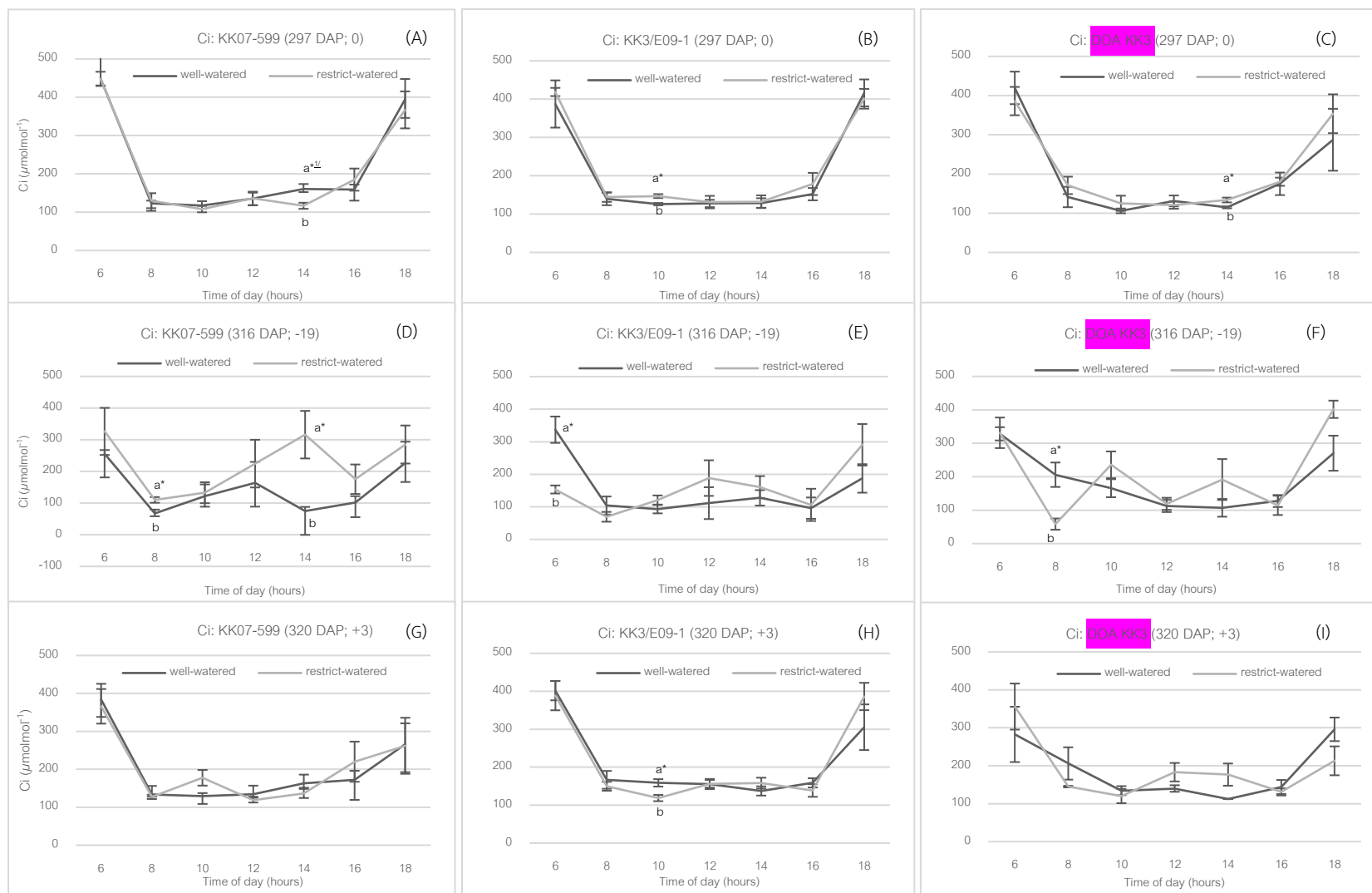


Figure 3 Diurnal Internal CO₂ concentration (Ci) of KK07-599, KK3/E09-1, and DOA KK3 on day 297 or before water restriction (A–C), on day 316 or after 19 days of water restriction (D–F), on day 320 or three days after rehydration (G–I). (¹⁴Mean followed by different letters in each day are significantly different by *p*-values of a *t*-test, *=Significant at *p*<0.05, **=Significant at *p*<0.01.)

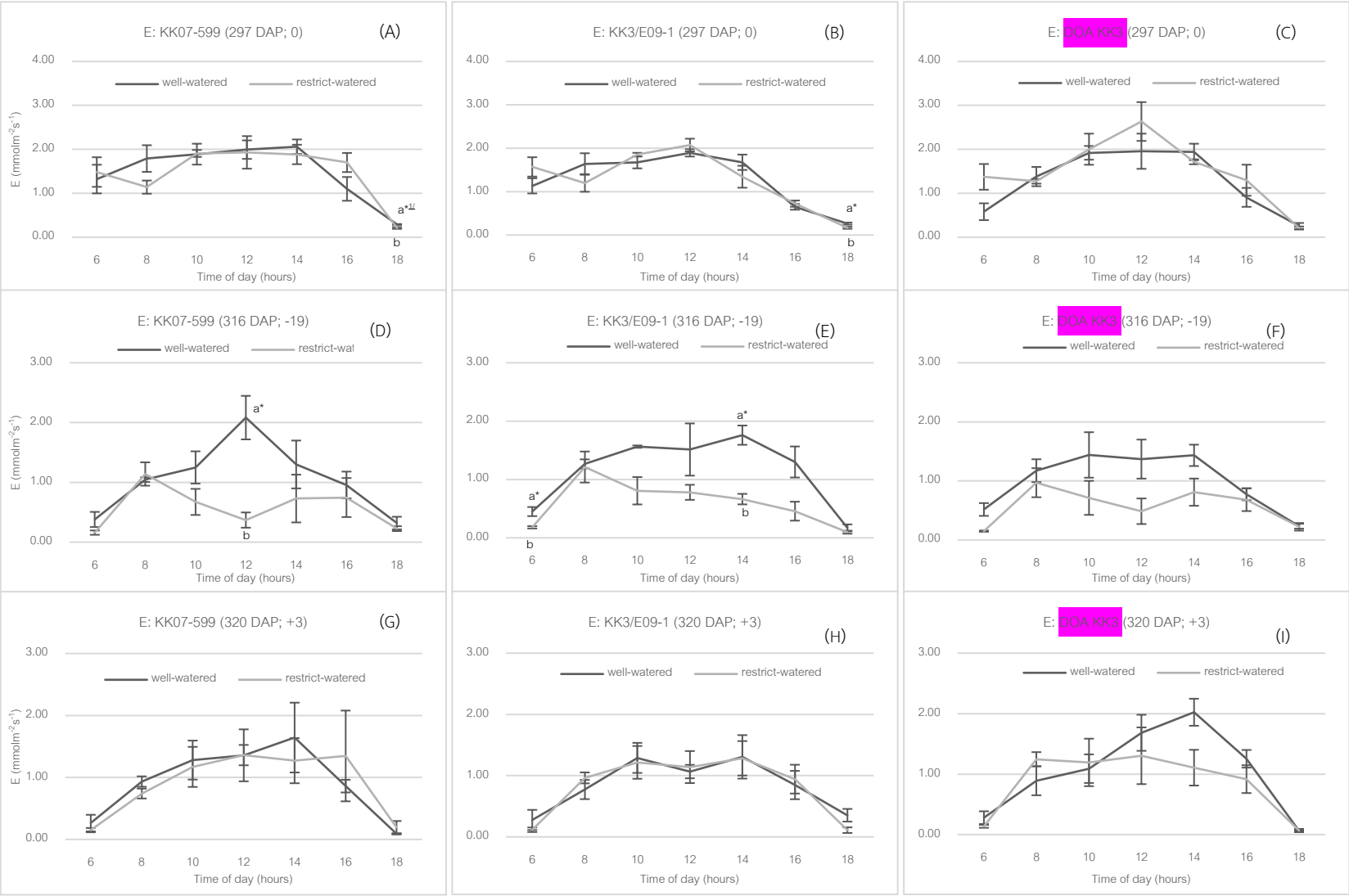


Figure 4 Diurnal Transpiration rate (E) of KK07-599, KK3/E09-1, and DOA KK3 on day 297 or before water restriction (A–C), on day 316 or after 19 days of water restriction (D–F), on day 320 or three days after rehydration (G–I). (Mean followed by different letters in each day are significantly different by *p*-values of a *t*-test, *=Significant at *p*<0.05, **=Significant at *p*<0.01.)

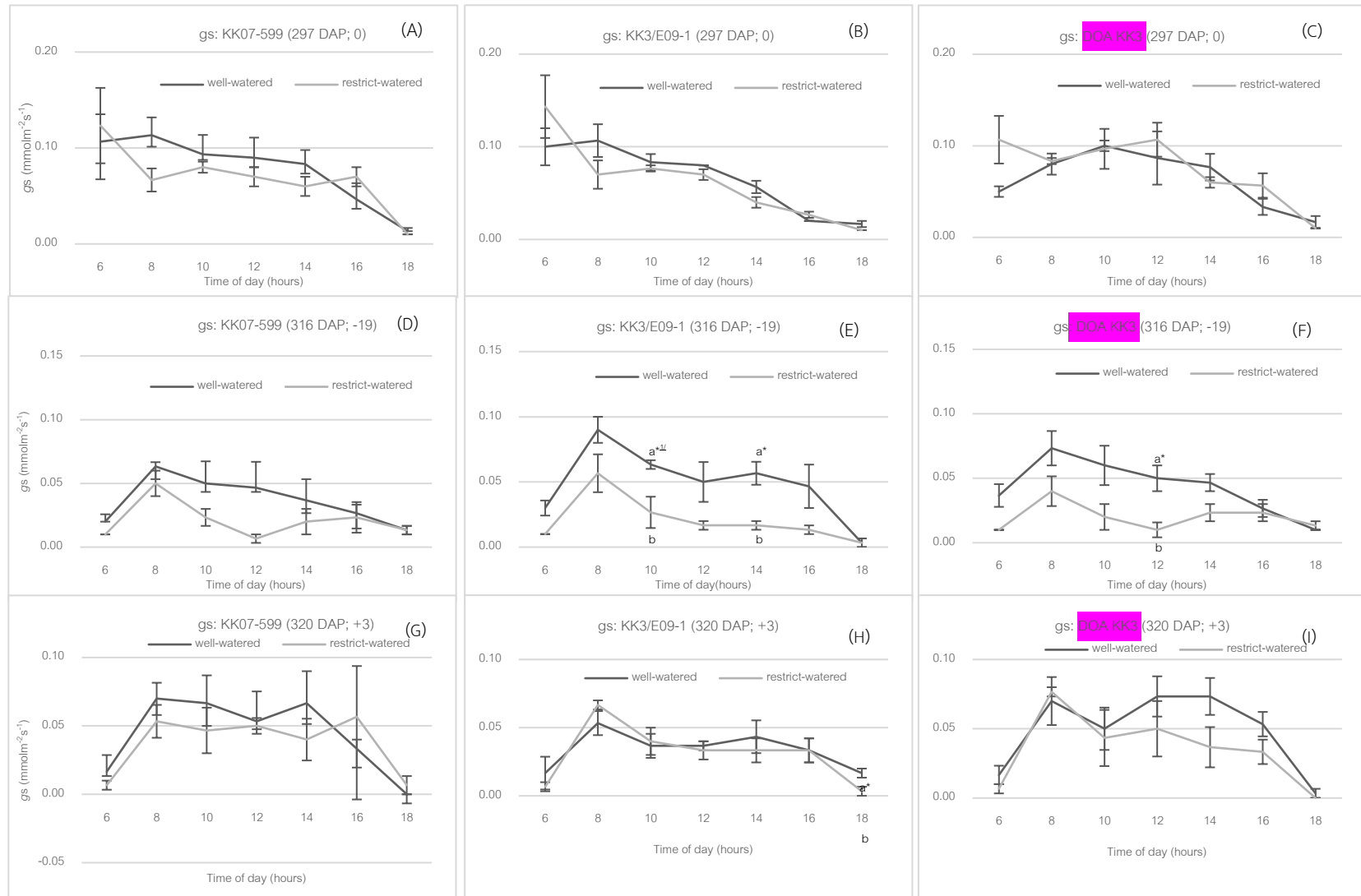


Figure 5 Diurnal Stomatal conductance (gs) of KK07-599, KK3/E09-1, and DOA KK3 on day 297 or before water restriction (A–C), on day 316 or after 19 days of water restriction (D–F), on day 320 or three days after rehydration (G–I). (¹⁴Mean followed by different letters in each day are significantly different by *p*-values of a *t*-test, * = Significant at *p* < 0.05, ** = Significant at *p* < 0.01.)

Discussion

Photosynthesis primarily produces oxygen and sugar, providing organisms with essential carbon and energy. Because sugarcane directly stores sugar as sucrose within stalk parenchymatous cells, improving sucrose yield requires breeding programs to develop cultivars that can both accumulate sugar rapidly and maintain a high accumulation content throughout the growth cycle. This includes the mature growth stage (days 286–375), during which the continuous transport of sucrose to the stalk is maintained (Paisancharoen *et al.*, 2012). Photosynthesis is regulated by the photoperiod, or light exposure throughout the day-night cycle, which drives daily fluctuations in photosynthetic activity. Furthermore, other environmental factors influence photosynthesis particularly water availability, which fluctuates with climate change and leads to water deficit or drought stress. Additionally, the ability to tolerate water deficit varies across different sugarcane genotypes. Gomathi *et al.* (2011) reported that drought-tolerant sugarcane genotypes (Co99004 and Co99008) transpired less water and maintained relatively higher photosynthesis rates, resulting in significant improvements in growth attributes.

On day 297, all experimental units received irrigation based on crop water requirements. The initial net photosynthesis rates at 06:00 h for all sugarcane genotypes were approximately $5.00 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, while the transpiration rates and stomatal conductance values were above 1.00 and $0.10 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectively. These findings

suggest that sugarcane is capable of performing photosynthesis as soon as it receives suitable light, even during the early morning hours. This high initial activity may be attributed to the sufficient soil moisture content present in all irrigated managements. Water serves as the electron donor for the electron transport chain (ETC) from photosystem II (PSII) to PSI, ultimately producing NADPH and ATP to drive the carbon reduction cycle. In this study, although the sugarcane plants were exposed to a constant light intensity of $1,500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ during the measurements, diurnal variations in photosynthetic parameters fluctuated across all genotypes. The net photosynthesis rate, transpiration rate, and stomatal conductance tended to peak in the morning or midday (08:00 to 12:00 h) and declined thereafter, whereas the internal CO_2 concentration was high at dawn (06:00 h) and dusk (18:00 h), remaining stable between 08:00 and 16:00 h.

Generally, plants possess an endogenous timer known as the circadian clock, which regulates metabolic processes in accordance with the diurnal patterns of gene expression, including those in photosynthetic and related systems. Stomatal conductance typically increase in the morning and decrease in the afternoon, whereas the net photosynthesis rate peaks at midday. However, the exact timing of these peaks varied in a species-specific manner (De Dios, 2017). Moreover, stomatal conductance was often lower in the afternoon than in the morning because stomatal closure is more sensitive to abscisic acid (ABA) during the afternoon due to

interactions with clock-component genes (Seo and Mas, 2015). In accordance with other reports, Verma *et al.* (2020) reported that diurnal climatic variables such as photosynthetic photon flux density (PPFD) and vapor pressure deficit (VPD) were low in the morning, elevated during daylight hours (particularly at 15:00 h), and declined by evening. Conversely, relative humidity (RH) and ambient CO₂ concentration were high at dawn and dusk but decreased during the daytime. Likewise, Du *et al.* (2000) observed that the diurnal patterns of photosynthetically active radiation (PAR), carbon dioxide exchange rate (CER), and stomatal conductance peaked at midday, indicating that photosynthesis in sugarcane was almost completely regulated by sunlight.

After 19 days of water restriction, the water-restricted sugarcane groups exhibited distinctly lower net photosynthetic rates, transpiration rates, and stomatal conductance than the well-watered group across all genotypes. This reduction occurs because plants close their stomata during drought to conserve water, which subsequently limits photosynthetic activity (Chaves *et al.*, 2002; Gupta *et al.*, 1989). Consistently, Silva *et al.* (2013) found highly significant positive correlations under water deficit between net photosynthesis and stomatal conductance ($r=0.96$, $p<0.01$), as well as between net photosynthesis and transpiration ($r=0.93$, $p<0.01$). Similarly, Leanasawat *et al.* (2021) reported that the net photosynthesis rate, transpiration rate, and stomatal conductance of sugarcane genotypes under soil field water capacity (FWC)

exceeded those under 50% field capacity (FC) or rainfed conditions. Specifically, for genotype DOA KK3, the net photosynthetic rate was 36.76 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ under FWC, but dropped to 35.35 and 25.23 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ under 50% FC and rainfed conditions, respectively; corresponding transpiration rates were 3.47, 2.13, and 2.82 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. This result concerted with Gomathi *et al.* (2011), who reported that the net photosynthesis rate of sugarcane under well-watered conditions exceeded that under drought, at 18.49 and 12.21 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectively; corresponding transpiration rates were 1.78 and 1.51 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Notably, sugarcane genotypes capable of maintaining their photosynthetic potential under water deficit are classified as drought-tolerant (Ribeiro *et al.*, 2013). Carbon fixation, a key photosynthetic reaction, involves carbon dioxide fixation by ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP) catalyzed by ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (RuBisCO) to produce carbohydrates (Osborne and Sack, 2012). In this study, the diurnal internal CO₂ concentration was higher under water deficit than under well-watered conditions. This could be attributed to drought-induced water limitation, which disrupts the electron transport chain (ETC) in (PSII), given that water serves as the primary electron donor for PSII via the oxidation process (Lawlor and Cornic, 2002). Similarly, Silva *et al.* (2007) concluded that drought stress reduced the photosynthetic efficiency of PSII, thereby decreasing the production of chemical energy (ATP and NADPH). Consequently, this insufficient energy supply restricts the regeneration phase of the carbon reduction

cycle, limiting RuBP availability for carbon dioxide fixation.

Three days after rehydration (on day 320), the diurnal patterns of stomatal conductance in most water-restricted groups resembled those of the well-watered group. Similarly, net photosynthesis rate, transpiration rate, and internal CO₂ concentration showed no significant differences compared to the well-watered control. Following rehydration, sugarcane uptake water to restore cell turgor, which triggers stomatal opening and maintains transpiration rate for gas exchange (Graça *et al.*, 2010; Dos Santos *et al.*, 2014). Sugarcane cv. DOA KK3 has been widely reported as a cultivar capable of rapid drought recovery upon rehydration (Buakom *et al.*, 2020; Namwongsa *et al.*, 2019). In this study, the promising clone KK07-599 and DOA KK3 exhibited robust recovery with high stomatal conductance values, whereas KK3/E09-1 maintained low stomatal conductance, transpiration rate, and net photosynthetic rate under both well-watered and rehydrated conditions. Graça *et al.* (2010) reported that sugarcane cultivars varied in their photosynthetic parameters under water deficit, with tolerant cultivars (SP83-2847 and CTC15) maintaining higher PSII efficiency than the sensitive cultivar (SP86-155). At 8 days after rehydration, CTC15 and SP86-155 showed slight increases in photosynthesis rates; by day 10, all cultivars presented high photosynthesis rates compared to the water-deficit condition, with SP83-2847 demonstrating the best overall performance. Similarly, Dos Santos *et al.* (2014) found that RB92579 and SP81-3250 showed high

stomatal sensitivity and reduced PSII under drought. Beyond genetic variation, the recovery duration (days after rehydration) also plays a critical role in restoring photosynthetic activity. Photosynthesis can recover immediately upon re-watering (Dinh *et al.*, 2019); for instance, sugarcane cv. RB962962 subjected to an 8-day water restriction rapidly restored its photosynthetic activity by the second day of rehydration (Medeiros *et al.*, 2013)."

Conclusions

Although this study did not assess all drought-tolerant sugarcane genotypes, survival under water deficit was clearly linked to stomatal closure as an adaptive mechanism against water shortage. For all genotypes, the net photosynthesis rate, transpiration rate, and stomatal conductance increased from morning to midday and subsequently declined toward evening. Conversely, internal CO₂ concentrations peaked at dawn and dusk, remaining low and stable during the daytime. Under drought conditions, sugarcane exhibited reduced photosynthetic parameters but elevated internal CO₂ concentrations compared to the well-watered condition; however, after rehydration for 3 days, these parameters returned to levels similar to those of well-watered plants. Furthermore, understanding these diurnal variations in photosynthetic parameters provides strategic directions for sugarcane cultivation, such as optimizing irrigation scheduling during peak stomatal opening in the morning to maximize transpiration and photosynthesis. Nevertheless, further research is required to elucidate the direct

relationship between photosynthetic efficiency and sugar accumulation to enhance sugar yield and establish robust selection criteria for sugarcane breeding programs.

Acknowledgments

The authors thank the National Science, Research and Innovation Fund (NSRF) to support the budget in this experiment.

References

- Aidar, S.T., S.T. Meirelles, R.F. Oliveira, A.R.M. Chaves and P.I. Fernandes-Júnior. 2014. Photosynthetic response of poikilochlorophyllous desiccation-tolerant *Pleurostima purpurea* (Velloziaceae) to dehydration and rehydration. **Photosynthetica** 52(1): 124–133.
- Buakom, W., P. Krachal, S. Gonkhamdee, P. Songsri and N. Jongrunklang. 2020. Responses of rooting and physiological characteristics of sugarcane grown under mimic drought stress as low water potential at early stage. **Khon Kaen Agriculture Journal** 48(6): 1442–1457.
- Chanachai, S., T. Chinnasaen, P. Jangpol, A. Tippayawat, W. Ponragdee and W. Srathongkan. 2023. The Selection of Sugarcane Promising Clones Series 2018 for Sandy to Loamy Sand Soil in Thailand. p. 98. **In Proceeding The 2nd International Conference on Cane and Sugar 2023, 5-7 July 2023, Bangkok Asawin Grand Convention.** Bangkok: Thailand Society of Sugar Cane Technologists (TSSCT).
- Chaves, M.M., J.S. Pereira, I. Marcol, S.M.L. Rodrigue, C.P.P. Ricardo, M.L. Oscorio, C. Carvalloho and C. Pinharo. 2002. How plants cope with water stress in the field? photosynthesis and growth. **Annals of Botany** 89(7): 907–916.
- Chinnasaen, T., R. Cheakittisak, P. Jungpol, S. Chanachai and C. Pakdeethai. 2021. Studies on agronomic traits and cane yield of sugarcane promising clones under irrigated and rain-fed conditions. **Prawarun Agricultural Journal** 18(1): 17–26. [in Thai]
- De Dios, V.R. 2017. Circadian regulation and diurnal variation in gas exchange. **Journal of Plant Physiology** 175(1): 3–4.

- De Souza, A.P. and M.S. Buckeridge. 2014. Photosynthesis in Sugarcane and Its Strategic Importance to Face the Global Climatic Change. pp. 359–364. *In* Cortez, L.A.B. (ed.). **Sugarcane bioethanol-R&D for Productivity and Sustainability**. São Paulo: Editora Edgard Blücher.
- De Souza, A.P., A. Grandis, B.C. ArenqueMusa and M.S. Buckeridge. 2018. Diurnal variation in gas exchange and nonstructural carbohydrates throughout sugarcane development. **Functional Plant Biology** 45(8): 865–876.
- Dinh, T.H., H. Takaragawa, K. Watanabe, M. Nakabaru and Y. Kawamitsu. 2019. Leaf photosynthesis response to change of soil moisture content in sugarcane. **Journal Sugar Tech** 21(6): 949–958.
- Dos Santos, C.M., M.D.A. Silva, G.P.P. Lima, F.P.D.A.P. Bortolheiro, M.C. Brunelli, L.A.D. Holanda and R. Oliver. 2014. Physiological changes associated with antioxidant enzymes in response to sugarcane tolerance to water deficit and rehydration. **The Journal Sugar Tech**. 17(3): 291–304.
- Du, Y.C., A. Nose, A. Kondo and K. Wasano. 2000. Diurnal changes in photosynthesis in sugarcane leaves: I. carbon dioxide exchange rate, photosynthetic enzyme activities and metabolite levels relating to the C4 pathway and the Calvin cycle. **Plant Production Science** 3(1): 3–8.
- Gomathi, R., S. Vasantha, G. Hemaprabha, S. Alarmelu and R.M. Shanthi. 2011. Evaluation of elite sugarcane clones for drought tolerance. **Journal of Sugarcane Research** 1(1): 55–62.
- Graça, J.P. da, F.A. Rodrigues, J.R.B. Farias, M.C.N. de Oliveira, C.B. Hoffmann-Campo and S.M. Zingaretti. 2010. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. **Brazilian Society of Plant Physiology** 22(3): 189–197.
- Gupta, A.S., G.A. Berkowitz and P.A. Pier. 1989. Maintenance of photosynthesis at low leaf water potential in wheat. **Plant Physiology** 89(4): 1358–1365.
- Jaiphong, T., J. Tominaga, K. Watanabe, M. Nakabaru, H. Takaragawa, R. Suwa, M. Ueno and Y. Kawamitsu. 2016. Effects of duration and combination of drought and flood conditions on leaf photosynthesis, growth and sugar content in sugarcane. **Plant Production Science** 19(3): 427–437.
- Khonghintaisong, J., P. Songsri and N. Jongrunklang. 2017. Growth and physiological patterns of sugarcane cultivars to mimic drought conditions in late rainy season system. **Naresuan University Journal: Science and Technology** 2: 102–112. [in Thai]

- Lawlor, D.W. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell & Environment** 25(2): 275–294.
- Leanasawat, N., M. Kosittrakun, W. Lontom and P. Songsri. 2021. Physiological and agronomic traits of certain sugarcane genotypes grown under field conditions as influenced by early drought stress. **Agronomy** 11(11): 2319.
- Liu, Y.Y., J. Li, S.C. Liu, Q. Yu, X.J. Tong, T.T. Zhu, X.X. Gao and L.X. Yu. 2020. Sugarcane leaf photosynthetic light responses and their difference between varieties under high temperature stress. **Photosynthetica** 58(4): 1009–1018.
- Medeiros, D.B., E.C. Silva, R.J.M.C. Nogueira, M.M. Teixeira and M.S. Buckeridge. 2013. Physiological limitations in two sugarcane varieties under water suppression and after recovering. **Theoretical and Experimental Plant Physiology** 25(3): 213–222.
- Moore, P.H. 1995. Temporal and spatial regulation of sucrose accumulation in the sugarcane stem. **Australian Journal of Plant Physiology** 22: 661–679.
- Namwongsa, J., N. Jongrunklang and P. Songsri. 2019. Genotypic variation in root distribution changes and physiological responses of sugarcane induced by drought stress. **SABRAO Journal of Breeding and Genetics** 51(4): 470–493.
- Osborne, C.P. and L. Sack. 2012. Evolution of C4 plants: a new hypothesis for an interaction of CO₂ and water relations mediated by plant hydraulics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences** 367(1588): 583–600.
- Paisancharoen, K., T. Sansayawichai, S. Luanmanee, S. Thippayarugs, K. Chusorn, J. Chuenrung and C. Pakdeethai. 2012. Water requirement and Kc values of Khon Kaen 3 sugarcane variety. **Khon Kaen Agriculture Journal** 3(Suppl.): 103–114. [in Thai]
- Ribeiro, R.V., R.S. Machado, E.C. Machado, D.F.S.P. Machado, R.M. Filho and M.G.A. Landell. 2013. Revealing drought-resistance and productive patterns in sugarcane genotypes by evaluating both physiological responses and stalk yield. **Experimental Agriculture** 49(2): 212–224.
- Santos, F. and V. Diola. 2015. Physiology. pp. 13–33. In Santos, F., A. Borem and C. Caldas (eds.). **Sugarcane Agricultural Production Bioenergy, and Ethanol**. Chennai: MPS Limited.
- Seo, P.J. and P. Mas. 2015. Stressing the role of the plant circadian clock. **Trends in Plant Science** 20(4): 230–237.

- Silva M.A., J.L. Jifon, J.Ag. Da Silva and V. Sharma. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology** 19(3): 193–201.
- Silva, M.A., J.L. Jifon, C.M. Santos, C.J. Jadoski and J.A.G. Da Silva. 2013. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. **Brazilian Archives of Biology and Technology** 56(5): 735–748.
- Suwannarut, W., S. Violet-Chabrand and E. Kaiser. 2023. Diurnal decline in photosynthesis and stomatal conductance in several tropical species. **Frontiers in Plant Science** 14(2023): 1–14.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1273802>
- The Thai Astronomical Society. 2023. **Sunrise time and sunset time in 2023-Khon Kaen province**. Retrieved from <https://thaiastro.nectec.or.th/skyevnt/sunmoon/2023/khonkaen.html> [in Thai]
- Verma, K.K., K.C. Wu, C.L. Verma, D.M. Li, M.K. Malviya, R.K. Singh, P. Singh, G.L. Chen, X.P. Song and Y.R. Li. 2020. Developing mathematical model for diurnal dynamics of photosynthesis in *Saccharum officinarum* responsive to different irrigation and silicon application. **Peer Journal** 8: e10154.
- Wang, J., X. Zhang, Z. Han, H. Feng, Y. Wang, J. Kang, X. Han, L. Wang, C. Wang, H. Li and G. Ma. 2022. Analysis of physiological indicators associated with drought tolerance in wheat under drought and re-watering conditions. **Antioxidants (Basel)** 16(11): 2266.
- Wang, J., T. Zhao, B. Yang and S. Zhang. 2017. Sucrose metabolism and regulation in sugarcane. **Journal of Plant Physiology & Pathology** 5(4): 1–6.
- Wu, W., L. Chen, R. Liang, S. Huang, X. Li, B. Huang, H. Luo, M. Zhang, X. Wang and H. Zhu. 2025. The role of light in regulating plant growth, development and sugar metabolism: a review. **Frontiers in Plant Science** 15: 1–15
<https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1507628>

ความเป็นไปได้ในการใช้น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมี

ในการเพาะเลี้ยงผ้า (*Wolffia* sp.)

Possibility of Using Organic Rice Straw Fermentation Liquid to Replace Chemical Fertilizers in Water Meal (*Wolffia* sp.) Cultivation

อารมณ เตียวสกุล^{1,*} สุกใจ รัตนยุวกร² ดวงสุดา ทองจันทร์³ และสุภา ศรีียงยศ³

Arom Tiaosakul^{1,*}, Sukjai Rattanayurakorn², Duangsuda Thongchan³ and Supa Srianyot³

¹สาขาประมง คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สุรินทร์ 32000

²สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สุรินทร์ 32000

³สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สุรินทร์ 32000

¹Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Technology, Surin, Thailand 32000

²Department of Science and Mathematics, Faculty of Agriculture and Technology, Surin, Thailand 32000

³Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Technology, Surin, Thailand 32000

*Corresponding author: apermngam@gmail.com

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0006-2115-6313>

Received: September 20, 2024

Revised: December 19, 2025

Accepted: March 11, 2026

Abstract

This study aimed to compare the yields of water meal (*Wolffia* sp.) Cultivated in feed formulas containing different levels of organic rice straw fermentation the liquid as an ingredient, and water quality in the cultivating ponds. The experiments were conducted using a Completely Randomized Design (CRD) divided into three treatments with three replications each. Treatment 1 used 5 g of NPK (16-16-16) fertilizer (control formula), while 50 and 100 ml of organic rice straw fermentation liquid were used for treatments 2 and 3, respectively. All treatments used 50 grams of fresh water meal and 50 liters of water in a circular cement pond with a surface area of 0.442 m², and the study period was 8 days.

The results showed that the yield of water meal and water quality were not statistically different at the 95 percent confidence level ($p>0.05$). Therefore, there is a possibility of using organic rice straw fermentation liquid to replace chemical fertilizers in the production of organic water meal for human and animal' food in the future.

Keywords: *Wolffia* sp., organic fertilizer, rice straw fermentation liquid, water meal production

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตฝำ (*Wolffia* sp.) ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่มีปริมาณน้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์เป็นส่วนผสมในระดับต่างๆ และคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงฝำ ดำเนินการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ๑ และ 3 ซ้ำ ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ปุ๋ย NPK (16-16-16) 5 กรัม (สูตรควบคุม) ใช้น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์ 50 มล. และ 100 มล. สำหรับชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ทุกชุดการทดลองใช้ฝำสด 50 กรัม และน้ำ 50 ลิตร ในบ่อซีเมนต์ทรงกลมที่มีพื้นที่ผิว 0.442 ตร.ม. และระยะเวลาทำการศึกษา 8 วัน ผลการวิจัยพบว่าผลผลิตฝำและคุณภาพน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p>0.05$) ดังนั้น มีความเป็นไปได้ที่จะใช้น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์ทดแทนปุ๋ยเคมีในการผลิตฝำอินทรีย์สำหรับมนุษย์และสัตว์ในอนาคต

คำสำคัญ: ฝำ ปุ๋ยอินทรีย์ น้ำหมักฟางข้าว การผลิตฝำ

บทนำ

ฝำ (*Wolffia* sp.) มีชื่อเรียกตามภาษาท้องถิ่นว่า “ไขฝำ” หรือ “ไขน้ำ” และชื่อสามัญ water meal เป็นพรรณไม้น้ำประเภทลอยน้ำขนาดเล็กที่สุดในโลกในวงศ์ *Lemnaceae* ที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีโครงสร้างเรียบง่าย และสามารถสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (Braglia *et al.*, 2021) พบในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เช่น หนอง บึง หรือแหล่งน้ำขัง รูปร่างเป็นเม็ดสีเขียวหรือเหลืองเขียวกลมหรือเกือบกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5–1.5 มล. ไม่มีราก โดยทั่วโลกพบฝำมีจำนวนชนิดมากถึง 11 ชนิด (Ivan and Katya, 2013; Appenroth *et al.*, 2018) แต่พบเพียง 2 ชนิด คือ *Wolffia arrhiza* (L.) และ *W. globosa* (L.) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของประเทศไทย (Rodroil *et al.*, 2009;

Rodroil *et al.*, 2012; Ruekaewma *et al.*, 2015). จากการศึกษาของ Zhubin *et al.* (2022) ในฝำ *W. arrhiza* พบว่ามีระดับความชื้น 95.18 ± 0.07 ของน้ำหนักสด (FW) ปริมาณโปรตีน $50.89\pm0.56\%$ ไขมัน $6.07\pm0.30\%$ คาร์โบไฮเดรต $31.33\pm0.27\%$ และเถ้า $11.71\pm0.46\%$ ของน้ำหนักแห้ง (DW)

นอกจากนี้ยังมีกรดอะมิโน 18 ชนิด และปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด (TAA) $42.9\pm0.50\%$ ของน้ำหนักแห้ง (DW) สัดส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นทั้งหมด (TEAA) ใน TAA ของ *W. arrhiza* อยู่ที่ $33.70\pm0.30\%$ ต่ำกว่ากรดอะมิโนไม่จำเป็นทั้งหมด (TNEAA) $66.30\pm0.30\%$ อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และยังพบปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวมสูงกว่ามาก และมีสารต้านอนุมูลอิสระที่สูง (antioxidant) มากกว่าในสาหร่ายเกลียวทอง (Somboon, 2015) ผักและพืชผลส่วนใหญ่ เช่น มะระ (Tan *et al.*, 2014) และข้าวสาลี (Gougoulas, 2015) เป็นต้น อีกทั้งมีสารเบต้า-คาโรทีนในปริมาณสูง (Rowchai and Somboon, 2007) การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของพืชน้ำหรือสาหร่ายจากการศึกษาของผู้อื่นนั้น ผู้วิจัยต้องระมัดระวังเพราะโดยทั่วไปหากเพาะเลี้ยงในสูตรอาหารหรือสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันก็จะมีผลทำให้มีสารสำคัญแตกต่างกัน ดังนั้น *W. arrhiza* จึงมีศักยภาพสูงในการเป็นอาหารของมนุษย์ (Hu *et al.*, 2022) และสามารถนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ เช่น ปลาดุก (Ketkaew and Innoon, 2022) ปลาดุกเทศ (Mani *et al.*, 2021) ปลากระแห (Munkit, 2518) ปลาทอง (Raksaphram and Ratchaphimon, 2018) และปลาไน (Matchakeo *et al.*, 2015) เป็นต้น

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของฝำ (*W. arrhiza* (L.) Winn.) ของ Rowchai and Somboon (2007) โดยสำรวจสภาวะแวดล้อมของแหล่งกำเนิดฝำตามธรรมชาติในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำค่อนข้างต่ำ ($pH\leq 7$) แต่แหล่งน้ำที่ไม่ให้ผลผลิตแล้วมีค่า $pH>7$ และพบพืชน้ำชนิดอื่นปะปน นอกจากนี้แหล่งน้ำต้องมีธาตุ

อาหารพืชครบถ้วนและสมบูรณ์เพียงพอ โดยเฉพาะปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนและออร์โธฟอสเฟตค่อนข้างสูง จึงจะทำให้ผ้าเจริญเติบโตได้ดี (Somboon, 2015)

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผ้าในห้องปฏิบัติการอาคารเปิดของ Phanwanichdamrong (2009) พบว่าผ้ามีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อเลี้ยงในน้ำประปาที่เติมปุ๋ย NPK (16-16-16) ระดับ 100 มล./ล. มีค่าคุณภาพน้ำบางประการที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต เช่น ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 5-6 ค่าความกระด้างต่ำกว่า 100 มล./ล. และความเข้มแสงประมาณ 5,000-10,000 ลักซ์ ขณะที่ Sanwila (1999) ศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโต และปริมาณโปรตีนของผ้าที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารและความเข้มแสงแตกต่างกัน โดยใช้ น้ำหมักจากมูลวัวและมูลกระบือ ที่มีความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ คือ 25, 35 และ 45 ก./ล. ภายใต้ความเข้มแสง 50 และ 100% โดยเพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 74 ซม. สูง 50 ซม. บรรจุน้ำหมัก 50 ล. เป็นเวลา 12 วัน พบว่าผ้าที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักมูลวัวเข้มข้น 45 ก./ล. ในสภาพความเข้มแสง 100% มีการเจริญเติบโต น้ำหนักสด (เฉลี่ย 404.023 ก./หน่วยทดลอง) และน้ำหนักแห้ง (เฉลี่ย 8.772 ก./หน่วยทดลอง) สูงที่สุด ส่วนผ้าที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำหมักมูลวัวเข้มข้น 35 ก./ล. ในสภาพความเข้มแสง 50% มีปริมาณโปรตีน (เฉลี่ย 30.213%) สูงที่สุด

ฟางข้าว (rice straw) คือ ส่วนของต้นข้าวที่เหลือหลังจากการเก็บเกี่ยวและนวดเอาเมล็ดออกแล้ว ในฟางข้าวจะมีปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ดังนี้ ไนโตรเจน (N) 0.59% ฟอสฟอรัส (P) 0.08% โพแทสเซียม (K) 1.56% แคลเซียม (Ca) 0.38% แมกนีเซียม (Mg) 0.23% และกำมะถัน (S) 0.08% (Terra-Gro Fertilizer Co., Ltd., 2023) มีโปรตีน ในอาหาร และฟอสฟอรัส (Spring Green Evolution Co., Ltd., 2023) และปริมาณคาร์บอนทั้งหมด 39.2%

แคลเซียม 262 มก./กก. และโซเดียม 366 มก./กก. (Abdelhamid, 2004) ซึ่งธาตุดังกล่าวมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยทั่วไปเกษตรกรจะนำฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น ใช้เป็นฟางคลุมดินเพื่อเก็บความชุ่มชื้น ใช้เลี้ยงสัตว์ ใช้ทำปุ๋ยหมักหรือไถกลบ สามารถเพิ่มอินทรีย์วัตถุที่เป็นแหล่งอาหารและพลังงานให้กับจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน ทางกรมการเกษตรกรใช้ทำเป็นแหล่งอาหารให้กับปลาหรือที่เรียกว่าแซนด์วิชอาหารปลา (fish sandwiches) โดยใช้ฟางข้าวรองพื้นเป็นตัวหลักและวางสลับกับมูลสัตว์หรือปุ๋ยคอกอื่น ๆ บริเวณมุมขอบบ่อเลี้ยง เพื่อให้เป็นแหล่งอาหารให้กับปลาที่อยู่ในบ่อ (Sodkomkham, 2024)

ฟางข้าวอินทรีย์มีคุณสมบัติหลักเหมือนฟางข้าวทั่วไป แต่สิ่งที่ทำให้ฟางข้าวอินทรีย์แตกต่าง คือ ไม่มีสารเคมีตกค้างจากยาฆ่าแมลงหรือปุ๋ยเคมี ซึ่งส่งผลดีต่อระบบนิเวศในดินและลดความเสี่ยงต่อสุขภาพ ในขณะที่ฟางข้าวที่ไม่ใช่อินทรีย์อาจมีสารเคมีตกค้าง (Suphanburi Provincial Agriculture Office, 2025) จากคุณสมบัติของฟางข้าวดังกล่าวประกอบกับยังไม่มีผู้ศึกษาทดลองใช้น้ำหมักฟางข้าวมาเพาะเลี้ยงผ้า ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีในการเพาะเลี้ยงผ้า (*Wolffia* sp.) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการใช้ประโยชน์จากฟางข้าวต่อการเพาะเลี้ยงผ้าปลอดสารเคมีหรืออินทรีย์ต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมน้ำ

กรองน้ำประปาด้วยผ้ากรองและบรรจุน้ำที่ผ่านการกรองลงในถังที่ล้างสะอาด ขนาดบรรจุน้ำ 1,000 ลิตร จำนวน 1 ถัง พักน้ำไว้ 5 วันก่อนนำน้ำมาใช้ในการเตรียมน้ำหมักฟางข้าว และน้ำใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงผ้า

การเตรียมน้ำหมักฟางข้าว

ฟางข้าวอินทรีย์ได้รับความอนุเคราะห์จากสาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ทำการหั่นฟางข้าวให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ หมักกับน้ำที่ผ่านการพักในอัตราส่วนฟางข้าว:น้ำ (1:5) หมักทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ระหว่างการหมักทำการคนด้วยไม้พายและกลับฟางข้าวทุก ๆ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เมื่อครบกำหนดการหมักทำการกรองน้ำหมักฟางข้าวก่อนนำไปใช้เป็นอาหารในการเพาะเลี้ยงปลา

การเตรียมน้ำอย่างง่าย

ตัวอย่างน้ำได้จากการรวบรวมจากแหล่งน้ำธรรมชาติในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ คัดเลือกสิ่งปนเปื้อนกับน้ำ เช่น เศษหญ้า จากนั้นนำน้ำล้างด้วยน้ำ 3 ครั้ง ใส่กระชอนตาถี่เพื่อให้สะอาดก่อนนำมาใช้ในการทดลอง

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) แบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดทดลองที่ 1 ใช้ปุ๋ย NPK (16-16-16) 5 ก./50 ลิตร (Modified from Phichit Freshwater Aquaculture Research and Development Center, 2021; Somboon, 2015)

ชุดการทดลองที่ 2 ใช้น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์ 50 มล./น้ำ 50 ลิตร

ชุดการทดลองที่ 3 ใช้น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์ 100 มล./น้ำ 50 ลิตร

จัดวางเรียงบ่อซีเมนต์ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 ซม. สูง 50 ซม. (ขนาดพื้นที่ผิว 0.442 ตร.ม.) จำนวน 9 บ่อ ตามตำแหน่งที่สุ่มและบรรจุน้ำจำนวน 50 ลิตร เติมน้ำประปอบริเวณบ่อที่ 1, 2 และ 3 ของชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ทุกชุด

การทดลองใช้ปลาเริ่มต้น 50 กรัม ใช้ระยะเวลาทดลองเลี้ยง 8 วัน ณ สถานปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สาขาวิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์คุณภาพ

เก็บตัวอย่างน้ำก่อนเลี้ยงและทุก 2 วัน ตลอดระหว่างการเพาะเลี้ยง นำมาวิเคราะห์ปัจจัยคุณภาพน้ำบางประการ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ (temperature: °C) ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์น้ำ Multifunction รุ่น EZ-9909 5 in1 ค่าความกระด้าง (hardness) ค่าไนเตรท (nitrate) และไนไตรท์ (nitrite) ด้วยชุดน้ำยาริเคราะห์น้ำสำเร็จรูป (test kit) AQUA-VBC

การเก็บข้อมูลผลผลิตไข่ปลา

เมื่อเพาะเลี้ยงปลาครบ 8 วัน เก็บรวบรวมผลผลิตไข่ด้วยกระชอนตาถี่ ทิ้งไว้จนกระทั่งสะอาดน้ำ จึงนำไข่ที่กรองได้ของแต่ละบ่อชั่งน้ำหนัก ข้อมูลน้ำหนักที่ได้ คือน้ำหนักผลผลิตไข่สดของแต่ละชุดการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลผลผลิตวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way Analysis of Variance: ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Honestly Significant Differences (Tukey's test HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics V.26

ผลการทดลอง

จากการศึกษาผลผลิตการเพาะเลี้ยงปลา (*Wolffia* sp.) ด้วยสูตรอาหารที่มีน้ำหมักจากฟางข้าวที่ระดับแตกต่างกันที่ 50 และ 100 มล./น้ำ 50 ลิตร (0.442 ตร.ม.) โดยเปรียบเทียบกับสูตรการเลี้ยงปลาของศูนย์วิจัยและ

พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดพิจิตร (Phichit Freshwater Aquaculture Research and Development Center, 2021) และ Ketkaew and Rakthai (2021) ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ผลผลิตฝำ

ผลผลิตฝำที่เลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK (16-16-16) 5 กรัม (สูตรควบคุม) น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์ 50 มล.

และ 100 มล. พบว่าได้ผลผลิตฝำเฉลี่ย 147.79 ± 45.15 , 108.84 ± 61.31 และ 92.65 ± 30.33 กรัม/0.442 ตร.ม ซึ่งผลผลิตฝำเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 295.58 ± 90.30 , 217.6 ± 122.62 และ $185.30 \pm 60.66\%$ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ผลผลิตฝำไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% (Table 1) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 92.65 ± 30.33 – 147.79 ± 45.15 กรัม/0.442 ตร.ม และ 185.30 ± 60.66 – $295.58 \pm 90.30\%$ ตามลำดับ

Table 1 The average yield values of water meal (g) during the cultivation with different feed formulas for 8 days

Feed formulas	Initiate	Average yield (g/0.442 m ²)	Average yield (%)	p-value
NPK (16-16-16) 5 g (control)	50	147.79 ± 45.15^a	295.58 ± 90.30^a	0.5989
50 ml of organic rice straw fermented liquid	50	108.84 ± 61.31^a	217.68 ± 122.62^a	0.3865
100 ml of organic rice straw fermented liquid	50	92.65 ± 30.33^a	185.30 ± 60.66^a	0.9092

Identical letters on the same line are not statistically different at 95% confidence ($p > 0.05$).

คุณภาพน้ำบางประการ

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ย ในบ่อเลี้ยงฝำที่ใช้อาหารสูตรที่ 1 ปุ๋ย NPK (16-16-16) 5 กรัม ในวันเริ่มต้น วันที่ 2, 4, 6 และ 8 คือ 6.78, 7.44, 7.62, 8.01 และ 7.70 ใช้อาหารสูตรที่ 2 น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์ 50 มล. มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 7.20, 7.51, 7.82 และ 7.55 และใช้อาหารสูตรที่ 3 น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์ 100 มล. มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 7.20, 7.64, 7.39 และ 7.29 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าผลผลิตฝำไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.78–7.70 (Table 2)

ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (°C) ในบ่อที่เลี้ยงฝำด้วยสูตรอาหารที่ 1 ด้วยปุ๋ย NPK (16-16-16) 5 กรัม (สูตร

ควบคุม) ในวันเริ่มต้น วันที่ 2, 4, 6 และ 8 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 32.20, 33.60, 33.45 และ 32.75°C ใช้อาหารสูตรที่ 2 น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์ 50 มล. มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 33.21, 35.45, 33.00 และ 34.20°C และใช้อาหารสูตรที่ 3 น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์ 100 มล. มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 32.45 ± 0.00 , 33.60 ± 2.69 , 32.85 ± 1.06 และ 32.80 ± 1.56 °C ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าผลผลิตฝำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่าอยู่ในช่วง 33.21–35.45°C (Table 3)

ทุกชุดการทดลองมีค่าความกระด้าง (hardness) 100 มล./ล. และไม่สามารถตรวจพบค่าไนเตรท (nitrate) และค่าไนไตรท์ (nitrite)

Table 2 The average pH during the cultivation of water meal with different feed formulas for 8 days

Feed formulas	Average pH				
	Start	Day 2	Day 4	Day 6	Day 8
1 (Control)	6.78±0.60 ^a	7.44±0.06 ^a	7.62±0.08 ^a	8.01±0.42 ^a	7.70±0.28 ^a
2	7.20±0.20 ^a	7.51±0.59 ^a	7.82±0.53 ^a	7.55±0.06 ^a	7.60±0.49 ^a
3	7.20±0.09 ^a	7.64±0.34 ^a	7.39±0.21 ^a	7.29±0.45 ^a	7.62±0.60 ^a
<i>p</i> -value	0.34	0.82	0.35	0.12	0.95

Identical letters on the same line are not statistically different at 95% confidence ($p>0.05$).

Table 3 The average temperature (°C) during the cultivation of water meal with different formulas for 8 days

Feed formulas	Average temperature (°C)				
	Start	Day 2	Day 4	Day 6	Day 8
1 (Control)	32.00±0.84 ^a	33.60±2.90 ^a	33.45±0.99 ^a	32.75±1.48 ^a	32.20±0.78 ^a
2	33.21±0.00 ^a	35.45±2.02 ^a	33.00±1.14 ^a	34.20±0.85 ^a	33.47±0.58 ^a
3	32.45±0.00 ^a	33.60±2.69 ^a	32.85±1.06 ^a	32.80±1.56 ^a	32.75±0.81 ^a
<i>p</i> -value	0.24	0.62	0.78	0.38	0.52

Identical letters on the same line are not statistically different at 95% confidence ($p>0.05$).

วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองเลี้ยงผ้าโดยใช้หมักฟางข้าวอินทรีย์ที่ 50 และ 100 มล./น้ำ 50 ลิตร (0.442 ตร.ม.) เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมี NPK (16-16-16) 5 กรัม/ น้ำ 50 ลิตร (0.442 ตร.ม.) เป็นเวลา 8 วัน พบว่าผลผลิตผ้าเฉลี่ยที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์มีค่าอยู่ในช่วง 92.65±30.33–108.84±61.31 กรัม/0.442 ตร.ม และเลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK (16-16-16) คือ 147.79±45.15 กรัม/0.442 ตร.ม และผลผลิตผ้าทุกสูตรอาหารไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งพบว่าผลผลิตผ้าที่ใช้น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์มีผลผลิตผ้าเฉลี่ยใกล้เคียงกับการทดลองของ Ketkaew and

Rakthai (2021) คือ 100.51±6.51 กรัม ซึ่งเลี้ยงด้วยปุ๋ยเคมี A ประกอบด้วยแคลเซียมไนเตรท (calcium nitrate) 0.970 กก. และเหล็ก-อีดีดีเอชเอ (Fe-EDDHA) 0.082 กก. ละลายในน้ำ 5 ลิตร) และปุ๋ยเคมี B ประกอบด้วยโปแตสเซียมไนเตรท (potassium nitrate) 0.192 กก. แมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate) 0.279 กก. โมโนโปแตสเซียมฟอสเฟต (mono potassium phosphate) 0.11 กก. และจุลธาตุ (micro element) 0.012 กก. ละลายในน้ำ 5 ลิตร ในโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิดเป็นเวลา 10 วัน

คุณภาพน้ำระหว่างการเพาะเลี้ยงผ้าด้วยอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) มีค่าระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ช่วงระหว่าง 6.78±0.00–8.01±0.42 และอุณหภูมิช่วง

ระหว่าง $32.20 \pm 0.00 - 33.60 \pm 2.69^{\circ}\text{ซ}$ ในขณะที่ผ่า
ที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2 มีค่าระดับความเป็น
กรด-ด่าง (pH) ช่วงระหว่าง $7.20 \pm 0.00 - 7.82 \pm 0.53$ และ
อุณหภูมิในช่วงระหว่าง $33.21 \pm 0.00 - 35.45 \pm 5.02^{\circ}\text{ซ}$
และใช้อาหารสูตรที่ 3 มีค่าระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH)
ช่วงระหว่าง $7.20 \pm 0.00 - 7.64 \pm 0.34$ และอุณหภูมิ
ช่วงระหว่าง $32.45 \pm 0.00 - 33.60 \pm 2.69^{\circ}\text{ซ}$ ตามลำดับ
ส่วนค่าความกระด้าง (hardness) มีค่า 100 มล./ล. ของทุกชุด
การทดลอง และไม่สามารถตรวจพบค่าไนเตรท (nitrate)
และไนไตรท์ (nitrite) ของทุกชุดการทดลอง

Moon (2025) รายงานว่าผ้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH 6.5–7.5 ซึ่งเป็นค่ากลางที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการดูดซึมสาร หากค่า pH ต่ำเกินไป (pH<6) หรือสูงเกินไป (pH>8) อาจทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์แสงและเมตาบอลิซึมของผ้าจะชะงักการเจริญเติบโต กรณีอุณหภูมิจากการศึกษาของ Landolt and Kandeler (1987) รายงานว่าผ้าชนิด *W. arrhiza* จะตายหากเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30°C ในเวลา 14–20 วัน และที่อุณหภูมิ 35°C ในเวลา 6–10 วัน ผ้าจะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 32–33°C และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ช่วง 3.5–10.4 ในขณะที่ Phanwanichdamrong (2009) กล่าวว่าค่าความกระด้าง (hardness) ของน้ำที่ผ้าเจริญเติบโตได้ดีมีค่าในช่วง 0–150 มล./ล. (CaCO₃) ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ การเพาะเลี้ยงผ้าเป็นเวลา 8 วัน ทุกชุดการทดลองมีช่วงความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยระหว่าง 6.78±0.00–8.01±0.42 และค่าความกระด้าง (hardness) ของน้ำเฉลี่ย 100.00±0.00 มล./ล. (CaCO₃) ซึ่งอยู่ในช่วงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผ้า (Landolt and Kandeler, 1987; Phanwanichdamrong, 2009) ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 มีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 33.21–35.45°C มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของผ้าจากการรายงานของ Landolt and Kandeler (1986) แต่ผลผลิตผ้าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการเลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 และ 3 ทั้งนี้เนื่องจาก

การเจริญเติบโตของผ่าอาจมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ความเข้มแสง ซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดหลักอย่างหนึ่งสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (Alianto *et al.*, 2004)

ในการทดลองครั้งนี้ใช้โรงเรือนโถงและมีหลังคา
จึงอาจส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของผ้า
ในขณะที่ Xu *et al.* (2012) ระบุว่าผลผลิตผ้าขึ้นอยู่กับ
สายพันธุ์ของผ้า สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต และ
ระยะการพัฒนาของผ้า

นอกจากนี้ Giel and Bojarczuk (2011) กล่าวว่าธาตุอาหารหากมีความเข้มข้นสูงจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชหรือน้อยเกินไปพืชจะขาดธาตุอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชลดลง และหากสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวย เช่น มีปริมาณแคลเซียมสูงและค่า pH เป็นด่าง ทำให้การดูดซึมแร่ธาตุลดลง (Giel and Bojarczuk, 2011) และ Chookhampaeng *et al.* (2022) ศึกษาผลของแสง การเติมอากาศ และความเข้มข้นของสารอาหารต่อการเจริญเติบโตของผ้า (*Wolffia globosa*) โดยใช้อาหารสูตร Hoagland's solution พบว่าผลผลิตฝางสูงที่สุดในวันที่ 15 และ 20 ซึ่งเป็นช่วงที่ผ้าเจริญเติบโตเต็มที่ หลังจากนั้นผลผลิตจะลดลงซึ่งอาจเกิดจากอัตราการเจริญเติบโตที่ลดลงหรือการตายของผ้า และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของผ้า *W. globosa* ต้องการสารละลายธาตุอาหารเจือจางและความเข้มแสง 50% โดยไม่ต้องเติมอากาศ ในขณะที่ Bever *et al.* (2012) รายงานว่าอาหารสูตร Hoagland's solution ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก ได้แก่ CaH_2PO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, K_2SO_4 , MgSO_4 , Fe-EDTA และ KH_2PO_4 เป็นธาตุหลัก และ H_3BO_3 , $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, CuSO_4 และ $\text{H}_3\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ เป็นธาตุรอง ซึ่งจากรายงานของ Terra-Gro Fertilizer Co., Ltd. (2023) กล่าวว่าในฟางข้าวจะมีปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ได้แก่ ไนโตรเจน (N) 0.59% ฟอสฟอรัส (P) 0.08% โพแทสเซียม (K) 1.56% แคลเซียม (Ca) 0.38% แมกนีเซียม (Mg) 0.23% และกำมะถัน (S) 0.08% และฟางข้าว มีโปรตีน โยอาหาร และฟอสฟอรัส ในขณะที่

Abdelhamid (2004) กล่าวว่าฟางข้าวมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมด 39.2% แคลเซียม 262 มก./กก. และโซเดียม 366 มก./กก. ซึ่งธาตุดังกล่าวมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช (Spring Green Evolution Co., Ltd., 2023)

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเลี้ยงผำด้วยสูตรอาหารต่างกัน ได้แก่ อาหารสูตรที่ 1 ใช้ปุ๋ย NPK (16-16-16) 5 กรัม (สูตรควบคุม) กับอาหารสูตรที่ 2 และ 3 โดยใช้น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์ 50 และ 100 มล. ตามลำดับ พบว่าผลผลิตผำเฉลี่ยจากการใช้อาหารทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($p>0.05$) และคุณภาพน้ำอยู่ในช่วงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผำ ดังนั้น น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์จึงมีศักยภาพนำมาใช้ในการผลิตผำ เพื่อผลิตเป็นอาหารอินทรีย์สำหรับมนุษย์และสัตว์ต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยและข้อสรุปข้างต้น มีข้อเสนอแนะของการศึกษา ดังนี้

1. ในการเพาะเลี้ยงผำโดยใช้น้ำหมักฟางข้าวอินทรีย์แนะนำให้ศึกษาความเข้มข้นเพิ่มเติมเพราะอาจมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตผำให้สูงขึ้น
2. ฟางข้าวซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเกษตรที่เหลือหลังการเก็บเกี่ยว สามารถนำไปใช้ในปริมาณเล็กน้อยเพื่อผลิตสารสกัดหมักได้ การประยุกต์ใช้ดังกล่าวเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการลดต้นทุนการผลิตในการเพาะเลี้ยงผำในอนาคต โดยนำเสนอแนวทางใหม่ในการใช้เทคโนโลยีชีวภาพอย่างยั่งยืนในพื้นที่ชนบท

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ได้จัดสรรงบประมาณวิจัยประจำปี 2567 เพื่อสนับสนุนโครงการ “นวัตกรรมและเทคโนโลยีเพื่อการใช้ประโยชน์จากส่วนประกอบและเศษวัสดุจากข้าวสุรินทร์เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงเศรษฐกิจ” โครงการนี้จัดอยู่ในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ขอขอบคุณนางสาวณัฐธิชา เจริญรอบ และนายปัญญา สัตบุตร์ นักศึกษาสาขาประมง และนายณวัฒน์ เดียวสกุล นักศึกษาภาควิชาเคมีประยุกต์ สำหรับการรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Abdelhamid, T. 2004. The Self-destruction and Renewal of Loan Construction Theory: A Prediction form Boyd's Theory. pp. 1–19. In 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Elsinore: International Group for Lean Construction.
- Alianto, A., E.M. Adiwilaga and A. Damar. 2004. Primary productivity of phytoplankton and its relationships with nutrients and light in the waters of Banten bay. *Journal of Fisheries and Aquatic Science* 15: 21–26. [in Indonesian]

- Appenroth, Klaus-J., K. S. Sree, M. Bog, J. Ecker, C. Seeliger, V. Böhm, S. Lorkowski, K. Sommer, W. Vetter, K. Tolzin-Banasch, R. Kirmse, M. Leiterer, C. Dawczynski, G. Liebisch and G. Jahreis. 2018. Nutritional value of duckweed species of the genus *Wolffia* (*Lemnaceae*) as human food. **Frontiers in Chemistry** 6(483): 1–13.
<https://doi.org/10.3897/zookeys.695.13771>
- Bever, A. De., P.A. Ndakidemi and C.P. Laubscher. 2012. Effects of different combinations of Hoagland's solution and *Azolla filiculoides* on growth and development of *Beta vulgaris* subsp. *cycla* 'Fordhook Giant' grown in hydroponic cultures. **International Journal of the Physical Sciences** 7(33): 5281–5287.
<https://doi.org/10.5897/IJPS12.320>
- Braglia, L., M. Lauria, K.J. Appenroth, M. Bog, D. Breviario, A. Grasso, F. Gavazzi and L. Morello. 2021. Duckweed species genotyping and interspecific hybrid discovery by tubulin-based polymorphism fingerprinting. **Frontiers in Plant Science** 12: 625670.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.62567>
- Chookhampaeng, S., S. Puntura and C. Chookhampaeng. 2022. Effect of light, aeration and nutrient concentration on *Wolffia* (*Wolffia globosa* (Roxb.) Hartog and Plas) growth. **Asian Journal of Plant Sciences** (21): 559–564.
<https://doi.org/10.3923/ajps.2022.559.564>
- Giel, P. and K. Bojarczuk. 2011. Effects of high concentrations of calcium salts in the substrate and its pH on the growth of selected rhododendron cultivars. **Acta Societatis Botanicorum Poloniae** 80(2): 105–114.
<https://doi.org/10.5586/asbp.2011.021>
- Gougoulis, N. 2015. Study on polyphenols content and antioxidative properties of whole grain flours from some cereal and leguminous crops. **Oxidation Communications** 38(1): 46–54.
- Hu, Z., F. Yang, Y. Zhuolin, T. Xueping, L. Jinmeng, J. Yanling, H. Kaize, L. Penghui, D. Anping, H. Yuhong and Z. Hai. 2022. Determining the nutritional value and antioxidant capacity of duckweed (*Wolffia arriza*) under protein artificial conditions. **LWT- Food Science and Technology** 153(7): 112477.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112477>

- Ivan, K. and V. Katya. 2013. *Wolffia globosa* (Roxburgh) Hartog Et Las (Lemnaceae): a new species in Bulgarian flora. **Journal of Biological and Scientific Opinion** 1(4): 356–357.
<https://doi.org/10.7897/2321-6328.01416>
- Ketkaew N. and L. Innoom. 2022. Effects of Using Combined Feeding Commercial Diet and Water Meal on Growth of Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*). pp. 97–105. **In Academic Conference 6th National Vocational Education Technology and Innovation Conference, September 9, 2022, Miracle Grand Convention Hotel.** Bangkok: Northern Vocational Education Institute 2. [in Thai]
- Ketkaew, N. and S. Rakthai. 2021. Efficiency of *Wolffia globosa* (L.) Wimm production under light control system. **Journal of Agricultural Research and Extension** 39(3): 89–99. [in Thai]
- Landolt, E. and R. Kandeler. 1987. **Biosystematic Investigations in the Family of Duckweed (Lemnaceae). Vol. 2.** Stiftung Rübel, Zurich: Veroff. Geobot. Inst. ETH. 95 p.
- Mani, N. and S. Ngoijansri and J. Pholsan. 2021. **Study on the raising of carp by using water meal as food in the earthen pond of farmers, Yasothon Province.** Retrieved from https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20220926113628_1_file.pdf [in Thai]
- Matchakeo, U., S. Phaewcham and K. Lommetta. 2015. The Use of Dried Ground Taro to Replace Soy Bean in the Formula Diet of Feeding Silver Barb and Grass Carp. pp. 125-135. **In The 9th Rampaiphanni Research Conference “Integrating Research for Sustainable Local Development”.** Chanthaburi: Rambhai Barni Rajabhat University. [in Thai]
- Moon, B. 2025. **Wastewater treatment with leaves natural innovations that are treated with nature.** Retrieved from https://wolffiaplus.com/author/admin_blurrymoon/ [in Thai]
- Munkit, J. 2018. Effects of water meal feed and stocking density on growth of tinfoil barb (*Barbonymus schwanenfeldii*). **Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University** 5(1): 1–13. [in Thai]
- Panwanichdamrong, K. 2009. **Study of Factors Affecting the Growth of Wolffia eggs (Wolffia arrhiza (Linn.) Wimm.) and Mass Propagation Methods.** Master Thesis. Kasetsart University. 97 p. [in Thai]
- Phichit Freshwater Aquaculture Research and Development Center. 2021. **Cultivation of water meal in cement ponds.** Retrieved from https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20221012095559_1_file.pdf [in Thai]

- Raksaphram, S. and N. Ratchaphimon. 2018. The Effect of Replacing Fish Meal with Water Meal in the Formula for Raising Goldfish. pp. 1–5. *In National Academic Conference “Walailak Research” 10th time.* Nakhon Si Thammarat: Walailak University. [in Thai]
- Rodroil, A., S. Nukwan S. Tiranarat and M. Aiumsub. 2009. **Species and Distribution of Aquatic Plants in the East of Thailand.** Bangkok: Institute of Aquatic Plants and Ornamental Fish Research, Department of Fisheries. 290 p. [in Thai]
- Rodroil, A., S. Nukwan and U. Saijan. 2012. **Species and Distribution of Aquatic Plants in the Upper-Northeast of Thailand.** Bangkok: Institute of Aquatic Plants and Ornamental Fish Research, Department of fisheries. 316 p.
- Rowchai, S. and S. Somboon. 2007. Study on factors effecting growth of wolffia (*Wolffia arrhiza* (L.) (Wimm.). **Fisheries Journal** 60(5): 405–413. [in Thai]
- Ruekaewma, N., S. Piyatiratitivorakul and S. Powtongsook. 2015. Culture system for *Wolffia globosa* L. (Lemnaceae) for hygiene human food. **Songklanakarin Sci. Technol** 37(5): 575–580. [in Thai]
- Sanwila, S. 1999. **Growth and Amount of Proline of Water Meal (*Wolffia arrhiza* (Linn.) Wimm.) Cultivated with Different Food Formulas and Light Intensity Levels in Outdoor Conditions.** Master Thesis. Mahasarakham University. 80 p. [in Thai]
- Sodkomkham, S. 2024. **Fish sandwiches, natural food, easy to make, not much investment, helps save on fish food costs.** Retrieved from https://www.khaosod.co.th/technologychaoban/techno-news/article_270812 [in Thai]
- Somboon, S. 2015. Cultivation and Utilization of Water Meal (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm). **Kasetsart News** 60(2): 61–72. [in Thai]
- Spring Green Evolution Co., Ltd. 2023. **Benefits of rice straw and processing to increase agricultural value.** Retrieved from <https://www.sgethai.com>
- Suphanburi Provincial Agriculture Office. 2025. **Rice straw...an important resource that Thai farmers should not overlook. ** Retrieved from <https://suphanburi.doae.go.th/?p=880> [in Thai]
- Tan, S.P., S.E. Parks, C.E. Stathopoulos and P.D. Roach. 2014. Greenhouse-grown bitter melon: production and quality characteristics. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 94(9): 1896–1903. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6509>

Terra-Gro Fertilizer Co., Ltd. 2023. **Farmer's guide**. Retrieved from <https://puimongkut.com/en/site/farmerguide>

Xu, J., H. Zhao, A. Stomp and J.J. Cheng. 2012. The production of duckweed as a source of biofuels the production of duckweed as a source of biofuels. **Biofuels** 3: 589–601.
<https://doi.org/10.4155/bfs.12.31>

Zhubin, H., Y. Fang, Z. Yi, X. Tian, J. Li, Y. Jin, K. He, P. Liu, A. Du, Y. Huang and H. Zhao. 2022. Determining the nutritional value and antioxidant capacity of duckweed (*Wolffia arrhiza*) under artificial conditions. **LWT-Food Science and Technology** 153(2022): 112477.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112477>

ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการเจริญเติบโต คุณภาพผลผลิต และการจำแนกเชื้อ
สาเหตุโรคเมล่อนสายพันธุ์โมเมจิที่ปลูกในโรงเรือน

Impact of Antagonistic Microorganisms on the Growth, Fruit Quality
and Identification of Fungal Diseases in Greenhouse-Grown Melons cv. Momeji

ศิริพร อำทอง^{1,*} พงศยุทธ์ นวลบุญเรือง¹ ชิตี ศรีตันทิพย์¹ ปัทมา จันทรเรือง³

เมทินี นาคดี² และกิตติพันธ์ เพ็ญศรี¹

Siriporn Amthong^{1,*}, Phongyuth Nualbunruang¹, Chiti Sritontip¹, Pattama Janruang³

Methinee Nakdee² and Kittipan Pensri¹

¹สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000

²สาขาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000

³สาขาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน 55000

¹Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, Thailand 52000

²Department of Plant Science, Faculty of Science and Agricultural Technology

Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, Thailand 52000

³Department of Plant Science, Faculty of Science and Agricultural Technology

Rajamangala University of Technology Lanna, Nan, Thailand 55000

*Corresponding author: amthong56@gmail.com

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0007-8880-1230>

Received: May 31, 2024

Revised: January 18, 2026

Accepted: January 27, 2026

Abstract

This study assessed the impact of antagonistic microorganisms on the growth and yield of melon cv. Momeji in a greenhouse located at the Watershed Royal Service and Development Center, Tha Pong Daeng, Mueang Mae Hong Son district, Mae Hong Son province, from March to August 2023. The experiment was arranged in a Completely Randomized Design (CRD) with five treatments, each consisting of 25 plants as follows: Treatment 1: control (no treatment); Treatment 2: soaking seeds and spraying melon plants with metalaxyl; Treatment 3: soaking seeds and spraying melon plants with carbendazim; Treatment 4: soaking seeds and spraying melon plants with *Bacillus subtilis*; and Treatment 5: soaking seeds and spraying melon plants with *Trichoderma asperellum*. The results showed that treatments with antagonistic microorganisms, *B. subtilis* and *T. asperellum*, resulted in the greatest plant heights of 196.75 and 197.25 cm, respectively. In terms of yield, *T. asperellum* treatment significantly increased total soluble solids (sweetness) to 11.72 °Brix and improved flesh firmness to 1.68 N. Additionally, the *B. subtilis* treatment reduced nitrate accumulation in the fruit to the lowest level of 152.5 mg kg⁻¹

compared to the control treatment. Melon fruit rot disease was observed, with symptoms appearing around the stem, calyx, and bottom of the fruit as cracks. White fungal mycelium was found covering the wounds, and microscopic examination revealed spore characteristics typical of *Fusarium* sp. Additionally, in severely affected melons, gray fungal mycelium was observed covering the decayed fruit, with small black fruiting bodies appearing as the lesions expanded. Microscopic analysis confirmed the presence of spore characteristics of *Lasiodiplodia* sp. Molecular identification using phylogenetic analysis of the fungal isolates revealed 2 pathogens associated with melon fruit rot: *Fusarium* sp. and *Lasiodiplodia* sp. Sequence alignment with the GenBank database further identified these pathogens as *Fusarium equiseti* and *Lasiodiplodia theobromae* with 99% confidence.

Keywords: melon, biological control, growth promotion, *Trichoderma asperellum*, *Bacillus subtilis*

บทคัดย่อ

การทดสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของเมล่อนสายพันธุ์โมเมจิ ทำการทดลองในโรงเรือนเมล่อน ณ ศูนย์บริการและพัฒนาลุ่มน้ำปายตามพระราชดำริ (ท่าโป่งแดง) อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน จังหวัดแม่ฮ่องสอน ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2566 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) แบ่งเป็น 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 25 ต้น ประกอบด้วย กรรมวิธีที่ 1 ควบคุม (ไม่มีการใช้สาร) กรรมวิธีที่ 2 แซ่เมล็ดและพ่นต้นเมล่อนด้วยเมทาแลกซิล กรรมวิธีที่ 3 แซ่เมล็ดและพ่นต้นเมล่อนด้วยคาร์เบนดาซิม กรรมวิธีที่ 4 แซ่เมล็ดและพ่นต้นเมล่อนด้วย *B. subtilis* และกรรมวิธีที่ 5 แซ่เมล็ดและพ่นต้นเมล่อนด้วย *T. asperellum* ผลการทดลองพบว่า การใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ แบคทีเรีย *B. subtilis* และเชื้อรา *T. asperellum* โดยวิธีการแซ่เมล็ดและพ่นต้นเมล่อนสายพันธุ์โมเมจิ พบว่าต้นเมล่อนสายพันธุ์โมเมจิ มีการเจริญเติบโตด้านความสูงมากที่สุด คือ 196.75 และ 197.25 เซนติเมตรตามลำดับ ผลการศึกษาด้านคุณภาพผลผลิตเมล่อนกรรมวิธีที่ใช้เชื้อรา *T. asperellum* ผลเมล่อนมีปริมาณ

ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ความหวาน) เพิ่มขึ้น มีค่า 11.72 °Brix และมีค่าความแน่นเนื้อสูง 1.68 นิวตัน และกรรมวิธีที่ใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* ผลเมล่อนมีปริมาณไนเตรทสะสมในผลน้อยที่สุด คือ 152.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ผลการสำรวจการเกิดโรคผลเน่าของเมล่อน พบอาการของโรคผลเน่า บริเวณรอบ ๆ ขั้วหรือก้านผล และบริเวณก้นผลที่มีรอยแตก พบเส้นใยเชื้อราสีขาวขึ้นฟูบริเวณแผล เมื่อนำเส้นใยมาส่องใต้กล้องจุลทรรศน์พบลักษณะสปอร์ของเชื้อรา *Fusarium* sp. และผลเมล่อนที่พบเส้นใยสีเทาเข้มขึ้นคลุมทั่วทั้งผลที่เน่าเมื่อแผลขยายจะปรากฏเป็นจุดสีดำเล็ก ๆ (fruiting body) เมื่อนำเส้นใยมาส่องใต้กล้องจุลทรรศน์พบลักษณะสปอร์ของเชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. เมื่อวิเคราะห์ลักษณะทางชีวโมเลกุลโดยการวิเคราะห์สายสัมพันธ์วิวัฒนาการของเชื้อรา สามารถจำแนกสกุลของเชื้อราสาเหตุโรคผลเน่าของเมล่อนได้ 2 สกุล ได้แก่ *Fusarium* sp. และ *Lasiodiplodia* sp. เมื่อเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของตัวอย่างเชื้อราที่ได้กับฐานข้อมูลจาก GenBank โดยจัดเรียงแนวความสัมพันธ์ความใกล้เคียงกัน พบว่าเชื้อราสาเหตุโรคผลเน่าของเมล่อนจำแนกได้เป็นเชื้อรา *F. equiseti* และเชื้อรา *L. theobromae* โดยมีค่าความเชื่อมั่น 99%

คำสำคัญ: เมล่อน การควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี
การกระตุ้นการเจริญ *Trichoderma*
Asperillum, *Bacillus subtilis*

บทนำ

เมล่อน (melon) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Cucumis melo* L. อยู่ในวงศ์ cucurbitaceae เป็นพืชตระกูลแตง เช่นเดียวกับแคนตาลูป แตงโม และแตงกวา มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนและตอนใต้ของทวีปแอฟริกา เมล่อนเป็นพืชที่มีวิตามิน แร่ธาตุ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย รวมทั้งมีรสชาติและสีอันถูกใจผู้บริโภค และเป็นผลไม้ที่มีราคาต่อหน่วยสูง จึงเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดใหม่ที่เกษตรกรนิยมปลูกเพิ่มมากขึ้น ในปัจจุบันการปลูกเมล่อนในพื้นที่ของประเทศไทยประสบปัญหาการระบาดของศัตรูพืช โรค และแมลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ทำให้ผลผลิตเมล่อนได้รับความเสียหาย สถานการณ์การผลิตเมล่อนในประเทศไทย ปัจจุบันมีพื้นที่การปลูกประมาณ 2,332 ไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิต 1,868 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ยรวมทั้งประเทศประมาณ 44,587 ตัน ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ให้ผลผลิตประมาณ 23,872 กิโลกรัม ราคาจำหน่ายผลผลิตเฉลี่ย 50.18 บาทต่อกิโลกรัม (Information System for Agriculture Production, 2019) จากความต้องการบริโภคเมล่อนที่มากขึ้น ส่งผลให้ปัจจุบันการปลูกเมล่อนในประเทศไทยพบการระบาดของโรคพืชและแมลงศัตรูพืชเพิ่มมากขึ้น การปลูกเมล่อนให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและผลตอบแทนที่คุ้มค่าการลงทุนนั้น เป็นเรื่องที่ยากสำหรับเกษตรกรมือใหม่ เนื่องจากถิ่นกำเนิดของเมล่อนอยู่ในต่างประเทศ เมื่อนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยจึงอ่อนแอต่อสภาพแวดล้อมของประเทศไทยที่มีความผันแปรของอุณหภูมิตลอดทั้งปี จึงส่งผลให้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของเมล่อนจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตนั้น มีโอกาสสูญเสียผลผลิตได้มากถึง 20-30 เปอร์เซ็นต์ จากการเข้าทำลายของศัตรูพืช การปลูกเมล่อนจึงต้องมีการวางแผนในการจัดการการผลิตที่ดีและเหมาะสม เพื่อป้องกันการเข้าทำลายของศัตรูพืชที่จะทำ

ให้ผลผลิตเมล่อนได้รับความเสียหาย เพื่อให้ได้ผลผลิตเมล่อนที่มีปริมาณและคุณภาพที่ดีตามมาตรฐานและคุ้มค่าต่อการลงทุนของเกษตรกร (Chiayawans *et al.*, 2019)

โรคผลเน่าของเมล่อน (fruit rot) เกิดจากเชื้อรา *Fusarium incarnatum* ซึ่งเป็นโรคอุบัติใหม่ พบในผลเมล่อนหลังการเก็บเกี่ยว โดยเชื้อราจะเข้าทำลายผลเมล่อนทั้งในช่วงเพาะปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต ทำให้ผลผลิตเสียหายทั้งคุณภาพและปริมาณ โดยเชื้อราจะสร้างเส้นใยบนแผลและทำให้เกิดอาการเน่า ทำให้ภายในเนื้อเยื่อของเมล่อนมีสีน้ำตาลเข้ม การพัฒนาการของโรคจะเกิดบริเวณรอบ ๆ ขั้วหรือก้านของผล และบริเวณก้นของผล เนื้อของเมล่อนบริเวณที่มีแผลเน่าจะอ่อนนุ่ม เกิดอาการฉ่ำน้ำ แผลจะขยายลุกลามเป็นบริเวณกว้างอย่างรวดเร็ว บริเวณเปลือกหรือผิวของผลเมล่อนจะเหี่ยวเหี่ยวและยุบลง (Wonglom *et al.*, 2020)

จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ที่มีบทบาทต่อการควบคุมโรคโดยชีววิธีมากชนิดหนึ่งคือ เชื้อรา *Trichoderma* sp. และแบคทีเรีย *Bacillus* sp. คุณสมบัติที่สำคัญของจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดนี้ คือ การเป็นปฏิปักษ์ต่อเชื้อสาเหตุโรคพืชที่อยู่ในดิน มีกลไกการเข้าทำลายเชื้อสาเหตุโรคพืชที่มีความหลากหลาย เช่น การเจริญแข่งขันกับเชื้อสาเหตุโรคพืช การสร้างสารปฏิชีวนะยับยั้งการเจริญของเชื้อ และคุณสมบัติที่สำคัญของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ทั้งสองชนิดอีกประการหนึ่ง คือ การสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช (biostimulators) ซึ่งจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดนี้มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบการผลิตพืชแบบปลอดภัยตามมาตรฐาน GAP และมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ ที่ลดการพึ่งพาการใช้สารเคมีในระบบการผลิตพืชที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงลดปัญหาเชื้อสาเหตุโรคพืชที่มีการต่อต้านสารเคมี (ดี้อย่า) ได้อีกด้วย (Chamswang, 2020) บทบาทของจุลินทรีย์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ปัจจุบันพื้นที่การทำเกษตรกรรมมีการนำจุลินทรีย์กลุ่มส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชภายใต้สภาวะแห้งแล้งได้หลาย

ประการ เช่น การควบคุมการคายน้ำของพืช การปรับแรงดันออสโมติก การเพิ่มชีวมวลในพืช รวมไปถึงลดความเป็นพิษของสารอนุมูลอิสระ (Somtrakoon and Chouychai, 2023)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเมล่อนสายพันธุ์โมเมจิในโรงเรือนให้มีคุณภาพผลผลิตที่ดีและลดการเกิดโรค เพื่อเป็นทางเลือกให้เกษตรกรนำมาปรับประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของผลผลิตเมล่อนให้มีคุณภาพดีขึ้น และได้ผลผลิตเมล่อนที่มีความปลอดภัย เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของเมล่อนสายพันธุ์โมเมจิ

ทำการทดสอบ ณ โรงเรือนปลูกพืช ศูนย์บริการและพัฒนาลุ่มน้ำปายตามพระราชดำริ (ท่าโป่งแดง) จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยการนำเมล็ดเมล่อนสายพันธุ์การค้าพันธุ์โมเมจิ มาแช่ตามกรรมวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเมล็ดมาเพาะในถาดเพาะโดยใช้วัสดุเพาะที่ปลอดเชื้อ เมื่อต้นกล้าเมล่อนมีอายุ 20 วัน ย้ายต้นกล้าเมล่อนลงถุงปลูกขนาด 8×16 นิ้ว ที่มีส่วนผสมของดินและขุยมะพร้าวในอัตราส่วน 2:1 จากนั้นนำจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ผสมในวัสดุปลูกตามกรรมวิธีต่าง ๆ โดยการรดวัสดุปลูกด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* ความเข้มข้น 1×10^8 CFU ต่อมิลลิลิตร และเซลล์แขวนลอยของแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ความเข้มข้น 1×10^8 CFU ต่อมิลลิลิตร ในอัตราส่วน 20 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร ย้ายต้นกล้าเมล่อนลงปลูกในโรงเรือนขนาด 6×30 เมตร หลังคาพลาสติกและตาข่ายให้น้ำในระบบสายน้ำหยด วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แบ่งเป็น 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 25 ต้น ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีควบคุม ไม่ผ่านกรรมวิธีใด ๆ

กรรมวิธีที่ 2 แช่เมล็ดและพ่นต้นเมล่อนด้วย

เมทาแลกซิล

กรรมวิธีที่ 3 แช่เมล็ดและพ่นต้นเมล่อนด้วย

คาร์เบนดาซิม

กรรมวิธีที่ 4 แช่เมล็ดและพ่นต้นเมล่อนด้วย

แบคทีเรีย *B. subtilis*

กรรมวิธีที่ 5 แช่เมล็ดและพ่นต้นเมล่อนด้วยเชื้อรา

T. asperellum

เมื่อเมล่อนมีอายุ 7 วัน หลังย้ายปลูก ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในอัตรา 10 กรัมต่อต้น เมื่อเมล่อนมีอายุ 21 และ 45 วัน หลังย้ายปลูก ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 + 15-15-15 อัตราส่วน 10 กรัมต่อต้น และเมื่อเมล่อนมีอายุ 55-60 วัน หลังย้ายปลูก ใส่ปุ๋ยสูตร 0-0-60 + 15-15-15 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ (5 กรัมต่อต้น) เมื่อเมล่อนมีอายุ 15, 30, 45 และ 60 วัน หลังย้ายปลูก พ่น *T. asperellum* โดยเลี้ยงเชื้อรา *T. asperellum* ชนิดเชื้อสดให้สร้างสปอร์บนเมล็ดข้าว และตรวจนับปริมาณสปอร์ด้วย haemocytometer ให้มีความเข้มข้น 1×10^8 CFU ต่อ มิลลิลิตร พ่นต้นเมล่อนอัตรา 20 มิลลิลิตรต่อต้น และ *B. subtilis* โดยการบ่มหัวเชื้อแบคทีเรียในน้ำสะอาดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจนับปริมาณสปอร์ด้วย haemocytometer ให้มีความเข้มข้น 1×10^8 CFU ต่อ มิลลิลิตร พ่นต้นเมล่อนอัตรา 20 มิลลิลิตรต่อต้น อัตราการใช้เมทาแลกซิล 20 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร และคาร์เบนดาซิม 20 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร พ่นต้นเมล่อนทุก ๆ 15 วัน

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของเมล่อน

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นเมล่อน ดังนี้ ความสูงของต้นและความยาวรากของต้นกล้าอายุ 15 วัน เมื่อต้นเมล่อนมีอายุ 50 วัน บันทึกความสูงของต้น ความกว้างใบ ความยาวใบ จำนวนดอกเพศผู้ จำนวนดอกเพศเมีย การเก็บข้อมูลคุณภาพผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ เส้นรอบวงของผล น้ำหนักผลผลิตสดต่อผล ความหนาของเปลือกและเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณไนเตรทสะสมโดยใช้เครื่องมือวัดไนเตรทแบบปากกา NO₃-11S ยี่ห้อ HORIBA LAQUA Twin ประเทศญี่ปุ่น

การสำรวจโรคและการจำแนกเชื้อราสาเหตุโรคผลเน่าของเมล่อน

เก็บตัวอย่างผลเมล่อนที่แสดงอาการของโรคผลเน่าจากเชื้อรา โดยสังเกตอาการเมล่อนที่มีลักษณะผลแตก มีเส้นใยเชื้อราขึ้นฟูบริเวณแผลที่ผลแตกที่เกิดขึ้นบริเวณเปลือกและหัวของผลเมล่อน ในแปลงปลูกเมล่อน ณ ศูนย์บริการและพัฒนาลุ่มน้ำปายตามพระราชดำริ (ท่าโป่งแดง) อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน จังหวัดแม่ฮ่องสอน

แยกเชื้อสาเหตุโรคด้วยวิธี tissue transplanting โดยตัดเนื้อเยื่อของพืชส่วนที่เป็นโรคขนาด 1×1 เซนติเมตร ทำความสะอาดพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮเปอร์คลอไรด์ 10% และล้างด้วยน้ำนิ่งฆ่าเชื้อ ซับด้วยกระดาษทิชชูที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ จากนั้นนำชิ้นส่วนพืชมาวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน ตรวจสอบลักษณะของเส้นใยเชื้อราภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จากนั้นทำการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์โดยการตัดปลายเส้นใยของเชื้อราวางบนอาหาร PDA บ่มเชื้อที่

อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน และทำการส่งตัวอย่างเชื้อราเพื่อจำแนกชนิดของเชื้อราสาเหตุโรคผลเน่าของเมล่อนด้วยวิธีชีวโมเลกุล วิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ ที่บริษัท MacroGen ประเทศสิงคโปร์ เปรียบเทียบข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ ITS region กับฐานข้อมูลใน GenBank ของ The National Center For Biotechnology Information (NCBI) ใช้โปรแกรม BLAST เพื่อจำแนกชนิดเชื้อราสาเหตุโรคผลเน่าของเมล่อน และสร้างแผนภูมิวิวัฒนาการ (phylogenetic tree)

ผลการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของเมล่อนสายพันธุ์โมเมจิ

จากการทดลองพบว่า กรรมวิธีที่ใช้ *B. subtilis* และ *T. asperellum* ส่งผลให้เมล่อนสายพันธุ์โมเมจิ มีความสูงมากที่สุด คือ 196.75 และ 197.25 เซนติเมตร ในส่วนของความกว้างใบ ความยาวใบ จำนวนเกสรตัวผู้ และจำนวนเกสรตัวเมีย ทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน (Table 1)

Table 1 Effect of antagonistic microorganism on plant growth parameter in melon cv. Momeji

Treatment	Plant height (cm)	Leaf widths (cm)	Leaf lengths (cm)	Male flowers	Female flowers
Control	184.00 ^b	21.75	25.25	11.50	6.5
Fungicide1	182.50 ^b	23.50	25.75	12.00	6.0
Fungicide2	187.00 ^b	22.25	26.25	12.00	6.5
<i>B. subtilis</i>	196.75 ^a	23.75	26.75	12.00	6.5
<i>T. asperellum</i>	197.25 ^a	23.75	26.50	11.75	6.5
F-test	**	ns	ns	ns	ns
CV (%)	1.85	5.35	6.56	6.37	11.40

ns= non-significant difference, *, ** = Means with different letters are significant difference $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.05$ by DMRT.

จากการทดลองพบว่า เมล่อนสายพันธุ์โมเมจิ มีคุณภาพผลผลิตในด้านน้ำหนักผลผลิต เส้นรอบวงของผล และความหนาเปลือก ไม่แตกต่างกันในทุกกรรมวิธี ส่วนความหนาของเนื้อเมล่อนในกรรมวิธีที่ใช้ *T. asperellum* และชุดควบคุมมีค่ามากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (26.42 และ 27.95 มิลลิเมตร ตามลำดับ) และกรรมวิธีใช้ *B. subtilis* และ *T. asperellum* มีปริมาณ

ของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่ามากกว่าชุดควบคุมเท่ากับ 1.2 °Brix กรรมวิธีที่ใช้ *T. asperellum* มีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุด คือ 1.68 นิวตัน ในส่วนของค่าไนเตรทกรรมวิธีที่ใช้ *B. subtilis* และ *T. asperellum* มีปริมาณกรดที่ไทเตรตได้น้อยกว่าชุดควบคุมเท่ากับ 5–7.5 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม (Table 2)

Table 2 Impact of antagonistic microorganism on fruit perimeter, weight, pulp and skin thickness, total soluble solids (TSS), firmness and titratable acidity (TA) of melon cv. Momeji

Treatment	Fruit perimeter (cm)	Fruit weight (Kg)	Pulp thickness	Skin thickness	TSS (°Brix)	Firmness (N)	TA (mg/kg)
Control	1.67	48.25	10.60	27.95 ^a	10.47 ^b	1.55 ^{ab}	160.00 ^b
Fungicide1	1.66	46.37	10.92	25.62 ^{ab}	10.62 ^b	1.52 ^{ab}	170.00 ^{ab}
Fungicide2	1.55	47.37	10.90	22.47 ^b	10.67 ^b	1.32 ^b	187.50 ^a
<i>B. subtilis</i>	1.55	48.75	10.60	25.82 ^{ab}	11.67 ^a	1.55 ^{ab}	152.50 ^b
<i>T. asperellum</i>	1.70	48.50	10.42	26.42 ^a	11.72 ^a	1.68 ^a	155.00 ^b
F-test	ns	ns	ns	*	**	*	*
CV (%)	7.5	3.44	4.50	12.44	4.79	13.41	7.42

ns= non-significant difference, *,** = Means with different letters are significant difference $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$ by DMRT.

ผลการสำรวจโรคและการจำแนกเชื้อราสาเหตุโรคของเมล่อนที่พบในโรงเรือน

จากการสำรวจการเกิดโรคผลเน่าของเมล่อนพบอาการของโรคผลเน่า โดยสังเกตบริเวณรอบ ๆ ขั้ว หรือก้านผล และบริเวณก้นผลที่มีรอยแตกพบเส้นใยเชื้อราสีขาวขึ้นฟูบริเวณแผล เมื่อนำเส้นใยมาส่องใต้กล้องพบ

ลักษณะสปอร์ของเชื้อรา *Fusarium* sp. (Figure 1-A) และโรคผลเน่า (Figure 1-B) โรคผลเน่า (fruit rot) พบเส้นใยสีเทาเข้มขึ้นคลุมทั่วทั้งผลที่เน่า เมื่อแผลขยายจะปรากฏ fruiting body เป็นจุดสีดำเล็ก ๆ เชื้อสาเหตุคือ *Lasiodiplodai* sp.

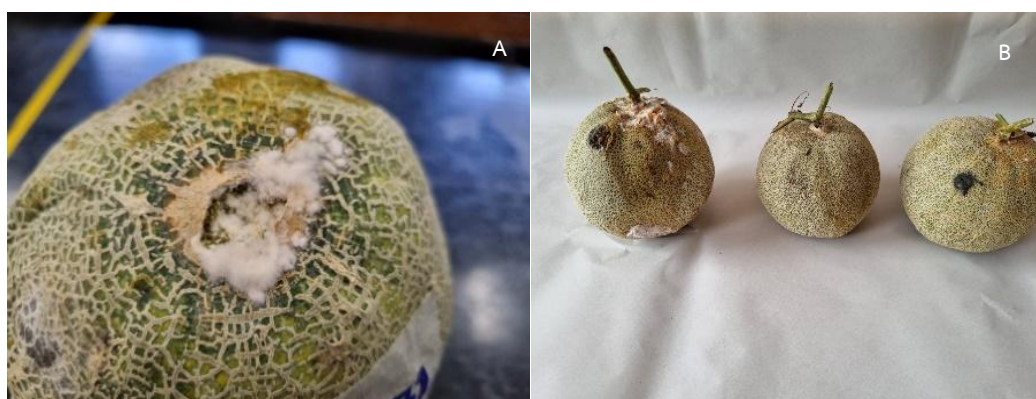


Figure 1 Diseases of melons found in farmers' greenhouses; (A) and (B) fruit rot

ผลการจำแนกชนิดของเชื้อราสาเหตุโรคผลเน่า และโรคเหี่ยวของเมล่อนที่แยกได้จากลำต้นและผลเมล่อน ที่มีอาการเน่า ได้โคลนนิ่งของเชื้อมีลักษณะฟู สีขาวครีมและ สีชมพูอมม่วง ได้เชื้อรา *Fusarium* sp. จำนวน 5 ไอโซเลท ได้แก่ FO01, FO02, FO03, FO04 และ Unknown01 และเชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. จำนวน 2 ไอโซเลท ได้แก่ La03 และ La04 ผลการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ ที่บริษัท MacroGen ประเทศสิงคโปร์ เพื่อเปรียบเทียบ ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ ITS region ที่ได้ กับฐานข้อมูลที่มีรายงานใน GenBank ที่อยู่บนฐานข้อมูล ของ The National Center For Biotechnology Information (NCBI) โดยใช้โปรแกรม BLAST เพื่อทำการจำแนกเชื้อรา สาเหตุโรคผลเน่าของเมล่อนและการสร้างแผนภูมิ วิวัฒนาการ (phylogenetic tree)

PCR Primer ITS5 5' (TCC GTA GGT GAA CCT GCG G) 3' / ITS4 5' (TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC)3' และ sequencing primer ITS 5' (TCC GTA GGT GAA CCT GCG G)3' / ITS4 5'(TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC)3' จำแนกได้เป็น *F. equiseti*

PCR Primer ITS5 5' (TCC GTA GGT GAA CCT GCG G) 3'/ITS4 5' (TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC) 3' และ sequence primer ITS5 5' (TCC GTA GGT GAA CCT GCG G) 3'/ITS4 5' (TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC) 3' จำแนกได้เชื้อรา *L. theobromae*

นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบความเหมือน (identity) หรือความคล้ายคลึง (similarity) ของลำดับ นิวคลีโอไทด์กับฐานข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ลำดับ และทำนาย ลักษณะเพื่อระบุชนิดของเชื้อโดยใช้โปรแกรม BLAST บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตของ GenBank

Table 3 GenBank accession number

Subject						Score		Identities	
Accession	Description	Length	Start	End	Coverage	Bit	E-Value	Match	Pct. (%)
NR_121457.1	<i>F. equiseti</i>	598	6	542	89	976	0.0	535/538	99
KF766192.1	<i>L. theobromae</i>	551	1	535	97	977	0.0	533/535	99

ผลการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์และการสร้างแผนภูมิวิวัฒนาการ (phylogenetic tree)

จากผลการศึกษาทางลักษณะสัณฐานวิทยา และลักษณะทางชีวโมเลกุล ร่วมกับการวิเคราะห์สายสัมพันธ์วิวัฒนาการของเชื้อรา พบว่าสามารถจำแนกเชื้อราสาเหตุโรคเหี่ยวและโรคผลเน่าของเมล่อนได้ โดยจำแนกเชื้อราสกุล *Fusarium* ได้ 1 ชนิด และเชื้อราสกุล *Lasioidiplodia* ได้ 1 ชนิด เมื่อนำลำดับนิวคลีโอไทด์

ของตัวอย่างเชื้อราในสกุล *F. equiseti* (Figure 3) และ *L. theobromae* (Figure 4) ที่ได้จากการทดลองและฐานข้อมูลจาก Genbank ที่มีความใกล้เคียงกับตัวอย่างมาจัดเรียงแนวความสัมพันธ์ เชื้อราสาเหตุโรคผลเน่าของเมล่อนจัดอยู่ในกลุ่มเชื้อรา *F. equiseti* ที่มีค่าความเชื่อมั่น 99% และเชื้อรา *L. theobromae* ที่มีค่าความเชื่อมั่น 99% (Table 3)

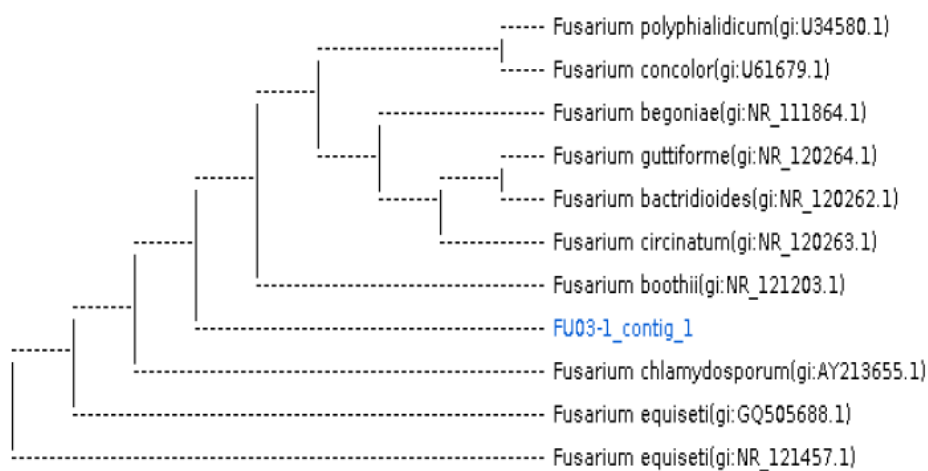


Figure 3 The phylogenetic tree of *F. equiseti*, the causal agent fruit rot of melon, based on ITS region

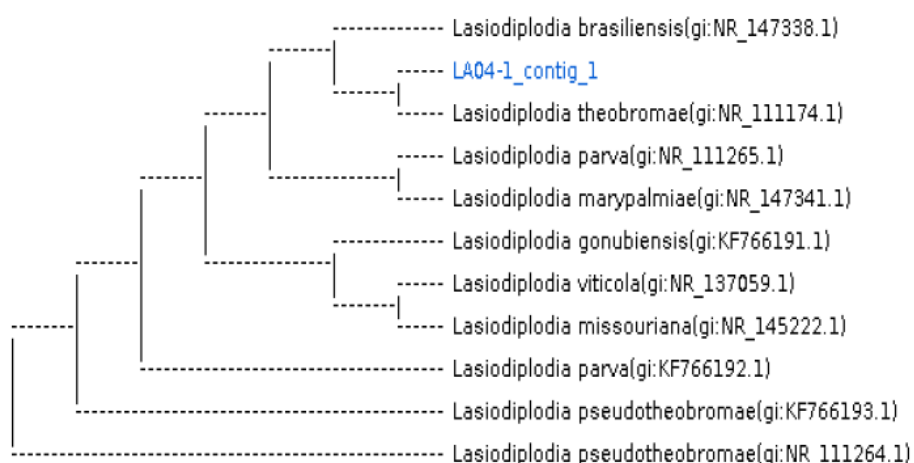


Figure 4 The phylogenetic tree of *L. theobromae*, the causal agent fruit rot of melon, based on ITS region

วิจารณ์ผลการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ แบคทีเรีย *B. subtilis* และเชื้อรา *T. asperellum* ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของเมล่อน สายพันธุ์โมเมจิ ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเมล่อน ในด้านความสูงของต้นเมล่อน ในส่วนคุณภาพผลผลิตของ เมล่อนพบว่า ช่วยเพิ่มความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็ง ที่ละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ทำให้ปริมาณการสะสมไนเตรทในผล ของเมล่อนลดลงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้ใช้ ซึ่งจุลินทรีย์ ปฏิปักษ์ทั้งสองชนิดช่วยเพิ่มความสูงของต้นเมล่อน เพิ่ม ความกว้างใบ ความยาวใบ และมีจำนวนดอกตัวเมีย มากกว่ากรรมวิธีควบคุม และในระยะเก็บเกี่ยวช่วยเพิ่ม คุณภาพของผลผลิตเมล่อน โดยเพิ่มขนาดเส้นรอบวงของ ผล น้ำหนักผล ความหนาของเนื้อ และปริมาณของแข็ง ที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด Amthong *et al.* (2025) รายงานว่า การใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ *T. asperellum* ผสมวัสดุปลูก และพ่นต้นเมล่อนสายพันธุ์คูนามิ ช่วยเพิ่มขนาดของผล เมล่อน เพิ่มความแน่นเนื้อ และมีไนเตรทสะสมในผล เมล่อนน้อย และ *B. subtilis* ช่วยเพิ่มความสูงของต้น เพิ่มน้ำหนักผลผลิต เพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ความหวาน) ของเมล่อนพันธุ์คูนามิ

Janda *et al.* (2022) รายงานว่า การใช้ชีวภัณฑ์ เชื้อรา *T. asperellum* สายพันธุ์ TBRC 4734 พ่นต้นเมล่อน ช่วยเพิ่มคุณภาพผลผลิตของเมล่อนในระยะเก็บเกี่ยวและ ช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลผลิตเมล่อน ให้เพิ่มมากขึ้น รายงานการวิจัยของ Nuangmek *et al.* (2014) พบว่าการใช้ *Trichoderma* sp. รองกันหลุม ก่อนปลูกแคนตาลูป ส่งผลให้แคนตาลูปมีการเจริญเติบโต ทางลำต้นในด้านความสูงและจำนวนข้อมากที่สุด การใช้ เชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* sp. สายพันธุ์ L113 และ *T. harzianum* สายพันธุ์ R2412 ในการปลูกเมล่อน ช่วยเพิ่มจำนวนใบ จำนวนข้อ ความสูงต้น และน้ำหนัก ผลผลิตของเมล่อนมากที่สุด และเชื้อรา *T. harzianum*

(R2412) สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *F. equiseti* (UP-PA002) ในระดับห้องปฏิบัติการได้ (Thianchai, 2020) การใช้เชื้อรา *Trichoderma* sp. NS-03 และผงเชื้อ *Bacillus* sp. NS-02 พ่นแปลงนา ช่วยเพิ่มผลผลิตต่อไร่ของข้าวให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น (Yenjit *et al.*, 2018) จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ *T. asperellum* และ *B. subtilis*

นอกจากคุณสมบัติในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคแล้ว พบว่าจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการ หนึ่ง คือ plant growth promoting ดังที่ Naziya *et al.* (2019) รายงานว่า เชื้อราเอนโดไฟท์สามารถสร้างสาร กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช PGPR: Plant Growth Promoting Rhizobacteria และ PGPF: Plant Growth Promoting Rhizo-fungi ซึ่งจุลินทรีย์ปฏิปักษ์สามารถ อาศัยอยู่ในรากพืชหรือในเนื้อเยื่อของพืชโดยไม่ก่อให้เกิด โรค ซึ่ง *B. subtilis* เป็นแบคทีเรียที่มีบทบาทในการ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช จึงเป็นจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ ชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ในการ ส่งเสริมการเจริญเติบโตและการป้องกันโรคพืชในพืชชนิด อื่นได้ ในส่วนของเชื้อรา *T. asperellum* เป็นเชื้อรา ปฏิปักษ์ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราสาเหตุ โรคพืช และสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืช นอกจากนี้เชื้อราไตรโคเดอร์มามีกลไกอื่น ๆ ที่สำคัญ ในการสร้างสารปฏิชีวนะ การแข่งขัน การเป็นปรสิต และการชักนำให้พืชเกิดความต้านทาน ซึ่งในปัจจุบันมี การนำเชื้อราไตรโคเดอร์มามาใช้ในการควบคุมโรคพืช และการผลิตเพื่อจำหน่ายอย่างแพร่หลาย

จากการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลของโรค เมล่อนในโรงเรือนพบว่า เมล่อนที่ปลูกในโรงเรือนพบการ ระบาดของโรคเหี่ยว โรคใบจุด โรคแอนแทรคโนส โรค ผลเน่าที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา ซึ่งโรคเหล่านี้มักเกิดขึ้น ในพื้นที่ปลูกเมล่อนในโรงเรือนของประเทศไทย Boonsrinukul *et al.* (2016) รายงานว่าโรคเหี่ยวที่เกิด จากเชื้อรา *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* (Fom) เป็นโรคที่สำคัญชนิดหนึ่งของเมล่อน ซึ่งแปลงปลูก

เมล่อนในพื้นที่โครงการศูนย์บริการและพัฒนาลุ่มน้ำปาย ตามพระราชดำริ (ท่าโป่งแดง) นั้น พบโรคเหี่ยวและโรค ผลเน่าของเมล่อนระบาดในโรงเรือนของเกษตรกรเป็น จำนวนมาก เนื่องจากปลูกเมล่อนในช่วงฤดูแล้ง และเกิด พายุฤดูร้อนทำให้โรงเรือนปลูกเมล่อนที่อยู่ในระยะให้ ผลผลิตนั้นได้รับความเสียหาย ทำให้ผลเมล่อนแสดง อาการผลเน่าจากเชื้อราเป็นจำนวนมาก ลักษณะอาการ ผลเน่าของเมล่อนที่พบในโรงเรือนเกิดขึ้นสองลักษณะ คือ อาการเน่าบริเวณหัวผลและบริเวณก้นผล ทำให้ผลผลิต เมล่อนที่อยู่ในระยะใกล้เก็บเกี่ยวนั้นได้รับความเสียหาย โดยเมล่อนที่พบมีอาการเปลือกยุบ ผิวแห้งเป็นสีดำและ มีเส้นใยสีเทาดำขึ้นปกคลุมบริเวณแผล ลักษณะอาการ ของโรคและลักษณะของเชื้อที่ปรากฏนั้น คือ เชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. เชื้อจะเข้าทำลายตรงบริเวณรอยแผล เมื่อแผลขยายใหญ่ขึ้นจะพบ fruiting body ของเชื้อเป็น จุดสีดำ และอาการที่พบบริเวณหัวและก้นของผลเมล่อน ที่ปริแตก บริเวณรอยแผลจะมีลักษณะฉ่ำน้ำ พบเส้นใย สีขาวขึ้นฟูบริเวณแผล สาเหตุการเกิดโรคคล้ายกันกับ การเข้าทำลายของเชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. ลักษณะ ที่ปรากฏของเชื้อที่บริเวณแผลของผลเมล่อน คือ เชื้อรา *Fusarium* sp. ซึ่ง Wonglom and Sunpapao (2020) รายงานว่า จากการสำรวจโรคของเมล่อนที่ปลูกในพื้นที่ 6 จังหวัดของภาคใต้ พบการระบาดของโรคผลเน่าที่เกิดจาก เชื้อรา *Fusarium* sp. และ *Lasiodiplodia* sp.

ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและลักษณะ ทางชีวโมเลกุลร่วมกับการวิเคราะห์สายสัมพันธ์ วิวัฒนาการของเชื้อรา พบว่าสามารถจำแนกได้เชื้อรา สาเหตุโรคเหี่ยวและโรคผลเน่าของเมล่อนได้ โดยจำแนก ได้เชื้อราสกุล *Fusarium* sp. คือ *F. equiseti* และ เชื้อราสกุล *Lasiodiplodia* sp. คือ *L. theobromae* อย่างไรก็ตาม การยืนยันผลการจำแนกชนิดของเชื้อรา จำเป็นต้องมีข้อมูลจากลำดับนิวคลีโอไทด์ชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น Beta-tubulin, elongation factor 1- α (EF1- α) RNA-polymerase I และ II largest (RPB1,RPB2) เพื่อนำมาศึกษาความสัมพันธ์และการวิเคราะห์ลำดับ

นิวคลีโอไทด์ สร้างแผนภูมิ phylogenetic tree ด้วย จะ ทำให้สามารถระบุ species ของเชื้อรา *Fusarium* ได้ อย่างถูกต้อง O'Donnell *et al.* (2000), Rahman *et al.* (2021) รายงานว่า ปี พ.ศ. 2562 พบรายงานการระบาดของ เชื้อรา *F. equiseti* ครั้งแรกในพื้นที่ปลูกแตงโมของ ประเทศมาเลเซีย ทำความเสียหายให้กับผลผลิตแตงโม ที่ปลูกในเขตกันตัง ปะทัง และเซอรัง โดยมีผลผลิต แตงโมเสียหายมากกว่า 10% ในปี พ.ศ. 2562 และ 15% ในปี พ.ศ. 2563 Somrit *et al.* (2010) รายงานว่าเชื้อรา *F. equiseti* สร้างความเสียหายให้กับแคนตาลูปและพีช ชนิดอื่น ๆ สามารถพบเชื้อราชนิดนี้ตั้งแต่การเพาะเมล็ด จนถึงระยะการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลผลิตได้รับความเสียหาย ซึ่งเชื้อราสกุลนี้พบมากในเขตอบอุ่นและเขตร้อน โดยมียีสื่ออาศัยหลายชนิด

เชื้อราสกุล *Lasiodiplodia* 1 สปีชีส์ คือ *L. theobromae* ที่จำแนกได้ เป็นเชื้อราที่ก่อโรคหลัง การเก็บเกี่ยวของผลไม้ ซึ่งพบว่าเชื้อราชนิดนี้สามารถ พบได้ทั่วไปในประเทศเขตร้อนและกึ่งร้อน สามารถแยก เชื้อได้จากผลไม้ที่มีอาการเน่า สามารถก่อโรคในพืชได้มา กว่า 500 ชนิด และทำความเสียหายให้กับผลผลิตร้อยละ 10-15 และความเสียหายจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการขนส่ง และการเก็บรักษาที่มีการจัดการไม่ดี Niraphai and Chukeatirote (2009) สามารถระบุชนิดของเชื้อราโดย การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและเทคนิคทางชีว โมเลกุลเพื่อสามารถจำแนกเชื้อราได้อย่างแม่นยำ คือ การ วิเคราะห์ข้อมูลทาง phylogenetic ตำแหน่งของ ITS โดย วิเคราะห์ร่วมกับ EF1- α จะทำให้ประสิทธิภาพของการ จำแนก species ของเชื้อราในสกุลนี้ได้แม่นยำมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของเมล่อน สายพันธุ์โมเมจิ เริ่มทำการทดลองในช่วงเดือนมีนาคม ถึงสิงหาคม พ.ศ. 2566 การใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์แบคทีเรีย

B. subtilis และเชื้อรา *T. asperellum* เชื้อแบคทีเรียและฟัคนีสายพันธุ์โมเมจิ ส่งผลให้ต้นเมล่อนมีการเจริญเติบโตด้านความสูงมากที่สุด ในด้านคุณภาพผลผลิตของเมล่อน ช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ความหวาน) ผลเมล่อนมีค่าความแน่นเนื้อสูง และมีปริมาณไนเตรทที่สะสมในผลผลิตน้อยที่สุด

จากการสำรวจการเกิดโรคผลเน่าของเมล่อนพบอาการของโรคผลเน่า โดยสังเกตบริเวณรอบ ๆ ขั้วหรือก้านผล และบริเวณก้นผลที่มีรอยแตก พบเส้นใยเชื้อราสีขาวขึ้นฟูบริเวณแผล เมื่อนำเส้นใยมาส่องใต้กล้องพบลักษณะสปอร์ของเชื้อรา *Fusarium* sp. และโรคผลเน่า (fruit rot) พบเส้นใยสีเทาเข้มขึ้นคลุมทั่วทั้งผลที่เน่า เมื่อแผลขยายจะปรากฏ fruiting body เป็นจุดสีดำเล็กๆ เชื้อสาเหตุ คือ *Lasiodiplodia* sp.

ลักษณะสัณฐานวิทยาและลักษณะทางชีวโมเลกุลร่วมกับการวิเคราะห์สายสัมพันธ์วิวัฒนาการของเชื้อรา พบว่าสามารถจำแนกได้เชื้อราสาเหตุโรคเหี่ยวและโรคผลเน่าของเมล่อนได้ โดยจำแนกได้เชื้อราสกุล *Fusarium* sp. และเชื้อราสกุล *Lasiodiplodia* sp. เมื่อนำลำดับนิวคลีโอไทด์ของตัวอย่างเชื้อราที่ได้จากการทดลองและฐานข้อมูลจาก GenBank ที่มีความใกล้เคียงกับตัวอย่างมาจัดเรียงแนวความสัมพันธ์ เชื้อราสาเหตุโรคผลเน่าของเมล่อนจัดอยู่ในกลุ่มเชื้อรา *F. equiseti* ที่มีค่าความเชื่อมั่น 99% และเชื้อรา *L. theobromae* ที่มีค่าความเชื่อมั่น 99%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทุนสนับสนุนการวิจัยจากทุน Fundamental Fund ประเภท Basic Research Fund ปีงบประมาณ 2566 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. จิระเดช แจ่มสว่าง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัด

นครปฐม ศูนย์บริการและพัฒนาลุ่มน้ำปายตามพระราชดำริ (ท่าโป่งแดง) จังหวัดแม่ฮ่องสอน และสำนักงานเกษตรจังหวัดแม่ฮ่องสอน

เอกสารอ้างอิง

- Amthong, S., C. Sritontip, K. Pensri and M. Nakdee. 2025. Effect of Antagonistic Microorganisms on the Growth and Yield of Melons cv. Konami Grown in Mae Hong Son Province. **Journal of Agricultural Science and Management** 8(1): 70–77. [in Thai]
- Boonsrinukul, S., S. Wongchaochant, P. Chulaka and T. Sreewongchai. 2016. Evaluation of pickling melon and commercial melon cultivars for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* Race 1. **Agricultural Science Journal** 47(2): 163–173. [in Thai]
- Chamswarn, C. 2020. **Trichoderma Antagonistic Fungus for Plant Disease Control**. Nakhon Pathom: Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Kamphang Saen Campus. 556 p. [in Thai]
- Chaiyawan, N., R. Morakote and J. Roddee. 2019. Seasonal fluctuations of melon insect pests. **Khon Kaen Agriculture Journal** 47(Suppl. 1): 937–946. [in Thai]

- Information System for Agriculture Production. 2019. **Report on the situation of Japanese melon in 2019.** Retrieved from [http://www.agriinfo.doae.go.th/year63/plant/rortor/veget/japanese melon.pdf](http://www.agriinfo.doae.go.th/year63/plant/rortor/veget/japanese%20melon.pdf) [in Thai]
- Junda, V., K. Tungkannanuruk and A. Amnuaykanjanasin. 2022. Biological control agent as alternative of chemical insecticides in melon greenhouse. **Khon Kaen Agriculture Journal** 50(6): 1683–1700. [in Thai]
- Naziya, B., M. Murali. and K.N. Amruthesh. 2019. Plant Growth-Promoting Fungi (PGPF) instigate plant growth and induce disease resistance in *Capsicum annum* L. upon infection with *Colletotrichum capsici* (Syd.) Butler & Bisby. **Biomolecules** 10(1)41: 1–18 <https://doi.org/10.3390/biom10010041>
- Niraphai, K. and E. Chukeatirote. 2009. Biology of *Lasiodiplodia* spp. **Srinakharinwirot Science Journal** 25(2): 119–137. [in Thai]
- Nuangmek, W., P. Paping and M. Titayavan. 2014. Effect of *Trichoderma* sp. on growth and disease control of cantaloupe (*Cucumis melo*) in the field. **Khon Kaen Agriculture Journal** 42(3): 680–685. [in Thai]
- O'Donnell, K., H.C. Kistler, B.K. Tacke, H.H. Casper. 2000. Gene genealogies reveal global phylogeographic structure and reproductive isolation among lineages of *Fusarium graminearum*, the fungus causing wheat scab. **Proc Natl Acad Sci** 97(14): 7905–7910. <https://doi.org/10.1073/pnas.130193297>
- Rahman, M.Z, K. Ahmad, Y. Siddiqui, N. Saad, T.G. Hun, E.M. Hata, O. Rashed and M.I. Hossin. 2021. First report of *Fusarium equiseti*, causing fruit rot disease of watermelon in Malaysia. **Plant Disease** 106(1): 1–7 <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-21-1027-PDN>
- Somrith, A., Y. Chiamchaisri, T. Bhasabutra and S. Seemadua. 2010. **Surveying, Collecting and Identification of Plant Pathogenic *Fusarium***. 20 p. Annual Report. Bangkok: Plant Protection Research and Development Office. [in Thai]
- Somtrakoon, K. and W. Chouychai. 2023. Roles of plant promoting bacteria on plant growth under drought stress. **Journal of Agricultural Research and Extension** 40(2): 24–36. [in Thai]

- Thianchai, P. 2020. **Control of Fusarium Wilt in Melon by Endophytic Fungi in Combination with Soil Conditioner.** Master Thesis. Phayao University. 114 p. [in Thai]
- Wonglom, P. and A. Sunpapao. 2020. *Fusarium incarnatum* is associated with postharvest fruit rot of muskmelon (*Cucumis melo*). **Journal of Phytopathology** 168(1): 204–210. <https://doi.org/10.1111/jph.12882>
- Wonglom, P., W. Daengsuwan and A. Sunpapao. 2020. Occurrence and disease incidence of muskmelon disease cultivated in polyhouse system in southern Thailand. **Khon Kaen Agriculture Journal** 48(Suppl. 1): 1165–1172. [in Thai]
- Yenjit, P., T. Deathoup and W. Intana. 2018. The combination application of *Trichoderma* sp. and *Bacillus* sp. powders to dirty panicle disease caused by *Bipolaris oryzae* in rice. **Agricultural Science Journal** 49(1): 15–26. [in Thai]

ความหลากหลายของชุมชนแบคทีเรียจากห้อมใบใหญ่ (*Strobilanthes cusia*)
และห้อมใบเล็ก (*Strobilanthes* sp.) โดยการวิเคราะห์เมตาจีโนมิกส์
Bacterial Diversity in Large-Leaf Indigo (*Strobilanthes cusia*) and Small-Leaf Indigo
(*Strobilanthes* sp.) Revealed by Metagenomic Analysis

ณัฐพร จันทร์ฉาย* ปิยวรรณ แสงทอง และอัญศญา บุญประจวบ

Nuttaporn Chanchay*, Piyawan Sangthong and Ansaya Boonpajaub

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

Department Agro-industrial Biotechnology, Maejo University Phrae Campus, Phare, Thailand 54140

*Corresponding author: nuttapornchanchay@gmail.com

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0009-9323-8299>

Received: December 27, 2024

Revised: December 12, 2025

Accepted: January 27, 2026

Abstract

Metagenomics is an effective tool for analyzing the composition and diversity of microbial communities in the environment without the need for cultivation, making it suitable for studying plant-associated microorganisms. *Strobilanthes* spp. (indigo plant) is an economically and scientifically important medicinal plant in northern Thailand. Its leaves are used to produce natural indigo dye and contain bioactive compounds with potential pharmaceutical applications. Understanding the microbial communities associated with *Strobilanthes* spp. is essential for elucidating their roles in promoting plant growth and synthesizing secondary metabolites. This study aimed to investigate the bacterial community diversity in leaves of *S. cusia* (large-leaf) and *Strobilanthes* sp. (small-leaf) collected from five sites in Phrae province using 16S rRNA gene sequencing on the illumina platform. The bacterial communities were predominantly affiliated with the phylum Proteobacteria, particularly the class Gammaproteobacteria and the order Pseudomonadales, including *Pseudomonas* spp. and unclassified bacteria. These taxa are known to contribute to plant growth promotion and the biosynthesis of bioactive compounds. The findings provide insight into the microbial diversity associated with *S. cusia*, offering potential applications in the pharmaceutical, textile, and agricultural industries.

Keywords: *Strobilanthes cusia*, *Strobilanthes* sp., DNA purity, metagenomics, genetic diversity

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์เมตาจีโนมิกส์เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์องค์ประกอบและความหลากหลายของชุมชนจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมโดยไม่จำเป็นต้องเพาะเลี้ยง ทำให้เหมาะสมสำหรับการศึกษาจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับพืชสมุนไพร ห้อม (*Strobilanthes* spp.) ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของภาคเหนือของประเทศไทย ใบของห้อมถูกนำมาใช้ผลิตสีย้อมครามธรรมชาติและมีรายงานว่ามีการออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีศักยภาพทางการแพทย์ การศึกษาชุมชนจุลินทรีย์ที่อยู่ร่วมกับห้อมจึงมีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจบทบาทของจุลินทรีย์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และการสังเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายของชุมชนแบคทีเรียจากใบของห้อมใบใหญ่ (*Strobilanthes cusia*) และห้อมใบเล็ก (*Strobilanthes* sp.) ที่เก็บจาก 5 พื้นที่ในจังหวัดแพร่ ด้วยเทคนิค 16S rRNA gene sequencing บนแพลตฟอร์ม Illumina ผลการศึกษาพบว่าชุมชนแบคทีเรียส่วนใหญ่จัดอยู่ในไฟลัม Proteobacteria โดยเฉพาะคลาส Gammaproteobacteria และอันดับ Pseudomonadales ซึ่งกลุ่มหลักที่พบ ได้แก่ Pseudomonas และแบคทีเรียที่ยังไม่ถูกจำแนกสายพันธุ์ (unclassified bacteria) ที่มีรายงานว่ามียบทบาทในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและการผลิตสารเมตาโบไลต์สำคัญ ผลการศึกษานี้ช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับห้อม และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อยอดในอุตสาหกรรมทางการแพทย์ สิ่งทอ และเกษตรกรรม ได้อีกในอนาคต

คำสำคัญ: ห้อมใบใหญ่ ห้อมใบเล็ก ความบริสุทธิ์ของดีเอ็นเอ เมตาจีโนมิกส์ ความหลากหลายทางพันธุกรรมของจุลินทรีย์

บทนำ

ห้อมใบใหญ่ (*Strobilanthes cusia* (Nees) Kuntze) และห้อมใบเล็ก (*Strobilanthes* sp.) เป็นพืชสมุนไพรที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและวิทยาศาสตร์สูงในหลายภูมิภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่จังหวัดแพร่ซึ่งเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญ (Chanchay *et al.*, 2021) ใบของห้อมถูกนำมาใช้ในการผลิตสีย้อมครามธรรมชาติ และยังมีการรายงานการค้นพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลายชนิด เช่น isocoumarin strobilanthes A ที่มีฤทธิ์ต้านไวรัสไข้หวัดใหญ่ และอินโดลอัลคาลอยด์กลุ่ม indigodoles A–C ที่แสดงฤทธิ์ต้านการอักเสบ (Wei *et al.*, 2014; Zhou *et al.*, 2017) ความสามารถในการสังเคราะห์สารทุติยภูมิที่มีคุณค่าเหล่านี้ มักมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับจุลินทรีย์เอนโดไฟต์ (endophytic microorganisms) ซึ่งอาศัยอยู่ภายในเนื้อเยื่อพืชโดยไม่ก่อโรค (Ulrich *et al.*, 2008) จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และเป็นแหล่งผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยตรง หรือมีส่วนร่วมในการปรับเปลี่ยนสารที่พืชผลิตขึ้น (Walker *et al.*, 1998; Walsh *et al.*, 2016) ดังนั้น การทำความเข้าใจองค์ประกอบของชุมชนจุลินทรีย์ที่อยู่ร่วมกับห้อมจึงเป็นกุญแจสำคัญในการไขกลไกการผลิตสารสำคัญ และการค้นหาศักยภาพเชิงประยุกต์ใหม่ ๆ

การศึกษาลักษณะความหลากหลายของจุลินทรีย์ในปัจจุบันอาศัยแนวทางเมตาจีโนมิกส์ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สารพันธุกรรมโดยตรงจากสิ่งแวดล้อมโดยไม่พึ่งพาการเพาะเลี้ยงเชื้อ ทำให้สามารถเปิดเผยองค์ประกอบและความหลากหลายของชุมชนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้อย่างครอบคลุม (Rondon, 2000) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาลำดับยีน 16S rRNA ที่มีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์ชุมชนของเชื้อแบคทีเรีย (Klindworth *et al.*, 2013) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่มีอยู่ก่อนหน้านี้ส่วนใหญ่มุ่งเน้น

การศึกษาจุลินทรีย์ที่แยกได้จากส่วนรากหรือไรโซสเฟียร์เป็นหลัก (López-López *et al.*, 2010) ยังคงขาดการศึกษาที่ชัดเจนเกี่ยวกับองค์ประกอบและความหลากหลายของชุมชนแบคทีเรียเอนโดไฟต์ภายในส่วนใบ ของห่อหุ้มทั้งสองชนิดที่ปลูกในจังหวัดแพร่ ซึ่งเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญ ข้อมูลนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเป็นฐานข้อมูลทางนิเวศวิทยา และชี้ให้เห็นถึงกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีศักยภาพในการผลิตสารสำคัญที่สามารถต่อยอดสู่การใช้งานเชิงอุตสาหกรรมในอนาคต

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาองค์ประกอบและความหลากหลายของชุมชนแบคทีเรียเอนโดไฟต์ภายในใบห่อหุ้ม ทั้งชนิด *S. cusia* และ *Strobilanthes* sp. ที่เก็บจากพื้นที่ปลูกในจังหวัดแพร่ โดยใช้เทคนิค 16S rRNA gene sequencing ทั้งนี้เพื่อสร้างฐานข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่จะเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการคัดเลือก และค้นพบจุลินทรีย์ที่มีศักยภาพทางเศรษฐกิจและการแพทย์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมพืชห่อหุ้ม

ทำการเก็บห่อหุ้มใบใหญ่สายพันธุ์ *Strobilanthes cusia* และห่อหุ้มใบเล็กสายพันธุ์ *Strobilanthes* sp. จากพื้นที่ 5 แหล่ง รวมทั้งสิ้น 7 ตัวอย่าง จาก 5 แหล่งในจังหวัดแพร่ ได้แก่ ห่อหุ้มใบใหญ่บ้านน้ำจ้อม (รหัส A) ห่อหุ้มใบเล็กบ้านน้ำจ้อม (รหัส B) ห่อหุ้มใบใหญ่บ้านนาแคม (รหัส C) ห่อหุ้มใบใหญ่บ้านนาควา (รหัส D) ห่อหุ้มใบใหญ่บ้านแม่ลาว (รหัส E) ห่อหุ้มใบใหญ่บ้านนาตอง (รหัส F) และห่อหุ้มใบเล็กบ้านนาตอง (รหัส G) ตัวอย่างถูกเก็บรวบรวมจากแต่ละแหล่งในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อแหล่ง โดยทำการเก็บในช่วงเช้า ด้วยวิธีการเก็บที่สะอาดเพื่อป้องกันการปนเปื้อน และทำการล้างฆ่าเชื้อโดยน้ำเกลือ 0.85% (aseptic technique) แล้วผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และจากนั้นทำการบดใบห่อหุ้มให้ละเอียด

ในไนโตรเจนเหลว จากนั้นจึงทำการสกัดสารพันธุกรรม (DNA) จากเนื้อเยื่อใบ และวิเคราะห์ความหลากหลายของชุมชนแบคทีเรียโดยใช้เทคนิค metagenomic sequencing ผ่านการหาลำดับยีน 16S rRNA เพื่อมุ่งเน้นศึกษาชุมชนจุลินทรีย์เอนโดไฟต์ภายในใบห่อหุ้มโดยเฉพาะ

การสกัดดีเอ็นเอ

การสกัดและการหาลำดับดีเอ็นเอด้วยชุดแยก PowerSoil DNA (MoBioLaboratories, Inc., Carlsbad, CA, USA) คัด DNA จีโนมจากตัวอย่างใบห่อหุ้มที่ทำการบดเรียบร้อยแล้วอย่างละ 0.25 กรัม โดยยึดตามคู่มือของบริษัท ข้อมูลทั้งหมดถูกสร้างขึ้นโดยการหาลำดับเมตาจีโนม และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20°C ได้ ได้ทำการส่งตรวจที่ Next Generation Sequencing (NGS) service from Gibthai Co., Ltd. 3N Holding House, 44/6Sutthisamvinitchai Road, Huaykwang, Samsaennok, Bangkok 10310 THAILAND

การตรวจสอบคุณภาพและปริมาณดีเอ็นเอหลังการสกัด

การสกัดและการหาลำดับดีเอ็นเอด้วยชุดแยก PowerSoil DNA (MoBioLaboratories, Inc., Carlsbad, CA, USA) นำดีเอ็นเอที่ได้จากการสกัดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 และ 280 นาโนเมตร ด้วยเครื่องอ่านบนไมโครเพลท รุ่น SynergyTH multimode microplate reader (BioTek)

การวิเคราะห์จีโนมจุลินทรีย์ด้วยเมตาจีโนมิกส์

การวิเคราะห์จีโนมจุลินทรีย์ด้วยเมตาจีโนมิกส์จะใช้ดีเอ็นเอแบบสำหรับการเพิ่มปริมาณยีน 16S rRNA ซึ่งเป็นยีนเครื่องหมายในการระบุตำแหน่งอนุกรมวิธานของแบคทีเรีย จากนั้นอ่านข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนดังกล่าวด้วยเทคนิค high-throughput sequencing ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้จะผ่านการตรวจสอบคุณภาพ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ F-test และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละทรีตเมนต์โดยใช้ The Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS version 28

ผลการวิจัย

ผลการตรวจสอบคุณภาพและปริมาณดีเอ็นเอหลังการสกัด

ผลการตรวจสอบคุณภาพและปริมาณดีเอ็นเอหลังการสกัดของพืชให้สีครามทั้ง 7 ตัวอย่าง ได้แก่ บ้านน้ำจ้อม

ใบใหญ่ (รหัส A) บ้านน้ำจ้อมใบเล็ก (รหัส B) บ้านนาแคม (รหัส C) บ้านนาคุหา (รหัส D) บ้านแม่ลัว (รหัส E) บ้านนาตองใบใหญ่ (รหัส F) และบ้านนาตองใบเล็ก (รหัส G) แสดงตาม Table 1 เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติด้วยการทดสอบ F-test และ LSD ($p < 0.05$) พบว่าค่าความบริสุทธิ์ของดีเอ็นเอในตัวอย่าง A และ B สูงกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยตัวอย่าง A และ B มีค่าเฉลี่ย 1.849 และ 1.824 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงดีเอ็นเอคุณภาพดีและไม่มีการปนเปื้อนของโปรตีน ในขณะที่ตัวอย่าง D และ G มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 2.2 ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของอาร์เอ็นเอในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ค่าทั้งหมดอยู่ในช่วงที่สามารถนำไปใช้ในการหาลำดับเบสได้เป็นอย่างดี

Table 1 DNA concentration and purity with statistical comparison (F-test, LSD 0.05)

Sample	A260	A280	A260/280	Concentration (ng/ μ l)
A	0.289 $\pm$ 0.407	0.033 $\pm$ 0.006 ^a	1.849 $\pm$ 0.015 ^a	61.206 $\pm$ 12.484 ^a
B	0.057 $\pm$ 0.012	0.031 $\pm$ 0.006 ^a	1.824 $\pm$ 0.005 ^a	57.552 $\pm$ 12.653 ^{ab}
C	0.053 $\pm$ 0.003	0.024 $\pm$ 0.005 ^{ab}	2.171 $\pm$ 0.052 ^{bc}	53.787 $\pm$ 2.984 ^{bc}
D	0.032 $\pm$ 0.018	0.014 $\pm$ 0.008 ^{ab}	2.243 $\pm$ 0.165 ^{cd}	31.899 $\pm$ 18.232 ^e
E	0.057 $\pm$ 0.004	0.029 $\pm$ 0.002 ^b	2.008 $\pm$ 0.021 ^{ab}	57.852 $\pm$ 4.333 ^{ab}
F	0.049 $\pm$ 0.002	0.022 $\pm$ 0.002 ^b	2.169 $\pm$ 0.022 ^{bc}	48.857 $\pm$ 2.448 ^{cd}
G	0.036 $\pm$ 0.005	0.014 $\pm$ 0.002 ^b	2.425 $\pm$ 0.089 ^d	35.994 $\pm$ 13.720 ^{de}

*Means followed by different letters in the same vertical were significantly different at $p < 0.05$ by LSD

An A260/280 ratio between 1.8 and 2.0 indicates good-quality DNA. If the ratio is higher than 2.0, it may suggest slight RNA contamination, which does not affect subsequent metagenomic analysis.

ผลการตรวจสอบคุณภาพของดีเอ็นเอที่สกัดได้จากพืชให้สีครามแสดงให้เห็นว่า ค่าความบริสุทธิ์ (อัตราส่วน A260/280) ของตัวอย่างทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.82–2.42 (Table 1) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ระดับโมเลกุล โดยพบว่าตัวอย่างห้อมใบใหญ่จากบ้านน้ำจ้อม (รหัส A) และห้อมใบเล็กจากบ้านน้ำจ้อม (รหัส B) มีค่าความบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 1.824–1.849 ซึ่งถือว่ามีความบริสุทธิ์สูง

และไม่พบการปนเปื้อนของโปรตีนหรือสารประกอบอื่น (ค่า A260/280 ที่เหมาะสมคือ 1.65–1.85) เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติโดยใช้การทดสอบ LSD พบว่าค่าความบริสุทธิ์ของดีเอ็นเอในตัวอย่าง A และ B สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงถึงคุณภาพของดีเอ็นเอที่ดีเยี่ยม นอกจากนี้ตัวอย่าง A และ B ยังมีความเข้มข้นของดีเอ็นเอเฉลี่ยสูงถึง 61.206 และ 57.552 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร ตามลำดับ

ในขณะที่ตัวอย่างอื่น ๆ มีค่า A260/280 มากกว่า 1.85 โดยเฉพาะตัวอย่าง D และ G ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่ม A และ B อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งบ่งชี้ว่าอาจมีการปนเปื้อนของอาร์เอ็นเอในปริมาณที่สูงกว่าตัวอย่าง A และ B

ผลการวิเคราะห์จีโนมจุลินทรีย์ด้วยเมตาจีโนมิกส์

การวิเคราะห์องค์ประกอบอนุกรมวิธาน (taxonomic composition) ของชุมชนแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับพืช *Strobilanthes* ทั้งสองชนิด ด้วยเทคนิค 16S rRNA gene metagenomics แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการครอบงำที่ชัดเจนในระดับไฟลัม (Phylum) โดยพบว่า Proteobacteria เป็นไฟลัมที่มีความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์เฉลี่ย (mean relative abundance) สูงที่สุดในทุกตัวอย่าง โดยมีสัดส่วนอยู่ในช่วง 45.20–71.24% ซึ่งบ่งชี้ถึงบทบาทสำคัญของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ในระบบนิเวศของพืชเจ้าบ้าน ตามมาด้วยไฟลัมสำคัญอื่น ๆ คือ Actinobacteriota และ Firmicutes (Figure A) ในระดับชั้น (Class) พบว่า Gammaproteobacteria เป็นชั้นที่ครอบงำภายในไฟลัม Proteobacteria (สัดส่วน 35–65%) และแสดงความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตัวอย่างห่อใบใหญ่และห่อใบเล็ก ($p < 0.05$) ซึ่งสะท้อนถึงอิทธิพลของสายพันธุ์พืชเจ้าบ้าน host-specificity) ต่อการคัดเลือก

องค์ประกอบของชุมชนจุลินทรีย์ที่ผิวใบ (phyllosphere) ความโดดเด่นของชั้น Gammaproteobacteria นั้นสอดคล้องกับการพบ Pseudomonadales ในระดับลำดับ (Order) และ Pseudomonadaceae ในระดับวงศ์ (Family) ครอบงำมากที่สุด (22–50% และ 19–43% ตามลำดับ) การครอบงำของวงศ์ Pseudomonadaceae บ่งชี้ว่าชุมชนแบคทีเรียอาจมีศักยภาพในการเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (PGPR) หรือทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมทางชีวภาพ (biocontrol agents) นอกจากนี้ ยังพบ Burkholderiales (3–10%) และ Sphingobacteriales (1–10%) เป็นลำดับสำคัญตามมา ในระดับสกุล (Genus) พบว่า unclassified_Pseudomonas มีความอุดมสมบูรณ์เฉลี่ยสูงสุด (30.19%) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสายพันธุ์ที่พบ ยังไม่ได้ถูกบรรจุในฐานข้อมูลอ้างอิงอย่างสมบูรณ์ (หรือเป็นสายพันธุ์ใหม่) ตามด้วย unclassified_Bacteria (24.84%) และ unclassified_Stenotrophomonas (3.53%) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ตัวอย่างห่อใบเล็กจากบ้านน้ำจ่อม (B) และบ้านนาทอง (G) พบสัดส่วนของสกุล Pseudomonas สูงกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งเน้นย้ำถึงความแปรผันขององค์ประกอบจุลินทรีย์ที่ถูกขับเคลื่อนด้วยปัจจัยเฉพาะพื้นที่ (local environmental factors)

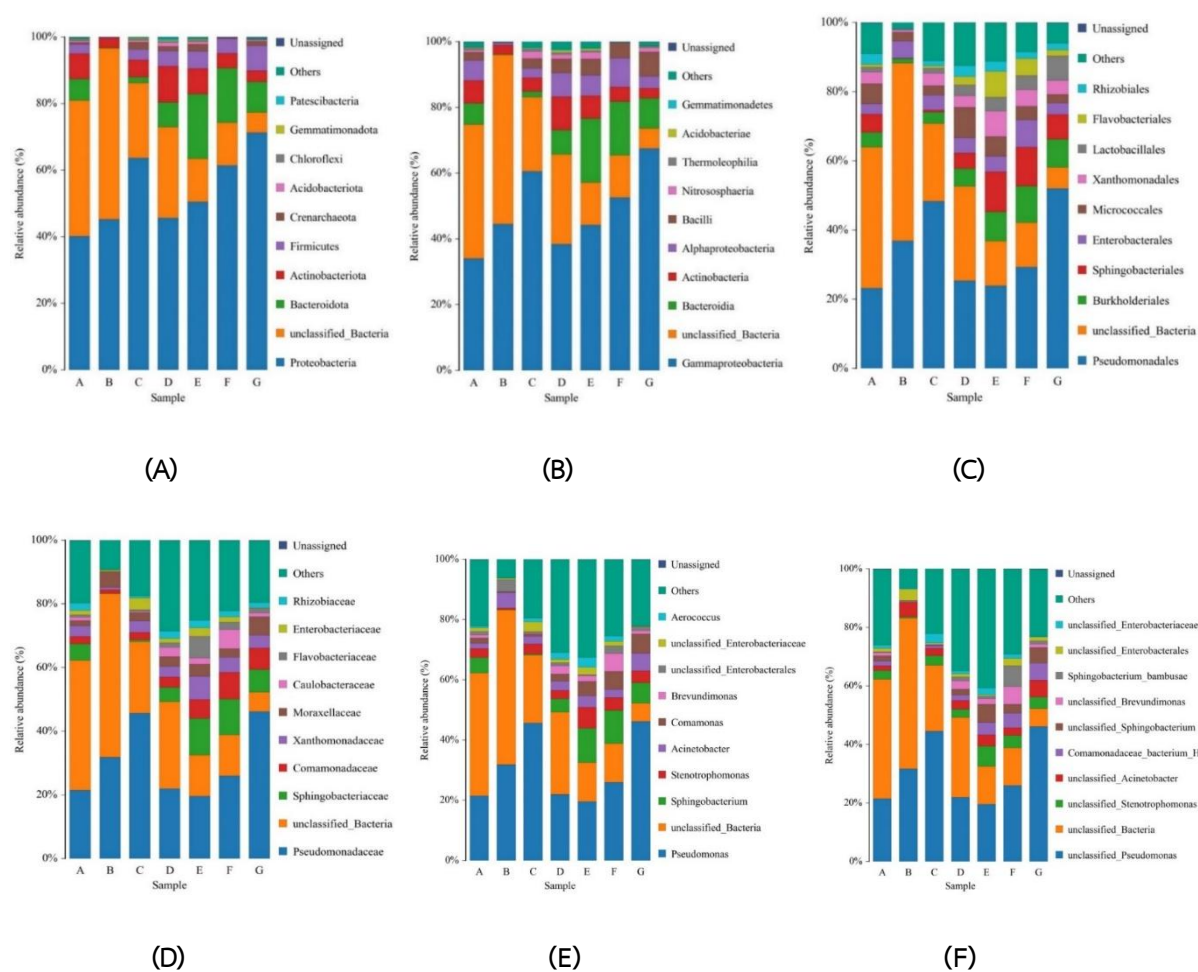


Figure 1 Relative abundance of microbial taxa at phylum, class, order, family, and genus levels

Colored bars represent the relative abundance of each taxon in samples A–G; Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$, LSD test).

พบว่าในระดับลำดับ (order) Pseudomonadales เป็นกลุ่มที่มีความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์สูงสุดในทุกตัวอย่าง (สัดส่วน 22–50%) และความโดดเด่นนี้ยังคงสอดคล้องอย่างต่อเนื่องในระดับวงศ์ (family) โดยพบว่า Pseudomonadaceae มีการครอบงำสูงสุด (สัดส่วน 19–43%) ซึ่งเน้นย้ำถึงบทบาทของกลุ่มจุลินทรีย์ในสกุล *Pseudomonas* ที่มีความสามารถในการเป็น PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) ในเชิงชีวโมเลกุล จุลชีพกลุ่มนี้สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้หลายกลไก เช่น การผลิตไฟโตฮอร์โมน Indole-3-acetic acid (IAA) การสร้างซิเดอโรฟอรัส

(siderophores) เพื่อแย่งชิงธาตุเหล็กจากเชื้อก่อโรค และการผลิตสารต้านจุลชีพ (antibiotics) เพื่อควบคุมสมดุลของชุมชนจุลินทรีย์อื่น วงศ์สำคัญอื่น ๆ ที่พบรองลงมา ได้แก่ unclassified_Bacteria (5–38%) ซึ่งการมีสัดส่วนสูงนี้สะท้อนถึงความไม่สมบูรณ์ของฐานข้อมูลอ้างอิง (database incompleteness) และอาจบ่งชี้ถึงการมีอยู่ของสายพันธุ์เฉพาะถิ่น (endemic หรือ novel taxa) ที่มีลักษณะทางพันธุกรรมแตกต่างจากที่เคยถูกรายงาน นอกจากนี้ ยังพบ Sphingobacteriaceae (5–10%) ซึ่งเป็นที่รู้จักในบทบาทการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนสูง (complex organic matter) เช่น โพลีเมอร์

และสารประกอบอะโรมาติก Xanthomonadaceae (3–5%) ที่แสดงถึงความยืดหยุ่นทางเมตาบอลิซึม (metabolic flexibility) และสามารถอยู่ร่วมกับพืชในฐานะกลุ่มที่ไม่ก่อโรค (non-pathogenic residents) และ Comamonadaceae (2–8%) ซึ่งมีความสำคัญ

ในวัฏจักรไนโตรเจน และความสามารถในการสลายสารประกอบอินทรีย์ที่หลากหลาย ตามลำดับการรวมกันของวงศ์เหล่านี้ แสดงถึงชุมชนจุลชีพที่มีความสามารถในการสนับสนุนการเจริญเติบโตและสุขภาพของพืชอย่างครบวงจร

Table 2 Taxonomic distribution in all sample of species of microorganisms most commonly found in samples A, B, C, D, E, F and G here metagenomics

	A	B*	C	D	E	F	G*	$\bar{x}$
Unclassified_Pseudomonas	21.44	31.7	44.5	21.97	19.59	25.97	46.15	30.19
Unclassified_Bacteria	40.77	51.41	22.56	27.28	12.92	12.85	6.10	24.84
Unclassified_Stenotrophomonas	3.08	0.48	3.32	2.74	6.93	4.23	3.96	3.53
Unclassified_Acinetobacter	1.57	5.04	2.51	3.04	3.82	2.66	5.76	3.47
Comamonadaceae_bacterium_HBT44_5	1.64	0.40	0.77	1.86	4.27	5.00	5.80	2.82
Unclassified_Sphingobacterium	1.76	0.06	0.30	2.02	6.26	3.08	5.40	2.70
Unclassified_Brevundimonas	1.07	0.01	0.28	2.81	1.86	5.95	1.11	1.87
Sphingobacterium_bambusae	0.34	0.00	0.03	1.32	0.90	7.13	1.15	1.55

This table shows the distribution of the most abundant microbial genera found in indigo leaf samples from each location.

The genera *Pseudomonas* and *Stenotrophomonas* are noteworthy, as they have been reported to play roles in the synthesis of indigo and bioactive compounds, which are associated with natural color formation and antimicrobial activity in indigo-producing plants.

ผลการสรุปองค์ประกอบจุลชีพในระดับอนุกรมวิธาน (order) พบว่าความชุกสัมพันธ์ของ Pseudomonadales 34.14% และความชุกสัมพันธ์ของ Burkholderiales 24.84% เป็นกลุ่มเด่นที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์และการต้านจุลชีพ ในขณะที่กลุ่ม *Lactobacillales* 3.89% และ *Flavobacteriales*

3.04% มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอาง (Table 3) โดยรวมผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า ชุมชนจุลชีพเอนโดไฟต์ในใบห้อมมีความหลากหลายสูง และมีองค์ประกอบที่แตกต่างตามพื้นที่ปลูก ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลจากความอุดมสมบูรณ์ของดินและสภาพแวดล้อมเฉพาะพื้นที่

Table 3 Summary of the taxonomy results found and their uses

Taxonomic (order)	Relative abundance (%)	Type	Utilization
Rhizobiales	2.10	Antagonistic microorganisms	Agricultural industry
Flavobacteriales	3.04	Flavobacterial	Food and cosmetic industry
Lactobacillales	3.89	Probiotic	Medical industry /Food and cosmetic industry
Xanthomonadales	4.57	Pathogenic disease	Agricultural industry / Research
Micrococcales	4.61	Pathogenic disease	Agricultural industry / Research
Enterobacterales	5.77	Pathogenic disease	Agricultural industry / Research
Sphingobacteriales	5.88	Pathogenic microorganism in human	Medical industry /Food industry / Research
Burkholderiales	24.84	Pathogenic microorganism in human	Medical industry
Pseudomonadales	34.14	Antagonistic microorganisms	Agricultural industry

This table summarizes the dominant microbial groups at the order level found in indigo leaf samples, along with their types and relevant applications. It highlights the potential of these microorganisms in various industries—for instance, members of the order Pseudomonadales exhibit antifungal properties and can be utilized in agricultural industries, while Lactobacillales show probiotic potential and can be applied in the food and pharmaceutical sectors.

การวิเคราะห์องค์ประกอบจุลินทรีย์ในระดับสกุล (Genus) และสปีชีส์ (species) เผยให้เห็นการครอบงำที่ชัดเจนของกลุ่มที่มีความสำคัญต่อพืชและสิ่งแวดล้อม โดยพบ unclassified_Pseudomonas มีสัดส่วนเฉลี่ยสูงที่สุด (30.19%) ตามมาด้วย unclassified_Bacteria (24.84%) และ unclassified_Stenotrophomonas (3.53%) unclassified_Acinetobacter (3.47%) และ Comamonadaceae_bacterium_HBT44_5

(2.82%) ในระดับสกุล Pseudomonas มีความอุดมสมบูรณ์สูงที่สุดในทุกตัวอย่าง (20–43%) ซึ่งความโดดเด่นนี้ชี้ให้เห็นถึงความยืดหยุ่นทางสรีรวิทยา (physiological flexibility) ของสกุลนี้ในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของพืช และเน้นย้ำถึงบทบาทหลักในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (PGPR) Stenotrophomonas (1–7%) และ Acinetobacter (2–5%) ซึ่งเป็นสกุลที่มีชื่อเสียงในความสามารถในการ

ย่อยสลายสารแปลกปลอม (Xenobiotics) และของเสียที่ติดต่อยาที่ได้จากน้ำมันและมลพิษอื่น ๆ อีกมากมาย จึงมีบทบาทสำคัญในการรักษาสมดุลสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การพบกลุ่มที่จัดเป็น โปรไบโอติกสำหรับพืช (plant probiotics) เช่น unclassified_Sphingobacterium, unclassified_Brevundimonas และพบในสปีชีส์ Sphingobacterium_bambusae (ซึ่งเป็นกลุ่มย่อยของ Sphingobacterium ที่มีสัดส่วน 1–15%) นั้นบ่งชี้ถึงศักยภาพของชุมชนจุลินทรีย์ในการช่วยย่อยสลายชีวมวลและโพลีแซ็กคาไรด์ในพืช และการมีสัดส่วนสูงของ unclassified_Bacteria สะท้อนถึงลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ยังไม่ถูกจัดจำแนกอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเป็นโอกาสในการค้นพบจุลินทรีย์เอนโดไฟต์สายพันธุ์ใหม่ที่เกี่ยวข้องกับหอม

วิจารณ์ผลการวิจัย

การประเมินคุณภาพของดีเอ็นเอผ่านค่าอัตราส่วน A260/A280 ซึ่งส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 1.8 สะท้อนถึงความบริสุทธิ์ที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ระดับโมเลกุล แสดงให้เห็นว่ากระบวนการสกัดดีเอ็นเอมีประสิทธิภาพและข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือในการใช้วิเคราะห์ชุมชนจุลินทรีย์ต่อไป แม้ตัวอย่างบางส่วนมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพข้อมูลโดยรวม ซึ่งสะท้อนถึงความสอดคล้องของวิธีสกัดกับชนิดตัวอย่างพืชใบหอม ผลการศึกษาชุมชนแบคทีเรียในใบหอมจาก 5 พื้นที่ พบความแตกต่างอย่างเด่นชัดโดยมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับคุณภาพดิน โดยเฉพาะพื้นที่บ้านน้ำจ้อมและบ้านนาตองที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ส่งผลให้มีความหลากหลายของจุลินทรีย์ในกลุ่ม Gammaproteobacteria มากกว่าพื้นที่อื่น การทดสอบทางสถิติ (F-test และ LSD) ยืนยันความแตกต่างดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งทำให้ผลที่ได้มีน้ำหนักเชิงหลักฐานรองรับว่าปัจจัยสภาพแวดล้อมมีผลต่อโครงสร้างชุมชนจุลินทรีย์ในใบหอมจริง องค์ประกอบหลักของชุมชนจุลินทรีย์คือไฟลัม

Proteobacteria ซึ่งพบมากที่สุดตัวอย่างจากบ้านน้ำจ้อมและบ้านน้ำจ้อมใบเล็ก โดยคิดเป็นสัดส่วนสูงถึง 40–70% ลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับบทบาททางนิเวศวิทยาของแบคทีเรียแกรมลบที่เกี่ยวข้องกับการตรึงไนโตรเจน การสังเคราะห์สารอินทรีย์ และการคงอยู่ของจุลินทรีย์ในพืชที่ขึ้นในพื้นที่ชื้นและอุดมด้วยอินทรีย์วัตถุ

ขณะที่กลุ่ม Gammaproteobacteria พบมากในพื้นที่บ้านนาตองใบเล็ก สะท้อนถึงศักยภาพของพื้นที่ดังกล่าวในการสนับสนุนจุลินทรีย์ที่มีเส้นทางเมตาบอลิซึมหลากหลาย ในระดับสกุล พบว่า *Pseudomonas* เป็นจุลินทรีย์เอนโดไฟต์หลักที่ตรวจพบอย่างต่อเนื่องในทุกพื้นที่ที่สอดคล้องกับงานของ Meijuan *et al.* (2018) ที่รายงานว่ากลุ่มนี้เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารสีคราม (indigoid compounds) รวมทั้งมีบทบาทต่อคุณสมบัติด้านชีวโมเลกุลในพืชสกุลหอม การศึกษาพบว่าสกุลนี้กระจายตัวสูงสุดในพื้นที่บ้านนาตองใบเล็กและบ้านนาแคม ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าพื้นที่ดังกล่าวมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการตั้งถิ่นของจุลินทรีย์เฉพาะกลุ่ม นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับรายงานของ Chanchay *et al.* (2022) ที่พบ เอนโดไฟต์ในกลุ่มใกล้เคียงกัน เช่น *Pseudoxanthomonas spadix* ที่มีบทบาทสนับสนุนการเจริญเติบโตของต้นหอมและยับยั้งเชื้อราก่อโรค ซึ่งช่วยเสริมความเข้าใจว่าชุมชนจุลินทรีย์ในใบหอมไม่เพียงมีความหลากหลาย แต่ยังสัมพันธ์ใกล้ชิดกับสุขภาพของพืชและกระบวนการสังเคราะห์สารสำคัญ เช่น tryptanthrin และ indigo

โดยรวมแล้ว ผลการวิจัยนี้ชี้ว่าความแตกต่างของสภาพแวดล้อมในแต่ละพื้นที่มีผลต่อองค์ประกอบจุลินทรีย์เอนโดไฟต์ในใบหอมอย่างชัดเจน และองค์ประกอบที่โดดเด่น เช่น Proteobacteria และสกุล *Pseudomonas* มีบทบาทสำคัญต่อชีววิทยาของพืชและการสังเคราะห์สารชีวโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับคุณค่าทางเศรษฐกิจของหอม ผลลัพธ์ดังกล่าวจึงเป็นหลักฐานที่เสริมความเข้าใจด้านนิเวศวิทยาจุลินทรีย์ของหอมในเชิงระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้เป็นรายงานฉบับแรกที่วิเคราะห์ความหลากหลายของชุมชนแบคทีเรียเอนโดไฟต์ในใบห้อม (*Strobilanthes cusia* และ *Strobilanthes* spp.) จากพื้นที่จังหวัดแพร่ โดยใช้เทคนิคเมตาจีโนมิกส์เชิง (metagenomic sequencing) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนถึงการครอบงำของแบคทีเรียในไฟลัม Proteobacteria โดยเฉพาะสกุล *Pseudomonas* ซึ่งมีสัดส่วนสูงสุดและมีความสำคัญทางนิเวศวิทยาอย่างยิ่ง การครอบงำนี้สะท้อนถึงบทบาทสำคัญของจุลินทรีย์เหล่านี้ต่อการดำรงชีพของพืชห้อม ผ่านกลไกเชิงชีวโมเลกุลในการปกป้องและส่งเสริมการเจริญเติบโต (PGPM) ยิ่งไปกว่านั้น การค้นพบนี้ชี้ให้เห็นว่า *Pseudomonas* และจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องมีศักยภาพสูงในการเป็นจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (PGPM) และ/หรือในการมีส่วนร่วมในกระบวนการสังเคราะห์สารทุติยภูมิที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เช่น สารอินดิโกและไตรพแทนทริน ข้อมูลที่ได้จึงเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการศึกษาต่อยอดเชิงหน้าที่ (functional genomics) เพื่อพัฒนาเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้ให้เป็นชีวภัณฑ์ (bioproducts) หรือแหล่งผลิตสารธรรมชาติเชิงพาณิชย์ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาคความหลากหลายและลักษณะการทำงานของชุมชนจุลินทรีย์จากห้อม ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนวิจัยจาก โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (อพ.สธ.-มจ.) ปี 2568 และศูนย์ความเป็นเลิศชีวิตนวัตกรรมเกษตรตามอัตลักษณ์ท้องถิ่นดิน-น้ำ-ป่าอย่างยั่งยืน ห้องปฏิบัติการชีวนวัตกรรมสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Chanchay, N., A. Boonprajaub and R. Dachprom. 2022. Effect of endophytic bacteria on growth of indigo plants. **VRU Agricultural and Food Journal** 1(2): 23–33. [in Thai]
- Chanchay, N., M. Jumpatase and A. Boonprajaub. 2021. Carboxymethyl Cellulose with Crude Extracts of Hom, Bamboo Mushroom Mucus and Vegetable Watercress for Cosmetics Application. pp. 1292-1302. *In Proceeding of MJU Annual Conference 24-25 December 2021*. Chiang Mai: Maejo university. [in Thai]
- Klindworth, A., E. Pruesse, T. Schweer, J. Peplies, C. Quast, M. Horn and F.O. Glöckner. 2013. Evaluation of general 16S ribosomal RNA gene PCR primers for classical and next-generation sequencing-based diversity studies. **Nucleic Acids Research** 41(1): 1–11.
- López-López, A., MA. Rogel, E. Ormeño-Orrillo, J. Martínez-Romero and E. Martínez-Romero. 2010. Phaseolus vulgaris seed-borne endophytic community with novel bacterial species such as *Rhizobium endophyticum* sp. nov. **Syst. Applied Microbiology** 33: 322–327.

- Meijuan, Z., Z. Yongjia, C. Shijie and D. Yong. 2018. Deciphering the bacterial composition in the rhizosphere of *Baphicacanthus cusia* (NeeS) Bremek. **Scientific Reports** 18(8): 15831.
- Rondon, M.R., P.R. August, A.D. Bettermann, S.F. Brady, T.H. Grossman, M.R. Liles, K.A. Loiacono, B.A. Lynch, I.A. MacNeil, C. Minor, C.L. Tiong, M. Gilman, M.S. Osburne, J. Clardy, J. Handelsman and R.M. Goodman. 2000. Cloning the soil metagenome: a strategy for accessing the genetic and functional diversity of uncultured microorganisms. **Applied and Environmental Microbiology Journal** 66: 2541–2547.
- Ulrich, K., A. Ulrich and D. Ewald. 2008. Diversity of endophytic bacterial communities in poplar grown under field conditions. **FEMS Microbiology Ecology** 63(2): 169–180.
- Walker, R., A.A. Powell and B. Seddon. 1998. Bacillus isolates from the spermosphere of peas and dwarf French beans with antifungal activity against *Botrytis cinerea* and *Pythium* species. **Journal of Applied Microbiology** 84: 791–801.
- Walsh, A.M., F. Crispie, K. Kilcawley, O. O’Sullivan, M.G. O’Sullivan, M.J. Claesson and P.D. Cotter. 2016. Microbial succession and flavor production in the fermented dairy beverage kefir. **mSystems** 1(5): 00052–16. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00052-16>
- Wei, G., Y. Zang, X.J. Hao, F.M. Yang, Q.Y. Sun, L. Susan, M. Natschke, K.H. Lee, Y.H. Wang and C.L. Long. 2014. Indole alkaloid glycosides from the aerial parts of *Strobilanthes cusia*. **Journal of Natural Products** 77: 2590–2594.
- Zhou, B., Z. Yang, Q. Feng, X. Liang, J. Li, M. Zanin, Z. Jiang and N. Zhong. 2017. Aurantiamide acetate from *Baphicacanthus cusia* root exhibits anti-inflammatory and anti-viral effects via inhibition of the NF-kB signaling pathway in Influenza A virus-infected cell. **Journal of Ethnopharmacology** 199: 60–67.

การประเมินมูลค่านิเวศบริการของต้นไม้ในพื้นที่ป่าไม้บริเวณฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้
จังหวัดเชียงใหม่

Ecological Service Valuation of Tree Species in Forest Areas
of Maejo University Farm, Chiang Mai

อริสรา ทันนาเขตต์¹ สุธีระ เหมฮัก^{1,2,*} วิชญ์ภาส สังพาลี^{1,2} วณิดา ปัญญา¹

ธีรานนท์ ปาสุธรรม³ และชนิษฐา เสถียรพีระกุล^{1,4}

Arissara Tunnaket¹, Sutheera Hermhuk^{1,2,*}, Witchaphart Sungpalee^{1,2}

Wanida Panya¹, Teeranon Pasutham³ and Kanitta Satienperakul^{1,4}

¹สาขาการพัฒนากฎมัยสังคมอย่างยั่งยืน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²วิชาเอกทรัพยากรป่าไม้และการจัดการ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

³สาขาสหวิทยาการเกษตร คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

⁴สาขาเศรษฐศาสตร์เกษตรและสิ่งแวดล้อม คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Program in Geosocial Based Sustainable Development, Faculty of Agricultural Production
Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50209

²Program in Forest Resources and Management, Faculty of Agricultural Production
Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50209

³Program in Interdisciplinary Agriculture, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50209

⁴Program in Agricultural and Environmental Economics, Faculty of Economics, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50209

*Corresponding author: h.sutheera@gmail.com

*ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6901-154X>

Abstract

Received: January 08, 2026

Revised: March 24, 2026

Accepted: April 02, 2026

This study quantified forest ecosystem services within the farm area of Maejo University, Chiang Mai with emphasis on supporting and regulating functions. The analysis estimated timber volume and the economic value of carbon storage in forest biomass. Species diversity was assessed, and tree species were determined based on the IUCN Red List. Timber volume and carbon storage in the forest biomass of large trees were quantified within permanent sample plots. Data were obtained from two permanent plots, each covering 4 hectares (25 rai), located within the study area. The forest was classified as a secondary dry dipterocarp forest, comprising 32 species, 28 genera, and 18 families. The dominant species, based on stand structure and the Importance Value Index (IVI), was *Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq. The conservation status assessment identified Least Concern (LC) - 23 species; Near Threatened (NT) - 3 species; Critically Endangered (CR) - 1 species; and Endangered (EN) - 1 species; the other four species were not listed in the IUCN Red List. Regulating

services were quantified through carbon storage and sequestration. Forest carbon stock averaged 37.89 t C ha⁻¹, while carbon sequestration was estimated at 19.09 tCO₂eq ra⁻¹. Over a two-year period (baseline year 2025), net carbon sequestration increased by 133.96 tCO₂eq, corresponding to an economic value of 19,476.39 Thai Baht. Provisioning services were represented by timber volume, with an average of 18.46 m³ ha⁻¹ and a total stand volume of 960.09 m³, yielding an estimated economic value of 1,440,139 Thai Baht. The total economic value of ecosystem services (regulating and provisioning) within the University farm area in 2025 was estimated at 1,459,615.39 Thai Baht. These results demonstrate that the secondary forest system contributes to carbon storage and economic valuation within the university-managed landscapes. Management interventions, including forest patrol, stakeholder awareness, and wildfire prevention, are associated with the maintenance of regulating and supporting services, thereby sustaining ecosystem service flows and enhancing long-term natural capital value.

Keywords: species diversity, timber volume, aboveground biomass, carbon storage
deciduous dipterocarp forest

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการบริการของระบบนิเวศป่าไม้ในพื้นที่ฟาร์มของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ในด้านการเป็นแหล่งสนับสนุน และการควบคุมกลไกของระบบนิเวศป่าไม้ โดยทำการประเมินมูลค่าปริมาตรไม้ และมูลค่าของการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ในมวลชีวภาพป่าไม้ของพื้นที่ โดยวิเคราะห์ความหลากหลายชนิด ประเมินสถานภาพพรรณไม้ ตามบัญชีแดงของชนิดพันธุ์ที่ถูกคุกคาม (IUCN red list) คำนวณปริมาตรไม้ และประเมินการกักเก็บคาร์บอนในรูปมวลชีวภาพของต้นไม้ใหญ่ ในพื้นที่แปลงตัวอย่างถาวร ขนาด 4 เฮกตาร์ (25 ไร่) จำนวน 2 แปลง ในพื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษาพบว่า สังคมพืชในพื้นที่เป็นป่าเต็งรังรุ่นสอง ชนิดพรรณไม้มีจำนวน 32 ชนิด 28 สกุล 18 วงศ์ ประเมินสถานภาพการอนุรักษ์ตามบัญชีแดงของชนิดพันธุ์ที่ถูกคุกคามได้ดังนี้ สถานภาพเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ (Least

Concern: LC) จำนวน 23 ชนิด สถานภาพเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ (Near Threatened: NT) จำนวน 3 ชนิด สถานภาพเสี่ยงขั้นวิกฤติต่อการสูญพันธุ์ (CR - Critically endangered species) จำนวน 1 ชนิด สถานภาพใกล้การสูญพันธุ์ (EN - Endangered species) จำนวน 1 ชนิด และไม่ได้รับระบุไว้ในสถานภาพการอนุรักษ์ จำนวน 4 ชนิด โดยชนิดไม้เด่นตามค่าดัชนีความสำคัญทั้งพื้นที่ คือ ยางเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq.) สำหรับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ในพื้นที่ 2 แปลงตัวอย่างถาวร มีค่าเท่ากับ 37.89 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ มีปริมาตรไม้เท่ากับ 18.46 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์ หรือปริมาตรไม้ทั้งหมดของพื้นที่มีค่าเท่ากับ 960.09 ลูกบาศก์เมตร สามารถคิดเป็นมูลค่าได้เท่ากับ 1,440,139 บาท ส่วนปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 19.09 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ และเมื่อคำนวณการเพิ่มขึ้นจากปีฐานของการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะเวลา 2 ปี (พ.ศ. 2568) เพิ่มขึ้นทั้งหมดเท่ากับ 133.96 ตัน คิดเป็น

มูลค่าเท่ากับ 19,476.39 บาท ซึ่งผลรวมการประเมินมูลค่านิเวศบริการของผืนป่าฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในปี พ.ศ. 2568 มีมูลค่าเท่ากับ 1,459,615.39 บาท ผลการศึกษาสามารถชี้ให้เห็นว่าการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ของพื้นที่มหาวิทยาลัย ตลอดจนการมีมาตรการในการดูแลรักษาด้านการลาดตระเวน การประชาสัมพันธ์ และการป้องกันไฟป่าในพื้นที่วิกฤติ เป็นผลให้เห็นมูลค่าด้านนิเวศบริการ ที่คงอยู่ และสามารถเพิ่มขึ้นได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ความหลากหลายชนิด ปริมาตรไม้ มวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน ป่าเต็งรัง

บทนำ

ระบบนิเวศป่าไม้ (forest ecosystem) หมายถึง แหล่งรวมของสิ่งมีชีวิตทั้งพืช สัตว์ป่า และจุลินทรีย์ ที่มาอาศัยอยู่ร่วมกันและก่อให้เกิดความสัมพันธ์ต่อสิ่งมีชีวิตด้วยกันเองในหลายรูปแบบอย่างเป็นระบบ มีการส่งผ่านพลังงานและการหมุนเวียนแร่ธาตุ (Perry *et al.*, 2008) ทั้งนี้ระบบนิเวศป่าไม้มีประโยชน์ต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม การพึ่งพิงระบบนิเวศย่อมส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อมนุษย์ และทรัพยากรธรรมชาติ แต่การใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่มักขาดความตระหนักถึงความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมและความสมดุลของระบบนิเวศ (Daily, 1997) ดังนั้น ในปัจจุบันจึงมีการให้ความสำคัญต่อการประเมินคุณค่าของระบบนิเวศในระดับประเทศและระดับโลก เพื่อแสดงข้อมูลผลกระทบด้านเศรษฐศาสตร์ที่เกิดจากระบบนิเวศเสื่อมโทรม และนำผลการประเมินคุณค่าของระบบนิเวศเพื่อไปใช้ในการกำหนดกรอบนโยบายและข้อบังคับของภาคส่วนที่เกี่ยวข้องเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ทำให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในระบบนิเวศ เกิดความตระหนักถึงความสำคัญของการบริหารจัดการให้เกิดการใช้บริการนิเวศอย่างยั่งยืน เมื่อประเมินมูลค่าของผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมในระดับโลก

นั้น พบว่ามีมูลค่าสูงถึงหลายล้านเหรียญสหรัฐต่อปี (Carpenter *et al.*, 2006) โดยมีการรายงานว่าการบริการของระบบนิเวศป่าไม้ ไม่ได้ส่งผลกระทบเฉพาะทางชีววิทยาหรือนิเวศวิทยาเท่านั้น แต่มีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และภูมิปัญญาท้องถิ่นอีกด้วย (German International Cooperation Agency *et al.*, 2013)

นิเวศบริการ (ecosystem services) สามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์ในลักษณะการพึ่งพาอาศัยระหว่างมนุษย์กับระบบนิเวศ (Bolund and Hunhammar, 1999) โดย Millennium Ecosystem Assessment (2005) ได้จำแนกการบริการของระบบนิเวศไว้ 4 ด้าน คือ การบริการด้านการเป็นแหล่งผลิต (provisioning services) เป็นผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากระบบนิเวศ รวมถึงเป็นแหล่งวัตถุดิบที่นำมาใช้ประโยชน์ในการผลิต เช่น แหล่งอาหาร น้ำ เส้นใย เชื้อเพลิง เป็นต้น การบริการด้านการควบคุม (regulating services) เป็นกลไกทางธรรมชาติที่เอื้อประโยชน์ต่อมนุษย์ทางอ้อม เช่น การควบคุมคุณภาพอากาศ การควบคุมสภาพภูมิอากาศ การป้องกันน้ำท่วม การป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน การควบคุมเชื้อโรค เป็นต้น การบริการด้านวัฒนธรรม (cultural services) ผลประโยชน์รองที่ได้รับจากระบบนิเวศโดยได้รับทางด้านจิตใจ ส่งเสริมให้เกิดคุณค่าทางด้านความรู้ ด้านนันทนาการ และการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ โดยระบบนิเวศทำหน้าที่เป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจให้กับมนุษย์ เอื้ออำนวยประโยชน์ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น กิจกรรมการปีนเขา การเดินป่า การตั้งแคมป์ การดูนก และการส่องสัตว์ป่า ด้านการเป็นแหล่งเรียนรู้ ซึ่งระบบนิเวศและองค์ประกอบของระบบนิเวศเป็นแหล่งเรียนรู้ที่สำคัญของมนุษย์ ซึ่งการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นได้ทั้งการเรียนรู้ที่เป็นทางการ และการเรียนรู้ที่ไม่เป็นทางการ และการบริการด้านการสนับสนุน (supporting services) กระบวนการทางธรรมชาติที่สนับสนุนให้บริการนิเวศด้านอื่น ๆ เกิดขึ้นได้ เช่น การเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหาร การเป็นแหล่งห่วงโซ่อาหาร

การเป็นแหล่งความหลากหลายทางชีวภาพ เป็นต้น (Aznar-Sánchez *et al.*, 2018) ซึ่งบริการด้านการสนับสนุนนี้จะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยทางอ้อม และเห็นผลในระยะยาว แต่สำหรับการบริการในรูปแบบอื่น ๆ ได้แก่ การเป็นแหล่งผลิต การควบคุมกลไกระบบ และการบริการด้านวัฒนธรรม จะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตโดยตรงในระยะเวลานั้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ระบบนิเวศมอบให้สิ่งมีชีวิตเพื่อตอบสนองความต้องการทั้งทางตรงและทางอ้อม

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการศึกษาการให้บริการของระบบนิเวศอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการบริการของป่าไม้ในเมือง (urban forestry) ที่มักประเมินเป็นมูลค่าออกมาเป็นรูปของเงินที่ได้จากการให้บริการหรือที่ระบบนิเวศนั้นเก็บไว้ (Yarnvudhi *et al.*, 2021) ส่วนการบริการของระบบนิเวศป่าไม้ มักมีการศึกษาเชิงระบบรูปแบบการใช้ที่ดินที่มีชุมชนโดยรอบร่วมใช้ประโยชน์ด้วย (Chawhia *et al.*, 2025; Hermhuk *et al.*, 2025) เพื่อเป็นการแสดงออกถึงการที่ชุมชนโดยรอบพื้นที่ป่านั้น ๆ ได้รับความดูแลป่าหรือรูปแบบการใช้ที่ดินที่เป็นป่าไม่ว่าประเมินเป็นมูลค่าได้อย่างไร ควรค่าแก่การรักษาไว้หรือไม่ นอกเหนือจากการได้ทราบเรื่องความหลากหลายชนิดจำนวนชนิดพืชหรือสัตว์ที่ชาวชุมชนใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ ซึ่งการประเมินการบริการของระบบนิเวศทั้ง 4 รูปแบบนั้นอาจแตกต่างกันหัวข้อประเมินย่อย ทั้งทางบริบทของสถานที่ที่ประเมิน รูปแบบของระบบนิเวศ และระยะเวลาที่ประเมิน พื้นที่ในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประกอบด้วยพื้นที่ใช้ในการเรียนการสอน และพื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัย ที่มีรูปแบบการใช้ที่ดินที่หลากหลายและแตกต่างกันไปตามการจัดสรรเพื่อการเรียนการสอน วิจัยและบริการ Sri-Ngernyuang *et al.* (2023) โดยมีพื้นที่ป่าไม้ที่ยังขาดข้อมูลศึกษาอย่างที่กำลังมาข้างหน้า

พื้นที่ฟาร์มของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ได้รับการอนุญาตให้เข้าใช้ประโยชน์ในเขตป่าสงวนแห่งชาติ เมื่อวันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ. 2567 โดยได้กันพื้นที่ป่าไม้ที่เป็นตัวแทนมากกว่าร้อยละ 32 ของพื้นที่ทั้งหมด คิดเป็น

จำนวน 325 ไร่ (Sri-ngernyuang *et al.*, 2023) เพื่ออนุรักษ์พัฒนาป่าต้นน้ำ และพัฒนาส่งเสริมอาชีพชุมชนบ้านโป่ง ส่งเสริมให้หมู่บ้านใกล้เคียงได้เข้ามาเรียนรู้ เพื่อการยกระดับสังคมและสิ่งแวดล้อมให้มีการพัฒนาอย่างยั่งยืน ตามแผนพัฒนาความเป็นเลิศของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ พ.ศ. 2566–2570 แผนงานที่ 2.6 พัฒนาและเร่งแก้ไขปัญหาระบบการธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยมุ่งเน้นการเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ (Maejo University, 2021) จากที่มีการเก็บรักษาป่าไม้ของมหาวิทยาลัยไว้นั้น ได้นำไปสู่การเข้าใช้ประโยชน์ป่าไม้ในด้านต่าง ๆ ทั้งบุคลากร นักศึกษานักวิจัย และชุมชนโดยรอบ ด้วยเหตุปัจจัยเหล่านี้จึงนำไปสู่วัตถุประสงค์ในการศึกษา คือ ศึกษาการให้บริการของระบบนิเวศป่าไม้ในพื้นที่ฟาร์มของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สามารถประเมินเป็นมูลค่าเบื้องต้นเพื่อทราบการให้บริการของระบบนิเวศป่าไม้ ด้านการบริการทางนิเวศวิทยาป่าไม้ ด้านการสนับสนุนความหลากหลายชนิดของชนิดพันธุ์ไม้ ปริมาตรไม้และมูลค่าตามราคาตลาด และด้านการควบคุมกลไกของระบบ คือ การกักเก็บคาร์บอนในรูปมวลชีวภาพป่าไม้ เพื่อการประเมินมูลค่าด้านเศรษฐศาสตร์ป่าไม้ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ดำเนินการในพื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ อยู่ในตำบลป่าไผ่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 325 ไร่ โดยวางแผนสำรวจแบบถาวร (permanent sampling plot) ขนาด 4 เฮกตาร์ (25 ไร่) จำนวน 2 แปลงสำรวจ (Figure 1) ขนาดแปลงละ 200x200 เมตร เพื่อศึกษาองค์ประกอบของพรรณไม้ในสังคมพืชที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ จากนั้นทำการแบ่งแปลงย่อยออกเป็นขนาด 20x20 เมตร (จำนวน 200 แปลง) วัดขนาดความโตของต้นไม้ยืนต้นที่มีขนาดความโตที่ระดับความสูงเพียงอก (Girth of Best Height: GBH) ตั้งแต่ 50 ซม. ตัดหมายเลขประจำต้น บันทึกขนาด ชื่อสามัญ หากไม่ทราบชื่อจึงเก็บตัวอย่างใบ ดอก หรือผล

เพื่อนำไปพิสูจน์ชนิดไม้ วัดความสูงทั้งหมดด้วยเครื่องมือวัดอัลตราโซนิก (กล้องวัดระยะเลเซอร์ Forestry Pro II) ตรวจสอบสถานภาพพืชตามสถานภาพการอนุรักษ์ใน

บัญชีแดง (International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List) ในระบบออนไลน์ในเว็บไซต์ <https://www.iucnredlist.org/>

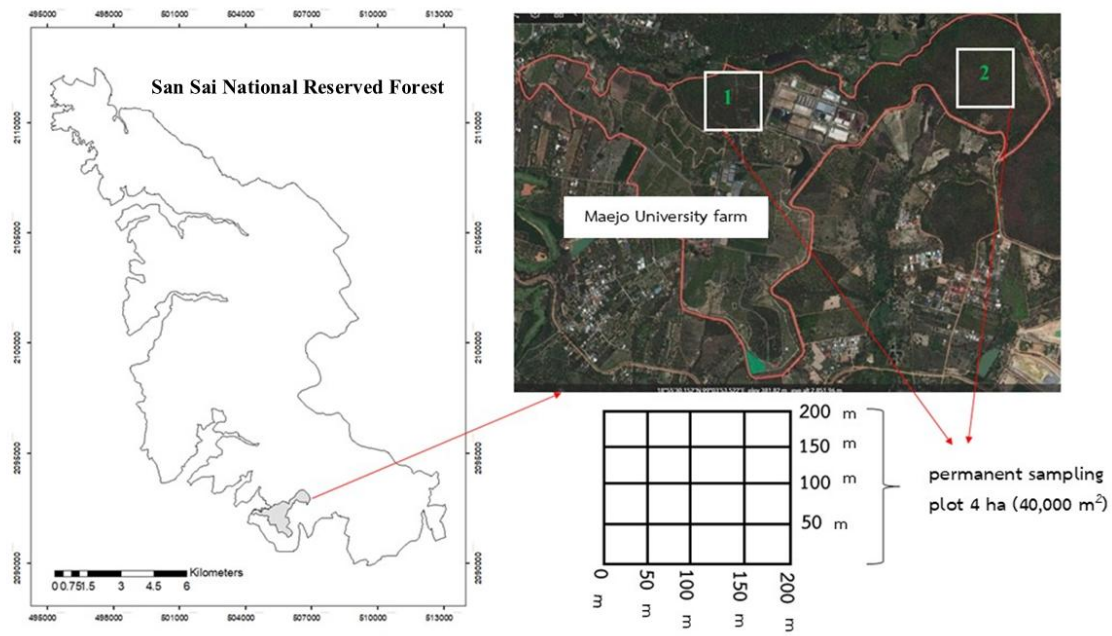


Figure 1 The study area at Maejo University farm and the 4-ha permanent sampling plots

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลนิเวศบริการ

ด้านการเป็นแหล่งสนับสนุนทางนิเวศวิทยาป่าไม้

1) การวิเคราะห์องค์ประกอบของพรรณไม้ในแต่ละแปลงสำรวจ โดยใช้ค่าดัชนีความสำคัญ (Importance Value Index: IVI) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงออกของพืชชนิดใดชนิดหนึ่งในการครอบครองพื้นที่ โดยอ้างอิงสูตรการคำนวณตาม Marod and Kutintara (2009) ดังนี้

$$IVI (\%) = RD (\%) + RF (\%) + RDo (\%)$$

โดย

RF (Relative Frequency) = ความถี่สัมพัทธ์ (%)

RD (relative density) = ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (%)

RDo (relative dominance)

= ค่าความเด่นสัมพัทธ์ (%)

ความหนาแน่น (Density: D) คือ จำนวนต้นทั้งหมดที่ปรากฏในแปลงตัวอย่างต่อหน่วยพื้นที่ คำนวณได้จาก

$$D = \frac{\text{จำนวนต้นของชนิดไม้ในแปลงตัวอย่างทั้งหมดที่ปรากฏในแปลงตัวอย่าง}}{\text{หน่วยพื้นที่ทั้งหมดของแปลงตัวอย่าง}}$$

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density: RD)

$$RD = \frac{\text{จำนวนต้นของชนิดไม้ที่สนใจทั้งหมด}}{\text{ผลรวมจำนวนต้นของชนิดไม้ทุกชนิด}} \times 100$$

หรือ

$$RD = \frac{\text{ความหนาแน่นของชนิดไม้ที่สนใจ}}{\text{ผลรวมความหนาแน่นของชนิดไม้ทุกชนิด}} \times 100$$

ความถี่ (Frequency: F) คือ ร้อยละของจำนวนแปลงตัวอย่างที่ชนิดไม้ ชนิดนั้นปรากฏต่อจำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการสำรวจ

$$F = \frac{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างที่ชนิดไม้ที่สนใจปรากฏ}}{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมด}} \times 100$$

ความถี่สัมพัทธ์ (Relative Frequency: RF)

$$RF = \frac{\text{ความถี่ของชนิดไม้ที่สนใจ}}{\text{ความถี่รวมของชนิดไม้ทุกชนิด}} \times 100$$

ความเด่น (Dominance: Do) เป็นค่าที่ใช้ให้เห็นว่าพืชชนิดนั้นมีอิทธิพลต่อสังคมพืชที่มันขึ้นอยู่มากน้อยเพียงใด ซึ่งความเด่นของพืชนี้สามารถบอกได้ในรูปของการปกคลุม หมายถึง พื้นที่ที่ถูกปกคลุมโดยเรือนยอด โดยบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ แปลงตัวอย่าง พื้นที่หน้าตัดเป็นค่าที่ใช้ถึงความเด่นของชนิดพืชได้ เพราะพื้นที่หน้าตัดย่อมสัมพันธ์กับขนาดของเรือนยอด ความเด่นของชนิดพืชนี้สามารถบอกได้ในรูปของความเด่นสัมพัทธ์ (Relative Dominance: RDo) ซึ่งอัตราส่วนระหว่างความเด่นของชนิดพืชชนิดนั้นกับผลรวมของความเด่นของชนิดพืชทุกชนิดที่ปรากฏ

$$RDo = \frac{\text{ผลรวมของพื้นที่หน้าตัดของชนิดไม้ที่สนใจ}}{\text{ผลรวมของพื้นที่หน้าตัดของชนิดไม้ทุกชนิด}} \times 100$$

พื้นที่หน้าตัดของต้นไม้ (Basal area: BA)

$$BA_i = \frac{\pi D^2}{4}$$

โดย BA_i = พื้นที่หน้าตัดของชนิดไม้ (m^2)

เมื่อ i เท่ากับ 1,2,...,n

n = จำนวนชนิดไม้ทั้งหมด

D = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง

เพียงอก 1.30 เมตร

ดังนั้น ผลรวมของพื้นที่หน้าตัดของต้นไม้ทั้งหมดเท่ากับ

$$\sum_{i=1}^n BA_i$$

2) การวิเคราะห์ความหลากหลายโดยใช้ดัชนี

ความหลากหลายของ Shannon-Wiener Index (H')

ดังนี้ (Shannon and Weaver, 1949)

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i \ln p_i)$$

โดย

H' คือ ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของ

Shannon-Wiener Index

p_i คือ อัตราส่วนของชนิดที่ i ต่อจำนวน

ตัวอย่างทั้งหมด เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, S$

s คือ จำนวนชนิด

3) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเชิงปริมาณต่าง ๆ ใน 2 แปลงสำรวจทั้งหมด ได้แก่ จำนวนต้น จำนวนชนิด พื้นที่หน้าตัดรวม โดยการให้แปลงย่อยเป็นจำนวนซ้ำของ 2 ชุดข้อมูล ด้วยสถิติอิงพารามิเตอร์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Welch T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% Sukamolson (2017) วิเคราะห์ด้วย Package ggpubr ในโปรแกรม R

4) คำนวณหาปริมาตรไม้ (tree volume) ในพื้นที่แปลงตัวอย่าง ปริมาตรไม้รายต้น (V, m^3) ตามสมการของ Mooksombat and Nakhon (1995) ในการคำนวณหาปริมาตรไม้ยืนต้น ตามกลุ่มชนิดไม้ที่อ้างอิงและประเมินมูลค่าตามราคาปริมาตรไม้ ในปัจจุบัน ดังนี้

$$\ln \text{Volume} = \ln a + b \ln dbh$$

พบว่า ค่าคงที่ a (Intercept) และ b (Slope) เป็นค่าที่ได้จากสมการ Basic log equation

เมื่อ dbh คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับอก มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

กลุ่มที่ 1 ได้แก่ ไม้ในสกุลยาง เต็ง รัง เหียง พลวง กระบาก เคี่ยม ตะเคียน สยา ไข่เหี้ยว พะยอม จันทน์กะพ้อ สนสองใบ

สมการที่ได้ คือ

$$\ln V = 2.372083 + 2.443847 \ln \left(\frac{dbh}{100} \right)$$

$$R^2 = 0.94, \text{ sample size} = 188$$

กลุ่มที่ 2 ได้แก่ กระพี้จั่น กระพี้เขาควาย เก็ดดำ เก็ดแดง เก็ดขาว เถาวัลย์เปรียง พะยูง ชิงชัน กระพี้ถ่อนแดง ขะเจี๊ยะ แคทราย แคฝอย และสกุลมะเกลือ

สมการที่ได้ คือ

$$\ln V = 2.134494 + 2.363034 \ln \left(\frac{dbh}{100} \right)$$

$$R^2 = 0.91, \text{ sample size} = 135$$

กลุ่มที่ 3 ได้แก่ รกฟ้า สมอพิเภก สมอไทย หูกวาง หูกระจง ขี้ยาย กระบก ตะคร้ำ ตะคร้อ ตาเสือ ค้างคาว สะเดา ยมหอม ยมหิน กระท้อน เลี่ยน มะฮอกกานี ขี้ยาย ตะบูน ตะบัน รัก ตั้ว สะแกแสง ปูเจ้า และไม้สกุลसान เสลา อินทนิล ตะแบก ชะมวง สารภี บุนนาค

สมการที่ได้ คือ

$$\ln V = 1.880578 + 2.053321 \ln \left(\frac{dbh}{100} \right)$$

$$R^2 = 0.89, \text{ sample size} = 186$$

กลุ่มที่ 4 ได้แก่ กางขี้มอด คุณ พฤกษ์ มะค่าโมง นนทรี กระถินพิมาน มะขามป้า หลุมพอ และสกุลซี่เหล็ก กระถินยักษ์

สมการที่ได้ คือ

$$\ln V = 1.789563 + 2.025666 \ln \left(\frac{dbh}{100} \right)$$

$$R^2 = 0.90, \text{ sample size} = 36$$

กลุ่มที่ 5 ได้แก่ ไม้ในสกุลประดู่ เต็ม

สมการที่ได้ คือ

$$\ln V = 2.037096 + 2.299618 \ln \left(\frac{dbh}{100} \right)$$

$$R^2 = 0.94, \text{ sample size} = 99$$

กลุ่มที่ 6 ได้แก่ สัก ตีนนก ผ่าเสี้ยน หมากเล็ก
หมากน้อย ไข่น้ำ กระจับเขา กาสามปึก สวอง

สมการที่ได้ คือ

$$\ln V = 2.119907 + 2.296511 \ln \left(\frac{dbh}{100} \right)$$

$$R^2 = 0.94, \text{ sample size} = 186$$

กลุ่มที่ 7 ได้แก่ ไม้ชนิดอื่น ๆ เช่น กุ๊ก ขว้าว
จ้าวป่า ทองหลางป่า มะม่วงป่า ช้อ โมกมัน แสมสาร และ
ไม้ในสกุลปอ ก่อ เปล้า เหมือดโลด มะกอกเกลื้อน มะม่วง
หัวแมงวัน เป็นต้น

สมการที่ได้ คือ

$$\ln V = 2.250111 + 2.414209 \ln \left(\frac{dbh}{100} \right)$$

$$R^2 = 0.93, \text{ sample size} = 138$$

ปริมาตรไม้ต่อเฮกตาร์ (V, ลูกบาศก์เมตรต่อ
เฮกตาร์) คำนวณจากปริมาตรไม้รายต้นคูณกับจำนวน
ต้นไม้ (ต้นต่อเฮกตาร์)

คำนวณราคาปริมาตรไม้ตามราคาไม้ ณ จุดขาย
ไม้ซึ่งเป็นราคากลางของ Royal Forest Department
(2013) เริ่มใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึงปัจจุบัน

ด้านการควบคุมกลไกของระบบนิเวศป่าไม้

1) การวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนในรูปมวล
ชีวภาพ

(1) การสร้างสมการเพื่อพยากรณ์ความสูง
ต้นไม้ ตามวิธีการของ Okawa and Kira (1977) โดยนำ
ค่าความสูงของต้นไม้ที่ได้ในแต่ละชั้นมาสร้างสมการ
ความสัมพันธ์ในรูปของ Hyperbolic ดังนี้

$$\frac{1}{H} = \frac{1}{aDBH^n} + \frac{1}{H_{max}}$$

โดย H = ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

a, n = ค่าคงที่เฉพาะเจาะจงของแต่ละพื้นที่

H_{max} = ค่าสัมประสิทธิ์ของความสูงต้นไม้

DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียง
อกของต้นไม้ (ซม.)

(2) การประเมินมวลชีวภาพรวม (forest
biomass) รวมทั้งเหนือพื้นดิน และราก กรณีชนิดพรรณไม้
ผลัดใบ (deciduous plant species) คำนวณมวล
ชีวภาพเหนือพื้นดินรายต้นของไม้ต้น โดยใช้สมการ
แอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณ ชนิดไม้ผลัดใบใช้สมการ
ของ Ogawa *et al.* (1965) ดังสมการ

$$\text{Forest biomass (กิโลกรัม)} = W_s + W_b + W_l + W_r$$

$$\text{มวลชีวภาพส่วนลำต้น (W}_s\text{)} = 0.0396 (D^2H)^{0.9326}$$

$$\text{มวลชีวภาพส่วนกิ่ง (W}_b\text{)} = 0.003487 (D^2H)^{1.027}$$

$$\text{มวลชีวภาพส่วนใบ (W}_l\text{)} = (28.0/W_{tc} + 0.025)^{-1}$$

$$\text{มวลชีวภาพส่วนราก (W}_r\text{)} = 0.026 (D^2H)^{0.775}$$

โดย D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก (ซม.)

H = ความสูงของต้นไม้ถึงปลายยอด (เมตร)

(3) ข้อมูลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ตาม
T-VER-S-TOOL-01-01 version 01 และ Inter
governmental Panel on Climate Change (IPCC,
2006) ได้กำหนดว่าประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพ
ของต้นไม้เป็นคาร์บอน มีสมการดังนี้

$$CS = GB \times 0.47$$

เมื่อ 0.47 คือ ร้อยละ 47 โดยน้ำหนักของ
น้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพ

โดย CS คือ การกักเก็บคาร์บอน ($t\ C\ ha^{-1}$)
 GB คือ มวลชีวภาพทั้งหมดของต้นไม้ ($t\ ha^{-1}$)
 (4) การคำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent) เป็นผลรวมของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของระบบนิเวศ (ecosystem carbon stock: EC stock) คูณด้วยค่าสัดส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 : มวลโมเลกุล = 44) และคาร์บอน (C: มวลโมเลกุล = 12) คือ $44/12$ หรือ 3.67 (IPCC, 2006) ดังสมการ

$$CO_2\ absorption = EC_{stock} \times CO_2\ CF$$

โดย $CO_2\ absorption$ = ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบนิเวศ ($tCO_2e/ไร่$)
 EC_{stock} = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของระบบนิเวศ ($tC/ไร่$)
 $CO_2\ CF$ = ค่าสัดส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอน หรือ 3.67

(5) การคำนวณอัตราความเพิ่มพูนของการกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรังในพื้นที่ที่ถูกทิ้งร้างน้อยกว่า 20 ปี เท่ากับ $0.27\ tCO_2/ไร่/ปี$ (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2019)

(6) การประเมินค่าคาร์บอนเครดิต (carbon credit) คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่กักเก็บในต้นไม้สามารถซื้อขายได้ เพื่อผู้ซื้อนำไปใช้หักลบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอันเกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การเผาไม้ในโรงงาน หรือจากยานพาหนะ การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนใช้ราคาอ้างอิงจากราคาตลาดการซื้อขายคาร์บอนรายสัปดาห์ (Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), 2022) เมื่อเดือนเมษายน พ.ศ. 2568 ราคาเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของการซื้อขายคาร์บอนเครดิต TVERs เท่ากับ 145.35 บาท tCO_2eq^{-1} ข้อมูล ณ

วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2568 โดยจะประเมินมูลค่าจากการคาดการณ์คาร์บอนที่สะสมในต้นไม้ที่เพิ่มพูนขึ้น โดยพิจารณาจากปีฐานไปอีก 2 ปี (พ.ศ. 2568)

ซึ่งการประเมินคาร์บอนเครดิตนี้ ไม่ได้ประเมินเพื่อขายในตลาดคาร์บอนขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ แต่เป็นการประเมินเพื่อให้เห็นคุณค่าด้านการกักเก็บคาร์บอนของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในด้านมูลค่าทางการเงินที่รักษาผืนป่าไม้ไว้ในฟาร์มมหาวิทยาลัยเท่านั้น

ผลการวิจัยและวิจารณ์

สถานภาพและความหลากหลายชนิดของพรรณไม้ในฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้

สังคมพืชในพื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้เป็นสังคมพืชป่าเต็งรัง พบต้นไม้ทั้งหมด 2,359 ต้น แบ่งเป็น 32 ชนิด 28 สกุล 18 วงศ์ มีความหนาแน่น 94.36 ต้น/ไร่ หรือ 589.75 ต้น/เฮกตาร์ เมื่อจำแนกสถานภาพการอนุรักษ์ตามบัญชีแดง (IUCN Red List) ได้ดังนี้ มีความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ (Least Concern: LC) เนื่องจากยังมีอยู่โดยทั่วไป จำนวน 23 ชนิด เช่น กระต้อหมู (*Mitragyna rotundifolia*) กระบก (*Irvingia malayana*) ก่อแพะ (*Quercus kerrii*) กัดลิ้น (*Walsura pinnata*) และกางเขมอด (*Albizia odoratissima*) (Table 1) มีความเสี่ยงต่อการถูกคุกคาม (Near Threatened: NT) – ระดับความเสี่ยงขั้นอันตรายต่อการสูญพันธุ์ในอนาคตอันใกล้ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ เต็ง (*Shorea obtusa*) พลอง (*Dipterocarpus tuberculatus*) และยางเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) ชนิดที่มีความเสี่ยงขั้นวิกฤติต่อการสูญพันธุ์ (CR – Critically endangered species) – ระดับความเสี่ยงขั้นอันตรายต่อการสูญพันธุ์จากที่อาศัยตามธรรมชาติ มีอยู่จำนวน 1 ชนิด คือ ชิงชัน (*Dalbergia oliveri*) ชนิดที่ใกล้การสูญพันธุ์ (EN – Endangered species) – ระดับความเสี่ยงขั้นสูงต่อการสูญพันธุ์จากที่อาศัยตามธรรมชาติ

มีอยู่จำนวน 1 ชนิด คือ ประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus*) และมี 4 ชนิด ที่ไม่ได้ระบุอยู่ในสถานภาพการอนุรักษ์ตามบัญชีแดง (IUCN Red List) ได้แก่ สารภีป่า (*Anneslea fragrans*) รักใหญ่ (*Gluta usitata*) ก้าว (*Tristaniaopsis burmanica* var.

rufescens) และกระถินยักษ์ (*Irvingia malayana*) โดยมีรายละเอียดในแต่ละแปลงสำรวจ ดังนี้

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างจำนวนชนิดของแปลงย่อยในสองแปลงตัวอย่าง พบว่าจำนวนชนิดของต้นไม้ทั้งสองแปลงตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (Table 1)

Table 1 Comparison between data of ecological quantitative values of permanent sampling plot 1 and permanent sampling plot 2 in Maejo University farm using the Welch t-test

Ecological characteristics	Mean±standard deviation							
	Total number of trees	Number of species	DBH (cm)	Basal area (m ²)	Timber volume (m ³)	Biomass (t ha ⁻¹)	C (t ha ⁻¹)	CO ₂ (t ha ⁻¹)
Plot 1	368.75±18.14	9.75±1.47	20.34±3.91	0.03±0.01	10.40±6.33	103.63±5.47	48.71±2.57	178.76±9.4
Plot 2	220.50±21.93	6.75±1.47	19.31±3.33	0.03±0.01	6.00±6.88	34.72±4.12	16.32±1.90	59.90±7.12
t-test	9.0197	2.4842	6.4675	5.9466	1.3308	17.4125	17.4125	17.4125
p-value	0.001*	0.04753*	1.2074 ^{ns}	3.1445 ^{ns}	0.2018 ^{ns}	2.3003 ^{ns}	2.3003 ^{ns}	2.3003 ^{ns}

ns = non statistically significant difference at the confidence level ($p>0.05$); * = statistically significant difference at the confidence level $p<0.05$

DBH = Diameter at Breast Height, C = Carbon sequestration, CO₂ = CO₂ equivalent

ความหลากหลายชนิดของพันธุ์ไม้ในพื้นที่ป่าเต็งรังแปลงที่ 1 พบชนิดไม้ทั้งหมด 29 ชนิด 25 สกุล ใน 17 วงศ์ จำนวน 1,475 ต้น โดยวงศ์เด่นจากจำนวนต้น 3 วงศ์แรก คือ วงศ์ยาง (*Dipterocarpaceae*) 1,198 ต้น (47.92 ต้นต่อไร่หรือ 299.5 ต้นต่อเฮกตาร์) รองลงมาคือ วงศ์มะม่วง (*Anacardiaceae*) 76 ต้น (3.04 ต้นต่อไร่หรือ 18.55 ต้นต่อเฮกตาร์) และวงศ์มะแฟน (*Burseraceae*) จำนวน 54 ต้น (2.16 ต้นต่อไร่หรือ 13.5 ต้นต่อเฮกตาร์) ตามลำดับ (Table 2)

ความหลากหลายชนิดของสังคมพืชป่าเต็งรังในแปลงที่ 1 มีค่าความหลากหลายชนิดตามวิธีการของ Shannon Wiener index ค่อนข้างต่ำ เท่ากับ 1.13 เมื่อพิจารณาไม่เด่นจากค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) ของป่าเต็งรัง พบว่า ยางเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุด 174.32 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ รักใหญ่ (*Gluta usitata*) รัง (*Shorea siamensis*) มะกอกเกลื้อน (*Canarium subulatum*) และเก็ดแดง

(*Dalbergia assamica*) มีค่าดัชนีความสำคัญ เท่ากับ 30.65, 21.84, 18.59 และ 15.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ความหลากหลายชนิดของพันธุ์ไม้ในป่าเต็งรังแปลงที่ 2 พบพรรณไม้ทั้งหมด 17 ชนิด 14 สกุล ใน 8 วงศ์ พบต้นไม้ทั้งหมด 883 ต้น โดยวงศ์เด่นจากจำนวนต้น 3 วงศ์แรก คือ วงศ์ยาง (*Dipterocarpaceae*) 770 ต้น (30.80 ต้นต่อไร่หรือ 192.5 ต้นต่อเฮกตาร์) รองลงมาคือ วงศ์ถั่ว (*Fabaceae*) 49 ต้น (1.96 ต้นต่อไร่หรือ 12.25 ต้นต่อเฮกตาร์) และวงศ์มะม่วง (*Anacardiaceae*) 27 ต้น (1.08 ต้นต่อไร่หรือ 6.75 ต้นต่อเฮกตาร์) ตามลำดับ (Table 3)

ความหลากหลายชนิดของสังคมพืชป่าเต็งรังในแปลงที่ 2 มีค่าความหลากหลายชนิดตามวิธีการของ Shannon Wiener index ต่ำเท่ากับ 0.7 เมื่อพิจารณาไม่เด่นจากค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) ของป่าเต็งรัง พบว่ายางเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) มีค่าความสำคัญมากที่สุด 214.35 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ ชิงชัน (*Dalbergia*

oliveri) รักใหญ่ (*Gluta usitata*) มะกอกเกลื้อน (*Canarium subulatum*) และกระบก (*Irvingia malayana*) มีค่าดัชนีความสำคัญ เท่ากับ 24.75, 16.10, 7.71 และ 7.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

โดยผลการศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบป่าเต็งรัง จากค่าดัชนีความสำคัญของชนิดไม้ใหญ่ในพื้นที่ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของป่าสงวนป่าสนทราย มีค่าความหลากหลายชนิดค่อนข้างน้อยทั้งสองแปลงสำรวจ อาจเป็นเพราะทำการวิเคราะห์เฉพาะไม้ขนาดใหญ่ (เส้นรอบวงมากกว่า 50 ซม.) ที่เป็นสังคมย่อยไม้ยางเหียงเด่น โดยทั้งสองแปลงสำรวจยังมีโครงสร้างและองค์ประกอบที่คล้ายกัน ในด้านสังคมป่าเต็งรังรุ่นสอง ที่มีค่าเฉลี่ยขนาดเส้นรอบวงอยู่ระหว่าง 60–75 ซม. ความสูงของต้นไม้ที่อยู่ระหว่าง 8–5 เมตร เรือนยอดค่อนข้างโปร่ง และมีไม้พื้นล่างไม่หนาแน่นมาก เนื่องจากมีไฟป่าเกิดขึ้นและลามมาจากป่า โดยรอบสอดคล้องกับการศึกษาของ Hermhuk *et al.* (2021) และ Vongsenekeo *et al.* (2022) ที่

ทำการศึกษาในพื้นที่ป่าแปลงอนุรักษ์พันธุ์กรรมป่าไม้ในป่าสงวนแห่งชาติป่าสนทราย ที่ระบุว่าสังคมป่าเต็งรังในพื้นที่ส่วนใหญ่ของพื้นที่เป็นสังคมย่อยยางเหียง ที่มีลักษณะดินเป็นดินร่วนปนทราย และเป็นป่าเต็งรังรุ่นสอง ที่ผ่านการสัมปทานไม้พื้นในการบ่มยาสูบของสถานียาสูบแม่โจ้ในอดีต ทั้งนี้ยังมีการรายงานของ Suwankesa *et al.* (2023) และ Tamniyom *et al.* (2026) ที่ศึกษาโครงสร้างป่าเต็งรังในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ระบุว่าป่าชนิดนี้ที่อยู่ภายใต้การดูแลของป่าสงวนแห่งชาติส่วนใหญ่ มักมีโครงสร้างป่าเป็นป่าเต็งรังรุ่นสองที่ชนิดไม้มักแตกต่างจากต้นตอเดิม ค่อนข้างเป็น ป่าโปร่ง ที่ในอดีตถูกสัมปทานไม้ในรูปแบบต่าง ๆ เมื่อระยะเวลาผ่านไปสังคมพืชจะฟื้นตัวเองตามธรรมชาติในรูปแบบของสังคมย่อยเดิม เช่น สังคมยางเหียงเด่นมักพบพื้นที่ป่าเต็งรังที่ราบ และสังคมเต็งหรือรังเด่นมักพบในป่าเต็งรังที่ลาดเชิงเขา เป็นต้น

Table 2 Ecological quantitative values of tree species in study area sampling plot 1 in Maejo University farm

Scientific name	Number of plants	Ba (m ²)	Do	F	D	RDo (%)	RF (%)	RD (%)	IVI (%)
<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. ex Miq.	1108	38.1042	0.00	0.98	0.03	70.93	28.32	75.07	174.32
<i>Gluta usitata</i> (Wall.) Ding Hou	73	6.2010	0.00	0.49	0.00	11.54	14.16	4.95	30.65
<i>Shorea siamensis</i> Miq.	76	2.2884	0.00	0.43	0.00	4.26	12.43	5.15	21.84
<i>Canarium subulatum</i> Guillaumin	54	1.4985	0.00	0.42	0.00	2.79	12.14	3.66	18.59
<i>Dalbergia assamica</i> Benth.	53	1.6086	0.00	0.30	0.00	2.99	8.67	3.59	15.26
<i>Aporosa villosa</i> (Wall. ex Lindl.) Baill.	38	1.1340	0.00	0.21	0.00	2.11	6.07	2.57	10.75
<i>Dalbergia oliveri</i> Gamble ex Prain	17	0.4890	0.00	0.11	0.00	0.91	3.18	1.15	5.24

Table 2 (Continued)

Scientific name	Number of plants	Ba (m ²)	Do	F	D	RDo (%)	RF (%)	RD (%)	IVI (%)
<i>Dipterocarpus tuberculatus</i> Roxb.	12	0.6104	0.00	0.11	0.00	1.14	3.18	0.81	5.13
<i>Iringia malayana</i> Oliv. ex A.W. Benn.	9	0.4947	0.00	0.08	0.00	0.92	2.31	0.61	3.84
<i>Vitex peduncularis</i> Wall. ex Schauer	5	0.1526	0.00	0.05	0.00	0.28	1.45	0.34	2.07
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	5	0.1532	0.00	0.04	0.00	0.29	1.16	0.34	1.78
<i>Cratogeomys formosum</i> (Jacq.) Benth. & Hook. f. ex Dyer subsp. <i>pruniflorum</i> (Kurz) Gogelein	4	0.1188	0.00	0.03	0.00	0.22	0.87	0.27	1.36
<i>Vitex pinnata</i> L.	2	0.1004	0.00	0.02	0.00	0.19	0.58	0.14	0.90
<i>Buchanania lanzan</i> Spreng.	2	0.0720	0.00	0.02	0.00	0.13	0.58	0.14	0.85
<i>Bridelia retusa</i> (L.) A. Juss.	2	0.0603	0.00	0.02	0.00	0.11	0.58	0.14	0.83
<i>Madhuca pierrei</i> (F.N. William) H.J. Lam	2	0.0507	0.00	0.02	0.00	0.09	0.58	0.14	0.81
<i>Albizia odoratissima</i> (L.f.) Benth.	1	0.1529	0.00	0.01	0.00	0.28	0.29	0.07	0.64
<i>Shorea obtusa</i> Wall. ex Blume	2	0.0545	0.00	0.01	0.00	0.10	0.29	0.14	0.53
<i>Quercus kerrii</i> Craib	1	0.0487	0.00	0.01	0.00	0.09	0.29	0.07	0.45
<i>Mangifera caloneura</i> Kurz	1	0.0440	0.00	0.01	0.00	0.08	0.29	0.07	0.44
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight ex Arn.	1	0.0438	0.00	0.01	0.00	0.08	0.29	0.07	0.44
<i>Schleichera oleosa</i> (Lour.) Merr.	1	0.0408	0.00	0.01	0.00	0.08	0.29	0.07	0.43
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	1	0.0391	0.00	0.01	0.00	0.07	0.29	0.07	0.43
<i>Anneslea fragrans</i> Wall.	1	0.0385	0.00	0.01	0.00	0.07	0.29	0.07	0.43
<i>Walsura pinnata</i> Hassk.	1	0.0268	0.00	0.01	0.00	0.05	0.29	0.07	0.41
<i>Terminalia alata</i> B. Heyne ex Roth	1	0.0250	0.00	0.01	0.00	0.05	0.29	0.07	0.40
<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	1	0.0236	0.00	0.01	0.00	0.04	0.29	0.07	0.40
<i>Morinda citrifolia</i> L.	1	0.0235	0.00	0.01	0.00	0.04	0.29	0.07	0.40
<i>Mitragyna rotundifolia</i> (Roxb.) Kuntze	1	0.0209	0.00	0.01	0.00	0.04	0.29	0.07	0.40
Total	1,476	53.7189	0.00	3.46	0.03	100	100	100	300

Basal area = Ba, Frequency = F, Density = D, Dominance = Do, Relative Frequency = RF, Relative Density = RD

Relative Dominance = RDo, Importance Value Index = IVI

Table 3 Ecological quantitative values of tree species in study area sampling plot 2 in Maejo University farm

Scientific name	Number of plants	Ba (m ²)	Do	F	D	RDo (%)	RF (%)	RD (%)	IVI (%)
<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. ex Miq.	751	21.8835	0.00	0.99	0.08	82.16	47.14	85.05	214.35
<i>Dalbergia oliveri</i> Gamble ex Prain	39	1.9910	0.00	0.27	0.00	7.47	12.86	4.42	24.75
<i>Gluta usitata</i> (Wall.) Ding Hou	25	0.7451	0.00	0.22	0.00	2.80	10.48	2.83	16.10
<i>Canarium subulatum</i> Guillaumin	12	0.2977	0.00	0.11	0.00	1.12	5.24	1.36	7.71
<i>Iringia malayana</i> Oliv. ex A.W. Benn.	12	0.4152	0.00	0.10	0.00	1.56	4.76	1.36	7.68
<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	9	0.2888	0.00	0.08	0.00	1.08	3.81	1.02	5.91
<i>Dipterocarpus tuberculatus</i> Roxb.	9	0.2561	0.00	0.08	0.00	0.96	3.81	1.02	5.79
<i>Aporosa villosa</i> (Wall. ex Lindl.) Baill.	8	0.1913	0.00	0.08	0.00	0.72	3.81	0.91	5.43
<i>Shorea siamensis</i> Miq.	5	0.1394	0.00	0.05	0.00	0.52	2.38	0.57	3.47
<i>Shorea obtusa</i> Wall. ex Blume	5	0.1924	0.00	0.04	0.00	0.72	1.90	0.57	3.19
<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	2	0.0568	0.00	0.02	0.00	0.21	0.95	0.23	1.39
<i>Lannea coromandelica</i> (Houtt.) Merr.	1	0.0368	0.00	0.01	0.00	0.14	0.48	0.11	0.73
<i>Vitex peduncularis</i> Wall. ex Schauer	1	0.0348	0.00	0.01	0.00	0.13	0.48	0.11	0.72
<i>Tristanopsis burmanica</i> (Griff.) Peter G. Wilson & J.T. Waterh. var. <i>rufescens</i> (Hance) J. Parn. & NicLugh.	1	0.0311	0.00	0.01	0.00	0.12	0.48	0.11	0.71
<i>Dalbergia assamica</i> Benth.	1	0.0267	0.00	0.01	0.00	0.10	0.48	0.11	0.69
<i>Morinda citrifolia</i> L.	1	0.0262	0.00	0.01	0.00	0.10	0.48	0.11	0.69
<i>Buchanania lanzan</i> Spreng.	1	0.0236	0.00	0.01	0.00	0.09	0.48	0.11	0.68
Total	883	26.6366	0.00	2.10	0.09	100	100	100	300

Basal area = Ba, Frequency = F, Density = D, Dominance = Do, Relative Frequency = RF, Relative Density = RD

Relative Dominance = RDo, Importance Value Index = IVI

ปริมาตรไม้ของไม้ต้นทั้งหมดในพื้นที่แปลงสำรวจแบบถาวร

จากการคำนวณหาปริมาตรไม้ยืนต้นในแปลงตัวอย่างทั้งสองแปลง พบว่าต้นไม้มองทั้งสองแปลงตัวอย่างมีปริมาตรไม้รวม 147.70 ลูกบาศก์เมตร (18.46 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์) คิดเป็นปริมาตรไม้เฉลี่ยเท่ากับ 0.06 ลูกบาศก์เมตรต่อต้น เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาตรไม้ในแต่ละแปลงตัวอย่างพบว่า มีปริมาตรไม้มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

แปลงตัวอย่างที่ 1 มีปริมาตรไม้รวม 74.04 ลูกบาศก์เมตร (18.51 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์) เมื่อพิจารณาผลตามวงศ์ที่มีปริมาตรมากที่สุด 5 ลำดับแรก ได้แก่ วงศ์ยาง (*Dipterocarpaceae*) วงศ์ถั่ว (*Fabaceae*) วงศ์มะกอกเกลื้อน (*Burseraceae*) วงศ์รักใหญ่ (*Anacardiaceae*) และวงศ์เหมือดพลด (*Phyllanthaceae*) โดยมีปริมาตร 29.59, 12.67, 7.82, 7.77 และ 7.06 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และชนิดไม้ที่มี

ปริมาตรมากที่สุด คือ ยางเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) รองลงมาคือ รัง (*Shorea siamensis*) มะกอกเกลื้อน (*Canarium subulatum*) เกิดแดง (*Dalbergia assamica*) รักใหญ่ (*Gluta usitata*) เหมือดโลด (*Aporosa villosa*) พलग (*Dipterocarpus tuberculatus*) ชิงชัน (*Dalbergia oliveri*) กระบก (*Irvingia malayana*) กาสามปึก (*Vitex peduncularis*) กระถินยักษ์ (*Irvingia malayana*) ตั้วขน (*Cratoxylum formosum* subsp. *pruniflorum*) ตีนนก (*Vitex pinnata*) มะม่วงหัวแมงวัน (*Buchanania lanzan*) และกางเขมอด (*Albizia odoratissima*) โดยมีปริมาตรไม้เท่ากับ 15.64, 8.94, 7.83, 7.64, 7.59, 7.06, 5.02, 4.90, 3.53, 2.03, 1.75, 1.35, 0.44, 0.19 และ 0.13 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

แปลงตัวอย่างที่ 2 มีปริมาตรไม้รวม 49.66 ลูกบาศก์เมตร (12.41 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์) เมื่อพิจารณาผลตามวงศ์ที่มีปริมาตรมากที่สุด 5 ลำดับแรก ได้แก่ วงศ์ยาง (*Dipterocarpaceae*) วงศ์ถั่ว (*Fabaceae*) วงศ์รักใหญ่ (*Anacardiaceae*) วงศ์มะกอกเกลื้อน (*Burseraceae*) และวงศ์กระบก (*Irvingiaceae*) โดยมีปริมาตร 22.89, 7.49, 5.09, 4.06 และ 3.69 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และชนิดไม้ที่มีปริมาตรมากที่สุด คือ ยางเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) รองลงมาคือ ชิงชัน (*Dalbergia oliveri*) รักใหญ่ (*Gluta usitata*) มะกอกเกลื้อน (*Canarium subulatum*) กระบก (*Irvingia malayana*) พलग (*Dipterocarpus tuberculatus*) ประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus*) เหมือดโลด (*Aporosa villosa*) เต็ง (*Shorea obtusa*) และรัง (*Shorea siamensis*) โดยมีปริมาตรไม้เท่ากับ 14.50, 7.50, 5.09, 4.06, 3.69, 3.63, 3.38, 3.05, 2.59 และ 2.17 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ทั้งนี้ปริมาตรไม้ในแปลงตัวอย่างทั้ง 2 แปลง ซึ่งเป็นตัวแทนของปริมาตรไม้ในระบบนิเวศป่าไม้ดั้งเดิมอย่างน้อยร้อยละ 5 ซึ่งมหาวิทยาลัยได้กันพื้นที่ป่าไม้ที่เป็นตัวแทนมากกว่า คือ ร้อยละ 32.0 คิดเป็น 325 ไร่

(Sri-Ngernyuan *et al.*, 2023) เป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้คำนวณหาปริมาตรไม้ทั้งหมดของพื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีปริมาตรไม้รวมพื้นที่แปลงสำรวจแบบถาวรเท่ากับ 960.09 ลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรไม้กับพื้นที่ป่าเต็งรังที่ใกล้เคียงกันพบว่า มีค่าน้อยกว่าศึกษาของ Wansa (2022) ที่ศึกษาในป่าเต็งรังที่มีการใช้ประโยชน์ของกลุ่มชาติพันธุ์ของอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ที่ระบุไว้ที่ (129.61 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์) เนื่องจากการเก็บข้อมูลต้นไม้ในแปลงตั้งแต่ความโต 1 เซนติเมตรขึ้นไป ทำให้มีปริมาตรไม้มากกว่า ทั้งนี้ในพื้นที่ศึกษายังมีการพบร่องรอยการตัดไม้ใหญ่ และรูปแบบการเก็บข้อมูลที่ศึกษาในพื้นที่วิจัยนั้น ได้ศึกษาเฉพาะไม้ต้นที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 เซนติเมตรขึ้นไปอีกหนึ่งหนึ่ง

การกักเก็บคาร์บอนในรูปมวลชีวภาพป่าไม้

ปริมาณมวลชีวภาพในองค์ประกอบของพรรณไม้พื้นที่แปลงสำรวจทั้ง 2 แปลงในป่าเต็งรังบนฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ คำนวณได้ 553.47 ตัน (69.18 ตันต่อเฮกตาร์ หรือ 11.06 ตันต่อไร่) เมื่อคำนวณการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 260.13 ตัน (32.51 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ หรือ 5.20 ตันคาร์บอนต่อไร่) และเมื่อคำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent) เท่ากับ 954.68 ตัน (119.33 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ หรือ 19.09 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่) โดยมีรายละเอียดแต่ละแปลงสำรวจ ดังนี้

แปลงที่ 1 พบว่ามีปริมาณมวลชีวภาพรวม 414.55 ตัน (103.63 ตันต่อเฮกตาร์ หรือ 16.58 ตันต่อไร่) เมื่อคำนวณการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 194.84 ตัน (48.71 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ หรือ 7.79 ตันคาร์บอนต่อไร่) และเมื่อคำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent) เท่ากับ 715.06 ตัน (178.76 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ หรือ 28.60 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่)

แปลงที่ 2 พบว่ามีปริมาณมวลชีวภาพรวม 138.91 ตัน (34.72 ตันต่อเฮกตาร์ หรือ 5.55 ตันต่อไร่) เมื่อคำนวณการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 65.29 ตัน (16.32 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ หรือ 2.61 ตันคาร์บอนต่อไร่) และเมื่อคำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂ equivalent) เท่ากับ 239.62 ตัน (59.90 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ หรือ 9.58 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่)

จากผลการศึกษาทั้ง 2 แปลงตัวอย่างที่เป็นตัวแทนการศึกษานิเวศวิทยาป่าไม้ระยะยาวพบว่าแปลงที่ 2 มีการกักเก็บคาร์บอนในรูปมวลชีวภาพน้อยกว่าแปลงที่ 1 อยู่มาก อาจเนื่องมาจากการที่แปลงศึกษาที่ 2 มีการเข้าใช้ประโยชน์ของชุมชนมาก ใกล้ชุมชนมากกว่า และพบร่องรอยการตัดไม้ใช้ประโยชน์ในอดีต โดย Sringernyuan *et al.* (2023) ได้ระบุว่าพื้นที่ป่าโดยรอบของมหาวิทยาลัยมีการเข้าใช้ของชุมชนอย่างเข้มข้น ทั้งของป่าตัดและเนื้อไม้ เช่น ไม้พิน ตลอดจนสอดคล้องกับผลการศึกษาด้านความหลากหลายชนิดไม้ที่แปลงที่ 2 มีความหลากหลายชนิด และจำนวนชนิดน้อยกว่าแปลงที่ 1 ที่มีพื้นที่อยู่กึ่งกลางของฟาร์มมหาวิทยาลัยที่การเข้าใช้ประโยชน์น้อยกว่าแปลงที่ 2 เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพกับพื้นที่ป่าเต็งรังที่มีการจัดการใกล้เคียงกัน พบว่ามีค่าน้อยกว่าศึกษาของ Wattanasukskul *et al.* (2012) ในพื้นที่ป่าเต็งรังที่มีการจัดการไฟป่าที่สถานีวิจัยอินทิล จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีลักษณะการจัดการพื้นที่คล้ายกับสถานที่วิจัย โดยมีการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพเท่ากับ 106.6 ตันต่อเฮกตาร์ และน้อยกว่าการศึกษาของ Tamniyom *et al.* (2026) ที่ศึกษาในป่าสงวนแห่งชาติแม่อาว จังหวัดลำพูน ที่มีการสะสมที่ 111.16 ตันต่อเฮกตาร์ และมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ป่าเต็งรังที่มีไฟเข้าอย่างต่อเนื่องในอุทยานแห่งชาติแม่ปิง จังหวัดเชียงใหม่-ลำพูน-ตาก ที่สะสมคาร์บอนเท่ากับ 103.95 ตันต่อเฮกตาร์ (Chamnongphakdi and Udomsiripong, 2015) ทั้งนี้ อาจขึ้นอยู่กับรูปแบบการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ป่าเต็งรัง

ในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีการพบร่องรอยการตัดไม้ใหญ่ การเข้าใช้ประโยชน์ของชุมชนโดยรอบ เช่น การเก็บหาของป่า ไม้พิน และพบร่องรอยการไหม้ของไฟป่าอย่างต่อเนื่องคล้ายกับสถานที่ข้างต้น

การประเมินมูลค่าการบริการทางนิเวศวิทยาป่าไม้

การประเมินมูลค่าปริมาตรไม้

จากผลการวิเคราะห์ปริมาตรไม้ของไม้ยืนต้นทั้งหมดในปีฐาน คือ ปี พ.ศ. 2566 พื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ในครั้งนี้จำนวนทั้งหมด 32 ชนิด มีปริมาตรไม้อยู่ที่ 960.09 ลูกบาศก์เมตร (18.46 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์ หรือ 2.95 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) และเมื่อคำนวณจากราคาไม้ ณ จุดขายไม้ ซึ่งเป็นราคากลางของกรมป่าไม้เริ่มใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึงปัจจุบัน คำนวณได้ปริมาตรไม้ 2.95 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ คิดเป็นมูลค่าได้เท่ากับ 1,440,139 บาทต่อพื้นที่ป่าทั้งหมด

การประเมินมูลค่าคาร์บอนเครดิต

จากผลการวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนในรูปมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้ยืนต้นทั้งหมดในปีฐาน คือ ปี พ.ศ. 2566 พื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ในครั้งนี้ จำนวนทั้งหมด 32 ชนิด ที่ 553.47 ตัน (69.18 ตันต่อเฮกตาร์ หรือ 11.06 ตันต่อไร่) เมื่อคำนวณหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 954.68 ตัน (119.33 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ หรือ 19.09 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่) และเมื่อคำนวณจากค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นของการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ ใน 2 ปี (พ.ศ. 2568) ที่คาดการณ์ว่าต้นไม้ใหญ่ในพื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 2,358 ตัน มีการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น 0.4122 ตันต่อไร่ หรือคิดเป็น 2.57 ตันต่อเฮกตาร์ หรือเพิ่มขึ้นทั้งหมดเท่ากับ 133.96 ตัน

ทำการประเมินมูลค่าโดยอ้างอิงจากราคาตลาดการซื้อขายคาร์บอนรายสัปดาห์จากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 ราคาเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของการ

ซื้อขายคาร์บอนเครดิต TVERs เท่ากับ 145.35 บาท tCO_2eq^{-1} ข้อมูล ณ วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2568 พบว่ามูลค่าการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ในปี พ.ศ. 2568 ของไม้ยืนต้นทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ศึกษามีมูลค่าเท่ากับ 19,476.39 บาทต่อพื้นที่ป่าทั้งหมด

ทั้งสองภาคส่วนของการประเมินการให้บริการของระบบนิเวศป่าไม้ในพื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในด้านการประเมินมูลค่าปริมาณไม้ และการประเมินคาร์บอนเครดิตจากมวลชีวภาพรวมของป่าไม้พบว่า มีมูลค่าทั้งหมดของป่าไม้ ณ ปี พ.ศ. 2568 ที่ 1,459,615.39 บาท (หนึ่งล้านสี่แสนห้าหมื่นเก้าพันหกร้อยสิบห้าบาท สามสิบเก้าสตางค์)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการให้บริการของระบบนิเวศป่าไม้ในพื้นที่ฟาร์มของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สามารถประเมินเป็นมูลค่าเบื้องต้น เพื่อทราบการให้บริการของระบบนิเวศป่าไม้ ด้านการสนับสนุนด้านความหลากหลายชนิดของพรรณไม้ในพื้นที่ศึกษาเป็นระบบนิเวศป่าเต็งรังรุ่นสอง พบชนิดไม้ทั้งหมด 32 ชนิด 28 สกุล ใน 18 วงศ์ โดยมีชนิดไม้ยางเหียงเป็นไม้เด่นจากค่าดัชนีความสำคัญ และการสนับสนุนอีกประเภทหนึ่ง คือ ด้านปริมาตรไม้ต้นไม้มทั้งสองแปลง ตัวอย่างตัวแทนมีปริมาตรไม้รวม มีปริมาตรไม้อยู่ที่ 960.09 ลูกบาศก์เมตรต่อพื้นที่ทั้งหมด (18.46 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์ หรือ 2.95 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) และนิเวศด้านการควบคุมมลพิษของระบบ คือ การกักเก็บคาร์บอนในรูปมวลชีวภาพป่าไม้ มีการสะสม 32.51 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ หรือ 5.20 ตันคาร์บอนต่อไร่ และเมื่อคำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent) มีการสะสม 119.33 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ หรือ 19.09 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ และประเมินในปี พ.ศ. 2568 คาดการณ์ว่ามีการกักเก็บ

คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น 0.4122 ตันต่อไร่ หรือคิดเป็น 2.57 ตันต่อเฮกตาร์ ทั้งสองการศึกษาของการบริการด้านนิเวศวิทยาป่าไม้ในพื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ต่อการประเมินมูลค่าด้านเศรษฐศาสตร์ป่าไม้พบว่าด้านปริมาตรไม้สามารถประเมินได้ที่ 1,440,139 บาท และด้านคาร์บอนเครดิตจากการเพิ่มขึ้นจากปีฐานคิดเป็นเงิน 19,476.39 บาท ซึ่งสามารถระบุได้ว่ามูลค่าการบริการของระบบนิเวศป่าไม้ในพื้นที่มีมูลค่าทั้งหมดของป่าไม้ ณ ปี พ.ศ. 2568 ที่ 1,459,615.39 บาท

จากการประเมินข้างต้น เป็นการประเมินมูลค่าในส่วนที่สามารถประเมินได้จากการดูแลรักษาพื้นที่ป่าไม้ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งยังไม่รวมการประเมินด้านการเป็นแหล่งผลิต แก่ชุมชนหรือบุคคลโดยรอบ เช่น ของป่าที่ไม่ใช่เนื้อไม้ (พืชสมุนไพร เห็ดป่า หน่อไม้ ไช้ผดแดง ผักหวานป่า น้ำผึ้ง เป็นต้น) หรือการให้บริการด้านวัฒนธรรม เช่น การเป็นแหล่งศึกษา วิจัย การบริการวิชาการ และการท่องเที่ยวเชิงนิเวศในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับป่าไม้ และทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่สามารถประเมินเป็นมูลค่าเพิ่มเติมได้อีกนัยหนึ่ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ประจำปีงบประมาณ 2568 ในโครงการนิเวศบริการของป่าไม้บริเวณพื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ (มจ.1-68-05-04) และโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (อพ.สธ.-มจ.) ในโครงการความหลากหลายชนิดของพรรณพืช และการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพไม้ใหญ่ในพื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ (อพ.สธ.-68-003)

เอกสารอ้างอิง

- Aznar-Sánchez, J.A., L.J. Belmonte-Ureña, M.J. López-Serrano and J.F. Velasco-Muñoz. 2018. Forest ecosystem services: an analysis of worldwide research. **Forests** 9(8): 453. <https://doi.org/10.3390/f9080453>
- Bolund, P. and S. Hunhammar. 1999. Ecosystem services in urban areas. **Ecological Economics** 29(2): 293–301.
- Carpenter, S.R., E.M. Bennett and G.D. Peterson. 2006. Scenarios for ecosystem services: an overview. **Ecology and Society** 11(1): 29. <https://www.jstor.org/stable/26267787>
- Chamnongphakdi, K. and N. Udomsiripong. 2015. Value of Carbon Stock in Aboveground Biomass of Deciduous Dipterocarp Forest, Mae Ping National Park at Chiangmai, Lamphun and Tak Provinces. pp. 115–119. *In Proceedings of the 5th Thai Forest Ecology Research Network Conference*. Bangkok: Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation; National Park and Protected Area Innovation Institute. [in Thai]
- Chawhia, W., T. Lattirasuvan, P. Khonkaen and T. Yotapakdee. 2025. Valuation of Doi Luang Chiang Dao, nature trail in Doi Chiang Dao biosphere reserve, Chiang Mai province. **Thai Journal of Forestry** 44(1): 175–188. [in Thai]
- Daily, G.C. 1997. **Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems**. Washington, DC.: Island Press. 22 p.
- German International Cooperation Agency, the Business Organization for Sustainable Development, and the Thailand Environment Institute Foundation. 2013. **Ecosystem values and ecosystem services for business**. Retrieved from <http://www.tei.or.th/publications/2013-download/2013-TBCSD-giz-valuable-ecosystem-businesses> [in Thai]
- Hermhuk, S., M. Tasen, P. Ladpala, K. Chowtiwuttakorn and W. Phumphuang. 2025. Factors influencing and patterns of forest utilization in communities around the Huay Tak Teak Biosphere Reserve, Lampang province. **Thai Forest Ecological Research Journal** 9(1): 19–36. [in Thai]
- Hermhuk, S., W. Sungpalee, P. Thongplew and K. Sri-ngernyuang. 2021. Influence of environmental factors on the distribution of tree species in deciduous dipterocarp forest at San Sai Forest Reserve, San Sai district, Chiang Mai province. **Thai Forest Ecological Research Journal** 5(1): 17–32. [in Thai]
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. **IPCC Guidelines for National Biodiversity in Community Forests**. Bangkok: Royal Forest Department. 42 p.

- Maejo University. 2021. **Maejo University Excellence Development Plan 2023-2027: "Towards the Development of Technology and Promotion of Modern Agricultural Innovation"**. Retrieved from https://www.mju.ac.th/th/ita_document/%202566-2570.pdf [in Thai]
- Marod, D. and U. Kutintara. 2009. **Forest Ecology**. Bangkok: Department of Forest Biology, Faculty of Forestry, Kasetsart University. 540 p. [in Thai]
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. **Ecosystem and Human Well-being a Framework for Assessment**. Washington DC: Island Press. 155 p.
- Mooksombat, S. and N.T. Nakhon. 1995. **Using the Spiegel Relascope to Construct a Timber Volume Table in the Mae Haeng Sector Demonstration Forest Area, Ngao District, Lampang Province**. Bangkok: Forest Management and Demonstration Forest Development Group, Forest Economics and Development Research Division, Forest Research Bureau, Royal Forest Department. 55 p. [in Thai]
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. 2019. **Handbook on Measurement, Reporting, and Verification (MRV) for Thailand's Greenhouse Gas Inventory: Forestry and Land Use Sector**. Bangkok: Ministry of Natural Resources and Environment. 50 p.
- Ogawa, H., K. Yoda, K. Ogino and T. Kira. 1965. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand II. Plant biomass. **Nature and Life in Southeast Asia** 4: 49–80.
- Okawa, H.K. and T. Kira. 1977. Methods of estimating forest biomass. pp. 15–36. In Shidei T. and T. Kira (Eds.). **Primary Productivity of Japanese Forests; Productivity of Terrestrial Communities** Tokyo: University of Tokyo.
- Perry, D.A., R. Oren and S.C. Hart. 2008. **Forest ecosystems**. Baltimore: Johns Hopkins University. 290 p.
- Royal Forest Department. 2013. **Data from Timber Price Surveys, Compiled by the Private Sector Reforestation Division, Forest Plantation Promotion Bureau**. Bangkok: Royal Forest Department. 20 p. [in Thai]
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. A mathematical theory of communication. **The Bell System Technical Journal** 27(3): 379–423.
- Sri-Ngernyuan, K., P. Bangthit, V. Daengbut, T. Tanruangporn, T. Suntreesilpaphon, W. Sungpalee and S. Hermhuk. 2023. A Land Use Study to Support Information for the Application to Use Land in the San Sai National Forest Reserve, Chiang Mai Province. pp. 245-254. **In The 12th Thailand Forest Ecology Research Network Conference, February 9-10**. Chiang Mai: Faculty of Agriculture Chiang Mai University. [in Thai]

- Sukamolson, S. 2017. Priori and posteriori comparisons for a research study. **Academic Journal of Buriram Rajabhat University** 9(2): 51–70. [in Thai]
- Suwankesa, S., S. Hermhuk, W. Sungpalee, K. Sri-Ngernyuang and K. Satienperakul. 2023. Effects of forest restoration on forest utilization of Ban Huai Pu Ling Forest Development Station, Om-Koi district, Chiang Mai province. **Thai Forest Ecological Research Journal** 7(2): 141–158.
- Tamniyom, S., S. Hermhuk, T. Kamyao, Y. Ponpituk and W. Panya. 2026. The forest dynamics of carbon sequestration and some environmental factors influencing the distribution of tree species in the Royal-Instated Mae-Aow River Basin Development Project, Lamphun province. **KKU Science Journal** 54(1): 192–206.
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). 2022. **Carbon credit information**. Retrieved from <https://www.tgo.or.th/2023/index.php/th/> [in Thai]
- Vongsenekeo, M., S. Hermhuk, W. Sungpalee, K. Sri-ngernyuang and K. Satienpirakul. 2022. Assessment of habitat suitability of *Melientha suavis* Pierre (Opiliaceae) based on some environmental factors in Ban Pong Development Project Area of Royal Initiative Project, San Sai district, Chiang Mai province. **Journal of Research, Rajamangala University of Technology Srivichai** 14(2): 513–528. [in Thai]
- Wansa, N. 2022. **Utilization of fuelwood guidelines for sustainable forest management in the Royal Initiative Project Huai Mae Kieng Highland Agricultural Development Station, Chiang Dao District, Chiang Mai Province**. Master Thesis. Maejo University. 169 p. [in Thai]
- Wattanasukskul, S., S. Khamyong, K. Sri-Ngernyuang and N. Anongrak. 2012. Plant species diversity and carbon stocks in dry dipterocarp forest with and without fire at Intakin Silvicultural Research Station, Chiang Mai province **Journal of Forestry** 31(3): 1–14. [in Thai]
- Yarnvudhi, A., N. Leksungnoen, P. Tor-Ngern, A. Premashtira, S. Thinkampheang and S. Hermhuk. 2021. Evaluation of regulating and provisioning services provided by a park designed to be resilient to climate change in Bangkok, Thailand. **Sustainability** 13(24): 13624. <https://doi.org/10.3390/su132413624>.

การใช้ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ร่วมกับดัชนีความต่างความชื้นของพืช (NDMI)
เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากไฟป่าในพื้นที่ป่าไม้ ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2
กรณีศึกษา ป่าสงวนแห่งชาติจังหวัดแพร่

Application of Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Moisture
Index (NDMI) to Study the Impacts of Wildfires in Forest Areas Using Sentinel-2
Satellite Imagery: A Case Study of National Reserves Forest, Phrae Province

พนิตต์นาฏ กังหัน¹ ธนากร ลัทธธีระสุวรรณ¹ ทิมา โยธากักดี¹ อุบลวรรณ สุภาแสน²
สินีนฏ สองศรี³ และปิยะพิศ ขอนแก่น^{1,*}

Panitnart Kanghan¹, Thanakorn Lattirasuvan¹, Teeka Yotapakdee¹, Ubonwan Subhasaen²
Sieneenard Songsri³ and Piyapit Khonkaen^{1,*}

¹สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

²สาขาวิชารัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

³กลุ่มวิทยาศาสตร์พื้นฐาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

¹Department of Forest Management, Maejo University Phrae Campus, Phrae, Thailand 54140

²Department of Political Science, Maejo University Phrae Campus, Phrae, Thailand 54140

³Basic Science Group, Maejo University Phrae Campus, Phrae, Thailand 54140

*Corresponding author: piyapit@gmail.com

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0001-5929-2701>

Received: October 16, 2025

Revised: February 10, 2026

Accepted: March 11, 2026

Abstract

The objectives of this study were: (1) to analyze changes in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Difference Moisture Index (NDMI) before and after forest fire events; and (2) to classify areas affected by forest fires using Sentinel-2 satellite imagery. The study was conducted in Phrae National Reserved Forest, Thailand, over a five-year period from 2019 to 2024. The results revealed that average NDVI values prior to forest fire occurrences ranged from approximately 0.50 to 0.52, whereas post-fire NDVI values declined to between 0.27 and 0.30. The difference in NDVI (dNDVI) ranged from 0.14 to 0.25, indicating a statistically significant decrease in vegetation greenness. Correspondingly, the mean NDMI values before the forest fires ranged from 0.17 to 0.51, while post-fire NDMI values declined to between 0.03 and -0.03, reflecting a substantial loss of vegetation moisture. This reduction is attributed to combustion processes and the evaporation of canopy water resulting from the forest fires. Analysis of NDMI change (dNDMI) further demonstrated

variation between 0.18 and 0.48, highlighting severe vegetation moisture loss in areas directly impacted by fire. Accuracy assessment of the burned-area classification derived from Sentinel-2 imagery yielded an overall accuracy of 92.99% and a Kappa coefficient of 0.83, suggesting a high level of classification reliability.

Keywords: forest resources, conserved forest, protected forest, the impacts of forest fires

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) และดัชนีความต่างของความชื้นของพืช (Normalized Difference Moisture Index: NDMI) ก่อนและหลังการเกิดไฟป่า 2) เพื่อจำแนกพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากไฟป่า โดยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กรณีศึกษา ป่าสงวนแห่งชาติจังหวัดแพร่ ช่วงเวลาก่อนและหลังเกิดไฟป่า กำหนดช่วงเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562–2567 ผลการศึกษาพบว่า ดัชนีพืชพรรณก่อนเกิดไฟป่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 0.50 ถึง 0.52 และหลังเกิดไฟป่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 0.27 ถึง 0.30 เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของดัชนีพืชพรรณ (dNDVI) พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 0.14 ถึง 0.25 ซึ่งหมายถึงการลดลงของค่าความเขียวของพืชพรรณอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการวิเคราะห์ดัชนีความต่างของความชื้นของพืชพบว่า ก่อนเกิดไฟป่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 ถึง 0.51 และหลังจากเกิดไฟป่าพบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.03 ถึง -0.03 บ่งชี้ถึงการสูญเสียความชื้นในพืชพรรณอันเกิดจากกระบวนการเผาไหม้และการระเหยของน้ำในเรือนยอด เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงดัชนีความต่างของความชื้นของพืช (dNDMI) มีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.18 ถึง 0.48 ซึ่งพบการสูญเสียความชื้นของพืชพรรณอย่างมากในบริเวณที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากไฟป่า สอดคล้องกับการประเมินความถูกต้องของผลการแปลภาพพื้นที่เกิดไฟไหม้ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวม (overall accuracy)

และสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa coefficient) เท่ากับร้อยละ 92.99 และ 0.83 ตามลำดับ สะท้อนความแม่นยำของการจำแนกภาพในระดับดีมาก

คำสำคัญ: ทรัพยากรป่าไม้ ป่าอนุรักษ์ ป่าสงวน
ผลกระทบของไฟป่า

บทนำ

พื้นที่ป่าธรรมชาติจังหวัดแพร่ มักเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาไฟป่าอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลของสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดแพร่ ระบุว่าในปี พ.ศ. 2563 มีพื้นที่ที่ถูกไฟไหม้ในจังหวัดแพร่ถึง 62,345 ไร่ เพิ่มขึ้นกว่าร้อยละ 28 ของพื้นที่เผาไหม้ทั้งหมด จากปี พ.ศ. 2562 (Phrae Provincial Office of Natural Resources and Environment, 2024) ดังนั้นไฟป่าที่เกิดขึ้นจึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อสัตว์ป่าในพื้นที่ ทั้งการสูญเสียที่อยู่อาศัย แหล่งอาหาร และเส้นทางอพยพ นอกจากนี้ ยังก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศจากการสัมผัสกับ PM2.5 ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพทางเดินหายใจของประชาชนในวงกว้าง โดยพบว่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ที่สูงขึ้น มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์จากการสัมผัสฝุ่นละอองทางการหายใจ และส่งผลกระทบทั้งในระยะสั้นและระยะยาว (Choya *et al.*, 2025)

อย่างไรก็ตาม สถานการณ์การเกิดไฟป่าในจังหวัดแพร่ มีแนวโน้มลดลงในช่วงหลายปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะในช่วงปลายฤดูร้อน สอดคล้องกับข้อมูลจาก Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (2025) ที่รายงานพบจุดความ

ร้อน (Hotspot) ย้อนหลังภายในระยะเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 ถึง 2564 ในช่วงเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม ซึ่งเป็นเดือนสุดท้ายของฤดูร้อนมีจำนวนลดลง หลังจากมีจำนวนจุดความร้อนสูงสุดในปี พ.ศ. 2562 ที่จำนวน 205,373 จุดทั่วประเทศ ตามด้วยจำนวน 205,288 จุด ในปี พ.ศ. 2563 จากนั้นลดลงมาเหลือจำนวน 101,869 จุด ในปี พ.ศ. 2564 ส่วนข้อมูลในปี พ.ศ. 2565 นับตั้งแต่ต้นปีถึงวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2565 พบจุดความร้อนทั่วประเทศจำนวน 31,082 จุด ซึ่งน้อยกว่าปีที่ผ่านมาถึงจำนวน 48,359 จุด โดยสาเหตุที่จุดความร้อนมีจำนวนลดลง เนื่องจากอิทธิพลของลานีญา (La Niña) ที่ทำให้เกิดจากความผันผวนของกระแสอากาศโลก บริเวณเส้นศูนย์สูตรเหนือนมหาสมุทรแปซิฟิก ส่งผลให้ประเทศไทยมีฝนตกมากกว่าปกติ อีกทั้ง การลดลงของจำนวนจุดความร้อนไม่ได้เกิดจากปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศเพียงอย่างเดียว แต่ยังเป็นอาจเป็นผลจากมาตรการบริหารจัดการไฟป่าของหน่วยงานภาครัฐและชุมชนในพื้นที่ร่วมด้วย เช่น การชิงเผาเพื่อลดปริมาณเชื้อเพลิง การจัดทำแนวกันไฟ การลาดตระเวนเฝ้าระวัง การรณรงค์หยุดเผาในที่โล่งและการมีส่วนร่วมของชุมชนในการควบคุมไฟป่า ซึ่งมาตรการจัดการเชื้อเพลิงและการชิงเผา (fuel management and prescribed burning) ได้รับการยืนยันว่าช่วยลดความรุนแรงและโอกาสการลุกลามของไฟป่าได้อย่างมีนัยสำคัญ (Kelp *et al.*, 2025) และการมีส่วนร่วมของชุมชนและการจัดการไฟป่าในระดับพื้นที่ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันและควบคุมไฟป่าได้เป็นอย่างดี (RECOFTC, 2024)

ดัชนีเชิงสเปกตรัม (spectral indices) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยอาศัยความแตกต่างของการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นของพืช พื้นดิน น้ำ หรือวัตถุอื่น ๆ บนพื้นผิวโลก เพื่อนำค่าการสะท้อนแสงในคลื่นต่าง ๆ มาคำนวณเป็นอัตราส่วนหรือสมการ โดย Oonban and Deedomchan (2023) กล่าวว่าเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (geo-informatics) นิยมนำมาวิเคราะห์

คาดการณ์ และติดตามสถานการณ์ไฟป่า โดยสามารถชี้เฉพาะพื้นที่ซึ่งได้รับผลกระทบจากการเผาไหม้และสะท้อนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ได้แก่ ดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ที่สามารถประเมินการปกคลุมของพืชเหนือพื้นดินในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากไฟป่า และดัชนีความต่างความชื้นของพืช (Normalized Difference Moisture Index: NDMI) เพื่อประเมินปริมาณความชื้นในพืช (Arruda *et al.*, 2021; Pinto *et al.*, 2021; Konpian *et al.*, 2020; Ruthamnong, 2019; Obpaet *et al.*, 2021)

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ประยุกต์ใช้ดัชนีเชิงสเปกตรัมวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) และดัชนีความต่างของความชื้นของพืช (Normalized Difference Moisture Index: NDMI) ก่อนและหลังการเกิดไฟป่า 2) เพื่อจำแนกพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากไฟป่า โดยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กรณีศึกษา ป่าสงวนแห่งชาติจังหวัดแพร่ ช่วงเวลาก่อนและหลังเกิดไฟป่า ภายในช่วงเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562–2567 ในการประเมินปริมาณความชื้นในพืช เพื่อเป็นข้อมูลการประเมินขอบเขตของไฟป่า ผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพืชพรรณและการฟื้นตัวหลังไฟป่า อีกทั้งเป็นฐานข้อมูลสำคัญในการบริหารจัดการภัยพิบัติทางธรรมชาติ ซึ่งคาดว่าผลการศึกษานี้จะสามารถนำผลลัพธ์ไปใช้ในการวางแผนพื้นที่ป่า การจัดสรรทรัพยากร การติดตามการฟื้นตัวของพืชพรรณ และสนับสนุนการบริหารจัดการไฟป่าเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

การคัดเลือกพื้นที่และการรวบรวมข้อมูล

คัดเลือกพื้นที่ศึกษาในป่าสงวนแห่งชาติจังหวัดแพร่ ที่มีสถิติการรายงานจุดความร้อน (hotspot) และสถิติการเกิดไฟป่าในช่วงระยะเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.

2562 ถึงปี พ.ศ. 2567 โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงเดือนพฤศจิกายนของปีก่อนหน้า ทั้งนี้คัดเลือกเลือกวันที่มีภาพถ่ายดาวเทียมชัดเจนเพื่อเป็นตัวแทนของสภาพพื้นที่ก่อนเกิดไฟป่า เปรียบเทียบกับภาพถ่ายในช่วงเดือนมกราคม – เมษายน ของปีที่ต้องการศึกษา เช่นเดียวกันกับการคัดเลือกที่มีภาพถ่ายดาวเทียมชัดเจนเพื่อเป็นตัวแทนของสภาพพื้นที่หลังเกิดไฟป่า เพื่อให้ได้ค่าดัชนีพืชพรรณในช่วงเวลาก่อนและหลังเกิดไฟป่าในแต่ละปี นำมาเปรียบเทียบกันทั้งในปีเดียวกันและต่างปี

การจัดเตรียมข้อมูลทุติยภูมิ

การเตรียมข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 สำหรับการวิจัยครั้งนี้ เลือกใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-2A (level-2A) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการจำแนกข้อมูลมาเบื้องต้น (scene classification) และทำ

การปรับแก้ค่าสะท้อนจากชั้นบรรยากาศ (atmospheric correction) ในระดับ (Top of Atmosphere: TOA) เป็นข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศ (Bottom of Atmosphere: BOA) ทำการดาวน์โหลดภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงปี พ.ศ. 2562–2567 ขององค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency: ESA) จากเว็บไซต์ <https://browser.dataspace.copernicus.eu/> รายละเอียดตารางดังนี้ ระวัง 47QNA ระวัง 47QNV ระวัง 47QPA และระวัง 47QPV จำนวน 5 ช่วงปี (ตั้งแต่ พ.ศ. 2562–2567) จำนวน 24 ภาพ และนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ทั้ง 5 ช่วง มารวมแบนด์ (layer stack) ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมทุกภาพและทุก ระวัง ด้วยโปรแกรม ArcGIS Pro (composite bands function) โดยเลือกแบนด์ที่จะทำการรวมให้เหมาะสม สำหรับการหาค่าดัชนีพืชพรรณก่อนและหลังการเกิดไฟป่า รายละเอียดดัง Table 1

Table 1 Sentinel-2 imagery and specific bands employed at study areas

Time period	Month/Year	Situations	Bands
Period I	November - 2019	Pre burn	Bands B02, B03, B04, B08, B11, and B12 for all Sentinel-2 scenes and tiles
	April - 2020	Post burn	
Period II	November - 2020	Pre burn	
	March - 2021	Post burn	
Period III	November - 2021	Pre burn	
	March - 2022	Post burn	
Period IV	November - 2022	Pre burn	
	March - 2023	Post burn	
Period V	November - 2023	Pre burn	
	March - 2024	Post burn	

การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่ทำการรวมแบนด์ (layer stack) มาคำนวณหาค่าดัชนีพรรณพืชพรรณก่อนและหลังการเกิดไฟป่าด้วยเครื่องมือ band arithmetic function ของโปรแกรม ArcGIS Pro ทำการ

วิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมตามสมการใน Table 2 รายละเอียดดังนี้

- 1) วิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ในแต่ละปีจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ดังสมการที่ (1) และสมการที่ (2) โดยที่ RED และ NIR คือค่า digital

number ของค่าการสะท้อนที่ช่วงคลื่น 0.665 และ 0.842 ไมโครเมตร ตามลำดับ จะได้ค่าดัชนีพืชพรรณในแต่ละช่วงเวลาทั้งก่อนและหลังเกิดไฟป่า

2) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของดัชนีพืชพรรณ (dNDVI) ตามวิธีการของ Volcani *et al.* (2005) ซึ่งเป็นการนำค่าของ NDVI ในปีก่อนหน้าลบกับค่า NDVI ในปีหลัง ดังสมการที่ (3) เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพืชพรรณที่เปลี่ยนแปลงไปในพื้นที่ก่อนและหลังเกิดไฟป่าของแต่ละปี โดยค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีพืชพรรณพืช แสดงดัง Table 3

3) วิเคราะห์ดัชนีความต่างความชื้นของพืช (NDMI) เป็นการตรวจวัดความแห้งแล้งและความชื้นของพืช โดยการตรวจจับสสารและน้ำที่อยู่ภายในส่วนใบของพืชที่สามารถสะท้อนความแตกต่างของวัตถุในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ คำนวณเป็นอัตราส่วนระหว่างค่า NIR และ SWIR ตามวิธีการของ Veraverbeke *et al.* (2010) ดังสมการที่ (4) และ (5)

4) วิเคราะห์ดัชนีการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างความชื้นของพืช (dNDMI) ดังสมการที่ (6) โดยค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีพืชพรรณพืช ตามวิธีการของ Mushayi *et al.* (2023) แสดงดัง Table 4

การตรวจสอบความถูกต้องของพื้นที่เกิดไฟป่า
ภาคสนาม

1) คำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นทำการสุ่มตัวแทนของพื้นที่เผาไหม้ในพื้นที่ศึกษา โดยใช้วิธีการสร้างจุดแบบสุ่มตำแหน่งอัตโนมัติ ด้วยโปรแกรมทางด้านภูมิสารสนเทศ จากนั้นกำหนดชั้นข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง 2 ประเภท คือ จุดที่เกิดไฟไหม้ และจุดที่ไม่เกิดไฟไหม้เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง โดยการตรวจสอบความถูกต้องของจุดตรวจสอบภาคสนามจากค่าอัตราส่วนการเผาไหม้ จำนวน 385 จุด เพื่อนำมาอ้างอิงพื้นที่ไฟไหม้และประเมินความถูกต้องของผลการแปลภาพพื้นที่เกิดไฟไหม้ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในปี พ.ศ. 2567 ในการคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างจะใช้หลักการความน่าจะเป็นทวินาม (Linta *et al.*, 2021) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้กำหนดระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีค่าเท่ากับ 2 (1.96)) และเปอร์เซนต์ความถูกต้องที่คาดหวังไว้ที่ร้อยละ 70 และยอมให้เกิดความผิดพลาดจากการสำรวจไม่เกินร้อยละ 10 ดังสมการ (7)

2) ประเมินความถูกต้องของข้อมูล โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่สำรวจภาคสนาม มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งผลการตรวจสอบความถูกต้องจะเป็นแบบตารางเมตริกหาค่าความถูกต้องรวม (overall accuracy) ดังสมการ (8) และสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa coefficient) ดังสมการ (9)

Table 2 Spectral index equations for Sentinel-2 image analysis

Spectral index	Equations	Number
NDVI	$(NIR - RED) / (NIR + RED)$	(1)
	$(B08 - B04) / (B08 + B04)$	(2)
dNDVI	$NDVI_{prefire} - NDVI_{postfire}$	(3)
NDMI	$(NIR - SWIR1) / (NIR + SWIR1)$	(4)
	$(B04 - B11) / (B04 + B11)$	(5)
dNDMI	$NDMI_{prefire} - NDMI_{postfire}$	(6)

Table 2 (Continued)

Spectral index	Equations	Number
n	$[Z^2(p)(q)] / e^2$	(7)
Overall accuracy	(Total number of correctly classified points / Total points) × 100	(8)
Kappa coefficient	$\frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_i \times x_j)}{N^2 \sum_{i=1}^r (x_i \times x_j)}$	(9)

Table 3 Normalized Difference Vegetation Index classification with delta (dNDVI) ranges for severity classes

dNDVI value range	Level
-0.31 – +0.10	Very low
+0.10 – +0.20	Low
+0.20 – +0.30	Moderate
+0.30 – +0.40	High
+0.40 – +0.68	Very high

Table 4 Normalized Difference Moisture Index classification with delta (dNDMI) ranges for severity classes

dNDMI value range	Level
-1.00 – -0.60	Very low canopy cover
-0.60 – -0.20	Low canopy cover
-0.20 – +0.20	Mid-high canopy cover
+0.20 – +0.60	High canopy cover
+0.60 – +1.00	Very high canopy cover

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ไฟป่าด้วยข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 ในเขตป่าสงวนแห่งชาติจังหวัดแพร่ แบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ประเด็น ดังนี้

ประเด็นที่ 1 การวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพืชพรรณ (dNDVI)

การวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติจังหวัดแพร่ ช่วงเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562–2567 เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีพืชพรรณสูงสุดต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละปี พบว่าค่าเฉลี่ยก่อนเกิดไฟป่า มีค่าเท่ากับ 0.51, 0.52, 0.51, 0.51 และ 0.50 ตามลำดับ แต่ภายหลังเกิดไฟป่า พบว่าค่าดัชนีพืชพรรณลดลงเป็น 0.27, 0.28, 0.36, 0.27 และ 0.30 ตามลำดับ (Table 5) ซึ่งดัชนีพืชพรรณก่อนเกิดไฟป่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 0.50–0.52 แสดงให้เห็นว่าลักษณะพื้นที่มีการปกคลุมด้วยพืชพรรณใบสีเขียวหนาแน่น (dense green leafy vegetation) และภายหลังเกิดไฟป่า มีค่าเฉลี่ยลดลงอยู่ในช่วงประมาณ 0.27–0.30 แสดงให้เห็นว่าลักษณะพื้นที่มีการปกคลุมด้วยพืชพรรณใบสีเขียวระดับปานกลาง (medium green leafy vegetation) ซึ่งหมายถึงพื้นที่ป่าไม่เกิดความเสียหายของพืชพรรณจากการเผาไหม้ อีกทั้งเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพืชพรรณ (dNDVI) ยังสนับสนุนให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพืชพรรณก่อนและหลังเกิดไฟป่าอย่างชัดเจน โดยที่ค่าเฉลี่ย dNDVI เมื่อเปรียบเทียบช่วงเวลาก่อนและหลังเกิดไฟป่าใน 5 ช่วงปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2562–2567 พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.23, 0.24, 0.14, 0.23 และ 0.20 ตามลำดับ (Table 6) โดยค่าเฉลี่ยที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.14–0.25 นี้ ชี้ให้เห็นถึงการลดลงของค่าความเขียวของพืชพรรณอย่างมีนัยสำคัญ ดังจะเห็นได้ว่าในช่วงปีที่ 3 (พ.ศ. 2564) นั้น มีการเปลี่ยนแปลงของค่า dNDVI น้อยกว่าช่วงปีอื่น ๆ ซึ่งข้อมูลจากแผนที่แสดงดัชนีพืชพรรณก่อนและหลังเกิดไฟป่าในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติจังหวัดแพร่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562–2567 (Figure 1)

เป็นหลักฐานสำคัญที่แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ NDVI ก่อนและหลังเกิดไฟป่า พบว่ามีค่าความแตกต่างเฉลี่ย (dNDVI) เท่ากับ 0.2104 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจุดตรวจสอบภาคสนาม ที่พบว่าพื้นที่ดังกล่าวมีการสูญเสียเรือนยอดของไม้ยืนต้นและพืชล้มลุกเป็นจำนวนมาก โดยการตรวจสอบความถูกต้องของจุดตรวจสอบภาคสนามจากการเผาไหม้ มีจำนวน 385 จุด เพื่อนำมาอ้างอิงพื้นที่ไฟไหม้และประเมินความถูกต้องของผลการแปลภาพพื้นที่เกิดไฟไหม้ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในปี พ.ศ. 2567 พบว่าค่าความถูกต้องโดยรวม (overall accuracy) เท่ากับร้อยละ 92.99 และสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa coefficient) เท่ากับ 0.83 ซึ่งสะท้อนความแม่นยำของการจำแนกภาพอยู่ในระดับดีมาก (Table 7)

ประเด็นที่ 2 การวิเคราะห์ดัชนีความต่างของความชื้นของพืช (NDMI) และการเปลี่ยนแปลงดัชนีความต่างของความชื้นของพืช (dNDMI)

การวิเคราะห์ดัชนีความต่างของความชื้นของพืช (NDMI) ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติจังหวัดแพร่ ช่วงเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562–2567 เมื่อเปรียบเทียบค่า NDMI สูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละปี พบว่าค่าเฉลี่ย NDMI ก่อนเกิดไฟป่าในช่วง 5 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2562–2567 (Table 5) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.17, 0.18, 0.51, 0.19 และ 0.17 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.17 ถึง 0.51 แสดงถึงสภาพพื้นที่พืชพรรณปกคลุมในระดับปานกลางถึงมาก (mid-high canopy cover) และภายหลังจากเกิดไฟป่าพบว่า มีค่าเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง -0.02, -0.03, 0.03, -0.01 และ -0.01 ตามลำดับ ส่วนดัชนีความต่างของความชื้นของพืชหลังเกิดไฟป่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ -0.03 ถึง 0.03 แสดงถึงสภาพพื้นที่พืชพรรณปกคลุมในระดับต่ำถึงปานกลาง (mid-low canopy cover) ชี้ให้เห็นว่าภายหลังการเกิดไฟป่า ดัชนีความต่างของความชื้นของพืชมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียความชื้นในพืชพรรณ จากกระบวนการเผาไหม้และการ

ระเหยของน้ำในเรือนยอด ส่งผลให้พื้นที่ที่มีการปกคลุมของพืชพรรณลดลงหลังจากเกิดไฟป่า นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความต่างของความชื้นของพืช (dNDMI) ยังแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความต่างของความชื้นของพืช ก่อนและหลังเกิดไฟป่า โดยที่ค่าเฉลี่ยของ dNDMI เมื่อเปรียบเทียบช่วงเวลาก่อนและหลังเกิดไฟป่าใน 5 ช่วงปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2562–2567 พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.19, 0.22, 0.47, 0.20 และ 0.18 ตามลำดับ (Table 6) โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.18–0.48 ที่แสดงถึงการสูญเสียความชื้นของพืชพรรณอย่างมากในบริเวณที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากไฟป่า

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของจุดตรวจสอบ อ้างอิงพื้นที่หลังการเกิดไฟไหม้ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติจังหวัดแพร่ ซึ่งนำมาประเมินความถูกต้องของผลการแปลภาพพื้นที่เกิดไฟไหม้ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในปี พ.ศ. 2567 พบว่ามีค่าความถูกต้องโดยรวม (overall accuracy) เท่ากับร้อยละ 92.99 และสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa coefficient) เท่ากับ 0.83 สะท้อนความแม่นยำของการจำแนกภาพอยู่ในระดับดีมาก (Table 7)

Table 5 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Moisture Index (NDMI) before and after wildfire

Time period	Month-Year	Situations	NDVI			NDMI		
			Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
Period I	November 2019	Pre burn	-0.31	0.78	0.51	-0.57	0.55	0.17
	April 2020	Post burn	-1.00	1.00	0.27	-1.00	0.57	-0.02
Period II	November 2020	Pre burn	-0.32	0.79	0.52	-0.43	0.54	0.18
	March 2021	Post burn	-0.22	0.69	0.28	-0.62	0.46	-0.03
Period III	November 2021	Pre burn	-0.31	0.77	0.51	-0.30	0.77	0.51
	March 2022	Post burn	-0.25	1.00	0.36	-0.59	0.46	0.03
Period IV	November 2022	Pre burn	-0.34	0.75	0.51	-0.42	0.60	0.19
	March 2023	Post burn	-0.19	0.65	0.27	-0.75	0.43	-0.01
Period V	November 2023	Pre burn	-0.31	0.76	0.50	-0.52	0.54	0.17
	March 2024	Post burn	-1.00	0.71	0.30	-1.00	0.50	-0.01

Table 6 Differenced Normalized Difference Vegetation Index (dNDVI) and Differenced Normalized Difference Moisture Index (dNDMI)

Time period	dNDVI				dNDMI			
	Min	Max	Mean	Std dev.	Min	Max	Mean	Std dev.
Period I	-0.97	1.11	0.23	0.11	-0.73	1.11	0.19	0.09
Period II	-0.66	0.76	0.24	0.11	-0.65	0.88	0.22	0.10
Period III	-0.70	0.85	0.14	0.10	-0.49	1.01	0.47	0.11
Period IV	-0.62	0.67	0.23	0.10	-0.63	0.97	0.20	0.09
Period V	-0.66	0.98	0.20	0.20	-0.66	1.02	0.18	0.11

Table 7 Accuracy assessment results of reference points for burned area in Phrae National Forest Reserve

Satellite image classification	Field verification results		Total	User's accuracy (%)
	Burned area	Unburned area		
Classified as burned area	102.00	16.00	118.00	95.88
Classified as unburned area	11.00	256.00	267.00	86.44
Total	113.00	272.00	385.00	
Producer's accuracy (%)	94.12	90.27		
Overall accuracy (%)		92.99		
Kappa coefficient		0.83		

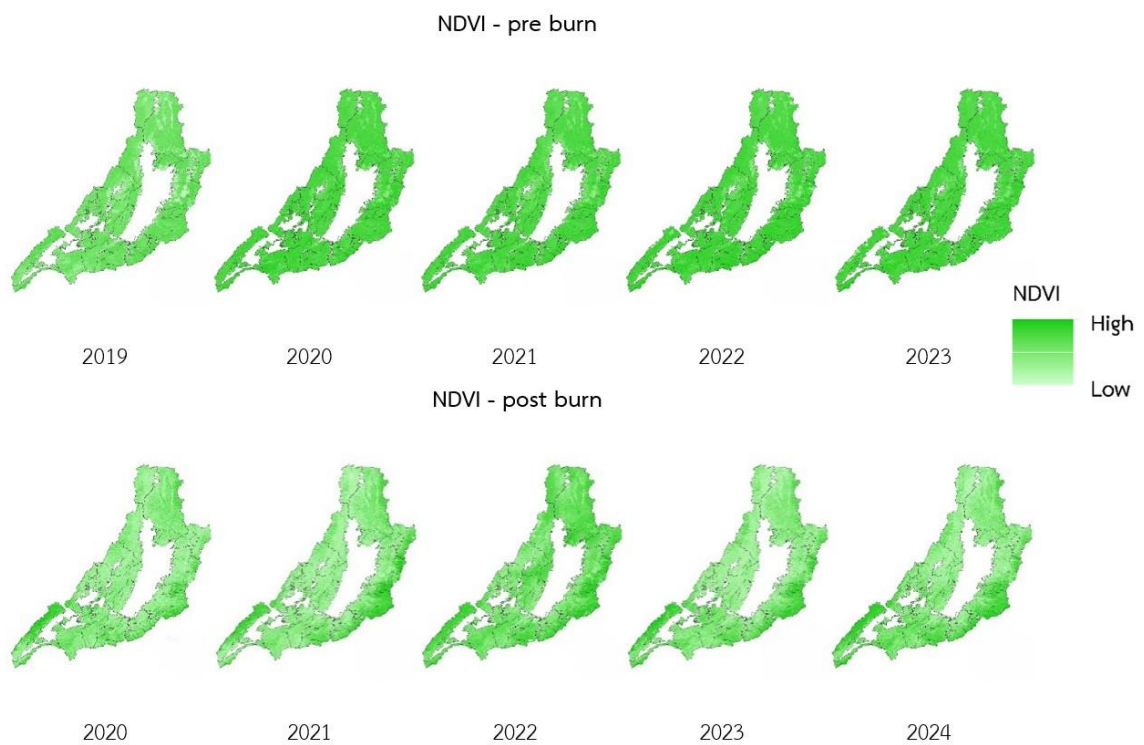


Figure 1 NDVI maps before and after wildfires in Phrae National Reserved Forests between 2019–2024

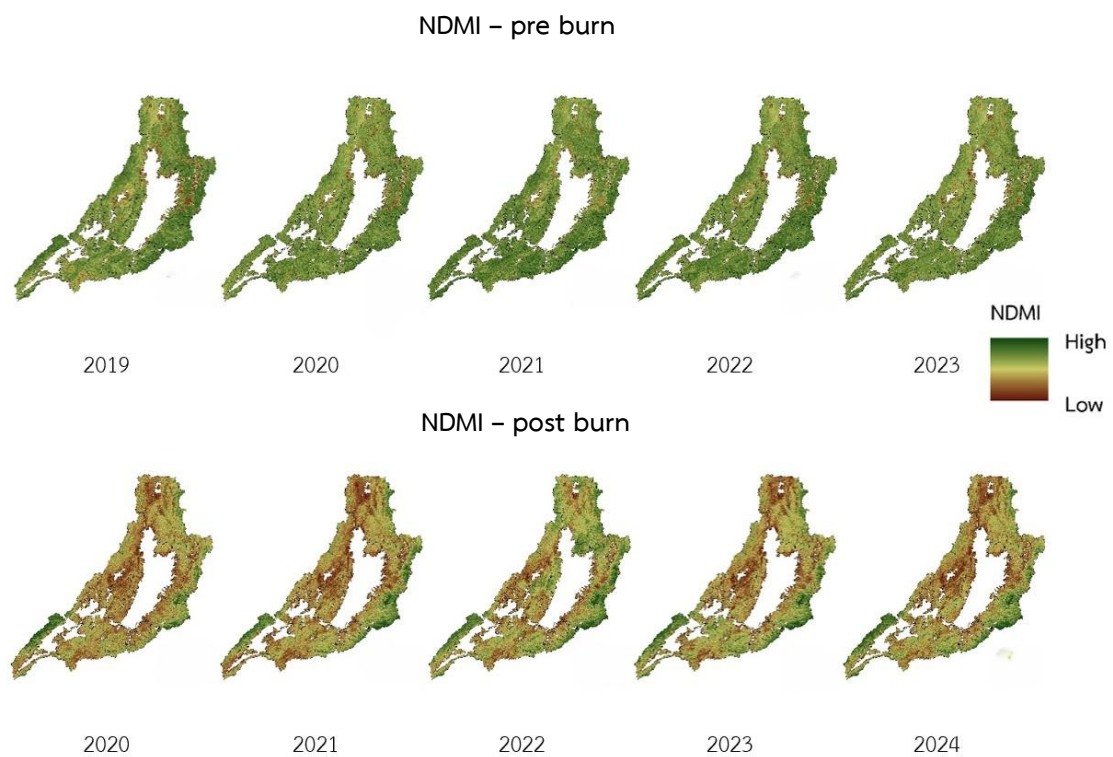


Figure 2 NDMI maps before and after wildfires in Phrae National Reserved Forests between 2019–2024

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษานี้มีแนวโน้มสอดคล้องกับงานของ Pereira *et al.* (1997) ที่พบว่าค่า NDVI และ dNDVI สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณหลังไฟป่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับดัชนีความชื้น เช่น NDMI ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกระดับความเสียหาย โดยการลดลงของค่า NDVI หลังเกิดไฟป่า แสดงให้เห็นถึงการสูญเสียมวลชีวภาพและการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างพืชพรรณ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bilal (2025) ที่ระบุว่าค่า NDVI มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของเรือนยอดและชีวมวลเหนือพื้นดิน นอกจากนี้ค่าการเปลี่ยนแปลงของ dNDVI ที่สูง ยังแสดงถึงความรุนแรงของการเผาไหม้ในระดับสูง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการฟื้นตัวของพืชพรรณในระยะยาว นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนี NDVI และ dNDVI ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในการติดตามผลกระทบจากไฟป่า ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนฟื้นฟูพื้นที่ป่าหลังไฟไหม้ และการจัดทำฐานข้อมูลพื้นที่เสี่ยงไฟป่าในอนาคต

การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความชื้นต่างของความชื้นของพืชภายหลังเกิดไฟป่า จะเห็นได้ว่าในช่วงปีที่ 3 (พ.ศ. 2564–2565) มีค่าการเปลี่ยนแปลงของ dNDMI มากกว่าช่วงปีอื่น ๆ แสดงให้เห็นถึงการปกคลุมเรือนยอดที่สูงมาก และมีความชื้นสูงมาก หรือมีสภาพน้ำในใบพืชมาก พื้นที่อ้อมตัวด้วยความชื้น และมีการปกคลุมเรือนยอดสูงโดยไม่มีภาวะเครียดจากน้ำ ต่างจากพื้นที่ที่มีภาวะเครียดจากความชื้นและพื้นที่ปกคลุมเรือนยอด อันเป็นผลมาจากก่อนเกิดไฟป่าในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 สอดคล้องกับข้อมูลจากองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization: WMO) ที่รายงานว่า ปี พ.ศ. 2563 เป็นปีที่ร้อนที่สุด และมีการคาดการณ์ว่า มีปรากฏการณ์ลานีญาเกิดขึ้น ในช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน ที่ส่งผลให้ประเทศไทยมีปริมาณฝนและมีพายุมากขึ้นด้วยเช่นกัน ทำให้มีปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้นในบางพื้นที่ ส่งผลจนถึงหลังเกิดไฟป่าในเดือนมีนาคม

พ.ศ. 2565 จึงทำให้พื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติจังหวัดแพร่ มีค่า dNDMI สูง อีกทั้งยังสอดคล้องกับค่า NDVI และ dNDVI ที่แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่ 3 ของการศึกษา มีค่าการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพืชพรรณน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาอื่น ๆ สำหรับแผนที่แสดงดัชนีความต่างของความชื้นของพืช ก่อนและหลังเกิดไฟป่าในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติจังหวัดแพร่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562–2567 (Figure 2) พบว่ามีค่าความแตกต่างเฉลี่ย (dNDMI) เท่ากับ 0.25 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลภาคสนามที่พบว่า พื้นที่ดังกล่าวมีพืชพรรณถูกเผาไหม้เป็นวงกว้าง โดยมีจุดตรวจสอบภาคสนามจากค่าการเผาไหม้ทั้งสิ้น จำนวน 385 จุด เพื่อนำมาอ้างอิงพื้นที่ไฟไหม้และประเมินความถูกต้องของการแปลภาพพื้นที่เกิดไฟไหม้ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในปี พ.ศ. 2567 สอดคล้องกับการศึกษา Pereira *et al.* (1997) ที่พบว่าค่า NDMI มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในพืชพรรณหลังเกิดไฟป่า และสามารถใช้ร่วมกับ NDVI เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกระดับความเสียหายของพื้นที่ป่า อีกทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Roy *et al.* (2005) ซึ่งเสนอว่า dNDMI สามารถใช้ประเมินการฟื้นตัวของพืชหลังเกิดไฟไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยค่า NDMI จะสะท้อนความชื้นของพืชพรรณได้ดี และเป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงความชื้นของพืชได้ แต่พบข้อจำกัดในกรณีที่ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ได้รับอิทธิพลจากความชื้นในดินหรือเมฆบาง ซึ่งอาจทำให้ค่าดัชนีเบี่ยงเบนไปจากสภาพจริง

นอกจากนี้ พืชพรรณบางชนิดที่มีใบสะท้อนแสงในช่วง SWIR สูง อาจทำให้มีค่า NDMI ต่ำกว่าความเป็นจริง ดังนั้น การวิเคราะห์จึงควรใช้ NDMI ร่วมกับดัชนีอื่น เช่น NDVI เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินพื้นที่ไฟป่า อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงของค่า NDMI และ dNDMI ยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือเบื้องต้นในการติดตามความรุนแรงของไฟป่า และการฟื้นฟูสภาพพืชพรรณในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้มีประโยชน์ต่อการจัดทำฐานข้อมูลพื้นที่เสี่ยงไฟป่า และการวางแผนจัดการป่าชุมชนในระดับท้องถิ่น

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงก่อนเกิดไฟป่าและภายหลังเกิดไฟป่า โดยพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบรุนแรงจะมีค่าดัชนี NDVI ลดลงอย่างมากจากค่าประมาณ 0.50–0.52 ก่อนเกิดไฟป่า ซึ่งบ่งชี้ถึงลักษณะพื้นที่ที่มีการปกคลุมด้วยพืชพรรณใบสีเขียวหนาแน่น (dense green leafy vegetation) เหลือค่าเฉลี่ยลดลง อยู่ในช่วงประมาณ 0.27–0.30 ภายหลังเกิดไฟป่า แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่มีการปกคลุมด้วยพืชพรรณใบสีเขียวในระดับปานกลาง (medium green leafy vegetation) ซึ่งให้ถึงการสูญเสียพื้นที่ปกคลุมของพืชพรรณและการเผาไหม้ของใบไม้ ตลอดจนการทำลายโครงสร้างทางชีวภาพของพืชในระดับเรือนยอด สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของ dNDVI เมื่อเปรียบเทียบช่วงเวลาก่อนและหลังเกิดไฟป่า พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.14–0.25 ซึ่งหมายถึง การลดลงของค่าความเขียวของพืชพรรณอย่างมีนัยสำคัญ โดยในช่วงปีที่ 3 (พ.ศ. 2564) มีการเปลี่ยนแปลงของค่า dNDVI น้อยกว่าช่วงปีอื่น ๆ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ NDVI ก่อนและหลังเกิดไฟป่า พบว่ามีค่าความแตกต่างเฉลี่ย (dNDVI) เท่ากับ 0.21 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจุดตรวจสอบภาคสนาม ที่พบว่าพื้นที่ดังกล่าวมีการสูญเสียเรือนยอดของไม้ยืนต้นและพืชล้มลุกเป็นจำนวนมาก

การวิเคราะห์ดัชนีความต่างของความชื้นของพืช (NDMI) ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติจังหวัดแพร่ ช่วงเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562–2567 เมื่อเปรียบเทียบค่า NDMI สูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละปี พบว่ามีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.17–0.51 (Table 6) แสดงถึงสภาพพื้นที่พืชพรรณปกคลุมในระดับปานกลางถึงมาก (mid-high canopy cover) แต่ภายหลังจากเกิดไฟป่าพบว่า มีค่าเฉลี่ยลดลงเหลือเพียงประมาณ -0.03 ถึง 0.03 แสดงถึงสภาพพื้นที่พืชพรรณปกคลุมอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง

(mid-low canopy cover) ซึ่งให้เห็นว่าภายหลังการเกิดไฟป่าค่าดัชนีความต่างของความชื้นของพืชจะลดลง โดยที่ค่าเฉลี่ยของ dNDMI เปรียบเทียบช่วงเวลาก่อนและหลังเกิดไฟป่า มีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.18–0.48 สะท้อนถึงการสูญเสียความชื้นของพืชพรรณอย่างมาก ในบริเวณที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากไฟป่า ดังจะเห็นได้จากช่วงปีที่ 3 (พ.ศ. 2564–2565) มีค่าการเปลี่ยนแปลงของ dNDMI มากกว่าช่วงปีอื่น ๆ สอดคล้องกับค่า NDVI และ dNDVI ที่แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่ 3 ของการศึกษามีค่าการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพืชพรรณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับช่วงเวลาอื่น ๆ ที่ทำการศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 3 สาขาแพร่ กรมป่าไม้ ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Arruda, L.S.V., J.V. Piontekowski, A. Alencar, S.P. Reginaldo and A.T.E. Matricardi. 2021. An alternative approach for mapping burn scars using landsat imagery, Google Earth Engine, and deep learning in the Brazilian Savanna. **Remote Sensing Applications: Society and Environment** 22(2021): 100472. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100472>
- Bilal, M. 2025. Spectral indices alone are not enough: a critical assessment of pre-fire forest fires risk mapping. **Ecological Informatics** 91(2025): 103435.

- Choya, A., S. Tuprakay, P. Premanoch and M. Ratcha 2025. Health risk assessment from inhalation exposure to PM2.5 among adults groups in the upper northern region of Thailand. **Journal of Faculty of Public Health, Ubon Ratchathani Rajabhat University** 14(1): 55–65. [in Thai]
- Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization). 2025. **Five-year historical hot spot statistics**. Retrieved from https://www.gstda.or.th/news_view.php?n_id=5688&lang=TH [in Thai]
- Kelp, M., M. Burke, M. Qiu, I. Higuera-Mendieta, T. Liu, N.S. Diffenbaugh. 2025. Effect of recent prescribed burning and land management on wildfire burn severity and smoke emissions in the Western United States. **AGU Advances** 6(3): e2025AV001682 <https://doi.org/10.1029/2025AV001682>
- Konpian, S., J. Som-ard, W. Jitsukka and S.R. Suwanlee. 2020. Assessment of forest recovery at conservation areas in Loei province using landsat imagery in time series. **Thai Science and Technology Journal** 28(7): 1185–1201. [in Thai]
- Linta, N., N. Mahavik, S. Chatsudarat, K. Seecjata and A. Yodying. 2021. Analysis of burning area from forest fire using Sentinel-2 image: a case study of Pai, Mae Hong Son province. **Journal of Applied Informatics and Technology** 3(2): 101–121. [in Thai]
- Mushayi, M.M., S. Kusangaya and N. Mujere 2023. Use of remote sensing to determine rainwater harvesting sites for piped micro-irrigation schemes in Chimanimani district. **Zimbabwe. Water SA**. 49(1): 56–63. <https://doi.org/10.17159/wsa/2023.v49.i1.3943>.
- Obpaet, A., P. Thongchap, W. Suksinuan and A. Yiba. 2021. Analysis of Wildfire Severity Using Sentinel-2 Satellite Imagery: A Case Study of Doi Suthep-Pui National Park. pp. SGI-07-1-8. **In Proceedings of the 26th National Civil Engineering Conference 23–25 June 2021**. Bangkok: Civil Engineering and Beyond the Limit Development. [in Thai]
- Oonban, P. and K. Deeudomchan. 2023. Analyzing frequency and burned area extraction implement of Google Earth Engine platform. **The Journal of Spatial Innovation Development** 4(2): 93–110. [in Thai]

- Pereira, J.M.C., E. Chuvieco, A. Beaudoin and N. Desbois. 1997. Remote Sensing of Burned Areas: A Review Remote Sensing of Environment. pp. 127–184. *In* Chuvieco, E. (Eds.). **A Review of Remote Sensing Methods for the Study of Large Wildland Fires**. Spain: Impreso en España.
- Phrae Provincial Office of Natural Resources and Environment. 2024. **Provincial Natural Resources and Environment Management Plan, Phrae Province (2023–2027)**. Phare: Phrae Provincial Office of Natural Resources and Environment. 137 p. [in Thai]
- Pinto, M.M., R.M. Trigo, I.F. Trigo and C.C. DaCamara. 2021. A practical method for high-resolution burned area monitoring using Sentinel-2 and VIIRS. **Remote Sensing** 13(9): 1608. <https://doi.org/10.3390/rs13091608>
- RECOFTC. 2024. **Community-based Fire Management (CBFiM) in Thailand**. RECOFTC, Bangkok, Thailand. Retrieved from <https://www.recoftc.org/publications/community-based-fire-management-thailand> [in Thai]
- Roy, D.P., Y. Jinb, P.E. Lewisc and C.O. Justiceb. 2005. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. **Remote Sensing of Environment** 97(2): 137–162.
- Ruthamnong, S. 2019. Burned area extraction using multitemporal difference of spectral indices from Landsat 8 data: a case study of Khlong Wang Chao, Klong Lan and Mae Wong National Park. **The Golden Teak: Humanity and Social Science Journal (GTHJ)** 25(2): 49–65.
- Veraverbeke, S., S. Lhermitte, W. Verstraeten and R. Goossens. 2010. Assessing Burn Severity Using Satellite Time Series. pp. 107–118. *In* Brebbia, C.A. and G. Perona (Eds.). **Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires II**. Southampton: WIT Press. <https://doi.org/10.2495/FIVA100101>
- Volcani, A., A. Karnieli and T. Svoray. 2005. The use of remote sensing and GIS for spatio-temporal analysis of the physiological state of a semi-arid forest with respect to drought years. **Forest Ecology and Management** 215(1-3): 239–250. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.063>

การเจริญเติบโตของปลาบึกที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปราผง สด และหมัก

Growth Performance of Mekong Giant Catfish Fed with Powdered, Fresh, and Fermented *Arthrospira* sp.

สุดาพร ตงศิริ* จงกล พรมยะ และนิสรา กิจเจริญ

Sudaporn Tongsiri*, Jongkon Promya and Nissara Kitcharoen

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

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

*Corresponding author: sudap2515@gmail.com

*ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1182-5433>

Received: June 29, 2025

Revised: November 12, 2025

Accepted: November 24, 2025

Abstract

This study investigated the growth performance of Mekong giant catfish (*Pangasianodon gigas*) fed with diets containing different forms of *Arthrospira platensis*: 3% *Arthrospira* powder (D-SP), 30% fresh *Arthrospira* (W-SP), 30% fermented *Arthrospira* (F-SP) and a control diet. The fish were cultured in cages placed in earthen ponds, with 30 fish per cage, using a Completely Randomized Design (CRD). The initial average body weight of the fish was 47.09 ± 0.00 g. Each treatment was conducted in triplicate. Fish were fed at 5% of body weight per day for a period of 60 days. The results showed that the average weight gain of fish in the control group was 247.00 ± 19.99 g, while those fed with D-SP, W-SP, and F-SP diets had average weight gains of 226.50 ± 26.75 , 199.90 ± 19.59 and 255.50 ± 17.20 g, respectively. The daily growth rates for the control, D-SP, W-SP, and F-SP groups were 4.12 ± 0.33 , 3.78 ± 0.45 , 3.33 ± 0.32 , and 4.25 ± 0.28 g/fish/day, respectively. Protein efficiency ratios were 88.46 ± 0.00 , 87.39 ± 0.00 , 88.56 ± 0.00 , and $87.25 \pm 0.00\%$ for the control, D-SP, W-SP, and F-SP groups, respectively, with survival rates of 100% across all treatments and no significant differences ($p > 0.05$). Regarding body length, fish fed with the W-SP diet showed the longest increase (7.28 ± 0.23 cm), which was significantly higher than those fed with the D-SP diet ($p < 0.05$). The feed conversion ratios (FCR) of fish fed with the control and W-SP diets were 2.83 ± 0.01 and 2.82 ± 0.01 , respectively, showing a significant difference ($p < 0.05$). The lowest feed cost per kilogram of fish production was observed in the W-SP group. In conclusion, feeding Mekong giant catfish with a diet containing fresh *Arthrospira platensis* (W-SP) results in the longest body length, the lowest feed conversion ratio, and the lowest production cost per kilogram of fish. Therefore, fresh *Arthrospira platensis* is a suitable ingredient for Mekong giant catfish feed formulation.

Keywords: Mekong giant catfish, *Arthrospira* sp., growth performance

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการเลี้ยงปลาบึกด้วยอาหารผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปรา (Arthrospira platensis) ดังนี้ อาร์โธรสไปราผง 3 เปอร์เซ็นต์ (D-SP) อาร์โธรสไปราสด 30 เปอร์เซ็นต์ (W-SP) อาร์โธรสไปราหมัก 30 เปอร์เซ็นต์ (F-SP) และอาหารควบคุม (control) เลี้ยงปลาบึกในกระชังที่กางในบ่อดิน จำนวน 30 ตัวต่อกระชัง ออกแบบการทดลองแบบ CRD ปลาบึกเริ่มต้นมีขนาด 47.09 ± 0.00 กรัม ทุกชุดการทดลองมีจำนวน 3 ซ้ำ ให้อาหาร 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เลี้ยงปลาบึกเป็นระยะเวลา 60 วัน ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลาบึกในชุด control มีค่าเท่ากับ 247.00 ± 19.99 กรัม ส่วนในปลาบึกที่เลี้ยงด้วยอาหาร D-SP, W-SP และ F-SP มีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 226.50 ± 26.75 , 199.90 ± 19.59 และ 255.50 ± 17.20 กรัม อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน พบว่าชุดทดลอง control, D-SP, W-SP และ F-SP มีค่า 4.12 ± 0.33 , 3.78 ± 0.45 , 3.33 ± 0.32 และ 4.25 ± 0.28 กรัมต่อตัวต่อวัน ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนพบว่า ชุดทดลองมีประสิทธิภาพการใช้โปรตีน เท่ากับ 88.46 ± 0.00 , 87.39 ± 0.00 , 88.56 ± 0.00 และ 87.25 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการรอดในทุกชุดทดลอง มีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในส่วนของความยาวเฉลี่ยของชุดทดลองที่ได้รับอาหาร W-SP มีความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ 7.28 ± 0.23 ซม. แตกต่างอย่างกับชุดทดลอง D-SP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และอัตราการแลกเนื้อของชุดทดลองที่ได้รับอาหาร control และ W-SP มีค่า 2.83 ± 0.01 และ 2.82 ± 0.01 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนต้นทุนในการผลิตปลา 1 กิโลกรัม พบว่าสูตรอาหาร W-SP มีต้นทุนค่าอาหารต่ำที่สุด การศึกษาครั้งนี้ สรุปได้ว่าอาหารที่ผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปราสด ทำให้ปลาบึกยาวที่สุด และมีอัตราการแลกเนื้อต่ำ และมีต้นทุนในการผลิตปลา 1 กิโลกรัม

ต่ำที่สุด จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารในการผลิตอาหารเพื่อเลี้ยงปลาบึก

คำสำคัญ ปลาบึก สาหร่ายอาร์โธรสไปรา การเจริญเติบโต

บทนำ

ปลาบึก (*Pangasianodon gigas*) เป็นปลาน้ำจืดขนาดใหญ่ชนิดหนึ่ง ไม่มีเกล็ด ในธรรมชาติปลาบึกพบอาศัยอยู่ในแม่น้ำโขงและลำน้ำสาขา และเป็นปลาที่ต้องใช้ระยะเวลามากกว่า 7 ปี ในการเลี้ยงจนมีน้ำหนักมากกว่า 40 กิโลกรัม และสามารถสร้างอวัยวะสืบพันธุ์ที่สมบูรณ์ได้ (Suthus *et al.*, 2022) ทำให้ต้นทุนในการเพาะเลี้ยงปลาบึกสูง อาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการเลี้ยง หากมีการให้อาหารที่ดีและมีสารอาหารที่ครบถ้วนจะทำให้ปลาบึกเจริญเติบโตดีและมีความสมบูรณ์เพศได้ อาหารในธรรมชาติที่ปลาบึกกิน คือ สาหร่ายที่เกาะบริเวณหินและตัวอ่อนของแมลงในน้ำหรือตามโขดหิน มีรายงานของ Mengamphan (2016) ปลาบึกสามารถเพาะเลี้ยงได้ทั้งในบ่อ คอก และกระชัง โดยความหนาแน่นในการเลี้ยงปลาบึกเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่สุดจากข้อมูลการเลี้ยงในบ่อปลาบึกสามารถโตเฉลี่ย 4–5 กิโลกรัม/ปี การเลี้ยงปลาบึกด้วยอาหารสำเร็จรูป พบว่ามีการให้อาหารที่มีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ (Tongsiri *et al.*, 2010) และอาหารที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ (Suthus *et al.*, 2022)

การผลิตอาหารสัตว์น้ำอินทรีย์โดยใช้วัตถุดิบอินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนจากพืช ได้แก่ สาหร่ายอาร์โธรสไปรา *Arthrospira platensis* (Venkataraman, 1983) หรือ *Spirulina platensis* เป็นสาหร่ายที่เป็นแหล่งของวิตามิน 10 ชนิด คือ ไบโอดีน วิตามินบี แคลเซียมแพนโททีน กรดโฟลิก อินโนซีทอล กรดนิโคตินิก ไพรด็อกซิน โรโบฟลาวิน ไทอามีน และวิตามินอี (Hill, 1980) และมีรายงานการวิจัยพบว่า ส่วนสกัดน้ำของสาหร่ายมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เมื่อทดสอบในการทดลอง

ฤทธิ์กำจัดอนุมูล DPPH ฤทธิ์กำจัดอนุมูล superoxide และฤทธิ์ยับยั้งการเกิด lipid peroxidation ในหลอดทดลอง (*In Vitro*) (Peerapornpisal, 2009) การใช้สาหร่ายอาร์โธรสไปร่าเป็นอาหารเสริมในการเลี้ยงสัตว์น้ำมีประโยชน์ในแง่ของการปรับปรุงการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำให้ดีขึ้น รวมทั้งมีสารสำคัญในสาหร่ายที่ช่วยในการปรับปรุงสีเนื้อ การกระตุ้นการสืบพันธุ์ การสร้างภูมิคุ้มกันในสัตว์น้ำ และการเพิ่มองค์ประกอบของเม็ดเลือด (Alagawany *et al.*, 2021; Altmann and Rosenau, 2022) ในสัตว์น้ำกลุ่ม Crustacean พบมีการเสริมสาหร่ายสไปรูลินาในปูนา (Pintasiri and Promya, 2019) ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนที่มีศักยภาพในอาหารสัตว์ เนื่องจากผนังเซลล์ยังมีองค์ประกอบที่ง่ายต่อการย่อย และไม่มีเซลล์ลูไลสเป็นองค์ประกอบ (Duncan and Klesius, 1996)

การศึกษาการใช้สาหร่ายอาร์โธรสไปร่าในสูตรอาหาร พบว่าสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตได้ เช่น ในปลาหางนกยูง (Dernekbası *et al.*, 2010) ปลาเปคู (Carneiro *et al.*, 2022) และปลาเรนโบว์เทราต์ (Rosenau *et al.*, 2021) รวมทั้งในปลาคาร์ฟ พบว่าการเสริมสาหร่ายอาร์โธรสไปร่า ทำให้กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหารดีขึ้น (Ansarifard *et al.*, 2018) นอกจากนี้ ยังพบว่าช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกัน เอนไซม์ย่อยอาหาร และสารต้านอนุมูลอิสระให้สูงขึ้น จากรายงานการวิจัยที่มีการใช้สาหร่ายอาร์โธรสไปร่าเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ พบว่าช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตดีขึ้น และช่วยปรับปรุงคุณภาพเนื้อของสัตว์น้ำ อีกทั้งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารทดแทนปลาป่นได้ (Altmann and Rosenau, 2022) ซึ่งผลของสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าที่เสริมในอาหารสัตว์น้ำ มีส่วนทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำดีขึ้น

เมื่อศึกษาในส่วนของลำไส้สัตว์น้ำ พบการเจริญของจุลินทรีย์ในกลุ่ม Lactobacilli ร่วมด้วย (de Marco Castro, 2019) ซึ่งจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้มีส่วนช่วยให้การย่อยอาหารในลำไส้ดีขึ้น จึงทำให้มีการศึกษาโดยใช้สาหร่ายอาร์โธรสไปร่าหมักด้วยจุลินทรีย์หลายกลุ่ม

เพิ่มมากขึ้น เช่น กลุ่มแลคติกแบคทีเรีย จุลินทรีย์ EM และแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* เพราะการเพิ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยในการหมักสาหร่ายทำให้ได้ผลผลิตและผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น เช่น การหมักสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าด้วยแบคทีเรียในกลุ่มที่สร้างกรดแลคติก (*Lactobacillus plantarum*) ที่ระยะเวลา 24 และ 72 ชั่วโมง พบว่าช่วยเพิ่มการย่อยโปรตีนในสาหร่ายให้ได้ปริมาณกรดอะมิโนกลุ่มเมทาโอนีนอิสระเพิ่มมากขึ้น (de Marco Castro, 2019) การหมักสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าร่วมกับ *Lactobacillus acidophilus* และ *Kluyveromyces marxianus* ทำให้กิจกรรมการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น และช่วยให้โครงสร้างของสารอาหารและกลิ่นที่เกิดดีขึ้น รวมไปถึงทำให้อัตราส่วนของปริมาณกรดอะมิโนเพิ่มมากขึ้น (Yu *et al.*, 2024)

นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายหมักทำให้มีการกระตุ้นการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์จากอาหารสูงขึ้น กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหาร คุณภาพเลือด และการตอบสนองต่ออนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น และการใช้สาหร่ายอาร์โธรสไปร่าหมักในสูตรอาหาร ส่งผลให้ผลผลิตของปลาดีขึ้น (Sherif *et al.*, 2024) เพิ่มค่ากิจกรรมการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในเนื้อปลาให้ดีขึ้น (Yu *et al.*, 2024) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้มากขึ้น 4.4 เปอร์เซ็นต์ และมีกิจกรรมการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น 79 เปอร์เซ็นต์ (Niccolai *et al.*, 2019) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวิลโลในลำไส้เล็กให้ดูดีขึ้นได้มากขึ้น และเพิ่มอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ การเจริญเติบโต รวมทั้งเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของลำไส้เล็กให้มีค่าการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหารเพิ่มมากขึ้น และส่งผลให้ผลผลิตของปลาเพิ่มสูงขึ้นและปลามีสุขภาพดีขึ้น (Sherif *et al.*, 2024)

จากงานวิจัยที่ใช้สาหร่ายอาร์โธรสไปร่ามาเสริมในอาหารช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตในปลา ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการนำสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าในรูปแบบแตกต่างกันมาเพิ่มในสูตรอาหาร เพื่อศึกษาผลของการใช้สาหร่ายอาร์โธรสไปร่าที่แตกต่างกันในสูตรอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลาบึก

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมสาหร่ายอาร์โธรสไปราเพื่อเป็นวัตถุดิบเสริมในอาหารเพื่อเลี้ยงปลาบึก การเพาะเลี้ยงสาหร่ายอาร์โธรสไปราในบ่อระบบน้ำวน (raceway pond) ขนาด 2.5x15x0.20 เมตร ในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร Green canteen มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ค่าความหนาแน่น (optical density: OD) ของเซลล์สาหร่ายเริ่มต้นเท่ากับ 0.30 โดยวัดจากเครื่อง Spectrophotometer รุ่น DR 2000 ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร เมื่อเพาะเลี้ยงประมาณ 15 วัน ค่า OD เท่ากับ 0.8–1 เก็บเกี่ยวผลผลิตของสาหร่ายในรูปสด ทุก ๆ 15 วัน และนำสาหร่ายสดไปใช้ประโยชน์ (W) และบางส่วนนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C นาน 5 ชั่วโมง ได้สาหร่ายแห้ง ทำการบดในเครื่องบดได้สาหร่ายผง (D) นำสาหร่ายสดและผงไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารเพื่อผสมเป็นอาหารปลาบึก (Promya and Saetan, 2005)

การหมักสาหร่ายอาร์โธรสไปรา มีขั้นตอน คือนำสาหร่ายสด 7 ส่วน EM 2 ส่วน และ กากน้ำตาล 1 ส่วน หมักในถังหมักที่คลุมด้วยผ้าพลาสติก ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 25 วัน (Promya and Saetan, 2005)

เมื่อครบกำหนดสามารถนำสาหร่ายหมัก (F) ที่ได้มาใช้เป็นวัตถุดิบอาหาร

การวางแผนการทดลอง แบ่งเป็น 4 ชุดทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารควบคุม (control)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารผสมอาร์โธรสไปราผง 3 เปอร์เซ็นต์ (D-SP)

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารผสมอาร์โธรสไปราสด 30 เปอร์เซ็นต์ (W-SP)

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารผสมอาร์โธรสไปราหมัก 30 เปอร์เซ็นต์ (F-SP)

อาหารทดลอง มีระดับโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 4 ชุดการทดลอง และอาหารทุกสูตรถูกนำไปวิเคราะห์หาคุณค่าทางอาหารตามวิธีการของ AOAC (1990) ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทั้ง 4 สูตร พบว่าปริมาณโปรตีนในอาหารทุกสูตรมีค่าเท่ากับ 39.28 ± 0.83 , 39.51 ± 0.75 , 39.07 ± 0.55 และ 39.13 ± 0.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกชุดทดลอง ($p > 0.05$) ในส่วนของค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ความชื้น เถ้า ไขมัน และเยื่อใย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 1)

Table 1 The composition of feed mixed with *Arthrospira* sp.

Ingredients (%)	control	D-SP	W-SP	F-SP
Fish meal	30	30	30	30
Soybean meal	44	41	41	41
Rice bran	10	10	10	10
Broken rice	15	15	15	15
<i>Arthrospira</i> sp.	0	3*	3*	3*
Vitamin	1	1	1	1
protein	40	40	40	40
Total	100	100	100	100

Table 1 (Continued)

Ingredients (%)	control	D-SP	W-SP	F-SP
Proximate analysis (%)				
Protein	39.28±0.83	39.51±0.75	39.07±0.55	39.13±0.38
Moisture	6.24±0.03 ^a	6.36±0.16 ^a	6.97±0.10 ^b	7.18±0.03 ^b
Ash	10.09±0.05 ^a	10.73±0.06 ^b	10.5±0.02 ^b	10.66±0.05 ^b
Lipid	2.37±0.04 ^b	2.2±0.08 ^a	2.46±0.07 ^b	2.01±0.00 ^a
Fiber	9.38±0.29 ^b	7.79±0.07 ^a	9.51±0.12 ^b	8.4±0.08 ^a

Data were represented as means±SE different letters in each row indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

**Arthrospira* sp. calculate base on dried matter basis.

สัตว์ทดลอง ใช้ปลาบึกขนาด 47.09 ± 0.00 กรัม เลี้ยงในกระชังที่ทางในบ่อดิน จำนวน 30 ตัวต่อกระชัง ปริมาณน้ำที่ใช้เป็นแหล่งน้ำจากธรรมชาติที่มีการปล่อยเข้าในบ่อดินทุก ๆ 2 สัปดาห์

วางแผนการทดลอง แบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ในทุกชุดทดลอง ให้อาหารปลาบึก 5 เปอร์เซ็นต์ของ น้ำหนักตัว วันละ 2 ครั้ง เข้า-เย็น ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 60 วัน ตรวจวัดความยาวและน้ำหนักของปลาบึก ทุกตัวทุก ๆ 14 วัน จนครบระยะเวลาของการทดลอง และเก็บข้อมูลด้านประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ดังนี้

1) น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (WG) (g) = น้ำหนักปลาเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักปลาเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง

2) อัตรารอด (SR) (%) = (จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง X 100) / (จำนวนปลาเมื่อเริ่มการทดลอง)

3) อัตราการแลกเนื้อ (FCR) = (น้ำหนักของอาหารที่กิน X 100) / (น้ำหนักสัตว์น้ำที่เพิ่มขึ้น)

4) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) (g/ตัว/วัน) = (น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย - น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น) / จำนวนวัน

5) ความยาวเพิ่มเฉลี่ยของปลา (LG) (cm) = ความยาวปลาเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - ความยาวปลาเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง

6) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) = (น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น / น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน) X 100 (Nareerat *et al.*, 2019)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละทรีตเมนต์ จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ โดยวิธีของ Tukey's test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

การศึกษาต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ

1. ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม (บาท/ กก.) (Yooyen *et al.*, 2025) = FCR X ต้นทุนอาหาร

สถานที่ทำวิจัย: บ่อดินทดลอง และห้องปฏิบัติการ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

ผลการวิจัย

การเจริญเติบโตของปลาบึกที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายอาร์โรสไปรา

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของปลาบึกที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 4 สูตร โดยการทดลองใช้น้ำหนักปลาเริ่มต้น เท่ากับ 47.09 ± 0.00 กรัมต่อตัว เลี้ยงระยะเวลา

60 วัน ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลาบึกในชุด control มีค่าเท่ากับ 247.00 ± 19.99 กรัม ส่วนในปลาบึกที่เลี้ยงด้วยอาหาร D-SP, W-SP และ F-SP มีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 226.50 ± 26.75 , 199.90 ± 19.59 และ 255.50 ± 17.20 กรัม พบว่าทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนความยาวเฉลี่ยพบว่า ชุดทดลองที่ได้รับอาหาร W-SP มีความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ 7.28 ± 0.23 ซม. ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดทดลอง D-SP ($p < 0.05$) ในส่วนของอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน พบว่าชุดทดลอง control, D-SP, W-SP และ F-SP มีค่า 4.12 ± 0.33 , 3.78 ± 0.45 , 3.33 ± 0.32 และ 4.25 ± 0.28

กรัมต่อตัวต่อวัน ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในกรณีที่อัตราการแลกเนื้อของชุดทดลองที่ได้รับอาหาร control และ W-SP มีค่า 2.83 ± 0.01 และ 2.82 ± 0.01 ตามลำดับ และพบว่าชุดทดลองที่ได้รับอาหาร D-SP และ F-SP มีค่า 2.86 ± 0.01 และ 2.86 ± 0.01 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในส่วนของอัตราการรอดพบว่าทุกชุดทดลองมีอัตราการรอด 100 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนของประสิทธิภาพการใช้โปรตีน พบว่าชุดทดลองมีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนใกล้เคียงกัน คือ 88.46 ± 0.00 , 87.39 ± 0.00 , 88.56 ± 0.00 และ 87.25 ± 0.00 และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (Table 2)

Table 2 Growth performance of Mekong giant catfish fed with feed mixed with *Arthrospira* sp.

Treatment	WG (g)	LG (cm)	FCR	ADG (g/fish/day)	PER	SR (%)
Control	247.00 ± 19.99^a	5.63 ± 0.81^{ab}	2.83 ± 0.01^a	4.12 ± 0.33^a	88.46 ± 0.00^a	100
D-SP	226.50 ± 26.75^a	5.35 ± 0.35^a	2.86 ± 0.01^b	3.78 ± 0.45^a	87.39 ± 0.00^a	100
W-SP	199.90 ± 19.59^a	7.28 ± 0.23^b	2.82 ± 0.01^a	3.33 ± 0.32^a	88.56 ± 0.00^a	100
F-SP	255.50 ± 17.20^a	6.90 ± 0.24^{ab}	2.86 ± 0.01^b	4.25 ± 0.28^a	87.25 ± 0.00^a	100

Data were represented as means $\pm$ SE different letters in each column indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตปลา 1 กิโลกรัม

การศึกษาต้นทุนค่าอาหารในการทดลองอาหารแต่ละสูตรมีการเสริมปริมาณสารหยักรโสดไปไร่แตกต่างกันพบว่า ต้นทุนค่าอาหารมีดังนี้ อาหาร control มีราคาอาหาร 35.08 บาทต่อกิโลกรัม อาหาร D-SP, W-SP และ F-SP มีต้นทุนอาหารทั้งสามสูตร เท่ากับ 34.42 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งต้นทุนอาหารที่คำนวณในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ราคาของวัตถุดิบที่ซื้อในช่วงดำเนินการวิจัยระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2565 ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2566 ดังนั้น ราคาต้นทุนอาหารหากมีการศึกษาในช่วงอื่น ๆ อาจมีต้นทุนค่าอาหารที่แตกต่างกัน

ในส่วนของต้นทุนในการผลิตปลา 1 กิโลกรัม สามารถหาได้จากการคำนวณ ราคาอาหาร $\times$ อัตราการแลกเนื้อ ซึ่งจะบ่งบอกได้ว่า ถ้าต้องการผลิตเนื้อปลาบึก 1 กิโลกรัม จะมีต้นทุนค่าอาหารเท่ากับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร control มีต้นทุนเท่ากับ 99.3 บาทต่อเนื้อปลา 1 กิโลกรัม ในขณะที่อาหารสูตร D-SP และ F-SP มีราคาต้นทุนค่าอาหาร เท่ากับ 98.4 บาทต่อเนื้อปลา 1 กิโลกรัม ส่วนสูตรอาหาร W-SP มีต้นทุนค่าอาหารเท่ากับ 97.1 บาทต่อเนื้อปลา 1 กิโลกรัม ซึ่งพบว่าต้นทุนค่าอาหารในการผลิตปลา 1 กิโลกรัม มีค่าต่ำสุดในอาหารสูตร W-SP (Table 3)

Table 3 The cost of all experiment feed

Treatment	Cost (Baht/kg)	FCR	Feed cost (Baht/fish 1 kg)
control	35.08	2.83	99.3
D-SP	34.42	2.86	98.4
W-SP	34.42	2.82	97.1
F-SP	34.42	2.86	98.4

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของปลาบึกที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 4 สูตร คือ อาหาร control และอาหารผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปร่า 3 สูตร ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และอัตรารอดของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในส่วนของความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น ปลาบึกที่ได้รับอาหาร W-SP มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และอัตราแลกเนื้อในกลุ่มของ control และ W-SP มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ความยาวเฉลี่ยของปลาบึกที่แตกต่างกันในการทดลองนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ (Saowakoon *et al.* (2013) ได้มีการทดลองเลี้ยงปลาบึกในกระชังที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน พบว่าในช่วงระยะเวลา 1–6 เดือนของการเลี้ยงปลาบึกมีความยาวของปลาบึกที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละชุดทดลอง ในขณะที่เมื่อเลี้ยงช่วง 7–12 เดือน พบว่าความยาวของตัวปลาบึกไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) อาจเนื่องมาจากปลาบึกในช่วงระยะ 1–3 เดือน มีการพัฒนาด้านความยาวที่แตกต่างกัน Tongsanga and Polprasit (1991) ได้ทำการเก็บตัวอย่างในธรรมชาติ พบว่าความยาวเฉลี่ยของเพศเมียมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งจากเพศผู้ ($p<0.01$) จากงานวิจัยดังกล่าวพบว่า การที่ปลาบึกบางกลุ่มมีความยาว

มากกว่าอาจเนื่องมาจากเป็นเพศเมียมากกว่าเพศผู้ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้แยกเพศปลาบึกในการทดลอง ในส่วนของการเจริญเติบโต พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ของปลาบึกในทุกชุดทดลองไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Saowakoon *et al.* (2013) พบว่าการให้อาหารปลาบึกที่ทดลองเลี้ยงด้วยสูตรอาหารแตกต่างกัน ในระยะเวลา 4 เดือนแรก ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดทดลอง ในขณะที่เมื่อเลี้ยงตั้งแต่ 5 เดือนขึ้นไป น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาบึกในชุดทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากงานวิจัยที่กล่าวมา ทำให้ทราบถึงระยะเวลาที่ต้องใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของปลาบึก ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ดำเนินการศึกษาในระยะเวลา 60 วัน จึงทำให้ผลการเจริญเติบโตยังไม่มีความแตกต่างกัน ในส่วนของประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาบึกในทุกชุดทดลองไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าสูตรอาหารทดลองครั้งนี้ปลาบึกสามารถนำไปโปรตีนไปใช้ประโยชน์ได้ใกล้เคียงกัน และสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนได้ดี จึงมีการนำมาใช้ทดแทนปลาป่นในการเลี้ยงปลาเรนโบว์เทราต์ (Altmann and Rosenau, 2022) และปลา African catfish (Rosenau *et al.*, 2021) เป็นต้น

ต้นทุนในการผลิตปลา 1 กิโลกรัม พบว่าอาหารสูตร W-SP มีต้นทุนค่าอาหารเท่ากับ 97.1 บาทต่อเนื้อปลา 1 กิโลกรัม เป็นต้นทุนในการผลิตปลาที่ต่ำที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Saowakoon *et al.*

(2013) การเลี้ยงปลาบึกในระยะเวลา 12 เดือน ทำให้มีค่าอัตราแลกเนื้อ 1.60–1.70 ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการผลิตปลาบึกลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยง 60 วัน

จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร คือ control และอาหารเสริมสาหร่ายอาร์โธรสไปรา 3 สูตร พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ของปลาบึกในทุกชุดทดลองไม่แตกต่างกัน แต่อัตราแลกเนื้อต่ำในชุดทดลอง control และ W-SP ($p<0.05$) และต้นทุนในการผลิตปลา 1 กิโลกรัม พบว่าอาหารสูตร W-SP มีต้นทุนต่ำที่สุด ดังนั้น การเสริมสาหร่ายอาร์โธรสไปราช่วยลดต้นทุนค่าอาหารแลกเนื้อต่ำ แต่การเจริญเติบโตของปลาบึกที่เสริมสาหร่ายอาร์โธรสไปรา ทั้ง สด และหมัก ไม่มีความแตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

การศึกษากการเจริญเติบโตของปลาบึกที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปรา คือ อาหารควบคุม (control) อาหารผสมอาร์โธรสไปราผง 3 เปอร์เซ็นต์ (D-SP) อาหารผสมอาร์โธรสไปราสด 30 เปอร์เซ็นต์ (W-SP) และอาหารผสมอาร์โธรสไปราหมัก 30 เปอร์เซ็นต์ (F-SP) ในระยะเวลา 60 วัน ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และอัตราการรอดของทุกชุดทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของชุดทดลอง W-SP มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และอัตราการแลกเนื้อของชุดทดลอง control และ W-SP มีค่าต่ำที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนต้นทุนในการผลิตปลา 1 กิโลกรัม พบว่าอาหารสูตร W-SP มีต้นทุนค่าอาหารต่ำที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้ทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 และ พ.ศ. 2567 จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

เอกสารอ้างอิง

- Alagawany, M., A.E. Taha, A. Noreldin, K.A. El-Tarabily and M.E. Abd El-Hack. 2021. Nutritional applications of species of *Spirulina* and *Chlorella* in farmed fish: a review. **Aquaculture** 542: 1–11 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736841>
- Altmann, B.A. and S. Rosenau. 2022. *Spirulina* as animal feed: opportunities and challenges. **Foods** 11(7): 965 <https://doi.org/10.3390/foods11070965>
- Ansarifard, F., H.R. Islami, M.S. Mehrjan and M. Soltani. 2018. Effects of *Arthrospira platensis* on growth, skin color and digestive enzymes of koi, *Cyprinus carpio*. **Iranian Journal of Fisheries Sciences** 17(2): 381–393 <https://doi.org/10.22092/IJFS.2018.115878>
- AOAC. 1990. **Official Methods of Analysis**. 15th Edition. Washington DC.: Association of Official Analytical Chemist. 1300 p.

- Carneiro, W.F., T.F.D. Castro, T. Reichel, P.L. de Castro Uzeda, C.A. Martínez-Palacios and L.D.S Murgas. 2022. Diets containing *Arthrospira platensis* increase growth, modulate lipid metabolism, and reduce oxidative stress in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) exposed to ammonia. **Aquaculture** 547: 1–11 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737402>
- de Marco Castro, E., E. Shannon and N. Abu-Ghannam. 2019. Effect of fermentation on enhancing the nutraceutical properties of *Arthrospira platensis* (*Spirulina*). **Fermentation** 5(1): 28 <https://doi.org/10.3390/fermentation5010028>
- Dernekbasi, S., H. Unal, I. Karayucel and O. Aral. 2010. Effect of dietary supplementation of different rates of *Spirulina* (*Spirulina platensis*) on growth and feed conversion in guppy (*Poecilia reticulata* Peters, 1860). **Journal of Animal and Veterinary Advances** 9(9): 1395–1399 <https://doi.org/10.3923/javaa.2010.1395.1399>
- Duncan, P.L. and P.H. Klesius. 1996. Effects of feeding *Spirulina* on specific and non-specific immune responses of channel catfish. **Journal of Aquatic Animal Health** 8: 308–313, [https://doi.org/10.1577/1548-8667\(1996\)008<0308:EOFSOS>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8667(1996)008<0308:EOFSOS>2.3.CO;2)
- Hill, C. 1980. **The Secrets of Arthrospira**. Boulder Creek, California: University of the Trees Press. 218 p.
- Mengamphan, K. 2016. **Mekong Gaint Catfish for Economy and Community**. 1st Edition. Chiang Mai: Office of Academic and Development, Maejo University. 134 p.
- Nareerat, S., M. Phinyo and A. Khieokhajonkhet. 2019. Effects of tamarind seed meal in diets on growth and feed efficiency in red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*). **Journal of Agriculture** 35(2): 321–332. [in Thai]
- Niccolai, A., E. Shannon, N. Abu-Ghannam, N. Biondi, L. Rodolfi and M.R. Tredici. 2019. Lactic acid fermentation of *Arthrospira platensis* (*spirulina*) biomass for probiotic-based products. **Journal of Applied Phycology** 31: 1077–1083. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1602-3>
- Peerapornpisal, Y. 2009. **Potential of freshwater macroalgae as food and medicine**. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/348691116_Potential_of_freshwater_macroalgae_as_food_and_medicine
- Pintasiri, T. and J. Promya. 2019. Effects of *Arthrospira platensis* supplemented diets on growth performance of rice-field carps (*Sayamia bangkokensis*). **Khon Kaen Agriculture Journal** 47(2): 7–14. [in Thai]

- Promya, J. and K. Saetan. 2005. ***Spirulina* Cultivation for Health**. Chiang Mai: Sirinat Printing. 39 p. [in Thai]
- Rosenau, S., E. Oertel, C. Dietz, S. Wessels, J. Tetens, D. Mörlein and M. Ciulu. 2021. Total replacement of fishmeal by *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) and its effect on growth performance and product quality of African catfish (*Clarias gariepinus*). **Sustainability** 13(16): 8726
<https://doi.org/10.3390/su13168726>
- Saowakoon, S., P. Ngamsnae, K. Saowakoon, S. Phaukgeen, Y. hongtengsagool and T. Somnuk. 2013. **Yield Increasing Technique of Mekong Giant Catfish (*Pangasianodon gigas*) Culture in Earthen Ponds and Cages for Technology Transfer to Farmer**. 65 p. In research Report. Surin: Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus. [in Thai]
- Sherif, E.M., I.M. Abd El-Razek, M.E. El-Sharawy, A.A. Amer, A.I. Zaineldin, M.S. Gewaily and M.A. Dawood. 2024. Growth performance, antioxidative status, and immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed dietary fermented *Spirulina platensis*. **Aquaculture Reports** 39: 1–13,
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102324>
- Suthus, P., J. Nachaipharm and Y. Philakhong. 2022. **Commercial Culture of Mekong Giant Catfish (*Pangasianodon gigas* Chevey, 1930) with Sex-reversed Nile Tilapia in Earthen Pond Nong Khai**. Nong Khai: Fisheries Provincial Office, Extension Paper No. 1/2022. 32 p. [in Thai]
- Tongsanga, S. and S. Polprasit. 1991. Some Aspects on the Biology of the Mekong Giant Catfish, *Pangasius gigas* (Chevey). pp. 521–528. In **Proceedings of the 29th Kasetsart University Annual Conference: Animals, Veterinary Medicine, Fisheries**. Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]
- Tongsiri, S., K. Meng-Amphan and Y. Peerapornpisal. 2010. Effect of replacing fishmeal with *Spirulina* on growth, carcass composition and pigment of the Mekong giant catfish. **Asian Journal of Agricultural Sciences** 2(3): 106–110.
- Venkataraman, L.V. 1983. **A Monograph on *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis***, Mysore: Central Food Technological Research Institute. 100 p.
- Yooyen, T., S. Laysing, T. Chainapong and J. Pechsiri. 2025. The application of fishmeal processing wastes for reducing feed cost of butter catfish (*Ompok bimaculatus*) Culture. **Recent Science and Technology** 17(2): 262032. [in Thai]

Yu, J., C. Liu, M. Wang, Y. Liu, L. Ran, Z. Yu and
Y. Wu. 2024. Nutrition and flavor
analysis of *Spirulina* through co-
fermentation with *Lactobacillus*
acidophilus and *Kluyveromyces*
marxianus and its effect on
attenuating metabolic associated fatty
liver disease. **Journal of Functional
Foods** 116: 1–14
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106>

การเพิ่มมูลค่าปลานวลจันทร์ทะเลด้วยการพัฒนาตำรับอาหารราดซอสสามรส
และการประเมินคุณค่าทางโภชนาการ
Enhancing the Value of Milkfish (*Chanos chanos*) through the Development
of Spices Trio Tasty Sauce Recipes and Nutritional Evaluation

นันทิดา แดงขาว พชร พิริยาพร อภิราม สินธุพาชี โสมรศม์ กล้ากล่อมจิตร กรวิทย์ สักแกแก้ว และมารศรี จันสี*

Nantida Dangkhaw, Phatchara Piriyaorn, Apiram Sinthupachee, Sommarut Klumklomjit

Korawit Sakkaekaewa and Marasri Junsri*

สาขาศิลปการประกอบอาหาร คณะศิลปการประกอบอาหาร วิทยาลัยดุสิตธานี กรุงเทพฯ 10250
Culinary Arts Program, Faculty of Culinary Arts, Dusit Thani College, Bangkok, Thailand 10250

*Corresponding author: marasri.ju@dtc.ac.th

*ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2193-3881>

Received: November 25, 2025

Revised: February 19, 2026

Accepted: March 17, 2026

Abstract

This research aimed to develop a standardized recipe for pan-fried milkfish with a spices trio tasty sauce and to evaluate its nutritional values. The development of a standardized recipe was conducted through sensory evaluation using the 9-point hedonic scale and the Just-About-Right (JAR) method from 10 food experts, and the best overall qualities were selected as the standard recipe. The physicochemical properties of the fish meat and the trio sauce were analyzed. Nutritional values were assessed according to the Thai Nutrition Labeling standards. Results showed that the pan-fried fish had a moisture content of 65.22%, with color values of L^* , a^* , and b^* at 63.49, 7.55, and 23.40. Texture profile analysis indicated that hardness, gumminess, and chewiness were 135.28 N, 34.31 N, and 16.15 N, respectively. The trio sauce exhibited L^* , a^* , and b^* values of 29.43, 11.21, and 8.53, respectively, with a viscosity of 831.16 cP, a pH of 3.16, a salinity of 33.6%, and total soluble solids of 29.4 °Brix. Sensory scores of the standardized recipe were 8.2 ± 0.83 for appearance, 7.5 ± 1.11 for aroma, 8.0 ± 0.86 for taste, 7.2 ± 0.83 for flavor, 7.8 ± 0.78 for texture, and 7.7 ± 0.72 for overall acceptability. Nutritional analysis per 100 g (70 g pan-fried fish and 30 g trio sauce) indicated 176.64 kcal energy, 16.29 g protein, 7.32 g total fat, and 11.4 g total carbohydrates, including 1.58 g dietary fiber. It also contained vitamin B1 and B2 at 0.026 and 0.034 mg, calcium and iron at 48.62 mg and 0.61 mg, respectively, along with 315.43 mg sodium and 61.10 mg cholesterol.

Keywords: milkfish, spices trio tasty sauce, standardized recipe, protein from fish

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตำรับมาตรฐานปลานวลจันทร์ทะเลสดแช่แข็งแช่แข็งแช่แข็ง และประเมินคุณค่าทางโภชนาการตามรายการของฉลากโภชนาการไทย การพัฒนาตำรับมาตรฐานใช้วิธี 9-points hedonic scale และ Just About Right (JAR) เป็นแนวทางในการปรับสูตร จากผู้เชี่ยวชาญด้านอาหาร 10 ท่าน โดยเลือกสูตรที่ได้คะแนนความชอบสูงสุดและมีค่าพหุทุกด้านเป็นตำรับมาตรฐาน จากนั้นนำมาทดสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ทดสอบเนื้อสัมผัสด้วย Texture Profile Analysis (TPA) พบว่าเนื้อปลาทอดมีค่าความชื้นร้อยละ 65.22 มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 63.49 ค่าสีแดง (a^*) เท่ากับ 7.55 และค่าสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 23.40 ด้านเนื้อสัมผัสค่าความแข็ง (hardness) ค่าความเหนียวเป็นยาง (gumminess) ความเหนียว (chewiness) ซึ่งแสดงถึงความรู้สึกใช้แรงขณะเคี้ยวอยู่ที่ 135.28 N, 34.31 N และ 16.15 N ตามลำดับ ชอสสามารถมีค่าสี $L^* a^* b^*$ อยู่ที่ 29.43, 11.21 และ 8.53 ตามลำดับ มีค่าความหนืด 831.16 cP มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.16 ความเค็ม (%Salinity) 33.6 และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solids: TSS) 29.4 °Brix ตำรับมาตรฐานได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ กลิ่น-รส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอยู่ที่ 8.2 ± 0.83 , 7.5 ± 1.11 , 8.0 ± 0.86 , 7.2 ± 0.83 , 7.8 ± 0.78 และ 7.7 ± 0.72 คะแนนตามลำดับ ด้านโภชนาการใน 100 กรัม (เนื้อปลาทอด 70 กรัม ชอสสามารถ 30 กรัม) ให้พลังงาน 176.64 กิโลแคลอรี มีโปรตีน 16.29 กรัม มีไขมันทั้งหมด 7.32 กรัม คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 11.4 กรัม โยอาหาร 1.58 กรัม มีวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 0.026 และ 0.034 มก. มีแคลเซียมและเหล็ก 48.62 และ 0.61 มก. ตามลำดับ ในขณะที่มีปริมาณโซเดียม 315.43 มก. และคอเลสเตอรอล 61.10 มก.

คำสำคัญ: ปลานวลจันทร์ทะเล ชอสสามารถ
ตำรับมาตรฐาน โปรตีนจากปลา

บทนำ

การเพาะเลี้ยงปลานวลจันทร์ทะเล (*Chanos chanos*) ในประเทศไทยเริ่มจากโครงการในพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระมหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร โดยทรงส่งเสริมให้เพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ (Kaewnern and Siripornkitti, 2023) เนื่องจากเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว ทนโรค ใช้ต้นทุนต่ำ และสามารถปรับตัวได้ทั้งในน้ำกร่อยและน้ำจืด อีกทั้งกินได้ทั้งพืชและสัตว์ เช่น สาหร่าย ตะไคร่น้ำ และอาหารสำเร็จรูป ปลานวลจันทร์ทะเลยังมีบทบาทสำคัญต่อการฟื้นฟูระบบนิเวศ โดยนิยมเลี้ยงในบ่อที่เล็กเลี้ยงกุ้งเพื่อช่วยบำบัดน้ำเสียก่อนเริ่มรอบการเลี้ยงใหม่ และยังใช้เป็นเหยื่อล่อปลาในอุตสาหกรรมประมง (Wongwiwat, 2010) ด้านคุณค่าทางโภชนาการ ปลานวลจันทร์ทะเลมีโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 22 เป็นแหล่งกรดไขมันจำเป็น เช่น Eicosapentaenoic acid (EPA) และ Docosahexaenoic acid (DHA) รวมถึงมีวิตามินบีและแร่ธาตุต่าง ๆ (Kongrat and Kongpun, 2015; Malle *et al.*, 2019) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 เป็นต้นมา มีการถ่ายทอดองค์ความรู้การเพาะเลี้ยงแก่เกษตรกรผ่านโครงการพระราชดำริเพื่อสร้างอาชีพและเพิ่มรายได้ พร้อมทั้งพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลานวลจันทร์ทะเล เช่น ปลาทอดก้าง ปลาแก้งนึ่ง ปลากระป๋อง ปลาทอดกรอบ และเส้นก๋วยเตี๋ยวจากเนื้อปลา เพื่อเพิ่มมูลค่าและต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์ (Dangkhaw, 2018; Dangkhaw *et al.*, 2023; Kaewnern and Siripornkitti, 2023) ทั้งนี้ปลานวลจันทร์ทะเลเป็นปลาเศรษฐกิจสำคัญของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะในฟิลิปปินส์และไต้หวัน มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีศักยภาพในการพัฒนาเชิงเศรษฐกิจและนิเวศ (Bagarinao, 1991; Freyhof *et al.*, 2019)

ซอสสามารถเป็นซอสยอดนิยมในอาหารไทยที่มีรสเปรี้ยว หวาน เค็ม และเผ็ดกลมกล่อม เหมาะสำหรับเมนูปลาทอดหรืออาหารทะเล โดยช่วยเพิ่มรสชาติและลดกลิ่นคาวของปลา (Li *et al.*, 2016) ส่วนผสมหลัก ได้แก่ ขิงดอง กระเทียม พริกชี้ฟ้า พริกชี้หนู และน้ำมะขามเปียก ซึ่งอุดมด้วยสารต้านอนุมูลอิสระและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ พริกชี้ฟ้าและพริกชี้หนูมีสารฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง (Wangcharoen and Morasuk, 2007) กระเทียมมีสารอัลลิซินที่ให้ฤทธิ์ต้านจุลชีพและต้านออกซิเดชัน (Cocom *et al.*, 2025) ขณะที่น้ำมะขามเปียกมีสารฟีนอลิกและกรดอินทรีย์ ที่ช่วยเพิ่มกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการ (Taksene and Belay, 2024) ดังนั้น การพัฒนารายการอาหารจากปลานวลจันทร์ทะเลจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการส่งเสริมการบริโภคปลาภายในประเทศ ควบคู่กับการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงตามแนวทางในโครงการพระราชดำริฯ

ซึ่งผู้วิจัยมุ่งเน้นถ่ายทอดดำรับนี้สู่ชุมชน จึงพัฒนาเป็นตำรับมาตรฐานปลานวลจันทร์ทะเลราดซอสสามารถ พร้อมทั้งทดสอบค่าทางกายภาพเคมี และประเมินคุณค่าทางโภชนาการตามรายการของฉลากโภชนาการไทย เพื่อให้ได้สูตรอาหารมาตรฐานที่ช่วยควบคุมคุณภาพให้มีมาตรฐานคงที่ ทำได้ง่ายตั้งแต่ระดับครัวเรือน ทั้งสามารถต่อยอดในเชิงพาณิชย์เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ประมงได้ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมปลานวลจันทร์ทะเล และการประกอบอาหารเป็นปลานวลจันทร์ทะเลราดซอสสามารถ

ใช้ปลานวลจันทร์ทะเลสดทอดก้างตามวิธีการของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี ตัดเป็นชิ้นลักษณะสี่เหลี่ยมขนาดโดยประมาณ 6x7 ซม. ก่อนประกอบอาหาร ดัง Figure 1

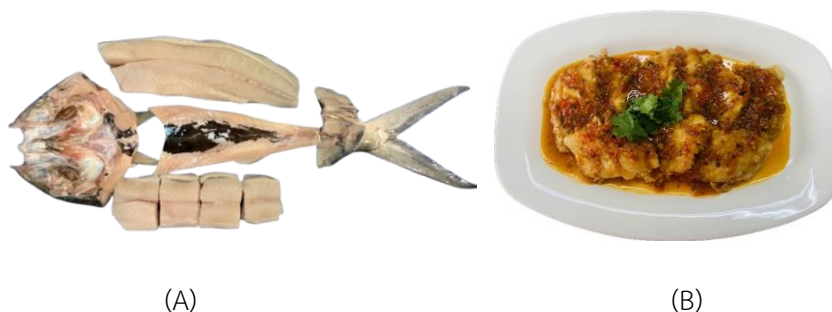


Figure 1 (A) milkfish preparation and (B) pan-fried milkfish with spices trio tasty sauce

วิธีประกอบอาหารซอสสามารถ (spices trio tasty sauce) ขั้นตอนที่ 1 อุ่นน้ำมันร้อยละ 5.52 ในหม้อซอส แล้วผัด (sautéed) กระเทียมจีนสับร้อยละ 2.76 รากผักชีสับร้อยละ 0.46 พริกชี้ฟ้า (ผ่าเมล็ดออก) สีแดง ร้อยละ 3.68 สีเหลืองร้อยละ 3.68 สีเขียวร้อยละ 1.84 พริกชี้หนูสวนสีแดง (ผ่าเมล็ดออก) ร้อยละ 1.84 ขิงดอง ร้อยละ 1.84 และเนื้อกระเทียมดองสับร้อยละ 1.84 ผัดให้สลด ขั้นตอนที่ 2 เคี่ยวน้ำตาลปีบร้อยละ 7.37 และน้ำตาลทรายร้อยละ 7.37 จนเป็นคาราเมลใส (light

caramel) จากนั้นเติมน้ำส้มสายชูหมักจากข้าวกล้อง (brown rice vinegar) 80 กรัม (ร้อยละ 7.37) น้ำเปล่า ร้อยละ 6.91 แล้วเคี่ยวต่อ 2-3 นาที จากนั้นเติมซอสมะเขือเทศร้อยละ 13.81 น้ำกระเทียมดองร้อยละ 11.97 น้ำมะขามเปียกร้อยละ 7.37 น้ำสต็อกไก่ร้อยละ 13.81 และเกลือร้อยละ 0.55 เคี่ยวต่อ 4-5 นาที ขั้นตอนสุดท้ายนำขั้นตอนที่ 1 ใส่ในหม้อซอสของขั้นตอนที่ 2 เคี่ยวต่อจนได้ลักษณะซอสข้นตามที่ต้องการ

วิธีประกอบอาหารเป็นปลานวลจันทร์ทะเลราดซอสสามรส (pan-fried milkfish with spices trio tasty sauce) ปูรสเนื้อปลา ร้อยละ 63.83 ด้วยน้ำมัน ร้อยละ 0.76 เกลือ ร้อยละ 0.32 พริกไทยขาวป่น ร้อยละ 0.15 คลุกแป้งสาลีเอนกประสงค์บาง ๆ ร้อยละ 3.04 เพื่อลดความชื้น จากนั้นนำเนื้อปลาชุบไข่แดง ร้อยละ 4.56 ที่ตีจนเหลว ก่อนนำไปทอดแบบน้ำมันปานกลาง (pan-fryer) ด้านละ 1–2 นาที จนเนื้อปลาสุกทั้งสองด้าน จัดเสิร์ฟใช้อัตราส่วนปลาต่อซอส 7:3 แล้วตกแต่งด้วยใบผักชี

การพัฒนาสูตรเพื่อใช้เป็นตำรับมาตรฐาน

1) การให้ข้อมูลเชิงพรรณนา และให้นิยามคุณลักษณะที่ดีของปลานวลจันทร์ทะเลราดซอสสามรส ด้านลักษณะปรากฏ (appearance) สี (color) กลิ่น (odor) รสชาติ (taste) และเนื้อสัมผัส (texture) ด้วยแบบสอบถามถึงสัมพันธภาพในการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้เชี่ยวชาญด้านอาหาร จำนวน 10 ท่าน ซึ่งหมายถึงอาจารย์ที่สอนในศาสตร์การประกอบอาหารที่มีประสบการณ์อย่างน้อย 3 ปีขึ้นไป และเคยเป็นเชฟประกอบอาหารในครัวโรงแรมขนาดใหญ่ที่มีประสบการณ์อย่างน้อย 3 ปีขึ้นไปเช่นกัน

2) การพัฒนาสูตรเพื่อให้ได้ปลานวลจันทร์ทะเลราดซอสสามรสตามนิยามคุณลักษณะที่ดีในข้อ 1) ด้วยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้เชี่ยวชาญด้านอาหาร การพัฒนาสูตรในระยะแรกใช้ 9-points hedonic scale สอบถามความชอบ (Meilgaard *et al.*, 2007) และทดสอบด้วยสเกลความพอดี (Just About Right: JAR) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับสูตร โดยเมื่อทดสอบชิมแล้วทำแบบทดสอบ Degree of Change Scale (DCS) (Pokorny and Davidek, 1986) เช่น ปรับให้เพิ่มขึ้นมาก ปรับให้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย พอดี (ไม่ต้องปรับ) ปรับให้ลดลงเล็กน้อย หรือปรับให้ลดลงมาก การแปลผล JAR พิจารณาจากระดับความพอดีที่ตั้งเกณฑ์ไว้ (Rothman, 2007) หากความพอดีมีความถี่ตั้งแต่ร้อยละ 70 (cut-off point) ถือว่าไม่ต้องปรับปรุงคุณลักษณะดังกล่าว หากมีค่าไม่ถึง

ร้อยละ 70 ให้พิจารณาค่าขนาดและทิศทางของความแตกต่างระหว่างตัวอย่าง (net effect หรือค่า net scores) ซึ่งคำนวณได้จากร้อยละของคำตอบที่บอกว่า “เข้าไป” ลบด้วยร้อยละของคำตอบที่บอกว่า “อ่อนไป” หากค่า net effect มีความแตกต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 20 ยังไม่ต้องทำการปรับปรุงในคุณลักษณะนั้น ๆ (Rothman and Parker, 2009) แต่หากมีค่าความแตกต่างมากกว่าร้อยละ 20 ให้พิจารณาปรับตามทิศทางที่มีค่ามากกว่า การพัฒนาสูตรระยะที่ 2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design: CRD) ศึกษา 3 ระดับ ใช้ 9-points hedonic scale และ JAR เพื่อเลือกสูตรที่มีคุณลักษณะพอดีตามค่านิยามข้อ 1) สุดท้ายแล้วคัดเลือกสูตรที่มีคะแนนความชอบสูงสุด และมีค่าความพอดีในด้านลักษณะปรากฏโดยรวม (appearance) กลิ่น (odor) รสชาติเปรี้ยว (sour) หวาน (sweet) และเค็ม (salty) ความเผ็ด (spicy) กลิ่นรส (flavor) และเนื้อสัมผัส (texture) เป็นตำรับมาตรฐาน

3) ทดสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (physicochemical properties) ตำรับมาตรฐานปลานวลจันทร์ทะเลราดซอสสามรสที่พัฒนาได้มาวิเคราะห์ดังนี้ วัดค่าความชื้นตามวิธีของ AOAC (2005) วัดค่าสี ($L^* a^* b^*$) ด้วยเครื่องวัดสี (Color Global: Model Color Quest XE, America) วัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer (Polyvisc, Visco Basic Plus, Switzerland) ใช้หัววัด Spindle No. 61, speed 200 rpm วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter (FiveEasy Benchtop F20, METTLER TOLEDO, Switzerland) วัดค่าความเค็ม (%salinity) ด้วยเครื่อง Salinity Meter วัดค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ (Total Soluble Solids: TSS) ด้วยเครื่อง Brix refractometer เพื่อเป็นตัวแทนความหวาน ($^{\circ}$ Brix) และวัดค่าเนื้อสัมผัสแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส TA-XT Plus texture analyzer (Stable Micro Systems Ltd, Godalming, Surrey, UK) ใช้ หัววัด

aluminum cylinder P50, compression 70% of the original weight, speed 60 มม./นาที่ ขนาดชิ้นตัวอย่าง กว้าง×ยาว×สูง ที่ 3×3×1 ซม.) จำนวน 5 ซ้ำ

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในตำรับมาตรฐานที่คัดเลือก

ประเมินการยอมรับของผู้บริโภคใช้แบบสอบถาม 9-points hedonic test จากเชฟผู้เชี่ยวชาญ (เชฟที่ประกอบอาหารในครัวโรงแรมขนาดใหญ่ตำแหน่งหัวหน้างานขึ้นไปและมีอายุงานอย่างน้อย 5 ปี) จำนวน 10 ท่าน ให้คะแนนความชอบ ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ซึ่งการวิจัยนี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์มหาวิทยาลัยรังสิต ภายใต้การรับรองเลขที่ใบรับรองจริยธรรมในมนุษย์ RSUERB2022-018 ผู้เข้าร่วมวิจัยในโครงการนี้ทุกคนเป็นผู้ที่มีอายุมากกว่า 18 ปี ซึ่งเคยรู้จักและเคยรับประทานรายการอาหารจากปลานวลจันทร์ทะเลหรือปลาทะเลมาก่อน รวมทั้งไม่มีประวัติการแพ้ปลา และส่วนผสมในรายการอาหาร ซึ่งผู้วิจัยได้แจ้งส่วนผสมและข้อมูลที่อาจส่งผลต่อสุขภาพให้ผู้เข้าร่วมรับทราบก่อนการทดสอบ เช่น วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่จัดเป็นอาหารก่อการแพ้ได้ และผู้วิจัยจะยุติการทดสอบทันที หากผู้เข้าร่วมมีอาการแพ้ อาหาร หรือเจ็บป่วยระหว่างการประเมิน

การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของตำรับมาตรฐานที่พัฒนาได้

ประเมินคุณค่าทางโภชนาการจำนวน 15 รายการ ตามกรอบข้อมูลโภชนาการไทย ได้แก่ พลังงานทั้งหมด (total calories) พลังงานจากไขมัน (calories from fat) คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (total carbohydrates include dietary fiber) โปรตีน (protein/total nitrogen) ไขมันทั้งหมด (total fat) ไขมันอิ่มตัว (saturated fat) คอเลสเตอรอล (cholesterol) โยอาหาร (dietary fiber) น้ำตาลทั้งหมด (total sugar) วิตามินเอ (vitamin A)

วิตามินบี 1 (vitamin B1) วิตามินบี 2 (vitamin B2) โซเดียม (Sodium) แคลเซียม (calcium) และเหล็ก (iron) โดยผ่านการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร จากห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) สาขาสมุทรสาคร ตามวิธีการของ AOAC (2019)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) สำหรับคะแนนความชอบของการพัฒนาสูตรระยะที่ 2 ที่มีการศึกษา 3 ระดับ ได้วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 26

ผลการวิจัย

การพัฒนาสูตรเพื่อใช้เป็นตำรับมาตรฐาน

ผลการพัฒนาสูตรอาหารจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้เชี่ยวชาญอาหารจำนวน 10 ท่าน พบว่ารายการปลานวลจันทร์ทะเลราดซอสสามารถมีคุณลักษณะที่ดีตามค่านิยมของผู้เชี่ยวชาญ คือ เนื้อปลาที่ทอดแล้วต้องไม่เละ นำรับประทาน มีสีเหลืองทอง สุกพอดี เนื้อไม่แข็งกระด้าง ไม่มีกลิ่นเหม็นคาว น้ำซอสสามารถที่ใช้ราดต้องมีสีน้ำตาลแดงสดใส หอมกลิ่นเครื่องเทศ และพริกทั้ง 4 ชนิด (พริกชี้ฟ้าแดง เหลืองเขียว และพริกชี้หนูสวน) พร้อมทั้งกลิ่นเครื่องปรุงรสที่เป็นส่วนผสมธรรมชาติ รสชาติของน้ำซอสกลมกล่อมทั้ง 3 รส หมายถึง รสเปรี้ยว หวาน และเค็ม มาพร้อมกัน และมีความเผ็ดเล็กน้อย

จากการพัฒนาสูตรที่เหมาะสม ระยะแรกได้นำสูตรของปลาราดซอสสามารถที่ใช้ประกอบอาหารในภัตตาคารอาหารจีนกว่า 30 ปี มาเปลี่ยนวัตถุดิบจากปลาเกะพวงเป็นปลานวลจันทร์ทะเล พบว่าปลานวลจันทร์ทะเล

ราดซอสสามรสได้รับผลทดสอบคะแนนความชอบ (liking scores) ระดับชอบปานกลาง โดยคะแนนลักษณะปรากฏ (appearance) มีค่า 7.4 ± 0.49 รสหวาน (sweet) รสเค็ม (salty) และความเผ็ด (spicy) มีค่า 7.0 ± 0.63 เนื้อสัมผัส (texture) มีค่า 7.2 ± 1.12 คะแนน ในขณะที่ยกกลิ่น (odor) รสเปรี้ยว (sour) และกลิ่นรส (flavor) มีค่าคะแนนความชอบเล็กน้อยที่ 6.4 ± 0.08 , 6.4 ± 1.02 และ 6.4 ± 0.80 คะแนน ตามลำดับ มีค่าความชอบโดยรวม (overall liking) ที่ 6.8 ± 0.75 คะแนน ดัง Figure 2(A) ด้านผลทดสอบค่าความพอดี (JAR) ผู้ทดสอบชิมให้ค่า JAR แต่ละด้านมากกว่าร้อยละ 70 จึงไม่ต้องปรับปรุงด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของปลา ยกเว้นด้านกลิ่นรสเปรี้ยว รสเค็ม ความเผ็ดและกลิ่นรส จึงต้องใช้ค่าความแตกต่าง (net effect) พิจารณาร่วมด้วย พบว่ามีเพียงด้านกลิ่น รสเปรี้ยว และความเผ็ดที่มีค่า net effect ตั้งแต่ 20 ขึ้นไป จึงต้องพิจารณาปรับปรุงโดยมีทิศทาง คือ ด้านกลิ่นและรสเปรี้ยวมีมากเกินไป (too strong) ด้านความเผ็ดน้อยไป (too light) ดัง Figure 2(B) ดังนั้นทิศทาง

ปรับปรุง คือ ด้านซอสสามรสที่ราดปลาต้องลดกลิ่นและรสเปรี้ยวจากน้ำส้มสายชูหมัก ต้องเพิ่มความเผ็ดจากพริก ทั้งนี้ผู้เชี่ยวชาญได้ให้ข้อเสนอแนะ คือ ซอสสามรสด้านรสชาติโดยรวมมีรสเปรี้ยวและกลิ่นน้ำส้มสายชูหมักที่โดดเด่นเกินไป อย่างไรก็ตามการใช้ น้ำส้มสายชูหมักธรรมชาติมีข้อดี คือ ให้กลิ่นรสดีกว่าน้ำส้มสายชูเทียมที่มาจากการสังเคราะห์แต่ต้องระวังเรื่องกลิ่นฉุนเช่นกัน เห็นสมควรใช้น้ำส้มสายชูหมักดั้งเดิมแต่ให้ลดปริมาณเพื่อลดความเปรี้ยวและลดกลิ่นของน้ำส้มสายชูหมัก ซึ่งการลดรสเปรี้ยวจะสามารถดึงรสเค็มและรสหวานออกมามากขึ้น ความเผ็ดของพริก และกลิ่นกระเทียม เครื่องเทศสมุนไพรจะเด่นชัดขึ้นด้วย ดังนั้นแนวทางที่ต้องพัฒนาต่อประเด็นสำคัญอันดับแรก คือ ต้องปรับลดน้ำส้มสายชูหมัก ในขณะที่รสชาติเค็มและความเผ็ดจากพริก กลิ่นกระเทียม เครื่องเทศ สมุนไพรไม่ได้ปรับเพิ่ม-ลด เนื่องจากเห็นข้อดีจากการไม่เพิ่มรสเค็มหรือปริมาณเกลือลงในสูตร เพราะส่งผลดีในด้านโภชนาการมากกว่า ซึ่งการเพิ่มเกลือจะเพิ่มปริมาณโซเดียมในอาหารเช่นกัน

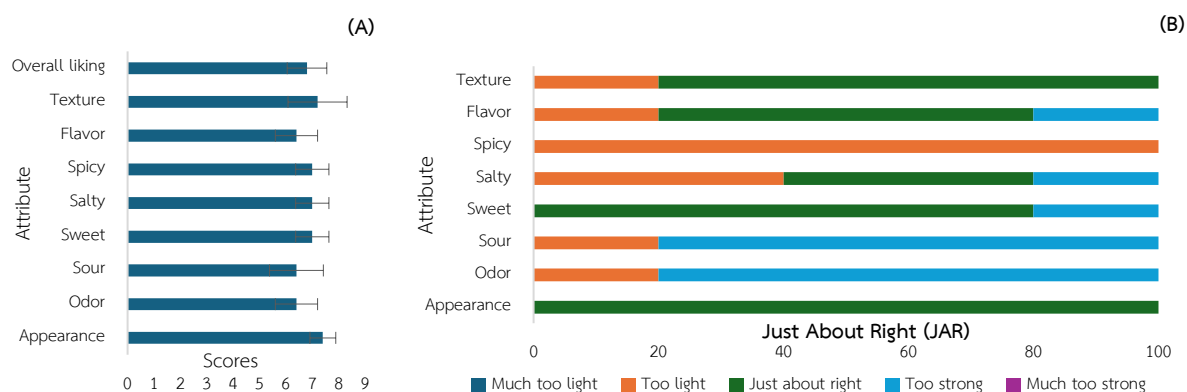


Figure 2 (A) liking scores and (B) Just-About-Right (JAR) scale of pan-fried milkfish with spices trio tasty sauce (basic formula) (n=10)

การพัฒนาสูตรในระยที่ 2 แนวทางที่ต้องพัฒนาต่อจากระยที่ 1 ประเด็นสำคัญอันดับแรก คือ ต้องปรับลดน้ำส้มสายชูหมัก ได้ศึกษาปริมาณน้ำส้มสายชูหมักจากข้าวกล้องที่ใช้เป็นส่วนผสมของซอสสามรส เป็น 3 ระดับ คือ 130 กรัม (F1: ตามสูตรเดิมในระยที่ 1) 110 กรัม (F2) และ 80 กรัม (F3) พบว่า สูตร F3 ได้รับความชอบโดยรวม (overall liking) มากที่สุดระดับชอบมากที่สุดที่ 8.1 ± 0.77 คะแนน ในขณะที่สูตร F1 และ F2 อยู่ที่ 7.2 ± 0.91 และ 7.5 ± 0.84 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งคะแนนความชอบโดยรวมและกลิ่น (odor) สูตร F3 ไม่แตกต่างจาก F2 แต่แตกต่างมากกว่าสูตร F1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ด้านรสเปรี้ยว (sour) สูตร F3 ไม่แตกต่างจาก F2 แต่ได้คะแนนความชอบมากกว่าสูตร F1 อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบลักษณะปรากฏ (appearance) รสหวาน (sweet) รสเค็ม (salty) ความเผ็ด (spicy) กลิ่นรส (flavor) และเนื้อสัมผัส (texture) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังแสดงใน Figure 3 ผลการทดสอบค่าความพอดี (JAR) ซอสสามรสสูตร F1 และ F2 ผู้ทดสอบชิมให้ทิศทางคุณลักษณะด้านกลิ่น รสเปรี้ยว และกลิ่นรสที่เข้มข้นไปในขณะที่สามรสสูตร F3 มีคุณลักษณะพอดี (JAR) ทุกด้านมากกว่าร้อยละ 70 ดังแสดงใน Figure 4 จึงคัดเลือกซอสสามรสสูตร F3 ซึ่งได้รับความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยใช้ปริมาณน้ำส้มสายชูหมักจากข้าวกล้อง 80 กรัม เป็นตำรับมาตรฐาน

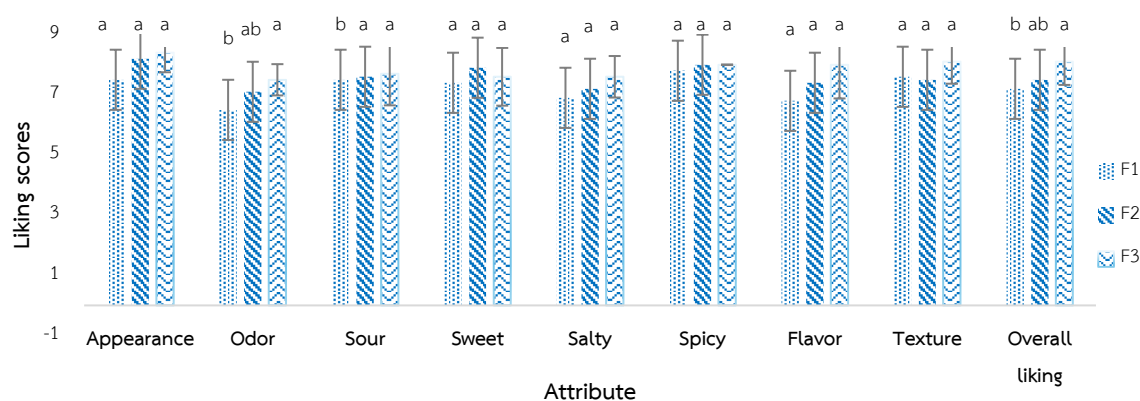


Figure 3 Liking scores of different recipes of spices trio tasty sauce (n=10); F1, F2, and F3 means 130g, 110g and 80g of brown rice vinegar in formulas, respectively. Different letters in the bars denote significant differences between formulas ($p < 0.05$).

การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (physicochemical properties) จากตำรับมาตรฐานที่พัฒนาได้ แยกระหว่างส่วนของเนื้อปลา กับส่วนของเหลว พบว่าตำรับปลานวลจันทร์ทะเล รสสามรส ส่วนของเนื้อปลาทอดมีค่าความชื้นร้อยละ 65.22 ± 0.61 มีค่าความสว่างของสี L^* 63.49 ± 1.97 ค่าสีแดง a^* 7.55 ± 0.56 และค่าสีเหลือง b^* 23.40 ± 0.60 มีลักษณะด้านเนื้อสัมผัสปลานวลจันทร์ทะเล ค่าที่บ่งบอกความแข็ง (hardness) 135.28 ± 1.19 N ค่าการยึดเกาะ (cohesiveness) และ

ค่าการยึดติด (adhesiveness, N.sec) 0.26 ± 0.02 และ 0.09 ± 0.01 ตามลำดับ ค่าความยืดหยุ่น (springiness) 0.63 ± 0.02 ค่าความเหนียวเป็นยาง (gumminess) 34.31 ± 1.30 และความเหนียว (chewiness) 16.15 ± 0.66 ส่วนของเหลวมีค่าความสว่างของสี L^* 29.43 ± 0.22 ค่าสีแดง a^* 11.21 ± 0.22 และค่าสีเหลือง b^* 8.53 ± 0.27 มีค่าความหนืด 831.16 ± 33.45 cP ค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.16 ± 0.02 ค่าความเค็ม (salinity (%)) 33.6 ± 1.22 และค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ 29.4 ± 0.92 °Brix ดังแสดงใน Table 1

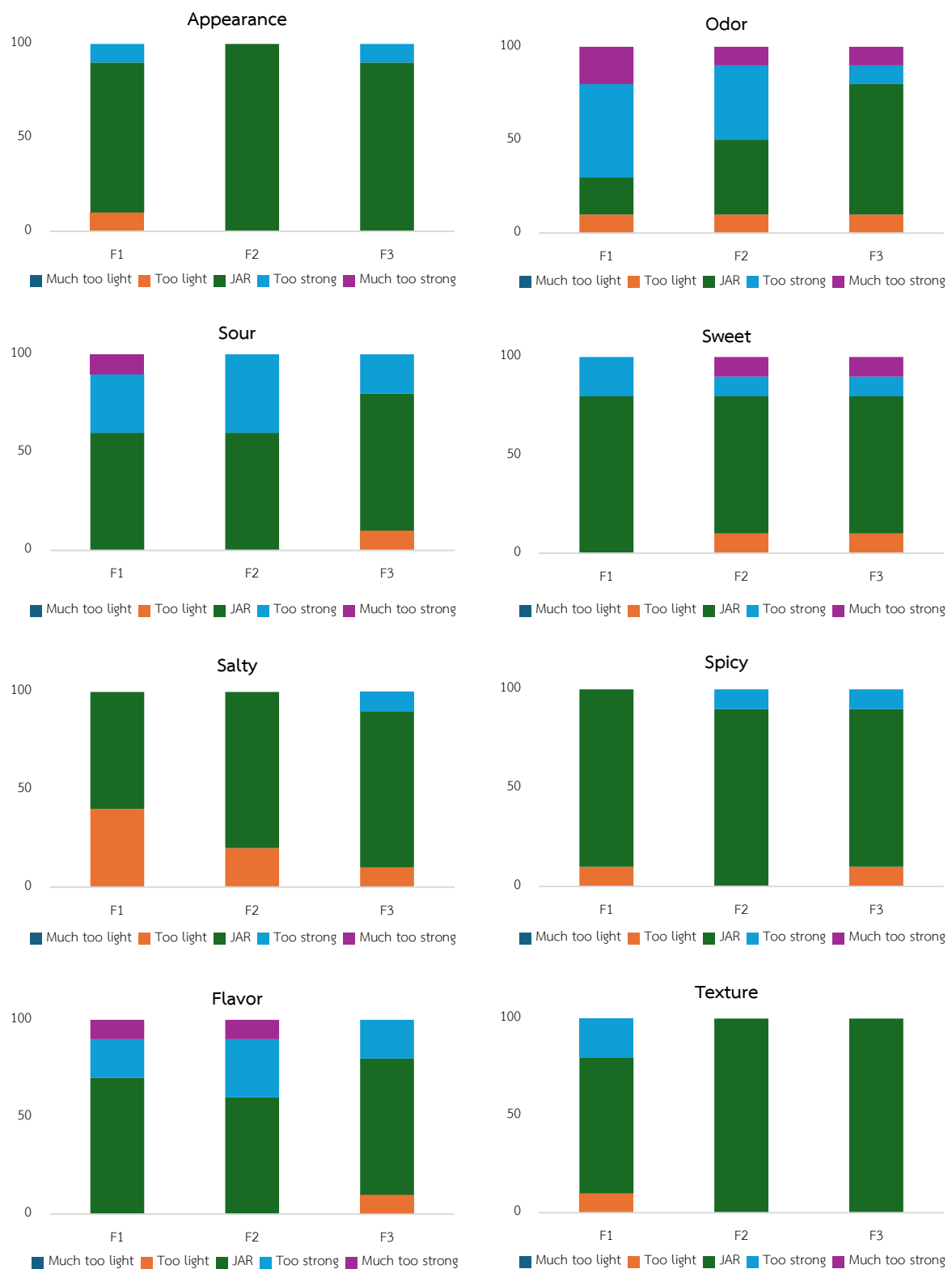


Figure 4 Just-About-Right (JAR) scale percentages of different recipes of spices trio tasty sauce, F1, F2, and F3 means 130g, 110g and 80g of brown rice vinegar in formulas, respectively (n=10)

Table 1 Physicochemical properties of pan-fried milkfish and spices trio tasty sauce

Characteristics	Pan-fried milkfish	Spices trio tasty sauce
Moisture content (%)	65.22±0.61	-
Color		
<i>L</i> [*]	63.49±1.97	29.43±0.22
<i>a</i> [*]	7.55±0.56	11.21±0.22
<i>b</i> [*]	23.40±0.60	8.53±0.27
Texture profiles		
Hardness (N)	135.28±1.19	-
Adhesiveness (N.sec)	0.09±0.01	-
Cohesiveness	0.26±0.02	-
Springiness	0.63±0.02	-
Gumminess (N)	34.31±1.30	-
Chewiness (N)	16.15±0.66	-
Resilience	0.11±0.01	-
Viscosity, cP	-	831.16±33.45
pH	-	3.16±0.02
Salinity (%)	-	33.6±1.22
°Brix	-	29.4±0.92

Data are expressed as mean±standard deviation (n=5).

การทดสอบการยอมรับในตำรับมาตรฐานรายการ ปลานวลจันทร์ทะเลราดซอสสามรส

ปลานวลจันทร์ทะเลราดซอสสามรสได้คะแนน
ความชอบโดยรวมระดับชอบปานกลาง 7.7 ± 0.72
คะแนน โดยมีคะแนนความชอบด้านกลิ่น กลิ่น-รส และ

เนื้อสัมผัสระดับชอบปานกลางที่ 7.5 ± 1.11 , 7.2 ± 0.83
และ 7.8 ± 0.78 คะแนน ตามลำดับ และมีคะแนนด้าน
ลักษณะปรากฏโดยรวมและรสชาติ ได้คะแนนระดับ
ชอบมาก 8.2 ± 0.83 และ 8.0 ± 0.86 คะแนน ตามลำดับ
ดังแสดงใน Figure 5

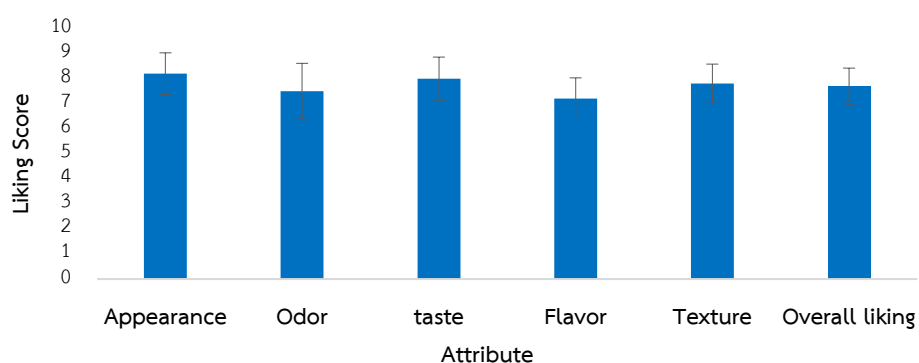


Figure 5 Liking scores of pan-fried milkfish with spices trio tasty sauce; (n=10)

การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ตำรับมาตรฐานที่พัฒนาได้

ผลการประเมินคุณค่าทางโภชนาการมีปริมาณสารอาหารใน 100 กรัม ดังแสดงใน Table 2 พบว่าปลานวลจันทร์ทะเลราดซอสสามารถให้พลังงานทั้งหมดเพียง 176.64 กิโลแคลอรี ให้โปรตีน 16.29 กรัม มีไขมัน

ทั้งหมด 7.32 กรัม คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 11.4 กรัม ซึ่งเป็นกากใย 1.58 กรัม มีวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 0.026 และ 0.034 มก. มีแร่ธาตุแคลเซียมและธาตุเหล็ก 48.62 และ 0.61 มก. ตามลำดับ ในขณะที่มีปริมาณโซเดียม 315.43 มก. และคอเลสเตอรอล 61.10 มก. ตามลำดับ

Table 2 The nutrition facts of pan-fried milkfish with spices trio tasty sauce

Nutrition facts	100 g of sample
Total energy (Kcal)	176.64
Energy from fat (Kcal)	65.88
Total fat (g)	7.32
Saturated fat (g)	1.86
Cholesterol (mg)	61.10
Protein (factor 6.25) (g)	16.29
Total carbohydrate (g)	11.40
Fiber (g)	1.58
Sugars (g)	9.67
Sodium (mg)	315.43

Table 2 (Continued)

Nutrition facts	100 g of sample
Vitamin A (mcg)	-
Vitamin B1 (mg)	0.026
Vitamin B2 (mg)	0.034
Calcium (mg)	48.62
Iron (mg)	0.61
Ash (g)	1.69
Moisture (g)	63.30

วิจารณ์ผลการวิจัย

การพัฒนาตำรับมาตรฐานปลานวลจันทร์ทะเล ราดซอสสามรส (สูตร F3) ใช้เนื้อปลาที่ผ่านกระบวนการแล่ ถอดก้าง และตัดแต่งเป็นชิ้นขนาดประมาณ 6×7 ซม. เนื้อปลาถูกซับน้ำและของเหลว เช่น เลือดปลาให้แห้ง จากนั้นใช้น้ำมันมะนาวเล็กน้อยและปรุงรสด้วยเกลือพริกไทยเพื่อช่วยลดกลิ่นคาว ก่อนการทอดคลุกแป้งเพื่อดูดซับความชื้นแล้วชุบไข่แดงเหลวก่อนการทอดด้วยน้ำมันปานกลาง (pan-fried) ทำให้เนื้อปลามีสีเหลืองทองน่ารับประทาน (b^* เท่ากับ 23.40) มีแนวโน้มว่าเกิดจากแคโรทีนอยด์ในไข่แดงซึ่งเป็นสารสีเหลืองถึงส้มร่วมกับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (maillard reaction) ระหว่างกรดอะมิโน (amino acid) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ในอาหาร (El Hosry *et al.*, 2025; Xiao *et al.*, 2025) ทำให้ได้ลักษณะของเนื้อปลาทอดที่ดีตามค่านิยมของผู้เชี่ยวชาญ หมายถึง ลักษณะปรากฏไม่เลอะ น่ารับประทาน มีสีเหลืองทอง สุกพอดี เนื้อไม่แข็งกระด้าง ไม่มีกลิ่นเหม็นคาว หลังการทอดค่าความชื้นของเนื้อปลาลดลงเหลือร้อยละ 65.22 ซึ่งน้อยกว่าค่าความชื้นของปลานวลจันทร์ทะเลสด (*Chanos chanos*, Forskal) ที่รายงานโดย Malle *et al.* (2019) ซึ่งมีค่าร้อยละ 70.79 แสดงให้เห็นว่าปลาสูญเสียความชื้นเพียงเล็กน้อย การสูญเสียความชื้นที่จำกัดนี้เป็นผลจากการทอดด้วย

ระยะเวลาสั้นเพียง 1–2 นาทีต่อแต่ละด้านของปลา โดยกระบวนการทอดให้ความร้อนแบบแห้ง (dry heat) อย่างเหมาะสม ส่งผลให้เนื้อปลามีความแน่น แต่ยังคงความชุ่มฉ่ำและนุ่ม ไม่แข็งกระด้าง สอดคล้องกับรายงานของ Zhang *et al.* (2021) ที่ระบุว่าความร้อนทำให้โปรตีนไมโอซิน (Myosin filament) ในเส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibril) เกิดการเกิดการคลายตัวออกจากโปรตีนแอคติน (actin filament) สูญเสียสภาพธรรมชาติ (thermal denaturation) และตกตะกอน ส่งผลให้เนื้อปลามีสีและเนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนไปแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible) กล่าวคือ มีความแน่น (firmness) และยืดหยุ่นพอดีในขณะเดียวกัน การชุบไข่แดงก่อนทอดช่วยให้โปรตีนสร้างชั้นป้องกันบนผิวปลา ลดการสูญเสียและน้ำมันระหว่างทอด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Brannan and Pettit (2015) ที่พบว่าโปรตีนจาก whey protein ในสารเคลือบผิว (coating) ของอาหารทอดช่วยลดการสูญเสียความชื้นและการดูดซึมน้ำมัน

นอกจากนี้ งานวิจัยของ Gutiérrez-Silva *et al.* (2023) พบว่าแป้งทอดกรอบ (breader) ที่มีโปรตีนสูงสามารถช่วยรักษาความชื้นและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทอดได้เช่นกัน แสดงให้เห็นว่าการใช้โปรตีนเป็นสารเคลือบผิว หรือผสมในแป้งทอดกรอบก่อนทอดมีบทบาทสำคัญต่อการลดการสูญเสียความชื้นของอาหารทอด อย่างไรก็ตาม ปลานวลจันทร์ทะเลจัดเป็นปลาทะเลผิวน้ำ

(pelagic fishes) เช่นเดียวกับ ปลาทู (mackerel) ปลาซาร์ดีน (sardine) และปลาทูน่า (tuna) ปลาเหล่านี้มีกิจกรรมสูง สามารถว่ายน้ำอย่างว่องไวเพื่อปรับตัวเข้ากับคลื่นและหลบศัตรูในท้องทะเล ส่งผลให้มัดกล้ามเนื้อมีความแข็งแรงและมีเนื้อสัมผัสที่แน่น (Chaijan *et al.*, 2010) เมื่อวัดค่าแรงที่ใช้ขณะเคี้ยวต่อกลไกของเนื้อปลาพบว่าค่าความแข็ง (hardness) อยู่ที่ 135.28 N ความเหนียวเป็นยาง (gumminess) 34.31 N และความเหนียวในการเคี้ยว (chewiness) 16.15 N ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเนื้อปลามีความเหมาะสมต่อการบริโภค

ในส่วนของคุณสมบัติการรับมาตรฐานสูตร F3 ใช้ส่วนผสมจากข้าวกล้องปริมาณ 80 กรัม ซึ่งให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.16 อยู่ในช่วงของกรดอ่อนที่ช่วยลดกลิ่นคาวปลา สอดคล้องกับรายงานของ Bou *et al.* (2017) ที่ระบุว่า การเติมกรดซิตริกในช่วงกรดอ่อนสามารถลดความเข้มข้นของกลิ่นปลาและชะลอการเกิดออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ปลาสำเร็จรูป ส่วนกลิ่นและรสของซอสเกิดจากการผสมพริก 4 ชนิด ได้แก่ ขี้พริกแดง เหลือง เขียว และพริกขี้หนูสวน พร้อมด้วยกระเทียม ขิง และมะขามเปียก ซึ่งอุดมไปด้วยสารฟีนอลิกและซัลเฟอร์ที่ช่วยกลบกลิ่นคาวปลา (Cocom *et al.*, 2025; Taksene and Belay, 2024; Wangcharoen and Morasuk, 2007) ค่าความเค็มและค่าความเข้มข้นของแข็งที่ละลายในน้ำของซอสอยู่ที่ 33.6% และ 29.4 °Brix ตามลำดับ ส่วนค่าสี $L^* a^* b^*$ เท่ากับ 29.43, 11.21 และ 8.53 ตามลำดับ และความหนืด 831.16 cP เป็นคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของซอสสูตร F3 ที่ให้รสชาติกลมกล่อม ประกอบด้วยรสเปรี้ยว หวาน และเค็ม พร้อมกับความเผ็ดเล็กน้อยสอดคล้องกับคำนิยามของซอสตามแนวทางของผู้เชี่ยวชาญ

เมื่อทำการการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าสูตร F3 ได้คะแนนความชอบโดยรวม 7.7 คะแนน โดยคะแนนด้าน ลักษณะปรากฏและรสชาติ สูงที่สุด (8.2 และ 8.0) แสดงถึงความกลมกล่อมของรสชาติและสีที่รับประทาน ความเหมาะสมของซอสสูตร ตลอดจน

ความเข้มข้นและความกลมกล่อมของซอสช่วยเพิ่มความพึงพอใจของผู้บริโภค

ด้านโภชนาการใน 100 กรัม (เนื้อปลาทอด 70 กรัม ราดซอส 30 กรัม) ให้พลังงาน 176.64 กิโลแคลอรี โปรตีน 16.29 กรัม ไขมัน 7.32 กรัม คาร์โบไฮเดรต ทั้งหมด 11.4 กรัม โดยเป็นใยอาหาร 1.58 กรัม มีวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 0.026 และ 0.034 มก. ตามลำดับ มีแคลเซียมและเหล็ก 48.62 และ 0.61 มก. ตามลำดับ ด้านโซเดียมมี 315.43 มก. และคอเลสเตอรอล 61.10 มก. ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับ Kongrat and Kongpun (2015); Malle *et al.* (2019) ที่ระบุว่าปลานวลจันทร์ทะเลเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูง มีกรดไขมันจำเป็นซึ่งดีต่อสุขภาพ การพัฒนาสูตรมาตรฐานปลานวลจันทร์ทะเลราดซอสสูตร F3 แสดงให้เห็นว่า การเลือกส่วนผสมและเทคนิคการปรุงอาหารที่เหมาะสม ทั้งการซับน้ำ การปรุงรส การคลุกแป้งและชุบไข่แดงก่อนทอด รวมถึงการปรับสมดุลของซอส สามารถรักษาความชุ่มฉ่ำและสีส้มของปลา ลดกลิ่นคาว เพิ่มความน่ารับประทาน พร้อมคงคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติที่ดีของอาหารได้

สรุปผลการวิจัย

ปลานวลจันทร์ทะเลสามารถแปรรูปเป็นรายการอาหารปลานวลจันทร์ทะเลราดซอสสูตร F3 ได้ โดยสูตร F3 เป็นตำรับมาตรฐานที่พัฒนาได้โดยมีส่วนผสม คือ เนื้อปลาร้อยละ 63.83 น้ำมันวร้อยละ 0.76 เกลือร้อยละ 0.32 พริกไทยขาวป่นร้อยละ 0.15 แป้งสาลีเอนกประสงค์ร้อยละ 3.04 ไข่แดงร้อยละ 4.56 และส่วนผสมของซอสสูตร คือ น้ำมันพืชร้อยละ 5.52 กระเทียมจีนสับร้อยละ 2.76 รากผักชีสับร้อยละ 0.46 พริกขี้พริก (ผ่าเมล็ดออก) สีแดงร้อยละ 3.68 สีเหลืองร้อยละ 3.68 สีเขียวร้อยละ 1.84 พริกขี้หนูสวนสีแดง (ผ่าเมล็ดออก) ร้อยละ 1.84 ขิงดองร้อยละ 1.84 เนื้อกระเทียมดองสับร้อยละ 1.84 น้ำตาลปี๊บร้อยละ 7.37 น้ำตาลทรายร้อยละ 7.37 น้ำส้มสายชูหมักจากข้าวกล้องร้อยละ 7.37 น้ำเปล่าร้อยละ

6.91 ขอสมะเชื้อเทศร้อยละ 13.81 น้ำกระเทียมดอง ร้อยละ 11.97 น้ำมะขามเปียกร้อยละ 7.37 น้ำสต็อกไก่ ร้อยละ 13.81 และเกลือร้อยละ 0.55 การจัดเสิร์ฟ ใช้อัตราส่วนปลาต่อซอส 7:3 และตกแต่งด้วยใบผักชี ดำรับ มาตรฐานนี้ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ กลิ่น-รส เนื้อสัมผัส และความชอบ โดยรวมอยู่ที่ 8.2 ± 0.83 , 7.5 ± 1.11 , 8.0 ± 0.86 , 7.2 ± 0.83 , 7.8 ± 0.78 และ 7.7 ± 0.72 ตามลำดับ ด้านโภชนาการ ใน 100 กรัม (เนื้อปลาทอด 70 กรัม ซอสสามรส 30 กรัม) ให้พลังงาน 176.64 กิโลแคลอรี มีโปรตีน 16.29 กรัม มีไขมันทั้งหมด 7.32 กรัม เป็นรายการอาหารที่มีความ โดดเด่นด้านโปรตีนจากเนื้อปลา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากวิทยาลัยดุสิตธานี และได้รับการเอื้อเฟื้อวัตถุดิบจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2005. **The Official Method of Analysis Chemists**. 18th Edition. Gaithersburg: Official Method of Analysis Chemists. 2590 p.
- AOAC. 2019. **The Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis of AOAC International**. 21st Edition. Washington DC: Official Method of Analysis Chemists. 3750 p.
- Bagarinao, T.U. 1991. **Biology of Milkfish (*Chanos Chanos Forsskal*)**. Iloilo: Aquaculture Department Southeast Asian Fisheries Development Center (SEAFDEC). 94 p.
- Bou, R., A. Claret, A. Stamatakis, B. Martínez and G. Luis. 2017. Quality changes and shelf-life extension of ready-to-eat fish patties by adding encapsulated citric acid. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 97(15): 5352–5360.
- Brannan, R.G., and K. Pettit. 2015. Reducing the oil content in coated and deep-fried chicken using whey protein. **Lipid Technology** 27(6): 131–133.
- Chaijan, M., W. Panpipat and B. Sootawat. 2010. Physicochemical properties and gel-forming ability of surimi from three species of mackerel caught in Southern Thailand. **Food Chemistry** 121(1): 85–92.
- Cocom, L.M., H.C. Wang, K.C. Tseng and Ch. Yung-Lin. 2025. The antimicrobial and antioxidant properties of raw, aged, and fermented garlic: influence of processing methods. **Food Science and Nutrition** 13(8): e70743.
- Dangkhwat, N. 2018. Development of milkfish noodles product mixed with green caviars. **Thai Science and Technology Journal** 26(8): 1311–1324. [in Thai]

- Dangkhaw, N., P. Korsawaddipat, C. Suksri and K. Sommarut. 2023. Effect of salt concentrations for fermentation process on the quality of pla-som from milkfish (*Chanos chanos*). **Burapha Science Journal** 28(2): 848–864. [in Thai]
- El Hosry, L., V. Elias, V. Chamoun, M. Halawi, P. Cayot, A. Nehme and B. Elias. 2025. Maillard reaction: mechanism, influencing parameters, advantages, disadvantages, and food industrial applications: a review. **Foods** 14(11): 1881.
- Freyhof, J., J.S. Sparks, F. Kaymaram, D. Feary, J. Bishop, M. Al-Husaini, M. Almukhtar, S. Hartmann, S. Alam and K. Al-Khalaf. 2019. *Chanos chanos*. **The IUCN Red List of Threatened Species** 2019: e.T60324A151598011.
- Gutiérrez-Silva, G., F. Vásquez-Lara, N.G. Heredia-Sandoval and I.R. Alma. 2023. Effect of high-protein and high-fiber breaders on oil absorption and quality attributes in chicken nuggets. **Foods** 12(24): 4463.
- Kaewnern, P. and W. Siripornkitti. 2023. **Development of Ready to Eat Product from Milk Fish (*Chanos chanos* Forsskål, 1775)**. 59 p. In Technical Paper No. 7/2023. Bangkok: Fisheries Industrial Technology Research and Development Division, Department of Fisheries. [in Thai]
- Kongrat, W. and O. Kongpun. 2015. **Product Development from Milkfish (*Chanos chanos*, Forskal), (8/2015)**. pp. 544–555. In Research Report. Bangkok: Fishery Technological Development Division, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [in Thai]
- Li, J.L., Z.C. Tu, L. Zhang, X.M. Sha, H. Wang, J.J. Pang and T. Ping-Ping. 2016. The effect of ginger and garlic addition during cooking on the volatile profile of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) soup. **Journal of Food Science and Technology** 53(8): 3253–3270. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2301-1>
- Malle, S., A.B. Tawali, M.M. Tahir and B. Maryati. 2019. Nutrient composition of milkfish (*Chanos Chanos*, Forskal) from Pangkep, South Sulawesi, Indonesia. **Malaysian Journal of Nutrition** 25(1): 155–162.
- Meilgaard, M.C., G.V. Civille and B. Thomas Carr. 2007. **Sensory Evaluation Techniques**. 4th Edition. Florida: CRC Press. 464 p.
- Pokorny, J. and J. Davidek. 1986. Application of hedonic sensory profiles for the characterization of food quality. **DieNahrung** 8: 757–763.
- Rothman, L. 2007. The Use of Just-About-Right (JAR) Scales in Food Product Development and Reformulation. pp. 407–433. In MacFie, H. (ed.). **Consumer-Led Food Product Development**. 1st Edition. Sawston: Woodhead Publishing.

- Rothman, L. and M.J Parker. 2009. **Just-About-Right Scales: Design, Usage, Benefits, and Risks**. Conshohocken: ASTM International. 110 p.
- Taksene, K. and A. Belay. 2024. Physicochemical, antioxidant, antinutritional and sensory-properties of tamarind (*Tamarindus indica*). **Journal of Material and Process Technologies** 1(1): 1–9.
- Wangcharoen, W. and W. Morasuk. 2007. Antioxidant capacity and phenolic content of chilies. **Agriculture and Natural Resources** 41(3): 561–569.
- Wongwiwat, N. 2010. **The Study on Growth Rate of Milkfish (*Chanos chanos* Forskal, 1775) with Pellet Feed in the Earthen Pond**. Master Thesis. Maejo University. 41 p. [in Thai]
- Xiao, J., L. Ling, X. Li, X. Zhou, X. Mo, P. Wan, P. Wang and Ch. De-Wei. 2025. Lutein as an antioxidant inhibits the maillard reaction in heated egg yolk. **LWT- Food Science and Technology** 218: 117490.
- Zhang, Z., H. Pham, Y. Tan, H. Zhou and J.M. David. 2021. Investigation of protein denaturation and textural changes of atlantic salmon (*Salmo salar*) during simulated cooking. **Food Biophysics** 16: 512–519.

ผลของการเสริมผงไข่ฝ่ำต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกง

Effect of Dried Wolffia Supplementation on the Quality of Thai Custard Dessert

นราธร สัตย์เชื้อ^{1,*}, ณปภา หอมหวล¹, วุฒิชัย ฤทธิ², ญาณพัฒน์ พรหมประสิทธิ์², สุมิตานันท์ จันทะบุรี²

และประดิพันธ์ ทองแถม ณ อยุธยา²

Narathorn Satsue^{1,*}, Napapha Homhual¹, Wuttichai Ritti², Yanaphat Promprasit²

Sumitahnun Chunthaburee² and Pradipunt Thongtam Na Ayudhaya²

¹สาขาเทคโนโลยีและศิลปะการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 76000

²สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 76000

¹Culinary Art and Technology Program, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University
Phetchaburi, Thailand 76000

²Biology Program, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi, Thailand 76000

*Corresponding author: Narathorn.sat@mail.pbru.ac.th

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0001-1347-9781>

Received: November 25, 2025

Revised: February 19, 2026

Accepted: March 17, 2026

Abstract

The purposes of this research were to (1) study the effect of varying drying times on the quality of dried Wolffia powder and (2) determine the appropriate amount of Wolffia powder for supplementing the Thai custard. The results of drying Wolffia at 60°C for 0, 2, 4, 6, and 8 hours showed that the best quality of Wolffia for developing the Thai custard dessert was achieved at a drying time of 8 hours. The dried Wolffia had a statistically significant decrease in lightness (L*), redness (a*), and yellowness (b*) values ($p < 0.05$). The water activity of the dried Wolffia was 0.33, whereas the protein, fat, dietary fiber, ash, and moisture content were 19.51, 2.80, 10.36, 16.31, and 4.40%, respectively. Thai custard supplemented with Wolffia powder at 3 levels (1, 2, and 3%) was developed; it was found that increasing the amount of Wolffia powder in the Thai custard resulted in a statistically significant decrease ($p < 0.05$) in L*, a*, and b* values, while the firmness tended to increase. Sensory evaluation, in terms of appearance, color, flavor, taste, texture, and overall liking attributes, using a 9-point hedonic scale, revealed that 1% Wolffia powder supplemented in the Thai custard was the most accepted. Nutritional analysis demonstrated that 100 grams of the dessert contained 11.40% protein, 9.10% fat, 14.85% carbohydrates, 0.78% ash, 0.13% dietary fiber, and 63.74% moisture, respectively. Consumer satisfaction and acceptance indicated that 97.0% of consumers accepted the Wolffia powder-supplemented Thai custard

dessert; reasons included its health benefits, interesting novelty, and a reasonable price of 35 Baht per box.

Keywords: Thai custard dessert, dried Wolffia powder, protein supplemented, consumer acceptance

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาผลของการอบแห้งที่ระยะเวลาต่างกันต่อคุณภาพของไข่ผง และ (2) ศึกษาปริมาณไข่ผงที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกง จากผลการศึกษาการอบแห้งไข่ผงที่อุณหภูมิ 60°C เป็นระยะเวลา 0, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาอบแห้งที่ 8 ชั่วโมง ส่งผลให้ไข่ผงมีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงที่สุด โดยไข่ผงอบแห้งมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.33 และมีปริมาณโปรตีน ไขมัน โยอาหาร เถ้า และความชื้น ร้อยละ 19.51, 2.80, 10.36, 16.31 และ 4.40 ตามลำดับ และจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมผงไข่ผงที่ 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 1, 2 และ 3 พบว่าการเสริมผงไข่ผงในขนมหม้อแกงที่ปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าสี L^* , a^* , b^* มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จากการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยการให้คะแนนความชอบที่ 9 ระดับ พบว่าขนมหม้อแกงเสริมผงไข่ผงร้อยละ 1 ได้รับการยอมรับมากที่สุด และจากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่าขนมหม้อแกงเสริมไข่ผงร้อยละ 1 ในปริมาณ 100 กรัม มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 11.40 ไขมัน ร้อยละ 9.10 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 14.85 เถ้า ร้อยละ 0.78 โยอาหาร ร้อยละ 0.13 และความชื้น ร้อยละ 63.74 ตามลำดับ การศึกษาความพึงพอใจ

และการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมไข่ผง ร้อยละ 97.0 เหตุผลในการยอมรับ คือ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และมีความแปลกใหม่น่าสนใจ และยอมรับราคาที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมไข่ผงในราคากล่องละ 35 บาท

คำสำคัญ: ขนมหม้อแกง ผงไข่ผงอบแห้ง
การเสริมโปรตีน การยอมรับของผู้บริโภค

บทนำ

ขนมหม้อแกงเป็นขนมหวานไทยที่มีลักษณะเฉพาะ ทั้งในด้านวัตถุดิบ วิธีการทำ รสชาติ และการใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น เช่น น้ำตาลโตนด โดยเฉพาะในจังหวัดเพชรบุรี จัดเป็นหนึ่งในของหวานประจำจังหวัดที่แสดงถึงอัตลักษณ์ วิถีชีวิต และวัฒนธรรมของชุมชนท้องถิ่น โดยจังหวัดเพชรบุรีได้นำอาหารมาเป็นตัวขับเคลื่อนสู่การสร้างสรรคด้านอาหาร ด้วยความมีศักยภาพโดยเฉพาะความโดดเด่นด้วยแหล่งวัตถุดิบ จึงได้รับคัดเลือกจากองค์การยูเนสโก (UNESCO) ให้เป็นหนึ่งในเครือข่ายเมืองสร้างสรรค์ด้านอาหารประจำปี พ.ศ. 2564 (Phetchaburi Provincial Office, Phetchaburi Provincial Strategy Group, 2018) ที่มีบทบาทในเชิงเศรษฐกิจชุมชนและการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม สามารถสร้างรายได้ให้แก่ผู้ผลิตในท้องถิ่น และส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม

ปัจจุบันพฤติกรรมผู้บริโภคให้ความสำคัญในด้านปัญหาสุขภาพ ทำให้ผู้ประกอบการขนมหวานมีการพัฒนาขนมหม้อแกงสูตรต่าง ๆ (Noysumran and Nuntasukhon,

2024) ส่งผลให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่เสริมคุณค่าทางโภชนาการ สามารถช่วยให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารที่มีประโยชน์มากขึ้น เช่น ขนมห่มอแกงเสริมผงเนื้อฟักข้าว (Pramai *et al.*, 2025) ขนมห่มอแกงเสริมข้าวไรซ์เบอร์รี่สกัดรสแตงโม (Sukhonthara, 2016) ขนมห่มอแกงเสริมแก่นตะวันผง (Joompolla *et al.*, 2023) และขนมห่มอแกงนมสดเสริมผงชาเขียว (Wirivutthikorn, 2020) การพัฒนาผลิตภัณฑ์จึงเป็นแนวทางในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการเพื่อให้เกิดความแปลกใหม่และมีประโยชน์ต่อผู้บริโภคเพิ่มขึ้น (Pramai *et al.*, 2025)

ไข่ฝำ (*Wolffia*) เป็นพืชลอยน้ำขนาดเล็กพบได้ตามแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ลักษณะสีเขียวมีขนาดเล็กเป็นพืชที่พบได้ตามแหล่งน้ำธรรมชาติ อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะปริมาณโปรตีน กรดอะมิโน วิตามิน มีสารต้านอนุมูลอิสระ สารพฤกษเคมี (Phytochemical) (Community Organization Development Institute (OCDI), Thailand, 2024) และได้รับการขนานนามเป็นซูเปอร์ฟู้ด (superfood) ปัจจุบันไข่ฝำสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกและสามารถใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร ได้ทั้งอาหารคาวและหวาน โดยส่วนใหญ่จะพบไข่ฝำในเมนูอาหารคาว เช่น ไข่เจียวฝำ แกงคั่วฝำ เป็นต้น ในส่วนผสมของขนมไทยพบว่ามีการใช้เป็นส่วนผสมอยู่น้อยมาก เนื่องจากไข่ฝำมีคุณลักษณะเฉพาะตัวจึงเหมาะสำหรับขนมไทยบางประเภทเท่านั้น (Soontorntammarath *et al.*, 2025)

จากเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้มีความสำคัญในการศึกษาศักยภาพไข่ฝำมาใช้เป็นส่วนผสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงไข่ฝำ ศึกษาปริมาณไข่ฝำที่เหมาะสม และศึกษาองค์ประกอบทางเคมี เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค รวมทั้งสามารถยกระดับสินค้าเกษตรให้มีมูลค่าสูง นอกจากนี้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงจากไข่ฝำโดยใช้ตำรับอาหารจากเพชรบุรี สามารถนำไปต่อยอดสู่ผลิตภัณฑ์เชิง

สุขภาพ เพื่อให้เป็นวัฒนธรรมอาหารของจังหวัดเพชรบุรี เพื่อสร้างคุณค่าและเพิ่มมูลค่าด้านเศรษฐกิจของเมือง สร้างสรรค์ด้านอาหาร ให้ขยายผลและสร้างศักยภาพในการยกระดับเมืองสร้างสรรค์ของจังหวัดเพชรบุรีต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงไข่ฝำ

นำไข่ฝำจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนไข่ฝำ จังหวัดเพชรบุรี ทำการศึกษาการอบแห้งไข่ฝำโดยดัดแปลงจากวิธีการจาก Seephua *et al.* (2025) นำไข่ฝำมาล้างทำความสะอาด พักให้สะเด็ดน้ำ ใส่ถาดขนาด 52x48 ซม. จำนวนถาดละ 1,000 กรัม ใช้การอบแห้งแบบลมร้อน (tray dryer) (NPD Technology Co., Ltd., Thailand) ที่อุณหภูมิ 60°C เก็บตัวอย่างทุก 2 ชั่วโมง มาวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น จนมีปริมาณความชื้นน้อยกว่า 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จากนั้นบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ปิดให้สนิท จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมี และวัดค่าปริมาณผลผลิต (yield) โดยใช้สูตรคำนวณดังสมการ (Wong *et al.*, 2017)

ร้อยละของผลผลิต (% yield)

$$= \frac{\text{น้ำหนักวัตถุดิบเริ่มต้น} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งวัตถุดิบ}}$$

การศึกษ ปริมาณผงไข่ฝำที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกง

การศึกษาในครั้งนี้นำสูตรพื้นฐานขนมหม้อแกงจาก Noisumran *et al.* (2023) แสดงดัง Table 1 มาศึกษาปริมาณของผงไข่ฝำในขนมหม้อแกงที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1, 2 และ 3 ของปริมาณน้ำหนักทั้งหมด โดยชั่งเตรียมส่วนผสมทั้งหมด ล้างทำความสะอาดไข่เปิด แยกไข่ขาวออกจากไข่แดง ใช้เฉพาะไข่ขาว นำน้ำตาลมะพร้าว ไข่ขาว ใบเตยผสมรวมกันแล้วขยำ

ให้เข้ากัน เติมกะทิผสมให้เข้ากัน จากนั้นกรองผ่าน 140°ซ เป็นเวลา 120 นาที จนสุก จากนั้นนำไปประเมิณ
ผ้าขาวบาง นำใส่ภาชนะขนาด 5x5 ซม. อบที่อุณหภูมิ คุณภาพ ดังนี้

Table 1 Formulation of Thai custard dessert with different levels of dried *Wolffia* supplementation

Ingredient	Dried <i>Wolffia</i> supplementation (%)			
	Control	1	2	3
Taro	9.00	9.00	9.00	9.00
Egg white (duck)	37.36	37.36	37.36	37.36
Coconut milk	43.09	43.09	43.09	43.09
Palm sugar	7.72	7.72	7.72	7.72
Pandan leave	2.57	2.57	2.57	2.57
Salt	0.26	0.26	0.26	0.26
Dried <i>Wolffia</i>	0	1	2	3

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี

การวิเคราะห์ค่าสี วิเคราะห์ค่าสีผิวหน้าและเนื้อในของขนมหม้อแกงเสริมไข่ดำ ด้วยเครื่องวัดสี HunterLab (รุ่น Colorflex EZ, USA) แสดงผลในรูปค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสใช้เครื่อง Texture analyzer (Stable Micro Systems รุ่น TX.XTPlusC, England) ดัดแปลงวิธีการจาก Wirivutthikorn (2020) นำตัวอย่างขนมหม้อแกงมาทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยใช้หัวกดแบบทรงลูกบอล (ball probe P/5) โดยวัดค่าความแน่นเนื้อ (firmness) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. กดลงบนตัวอย่าง 40% ของความสูงเริ่มต้นที่อัตราเร็ว 1.70 มม./วินาที รายงานผลในหน่วยนิวตัน

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ a_w ด้วยเครื่อง Water Activity Meter (รุ่น Rotronic Aw-therm, Switzerland)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น วัดปริมาณความชื้น ด้วยเครื่อง Moisture Analyzer (รุ่น HE Series, Mettler Toledo, Switzerland) โดยใช้ตัวอย่าง 3 กรัม เกลี่ยลงในถ้วยโลหะที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักมาก่อน นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°ซ ตามวิธีของ AOAC (2000)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขนมหม้อแกงสูตรพื้นฐาน และขนมหม้อแกงเสริมผงไข่ดำ ประกอบด้วย ปริมาณโปรตีน ด้วยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 2012) ปริมาณไขมัน ด้วยวิธี solvent extraction method (AOAC, 2019) ความชื้นด้วยวิธี hot air oven method ปริมาณเถ้าด้วยวิธี dry ash ปริมาณใยอาหารด้วยวิธี solvent extraction method (AOAC, 2016) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยผลต่างจากการคำนวณ จากสูตรร้อยละ (%) คาร์โบไฮเดรต (โดยผลต่าง) = 100 - (ผลรวมร้อยละของปริมาณความชื้น + ไขมัน + โปรตีน + เถ้า) (Thai Industrial Standards Institute, 2017)

การศึกษาการยอมรับของผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมผงไข่ผำ

การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้วิธีการวางแผนแบบการสุ่มแบบบังเอิญ (accidental sampling) ใช้กลุ่มผู้บริโภคทั่วไปที่มีอายุ 20 ปีขึ้นไป จำนวน 100 คน โดยแบบสอบถามเกี่ยวกับ ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ข้อมูลเชิงพฤติกรรมกรรมการบริโภคขนมหม้อแกง ข้อมูลด้านการยอมรับผลิตภัณฑ์ แสดงผลในรูปค่าเฉลี่ย (mean) ค่าร้อยละ (percentage) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (One way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 95 ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผู้บริโภคจะรับทราบข้อมูลส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ เพื่อป้องกันความเสี่ยงการแพ้จากส่วนผสม เช่น กะทิ น้ำตาลโตนด เผือก เกลิอ และไข่ผำ ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา (HE-086-2568) การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพเคมี วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete

Randomized Design: CRD) ทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสิ่งที่ทดลองด้วยวิธี Independent T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการอบแห้งของไข่ผำที่ระยะเวลาต่างกัน

ผลการอบแห้งของไข่ผำที่ระยะเวลาแตกต่างกัน แสดงใน Table 2 ที่อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลาต่างกัน คือ 0, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง พบว่าการอบแห้งที่ระยะเวลาต่างกันส่งผลให้ค่าสี ค่าความชื้น และค่าปริมาณน้ำอิสระมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไข่ผำสดมีความชื้นร้อยละ 95.96±0.29 ค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.94±0.26 ค่าสีความสว่าง (L*) 29.65±0.01 ค่าความเป็นสีแดง (a*) -9.44±0.01 และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) 28.95±0.11 เมื่อระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระลดลงตามลำดับ โดยระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบไข่ผำอยู่ที่ 8 ชั่วโมง มีค่าความชื้นร้อยละ 4.57±0.18 ค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.33±0.53 ค่าสีความสว่าง (L*) 19.37±0.89 ค่าความเป็นสีแดง (a*) -2.93±0.03 และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) 16.53±0.36 โดยพบว่าสีของไข่ผำมีลักษณะสีเขียวคล้ำออกน้ำตาล

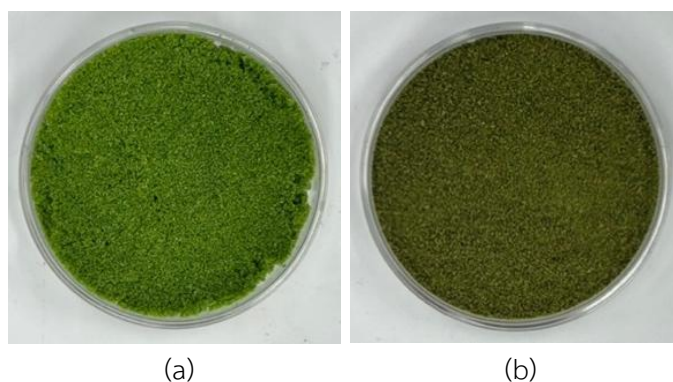


Figure 1 (a) Fresh *Wolffia* and (b) Dried *Wolffia* powder

Table 2 Physical properties *Wolffia* powder at different drying time

Properties	Time (hr)				
	0	2	4	6	8
Color L*	29.65±0.01 ^a	26.80±0.13 ^b	24.96±0.13 ^c	22.01±1.15 ^d	19.37±0.89 ^e
a*	-9.44±0.01 ^a	-5.40±0.02 ^b	-3.78±0.01 ^c	-3.48±0.01 ^d	-2.93±0.03 ^e
b*	28.95±0.11 ^a	24.48±0.29 ^b	21.37±0.03 ^c	19.14±0.04 ^d	16.53±0.36 ^e
a _w	0.94±0.26 ^a	0.91±0.014 ^b	0.89±0.13 ^c	0.74±0.25 ^d	0.33±0.53 ^e
Moisture content (%)	95.96±0.29 ^a	93.81±0.03 ^b	54.75±0.08 ^c	21.63±0.17 ^d	4.57±0.18 ^e

^{abc} Means with the different letters within the same row are significantly different ($p \leq 0.05$).

ผลการศึกษาค่าประกอบทางเคมีของผงไข่ฝำ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงไข่ฝำ แสดงใน Table 3 พบว่าการอบแห้งไข่ฝำระยะเวลา 8 ชั่วโมง ผงไข่ฝำอบแห้งมีปริมาณความชื้นร้อยละ 4.40 โปรตีนร้อยละ 19.51 ไขมันร้อยละ 2.80 เส้นใยอาหาร

ร้อยละ 10.36 เถ้าร้อยละ 16.31 และปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ (% yield) คิดเป็นร้อยละ 2.46 (โดยน้ำหนักแห้ง) ดังนั้น ในขั้นตอนต่อไปของงานวิจัย จึงเลือกใช้ไข่ฝำอบแห้ง 8 ชั่วโมง ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกง

Table 3 Chemical composition of dried *Wolffia*

Compositions	Dried <i>Wolffia</i>
Moisture (%)	4.40±0.25
Protein (%)	19.51±0.24
Fat (%)	2.80±0.54
Crude fiber (%)	10.36±0.79
Ash (%)	16.31±0.79
(%)Yield	2.46±0.28

ผลการศึกษาปริมาณผงไข่ไก่ที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกง

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงใน Table 4 ค่าเฉลี่ยและค่าความแตกต่างคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมหม้อแกงเสริมไข่ไก่ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยสูตรที่เสริมผงไข่ไก่

ในระดับร้อยละ 1 ได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงสุดในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยมีค่าเฉลี่ย 6.90 6.60 7.10 6.50 6.60 และ 7.76 ตามลำดับ โดยพบว่าเมื่อปริมาณผงไข่ไก่ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าคะแนนความชอบลดลงตามลำดับ

Table 4 Sensory evaluation scores of Thai custard dessert supplemented *Wolffia*

Attributes	Dried <i>Wolffia</i> supplemented (%)		
	1	2	3
Appearance	6.90±0.70 ^a	5.90±0.83 ^{ab}	5.10±1.04 ^b
Color	6.60±0.66 ^a	5.90±0.53 ^{ab}	5.50±1.11 ^b
Flavor	7.10±0.53 ^a	6.00±0.77 ^b	6.10±0.83 ^b
Taste	6.50±0.80 ^a	5.00±1.09 ^b	5.40±0.48 ^b
Texture	6.60±0.80 ^a	5.20±0.97 ^b	5.40±0.66 ^b
Overall liking	7.76±0.87 ^a	7.24±1.19 ^b	6.58±0.88 ^c

^{abc} Means with the different letters within the same row are significantly different ($p \leq 0.05$).

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมผงไข่ไก่

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมไข่ไก่ปริมาณร้อยละ 1, 2 และ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่าขนมหม้อแกงที่เสริมปริมาณผงไข่ไก่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ผิวหน้าและเนื้อในขนมหม้อแกงมีแนวโน้มลดลงตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าความแน่นเนื้อของขนมหม้อแกง พบว่า

เมื่อปริมาณผงไข่ไก่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ในขณะที่ค่าปริมาณน้ำอิสระขนมหม้อแกงเสริมผงไข่ไกร้อยละ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่แตกต่างจากขนมหม้อแกงเสริมผงไข่ไกร้อยละ 1 โดยมีค่าปริมาณอิสระอยู่ในช่วงปริมาณ 0.90–0.92 โดยปริมาณความชื้น พบว่าเมื่อปริมาณไข่ไ้มากขึ้นส่งผลให้ค่าความชื้นลดลงตามลำดับอยู่ในช่วงปริมาณ 63.54–60.53

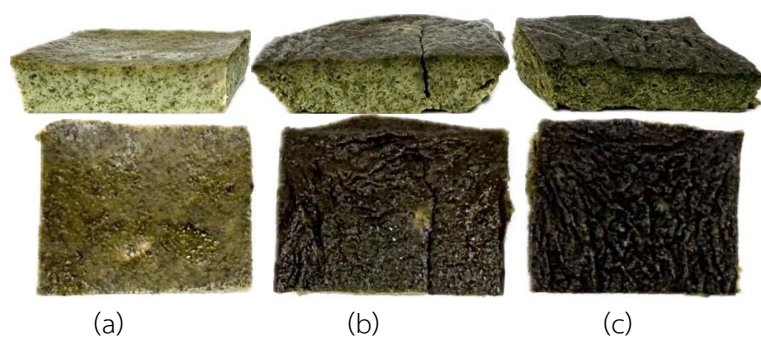


Figure 2 Thai custard dessert supplemented *Wolffia* at (a) 1%, (b) 2% and (c) 3%

Table 5 Physical and chemical properties Thai custard dessert supplemented *Wolffia*

Physical and chemical properties	Dried <i>Wolffia</i> supplemented (%)		
	1	2	3
Surface of Thai custard dessert			
L*	29.09±0.62 ^a	25.04±0.67 ^b	21.83±0.02 ^c
a*	1.16±0.02 ^a	1.07±0.01 ^b	0.65±0.01 ^c
b*	20.51±0.08 ^a	11.64±0.07 ^b	6.39±0.04 ^c
Inner of Thai custard dessert			
L*	64.77±1.67 ^a	40.17±1.52 ^b	32.50±1.15 ^c
a*	5.76±0.08 ^a	0.62±0.06 ^b	0.39±0.07 ^c
b*	18.17±1.16 ^a	17.11±1.13 ^{ab}	15.81±1.06 ^{bc}
Firmness (N)	25.25±1.73 ^c	27.57±0.78 ^b	34.90±0.77 ^a
a _w	0.90±0.01 ^b	0.92±0.01 ^a	0.92±0.00 ^a
Moisture content (%)	63.54±0.18 ^a	62.51±0.35 ^b	60.53±0.42 ^c

^{abc} Means with the different letters within the same row are significantly different ($p \leq 0.05$).

ผลองค์ประกอบทางเคมีขนมหม้อแกงสูตรควบคุมและขนมหม้อแกงเสริมไข่ผำ

ผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงสูตรเสริมผงไข่ผำร้อยละ 1 ที่ได้รับคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบสูงสุด ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีขนมหม้อแกงสูตรควบคุม

และขนมหม้อแกงเสริมไข่ผำในปริมาณ 100 กรัม พบว่าขนมหม้อแกงเสริมผงไข่ผำมีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และใยอาหารมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนมหม้อแกงสูตรควบคุม ในขณะที่ปริมาณความชื้นและไขมันลดลง

Table 6 Chemical composition of Thai custard (control) and Thai custard supplemented with 1% Dried Wolffia

Chemical composition	Thai custard (control)	Thai custard supplemented with 1% dried <i>Wolffia</i>
Protein (%)	4.40±0.19 ^b	11.40±0.50 ^a
Fat (%)	10.00±0.16 ^a	9.10±0.20 ^b
Carbohydrate (%)	14.45±0.01 ^b	14.85±0.38 ^a
Ash (%) ^{ns}	0.76±0.11	0.78±0.06
Moisture (%)	65.68±0.05 ^a	63.74±0.02 ^b
Fiber (%)	0.07±0.03 ^b	0.13±0.01 ^a

^{abc} Means with the different letters within the same row are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{ns} Indicates not significantly different ($p > 0.05$)

ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมไข่ผำ

ผลการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมไข่ผำแสดงดัง Table 7 พบว่าผู้บริโภคมีความชอบต่อผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมไข่ผำ โดย

ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมไข่ผำร้อยละ 97.0 เหตุผลในการยอมรับ คือ มีประโยชน์ต่อสุขภาพ รongลงมามีความแปลกใหม่น่าสนใจ กลุ่มผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมไข่ผำในราคากล่องละ 35 บาท

Table 7 The acceptance of 100 consumers to dried *Wolffia* Thai custard dessert

Information	Frequency	%
How much do you like the Thai custard dessert supplemented with Dried <i>Wolffia</i>?		
Dislike very much	1	1.0
Dislike	4	4.0
Neutral	35	35.0
Like	54	54.0
Like very much	6	6.0
Do you accept the Thai custard dessert supplemented with dried <i>Wolffia</i>?		
Accept	97	97.0
Not accept	3	3.0
What are your reasons for accepting? (You may select more than one answer.)		
Pleasant and appetizing aroma	32	32.0
Good taste and delicious flavor	35	35.0
Health benefits	60	60.0
Attractive color and appearance	21	21.0
Novelty and uniqueness of the product	51	51.0
What is the appropriate price ?		
Accepted price at 30 Baht	13	13.0
Accepted price at 35 Baht	66	66.0
Accepted price at 40 Baht	21	21.0

ผลการจัดทำคู่มือการทำขนมหม้อแกงเสริมไข่ผ่า

จากการศึกษาการจัดทำคู่มือการทำขนมหม้อแกงเสริมไข่ผ่า แสดงดัง Figure 3 พบว่าขนมหม้อแกงของจังหวัดเพชรบุรีมีอัตลักษณ์ในด้านรสชาติและวิธีการผลิต โดยในคู่มือได้รวบรวมสูตรมาตรฐานที่ผ่านกระบวนการทดสอบทางประสาทสัมผัส นอกจากนี้มีขั้นตอนกระบวนการทำ ตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ วิธีการ

ทำ และเทคนิคการทำ เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถต่อยอดในการฝึกปฏิบัติหรือสร้างอาชีพได้ และจัดทำข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้การพัฒนาคู่มือมีความสำคัญต่อการอนุรักษ์และต่อยอดภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นเมืองเพชรบุรี ให้ควบคู่กับการพัฒนาอาหารสุขภาพในอนาคต

Figure 3 Manual for making dried *Wolffia* Thai custard dessert

วิจารณ์ผลการวิจัย

การอบแห้งไข่ฝ้า พบว่าการอบแห้งที่ระยะเวลาต่างกันส่งผลให้ค่าสี ค่าความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ไข่ฝ้าสดมีความชื้นร้อยละ 95.96 ค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.94 เมื่อระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระลดลงตามลำดับ โดยระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบไข่ฝ้าอยู่ที่ 8 ชั่วโมง พบว่ามีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 เป็นค่าต่ำกว่าระดับจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ ส่งผลให้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ (Seephua *et al.*, 2025) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของอาหาร ส่งผลให้เกิดกระบวนการเหม็นหืนแบบไฮโดรไลติก (hydrolytic rancidity) และส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพและการยอมรับของผู้บริโภค (Shaviklo *et al.*, 2015) และเมื่อนำตัวอย่างไข่ฝ้าสดที่ 0 ชั่วโมงไปวิเคราะห์ค่าสีความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีค่าเท่ากับ 29.65, -9.44 และ 28.95 ตามลำดับ โดยเมื่อเพิ่มระยะเวลาการอบมากขึ้นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ การอบไข่ฝ้า 8 ชั่วโมง พบว่ามีค่าความสว่าง (L^*) 19.37 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) 2.93 และค่าความ

เป็นสีเหลือง (b^*) 16.53 ไข่ฝ้ามีค่าความสว่างลดลงเนื่องจากในไข่ฝ้ามีองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ซึ่งคลอโรฟิลล์เป็นสารสีที่ไม่คงตัวต่อความร้อน เมื่อได้รับความร้อนทำให้โครงสร้างเกิดกระบวนการฟิโอฟิตินไนเซชัน (phytophytinization) ซึ่งเป็นการแทนที่อะตอมแมกนีเซียมในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ด้วยอะตอมไฮโดรเจน ทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็น ฟิโอฟิติน (pheophytin) ทำให้สีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมเหลือง (Supanpayak *et al.*, 2020) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาการอบเพิ่มขึ้น (Chailungka, 2014)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงไข่ฝ้าระยะเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าผงไข่ฝ้าอบแห้งมีปริมาณความชื้นร้อยละ 4.40 โปรตีนร้อยละ 19.51 ไขมันร้อยละ 2.80 เส้นใยอาหารร้อยละ 10.36 เถ้าร้อยละ 16.31 และปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ (yield) คิดเป็นร้อยละ 2.46 (โดยน้ำหนักแห้ง) สอดคล้องกับ Appenroth *et al.* (2018) โดยไข่ฝ้าแห้งมีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 20–30 และไขมันร้อยละ 1–5 โดยองค์ประกอบทางเคมีของไข่ฝ้าขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต เช่น ปริมาณน้ำ แสง อุณหภูมิ และแหล่งเพาะปลูก ปัจจัยต่าง ๆ ส่งผลต่อกลไกการสังเคราะห์สารชีวโมเลกุลภายในเซลล์ ส่งผลให้ปริมาณสารอาหารและสารสำคัญทางชีวภาพแตกต่างกันตามแหล่งที่อยู่อาศัย (Ruen-Ngam, 2017;

Rowchai and Somboon, 2007) นอกจากนี้ผงไข่ฝ้ายยังมีรงควัตถุในกลุ่มคลอโรฟิลล์ เบต้าแคโรทีน และสารประกอบฟีนอลิก ไข่ฝ้ายจึงเป็นแหล่งของสารอาหารคุณค่าทางโภชนาการสูง (Khemthong *et al.*, 2021)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมหม้อแกงเสริมไข่ฝ้ายที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยด้านลักษณะปรากฏและด้านสี พบว่าขนมหม้อแกงเสริมไข่ฝ้ายร้อยละ 1 มีค่าคะแนนความชอบสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากสูตรขนมหม้อแกงเสริมไข่ฝ้ายร้อยละ 2 เนื่องจากไข่ฝ้ายในปริมาณร้อยละ 1 และ 2 อาจช่วยเพิ่มสีเขียวอ่อนบางส่วนที่กลมกลืน ในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าขนมหม้อแกงที่เสริมไข่ฝ้ายในปริมาณมากขึ้น มีคะแนนความชอบลดลงตามลำดับ โดยผู้บริโภคบางกลุ่มรู้สึกไม่ชอบกลิ่นของไข่ฝ้ายเมื่อเพิ่มในปริมาณมากขึ้นทำให้ส่วนผสมในการทำขนมหม้อแกง เช่น กะทิ เผือก ไม่สามารถกลบกลิ่นของไข่ฝ้ายได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Yaisumlee *et al.* (2022) เมื่อเพิ่มปริมาณไข่ฝ้ายในผลิตภัณฑ์บิสกิต ส่งผลให้ค่าคะแนนความชอบลดลง และตำรับที่ได้คะแนนสูงที่สุดผู้บริโภคให้เหตุผลว่ามีความหอมของเนย และส่วนผสมของคุกกี้ทำให้มีกลิ่นหอมของไข่ฝ้ายเล็กน้อย จึงทำให้ผู้บริโภคยอมรับในผลิตภัณฑ์ และ Masavang *et al.* (2023) พบว่าน้ำสาลี่สูตรเสริมไข่ฝ้ายร้อยละ 1 ได้รับการยอมรับมากทุกด้าน อีกทั้งน้ำสาลี่ที่เสริมไข่ฝ้ายร้อยละ 2 และ 3 ส่งผลให้น้ำสาลี่มีลักษณะขุ่นหนืดมากเกินไป จึงทำให้คะแนนความชอบลดลง อาจเป็นผลจากการที่ไข่ฝ้ายมีสีและกลิ่นเฉพาะตัว ส่งผลต่อคุณลักษณะโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ ผลิตภัณฑ์กล้วยเดี่ยวเส้นเล็กเสริมไข่ฝ้ายร้อยละ 1 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดในทุกด้าน เนื่องจากมีปริมาณเหมาะสมที่ผู้บริโภคยอมรับได้ (Thongkham, 2019) โดยการใช้ปริมาณไข่ฝ้ายที่มากขึ้นอาจทำให้เกิดลักษณะไม่พึงประสงค์ในด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ทำให้ผู้บริโภคไม่คุ้นชินในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด sensory threshold หรือ threshold of acceptability ที่ระบุว่าวัตถุดิบใหม่ควรถูกเติมในระดับ

ที่ไม่ส่งผลลบต่อคุณลักษณะที่ผู้บริโภคคาดหวังจากผลิตภัณฑ์ (Lawless and Heymann, 2010; Moskowitz *et al.*, 2012) และ On-Nom *et al.* (2023) พบว่าไข่ฝ้ายมีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่ต้องใช้ในปริมาณที่ไม่ส่งผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ปริมาณไข่ฝ้ายที่มากขึ้นส่งผลต่อโครงสร้างของขนมทำให้เนื้อสัมผัสแข็งขึ้น การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสจะได้รับการคะแนนลดลงตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมไข่ฝ้าย พบว่าขนมหม้อแกงที่เสริมปริมาณผงไข่ฝ้ายเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ผิวน้ำและเนื้อในขนมหม้อแกงมีแนวโน้มลดลงตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับ Sukhonthara (2016) ที่ได้ศึกษาการทำขนมหม้อแกง พบว่าค่าสีเนื้อในมีค่าความสว่างมากกว่าค่าสีผิวน้ำขนมหม้อแกง เนื่องจากการให้ความร้อนส่งผลให้โปรตีนและน้ำตาลภายในผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard) เป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวซ์และหมู่เอมีโนของโปรตีน ส่งผลให้ขนมหม้อแกงเกิดสีเข้มขึ้น (Nursten, 2005) นอกจากนี้ ไข่ฝ้ายแห้งมีลักษณะเป็นสีเขียวที่มาจากคลอโรฟิลล์ เป็นสารสีธรรมชาติที่พบในพืชและเป็นรงควัตถุสีเขียว (Diaz-Montes, 2025) โดยค่าสีที่ลดลงเกิดจากการสลายตัวของรงควัตถุ เมื่อได้รับความร้อนระหว่างการอบจะเกิดการสูญเสียโครงสร้างของเม็ดสี (Dupont *et al.*, 2022) และการเพิ่มผงไข่ฝ้ายปริมาณมากขึ้นทำให้ค่าสีและลักษณะปรากฏเปลี่ยนแปลงทำให้ผู้บริโภคบางกลุ่มไม่เปิดใจยอมรับ ส่งผลให้คะแนนความชอบลดลง สอดคล้องกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงดัง Table 4 นอกจากนี้ Deliza and MacFie (1996) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงสีหรือรูปลักษณ์ที่ต่างจากต้นแบบจะส่งผลต่อการประเมินของผู้บริโภค (sensory expectation) Piqueras-Fiszman *et al.* (2012) สีของผลิตภัณฑ์มีบทบาทสำคัญต่อการรับรู้คุณภาพอาหารของผู้บริโภค เนื่องจากผลิตภัณฑ์เป็นคุณลักษณะแรก

ที่ผู้บริโภครับรู้และความคาดหวังด้านรสชาติ ในขณะที่ค่าความแน่นเนื้อของขนมหม้อแกง พบว่าปริมาณของผงไข่ผ้าที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนมหม้อแกงมีค่าความความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยขนมหม้อแกงเสริมผงไข่ผ้าร้อยละ 1 มีค่าความแน่นเนื้อร้อยละ 25.25 นิวตัน สอดคล้องกับคะแนนทดสอบประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ ในขนมหม้อแกงมีส่วนผสมของไข่ขาวซึ่งโปรตีนเมื่อถูกให้ความร้อน จะเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (denaturation) และรวมตัวกันทำให้เกิดความหนาแน่น ส่งผลให้มีความแข็งแรงและการคงรูปดีขึ้น (Raikos *et al.*, 2007) ปริมาณความชื้น พบว่าเมื่อปริมาณไข่ผ้ามากขึ้น ส่งผลให้ค่าความชื้นลดลงตามลำดับ เนื่องจากในไข่ผ้ามีองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่สามารถดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้าง โดยเส้นใยและโปรตีนในอาหารมีผลต่อการกักเก็บน้ำและลดค่าความชื้นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ (Khan *et al.*, 2015) ค่าปริมาณน้ำอิสระ พบว่าขนมหม้อแกงเสริมผงไข่ผ้าร้อยละ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่แตกต่างจากขนมหม้อแกงเสริมผงไข่ผ้าร้อยละ 1 โดยมีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วงปริมาณ 0.90–0.92

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของขนมหม้อแกงเสริมไข่ผ้าในปริมาณ 100 กรัม พบว่าขนมหม้อแกงเสริมไข่ผ้ามีโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และใยอาหารมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนมหม้อแกงสูตรควบคุม ในขณะที่ปริมาณความชื้นและไขมันลดลงซึ่งโปรตีนที่เพิ่มขึ้นเป็นตัวขัดขวางการซึมผ่านของน้ำ โดยปริมาณโปรตีนสูงจะทำให้การดูดซึมของน้ำลดน้อยลง (Suwannasri *et al.*, 2005) การเสริมไข่ผ้าสามารถช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะในด้านปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Puttame and Ninlanon (2021) ที่ได้พัฒนาเบะหมี่เสริมไข่ผ้าอบแห้งพบว่าผลิตภัณฑ์เบะหมี่เสริมผงไข่ผ้าร้อยละ 10 ทำให้มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเบะหมี่สูตรพื้นฐาน และสอดคล้องกับ Phonpannawit and Klomjoho (2024) ที่พัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เสริมโปรตีนจากไข่ไก่ พบว่าการเสริมไข่ขาวอบแห้งในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณโปรตีน

สูงขึ้นตามลำดับ ในขณะที่ การเสริมไข่ผ้าในผลิตภัณฑ์ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนและใยอาหาร โดยไม่ส่งผลต่อการยอมรับ นอกจากนี้ ไข่ผ้าเป็นแหล่งโปรตีนและแร่ธาตุสำคัญ โดยมีโปรตีน แคลเซียม อีกทั้งยังมีการดอเมโนจำเป็นหลายชนิด (Seephua *et al.*, 2025) ไข่ผ้าสามารถทำหน้าที่เป็นวัตถุดิบเสริมที่ช่วยยกระดับคุณค่าทางโภชนาการของอาหารท้องถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการอบแห้งของไข่ผ้าที่อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลาที่ต่างกัน คือ 0, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบไข่ผ้า คือ 8 ชั่วโมง โดยมีค่าสีความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ 19.37, 2.93 และ 16.53 ตามลำดับ มีปริมาณความชื้นร้อยละ 4.57 ค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.33 โปรตีนร้อยละ 19.51 ไขมันร้อยละ 2.80 ใยอาหารร้อยละ 10.36 ใยร้อยละ 16.31 และปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ (yield) คือ ร้อยละ 2.46 โดยน้ำหนักแห้ง และเมื่อนำมาผสมในขนมหม้อแกงร้อยละ 1, 2 และ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่าสูตรขนมหม้อแกงที่เสริมไข่ผ้าที่ร้อยละ 1 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด เนื่องจากมีคุณลักษณะขนมหม้อแกงที่ผู้บริโภคยอมรับได้ ทั้งในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม และจากการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี พบว่าขนมหม้อแกงที่เสริมปริมาณผงไข่ผ้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าสีความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ผิวหน้าและเนื้อในขนมหม้อแกงมีแนวโน้มลดลงตามลำดับค่าความแน่นเนื้อ พบว่าปริมาณของผงไข่ผ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนมหม้อแกงมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามลำดับและองค์ประกอบทางเคมีขนมหม้อแกงสูตรควบคุมและขนมหม้อแกงเสริมไข่ผ้าในปริมาณ 100 กรัม พบว่าขนมหม้อแกงเสริมไข่ผ้ามีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และใยอาหารสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนมหม้อแกงสูตรควบคุม ในขณะที่ปริมาณความชื้นและไขมันลดลง

ผลการศึกษายอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมไข่ผ่า ร้อยละ 97.0 โดยให้เหตุผลในการยอมรับผลิตภัณฑ์ มีประโยชน์ต่อสุขภาพ มีความแปลกใหม่น่าสนใจ และผู้บริโภคให้การยอมรับราคาของผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงเสริมไข่ผ่า ในราคากล่องละ 35 บาท การวิจัยครั้งนี้มีข้อเสนอแนะเรื่องการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการออกแบบบรรจุภัณฑ์ เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาตำรับอาหารท้องถิ่นสุขภาพในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 ที่ได้สนับสนุนทุนในการทำวิจัย ตลอดจนคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2012. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 19th ed. Washington D.C.: The Association of Official Analytical Inc. Chemists. 1446 p.
- AOAC. 2016. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 20th ed. Washington D.C.: The Association of Official Analytical Inc. Chemists. 2000 p.
- AOAC. 2019. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 21st ed. Washington D.C.: The Association of Official Analytical Inc. Chemists. 3750 p.
- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17th ed. Washington D.C.: The Association of Official Analytical Inc. Chemists. 2200 p.
- Appenroth, K.J. Sree, K.S. Bog, M. Ecker, J. Seeliger, C. Böhm, V. and G. Jahreis. 2018. Nutritional value of the duckweed species of the genus *Wolffia* (Lemnaceae) as human food. **Frontiers in Chemistry** 6: 1–13.
- Chailungka, N. 2014. **Effects of Drying Conditions and Methods on Quality Changes of *Gracilaria fisheri***. Master Thesis. Maejo University. 134 p.
- Community Organization Development Institute (CODI), Thailand. 2024. **Super food *Wolffia*, a wonderful little plant, easy to grow, good price, at Phra Tan, Kanchanaburi**. Retrieved from <https://web.codi.or.th/20240613-54496/> [in Thai]
- Deliza, R. and H.J.H. MacFie. 1996. The generation of sensory expectation by external cues and its effect on sensory perception and hedonic ratings: a review. **Journal of Sensory Studies** 11(2): 103–128.

- Díaz-Montes, E. 2025. Advances in the preservation of plant-based pigments via spray drying a systematic review. **Processes** 13(3): 663.
- Dupont, J., T. Harms and F. Fiebelkorn. 2022. acceptance of cultured meat in Germany-application of an extended theory of planned behaviour. **Foods** 11(3): 424.
- Joompolla, J., T. Soteyome, C. Kee-ariyo and N. Suteebut 2023. Development of Thai custard dessert (Khanom Maw Kaeng) by Jerusalem artichoke powder for health. **Journal of Technical Education Development** 30(106): 81–92. [in Thai]
- Khan, M.I., C. Jo and M.R. Tariq. 2015. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors -a systematic review. **Meat Science** 110: 278–284.
- Khemthong, S., P. Yuthachit, J. Oonmettaaree, L. Yamthonglang, K. Mungphuklang and B. Toboonsung. 2021. Effects of watermeal (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) powder supplement to the quality of fresh noodle. **Journal of Applied Science and Emerging Technology** 20(2): 183-200. [in Thai]
- Lawless, H.T. and H. Heymann. 2010. **Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices**. New York: Springer Science & Business Media. 586 p.
- Masavang, S., S. Kirdnoi, S. Wannaphan, N. Dangsongwal and S. Timthong. 2023. The creamy salad dressing formulated with tofu and supplement with watermeal (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.). **PBRU Science Journal** 20(2): 42–56. [in Thai]
- Moskowitz, H.R., J.H. Beckley and A.V. Resurreccion. 2012. **Sensory and Consumer Research in Food Product Design and Development**. Ames, Iowa: John Wiley & Sons. 448 p.
- Noisumran, A., S. Nuntasukhon, N. Satsue and T. Limdamnoen. 2023. **Upgrading Local Foods in Phetchaburi Province to International Standards**. 174 p. In Research Report. Phetchaburi: Phetchaburi Rajabhat University. [in Thai]
- Noysumran, A. and S. Nuntasukhon. 2024. Product development of thai crispy cavendish banana custard cakes. **VRU Research and Development Journal Science and Technology** 19(1): 125–138. [in Thai]
- Nursten, H.E. 2005. **The Maillard Reaction: Chemistry, Biochemistry, and implications**. Cambridge: Royal Society of Chemistry. 226 p.

- On-Nom, N., P. Promdang, W. Inthachat, P. Kanoongon, Y. Sahasakul, C. Chupeerach and P. Temviriyankul. 2023. *Wolffia globosa*-based nutritious snack formulation with high protein and dietary fiber contents. **Foods** 12(14): 2647.
- Phetchaburi Provincial Office, Phetchaburi Provincial Strategy Group. 2018. **Phetchaburi Province Development Plan**. Phetchaburi: Phetchaburi Provincial Office, Phetchaburi Provincial Strategy Group. 88 p. [in Thai]
- Phonpannawit, A. and S. Klomjoho. 2024. Development of noodle product protein fortification with watermeal (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.). **Science Journal Chandrakasem Rajabhat University** 34(2): 160–169. [in Thai]
- Piqueras-Fiszman, B., J. Alcaide, E. Roura and C. Spence. 2012. Is it the plate or is it the food? Assessing the influence of the color (black or white) and shape of the plate on the perception of the food placed on it. **Food Quality and Preference** 24(1): 205–208.
- Pramai, P., A. Chodnakarin, S. Singsom and P. Phuchan. 2025. Effect of Gac fruit pulp powder supplementation on the quality of Thai custard dessert. **Life Sciences and Environment Journal** 26(1): 105–119. [in Thai]
- Puttame, K. and W. Ninlanon. 2021. Development of dried alkaline noodle product supplemented with water meal. **VRU Research and Development Journal Science and Technology** 16(2): 57–69. [in Thai]
- Raikos, V., L. Campbell and S.R. Euston. 2007. Rheology and texture of hen's egg protein heat-set gels as affected by pH and the addition of sugar and/or salt. **Food Hydrocolloids** 21(2): 237–244.
- Rowchai, S. and S. Somboon. 2007. Study on factors effecting growth of wolffia (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.). **Thai Fisheries Gazette** 60(5): 405–413. [in Thai]
- Ruen-Ngam, D. 2017. Optimal condition for cultivation of *Scenedesmus armatus* cultivation and antioxidant activity of its extract. **Journal of Food Technology Siam University** 12(1): 59–70. [in Thai]
- Seephua, N., Y. Liu, H. Li, A. Bunyatratchata, O. Phuseerit and S. Siriamornpun. 2025. Nutritional Enhancement of Rice Noodles with Watermeal (*Wolffia globosa*). **Foods** 14(7): 1096.
- Shaviklo, A.R., M. Azaribeh, Y. Moradi and M. Zangeneh. 2015. Formular optimization and storage stability of extruded puffed corn-shrimp snacks. **LWT-Food Science and Technology** 63(1): 307–314.

- Soontorntammarath, K., S. Supsinolan, N. Hemthanon, T. Patiwetwitoon and C. Suwannawat. 2025. Effect of *Wolffia* (*Wolffia globosa*) supplementation on protein, dietary fiber, and antioxidant content in Thai desserts. **Dusit Thani College Journal** 19(2): 1–15. [in Thai]
- Sukhonthara, S. 2016. Development of germinated riceberry Thai egg custard with reduced sugar. **Science Essence Journal** 32(2): 195–210. [in Thai]
- Supanpayak, J., P. Chalermchaiwat and T. Limsuwan. 2020. Effect of drying condition on the quality of sealettuce (*Ulva rigida*) and its application in crispy snack. **KKU Science Journal** 48(2): 227–235. [in Thai]
- Suwannasri, S., R. Sananmuang, S. Suwanthada and S. Chairin. 2005. **Production of Fresh Noodles from Broken Rice**. 63 p. In Research report. Phitsanulok: Naresuan University. [in Thai]
- Thai Industrial Standards Institute. 2017. **Proximate Analysis of Nutrients: Part 1-Fat, Protein, Moisture, Ash, Fiber, Total Sugar, Sodium, Total Carbohydrate, and Total Energy (TIS 2867 Part 1–2017)**. Bangkok: Ministry of Industry. 51 p. [in Thai]
- Thongkham, P. 2019. **Effect of Temperature on Antioxidant Activity in Dried Water Meal (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) and Application in Food Products**. Master Thesis. Rajamangala University of Technology Thanyaburi. 122 p. [in Thai]
- Wirivutthikorn, W. 2020. Effect of green tea powder on development of fresh milk egg thai custard dessert product supplemented with green tea powder. **Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi** 19(2): 164–173. [in Thai]
- Wong, C.W., Y. Teoh and C.E. Puri. 2017. Effect of enzymatic processing, inlet temperature and maltodextrin concentration on the rheological and physicochemical properties of spray-dried banana (*Musa acuminata*) powder. **Journal of Food Processing and Preservation** 42(2): e13451.
- Yaisumlee, T., S. Tojongmol, S. Khalek, A. Prongkrua and A. Jainan. 2022. Development of gluten free biscuit product added *Wolffia globosa* (watermeal). **Journal of Thai Food Culture** 4(1): 41–51. [in Thai]

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่มจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
ในจังหวัดเพชรบุรี

Product Development of Ready-to-Drink Hom Thong Banana
(*Musa acuminata*, AAA Group) Peels Derived from Agricultural Waste
in Phetchaburi Province

อัจฉริยะกุล พวงเพชร^{1,*}, จินตนา สังกโสภ¹, พรอริยา ฉรินัง¹, นราธร สัตย์เชื้อ², ทวีพัฒน์ วิจิตรปัญญารักษ์²
ศจีมาศ นันตสุคนธ์² และปณณทัต สุทธิรักษ์³

Ascharyakul Pungphet^{1,*}, Jintana Sangsopha¹, Pornariya Chirinang¹, Narathorn Satsue²
Tawipat Vijitpunyaruk², Sajeemas Nutasuton² and Pannatat Suttirak³

¹สาขาวิชาอาหารและโภชนาการประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 76000

²สาขาวิชาเทคโนโลยีและศิลปการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 76000

³สาขาวิชาโภชนาการและการกำหนดอาหาร คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา 56000

¹Department of Applied Food and Nutrition, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University
Phetchaburi, Thailand 76000

²Department of Culinary Arts and Technology, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University
Phetchaburi, Thailand 76000

³Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Medical Sciences, University of Phayao, Phayao, Thailand 56000

*Corresponding author: ascharyakul.pua@mail.pbru.ac.th

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0000-1334-2913>

Received: December 10, 2025

Revised: April 28, 2026

Accepted: May 14, 2026

Abstract

Phetchaburi Province is one of the leading areas in Thailand for Hom Thong banana production, resulting in a large amount of banana peel waste from consumption and processing. Although research has indicated several benefits of banana peels, their utilization remains limited and lacks diversity. Therefore, this study aimed to develop a ready-to-drink (RTD) Hom Thong banana peel tea in order to add value to agricultural by-products in the local area. The study investigated the optimal tea production process using five different ratios of banana peel tea to water: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5% (w/v). The results showed that using 1.5% (w/v) of tea to water was the most suitable ratio in terms of physical and chemical quality, as well as consumer preference. Furthermore, adding monk fruit syrup to the tea at 0.2% (w/v) received the highest consumer preference score ($p < 0.05$). A 200 ml bottle of RTD tea provides 60 kcal. After pasteurization and storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$ for 14 days, only minor physical and chemical changes were observed,

while microbiological quality remained within the standards of the Ministry of Public Health Announcement (No. 416/2563) and the Community Product Standard (CPS 1007/2015). This study demonstrates that the development of this product can be further applied as a guideline for adding value to banana peels in the Phetchaburi area.

Keywords: banana peels, ready-to-drink tea, ready-to-drink Hom Thong banana peel tea

บทคัดย่อ

จังหวัดเพชรบุรีเป็นหนึ่งในจังหวัดที่มีปริมาณผลผลิตกล้วยหอมทองที่สูงเป็นลำดับต้นของประเทศไทย ส่งผลให้มีเปลือกกล้วยเหลือทิ้งจากการบริโภคและการแปรรูปเป็นจำนวนมาก แม้จะมีงานวิจัยระบุถึงคุณประโยชน์ของเปลือกกล้วยในหลายด้าน แต่การนำมาใช้ประโยชน์ยังไม่มีหลากหลาย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม เพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในพื้นที่ โดยทำการศึกษากระบวนการผลิตน้ำชาที่เหมาะสม จากการใช้อัตราส่วนของชาเปลือกกล้วยหอมทองต่อน้ำที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ผลการศึกษาพบว่า การใช้ชาต่อน้ำที่ร้อยละ 1.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม ทั้งในด้านคุณภาพทางกายภาพ เคมี และความชอบของผู้บริโภค นอกจากนี้การเติมโซรืปหล่อฮังก้วยในน้ำชาที่ร้อยละ 0.2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นอัตราส่วนที่ได้รับคะแนนความชอบจากผู้บริโภคมากที่สุด ($p < 0.05$) ทั้งนี้ชาพร้อมดื่มบรรจุขวดขนาด 200 มล. ให้พลังงาน 60 กิโลแคลอรี โดยหลังผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 14 วัน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีเพียงเล็กน้อย ขณะที่คุณภาพด้านจุลินทรีย์ยังคงอยู่ในเกณฑ์ของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416/2563) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 1007/2558) จากการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์นี้ สามารถ

นำไปใช้ต่อยอดเป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่เปลือกกล้วยหอมทองในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีได้

คำสำคัญ: เปลือกกล้วยหอมทอง ชาพร้อมดื่ม
ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม

บทนำ

จังหวัดเพชรบุรีเป็นหนึ่งในพื้นที่เพาะปลูกกล้วยหอมทองที่สำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะในอำเภอบ้านลาดและอำเภอยาง่าง ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวมีการจัดตั้งสหกรณ์การเกษตรเพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกกล้วยหอมทองแบบปลอดสารเคมี รวมถึงมีการยกระดับคุณภาพและมาตรฐานของผลผลิตให้สามารถส่งออกได้ (Janjariyanon, 2009) กล้วยหอมทองถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมบริโภคทั้งภายในและต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่นที่มีความต้องการนำเข้ามากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลจากสหกรณ์การเกษตรอำเภอบ้านลาดระบุว่า มีการส่งออกกล้วยหอมทองเฉลี่ย 12 ตันต่อสัปดาห์ ซึ่งช่วยให้เกษตรกรในพื้นที่ดังกล่าวมีรายได้ที่เพิ่มขึ้น (Nujnetra and Pheratkul, 2013; Janjariyanon, 2009) แม้ว่ากล้วยหอมทองจะมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง แต่การจำหน่ายส่วนใหญ่ยังอยู่ในรูปของผลสดที่ผ่านการคัดเกรดตามขนาดและระดับความสุก โดยผลผลิตที่ไม่ผ่านมาตรฐานมักถูกจำหน่ายในราคาต่ำหรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น เค้กกล้วยหอม กล้วยกวน และกล้วยฉาบ ซึ่งกระบวนการแปรรูปดังกล่าวมักใช้เฉพาะเนื้อมากกว่าเปลือกเป็นหลัก ขณะที่เปลือกกล้วยส่วนใหญ่

มักถูกทิ้งเป็นของเสียหรือมีการนำไปใช้ประโยชน์เพียงเล็กน้อย เช่น การทำปุ๋ยหรืออาหารสัตว์ อย่างไรก็ตาม มีหลักฐานทางวิชาการจำนวนมากที่แสดงให้เห็นว่า เปลือกกล้วยมีศักยภาพด้านสมบัติเชิงชีวภาพหลายประการ อาทิ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Aboul-Enein *et al.*, 2016) ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา (Navghare and Dhawale, 2017) และฤทธิ์ต้านจุลชีพ (Chabuck *et al.*, 2013) โดยจากรายงานวิจัยของ Puangphet *et al.* (2024) แสดงให้เห็นว่าเปลือกกล้วยหอมทองจากสหกรณ์การเกษตรอำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี ที่ผลิตภายใต้มาตรฐาน GAP มีความปลอดภัยจากการปนเปื้อนโลหะหนัก เช่น ดีบุก สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว โดยตรวจพบในระดับไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414 พ.ศ. 2563) (Ministry of Public Health, 2020) นอกจากนี้ ยังพบแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย อาทิ โพแทสเซียม และแคลเซียม ในปริมาณสูง รวมถึงคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) และแอลฟาไกลูโคซิเดส (α -glucosidase) ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด

จากกระแสการใส่ใจสุขภาพที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้พฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคยุคใหม่ มีแนวโน้มเลือกบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพมากขึ้น รวมถึงผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทชา ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในฐานะเครื่องดื่มเชิงสุขภาพ โดยทั่วไปชาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปใบของต้นชา อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีรายงานการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาจากพืชชนิดอื่นเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะพืชที่มีสรรพคุณเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ผ่านการนำส่วนต่าง ๆ ของพืชมาแปรรูปเป็นเครื่องดื่มชา อาทิ ชาใบหม่อน (Dachruangsri, 2014) ชาผักน้ำเบตง (Tayeh, 2018) และชาใบย่านาง (Phakamus *et al.*, 2018) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ชาจากพืชแต่ละชนิดมีความหลากหลายทั้งด้านลักษณะของผลิตภัณฑ์ อาทิ ด้านสี กลิ่น รสชาติ รวมถึงประโยชน์ต่อร่างกาย ทั้งนี้การศึกษาส่วนใหญ่เน้นการแปรรูปชาจากพืชในรูปแบบ “ชาพร้อมชง” ที่ต้องใช้

น้ำร้อนในการเตรียม ซึ่งอาจจะยังไม่ตอบโจทย์ผู้บริโภคบางกลุ่มที่ต้องการความสะดวก รวดเร็ว และสามารถดื่มได้ทันทีในรูปแบบเย็น ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ชาพร้อมดื่มในท้องตลาดส่วนใหญ่ผลิตจากใบของต้นชาและมีคาเฟอีนเป็นองค์ประกอบ โดยคาเฟอีนเป็นสารที่ออกฤทธิ์กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งอาจไม่เหมาะสมสำหรับผู้บริโภคบางกลุ่มที่มีความไวต่อคาเฟอีน แม้ได้รับในปริมาณน้อยก็อาจก่อให้เกิดอาการไม่พึงประสงค์ อาทิ ภาวะกระวนกระวาย นอนไม่หลับ หัวใจเต้นเร็ว ใจสั่น รวมไปถึงความผิดปกติของระบบทางเดินอาหาร ดังนั้น การพัฒนาชาพร้อมดื่มจากพืชชนิดอื่นที่ปราศจากคาเฟอีน จึงเป็นการสร้างทางเลือกให้กับผู้บริโภคในกลุ่มดังกล่าว รวมถึงผู้ที่ใส่ใจด้านสุขภาพ ให้สามารถเข้าถึงการบริโภคชาพร้อมดื่มจากพืชชนิดอื่นได้มากยิ่งขึ้น

จากข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการดัดแปลงสภาพของเปลือกกล้วยหอมทองที่เป็นวัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตรมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชาพร้อมดื่ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม ศึกษาคุณภาพด้านเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ รวมถึงมีการเพิ่มประโยชน์เชิงสุขภาพของผลิตภัณฑ์โดยใช้หลักฮาลาล ซึ่งเป็นสารให้ความหวานจากธรรมชาติมาเป็นส่วนผสมที่ช่วยปรับรสชาติหวานให้กับผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ชาที่มีความเหมาะสมและสะดวกต่อการบริโภค ตลอดจนสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการต่อยอดในเชิงพาณิชย์ เพื่อเพิ่มมูลค่าและใช้ประโยชน์จากเปลือกกล้วยหอมทองในชุมชนเกษตรกรจังหวัดเพชรบุรี อีกทางหนึ่ง

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบ

เตรียมชาเปลือกกล้วยหอมทองโดยดัดแปลงจากวิธีของ Puangphet *et al.* (2024) เริ่มจากการนำกล้วยหอมทองหลังการเก็บเกี่ยวที่มีความสุกในระยะสุก (เปลือกสีเหลืองทั้งผล) มาล้างทำความสะอาดร่วมกับการ

แช่ลงในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (โซเดียมไบคาร์บอเนต 15 กรัม : น้ำ 2,000 มล.) เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดอีก 1 ครั้ง ปอกเปลือกและหั่นเป็นเส้นให้มีขนาดความยาวประมาณ 4 ซม. กว้าง 3 มม. และนำไปทำการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นบรรจุใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ปิดผนึกแบบสุญญากาศและเก็บในโถดูดความชื้น จนกว่าจะนำไปทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

การเตรียมน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทอง

วิธีการเตรียมน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม ดัดแปลงจาก Chirinang *et al.* (2024) โดยใช้อัตราส่วนชาเปลือกกล้วยหอมทองต่อน้ำที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ประกอบด้วยร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 นำชาห่อด้วยผ้าขาวบาง และนำลงไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรองเฉพาะส่วนของน้ำชา และนำน้ำชาที่ได้ไปทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมี ประกอบด้วย การวิเคราะห์ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) (Colorimeter รุ่น WF30, FRU, China) วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) (pH meter รุ่น F20 FiveEasy™, Mettler Toledo, Switzerland) วิเคราะห์ค่าความหวานจากการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids) โดยแสดงผลเป็นองศาบริกซ์ (°Brix) (Digital Refractometer รุ่น PAL-1, Atago, Japan) และวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบทางด้านความชอบ แบบ 9-point hedonic scale กับผู้บริโภครandomly ในจังหวัดเพชรบุรีที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 100 คน ซึ่งเป็นปริมาณที่แนะนำสำหรับการทดสอบทางด้านความชอบ เพื่อสร้างความเชื่อมั่นของข้อมูลและลดข้อผิดพลาดของค่าเฉลี่ยในการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค (Mammasse and Schlich, 2014) ทำการประเมินคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ตัวอย่างอัตราส่วนที่ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดจะถูกนำไปทำการศึกษาต่อในขั้นตอนต่อไป

ศึกษาปริมาณหล่ออังก๊วยที่เหมาะสมในชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม

ในการศึกษานี้เลือกใช้ไซรัปหล่ออังก๊วยทางการค้า ชนิดที่สกัดจากผลหล่ออังก๊วย 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีการผสมสารให้ความหวานชนิดอื่น และผ่านการตรวจสอบรับรองคุณภาพด้านความปลอดภัย จากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ทำการศึกษาโดยการเติมไซรัปหล่ออังก๊วยลงในน้ำชาที่ได้จากการศึกษาก่อนหน้า ในปริมาณที่แตกต่างกัน 6 ระดับ ประกอบด้วย ร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 (น้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำชา) จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมี ประกอบด้วย ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ค่า pH และ ค่าความหวาน (°Brix) โดยใช้เครื่องมือชนิดเดียวกับการศึกษาก่อนหน้า และวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ แบบ 9-point hedonic scale กับ ผู้ทดสอบ เป็น ผู้บริโภคทั่วไป ในจังหวัดเพชรบุรีที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 100 คน ประเมินคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ตัวอย่างชาที่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบมากที่สุด จะถูกคัดเลือกไปพัฒนาเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม

การพัฒนาชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม

เตรียมน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองโดยใช้ปริมาณชาเปลือกกล้วยหอมทองและไซรัปหล่ออังก๊วย ตามอัตราส่วนที่ได้จากการคัดเลือกในการศึกษาก่อนหน้า จากนั้นทำการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการพาสเจอร์ไรส์ (pasteurization) ดัดแปลงจากวิธีของ Wirivutthikorn (2022) โดยนำน้ำชาที่ได้เตรียมไว้มาทำการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80°C นาน 10 นาที นำไปบรรจุลงขวดแก้วที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้วในขณะที่ร้อน ปิดฝาให้สนิท และเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นที่ $4 \pm 2^\circ\text{C}$

การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม

วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม และสร้างฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์ ตามรูปแบบและเงื่อนไขของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 445) พ.ศ. 2566 (Ministry of Public Health, 2023) เรื่อง ฉลากโภชนาการ โดยทำการส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาสมุทรสาคร

ประเมินอายุการเก็บรักษาชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม

ประเมินคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ ประกอบด้วยวิเคราะห์ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ค่า pH และค่าความหวาน ($^{\circ}\text{Brix}$) โดยใช้เครื่องมือชนิดเดียวกับที่ระบุไว้ในการศึกษาก่อนหน้านี้ ประเมินคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ โดยอ้างอิงการวิเคราะห์จุลินทรีย์จากมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563 เรื่องกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (Ministry of Public Health, 2020) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องชาเย็น (มผช. 1007/2558) (Thai Community Products Standard,

2015) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาพร้อมดื่มที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งมีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม ทำการประเมินอายุการเก็บรักษาทั้งสิ้นจำนวน 14 วัน โดยทำการวิเคราะห์ในวันที่ 0, 7 และ 14

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

ทำการทดลองในแต่ละขั้นตอนเป็นจำนวน 3 ซ้ำ ($n=3$) วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการวิจัย

ผลของการเตรียมตัวอย่างเปลือกกล้วยหอมทอง

จากการศึกษาพบว่า เปลือกกล้วยหอมทองในระยะสุกเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นชา โดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ชาที่ได้มีลักษณะของสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากสีของเปลือกกล้วยเริ่มต้น โดยชาที่ได้มีลักษณะเป็นสีเหลืองเข้มจนถึงน้ำตาล มีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ของกล้วยหอมทอง (Figure 1)



Figure 1 Hom Thong banana peel tea

ผลการศึกษาอัตราส่วนของชาเปลือกกล้วยหอมทอง และน้ำสำหรับเตรียมน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทอง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทอง ที่เตรียมด้วยอัตราส่วนชาเปลือกกล้วยต่อน้ำ 5 ระดับ (Table 1) พบว่าเมื่อมีการใช้ปริมาณชาเปลือกกล้วยหอมทองที่เพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำชามีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นถึงความเข้มของสีน้ำชาที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของ ค่า a^* พบว่า ตัวอย่างชาที่ใช้อัตราส่วนเปลือกกล้วยต่อน้ำร้อยละ 0.5 และ 1.0 (w/v) มีค่าเป็นลบ ที่แสดงความเป็นสีเขียว ขณะที่ตัวอย่างที่อัตราส่วนร้อยละ 1.5 (w/v) ขึ้นไปมีค่าเป็นบวก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณชา แสดงความเป็นสีแดง

ที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่ค่า b^* ของตัวอย่างทั้งหมดมีค่าเป็นบวก ที่แสดงความเป็นสีเหลือง โดยค่า b^* มีแนวโน้มที่ลดลงในอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 1.5 (w/v) ขึ้นไป ซึ่งทำให้สีของน้ำชา มีลักษณะเข้มขึ้นตามลำดับ (Figure 2) ในด้านคุณภาพทางเคมี และค่า pH ของน้ำชา มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการใช้อัตราส่วนชาเปลือกกล้วยหอมทองที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้ ในส่วนของค่าความหวานของน้ำชา พบว่ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนของชาเปลือกกล้วยที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ตัวอย่างน้ำชาที่ใช้อัตราส่วนของชาที่ร้อยละ 2.0 และ 2.5 (w/v) มีค่าความหวานมากกว่าระดับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Table 1 Color, pH value and total soluble solids of 'Hom Thong' banana peel tea prepared using 5 different ratios of 'Hom Thong' banana peel tea to water

Ratio of Hom Thong banana peel tea to water (% w/v)	Color value			pH	Sweetness level (°Brix)
	L^*	a^*	b^*		
0.5	47.74±0.06 ^a	-0.67±0.10 ^c	8.41±0.16 ^a	7.70±0.006 ^a	0.63±0.12 ^c
1.0	47.24±0.23 ^b	-0.13±0.16 ^b	8.56±0.07 ^a	6.73±0.006 ^b	1.13±0.12 ^b
1.5	45.78±0.14 ^c	0.10±0.18 ^b	8.49±0.10 ^a	6.33±0.010 ^c	1.33±0.15 ^b
2.0	42.47±0.05 ^d	2.52±0.01 ^a	8.20±0.07 ^b	6.00±0.006 ^d	2.27±0.15 ^a
2.5	41.69±0.30 ^e	2.72±0.36 ^a	7.54±0.10 ^c	5.87±0.006 ^e	2.30±0.10 ^a

Mean±standard deviation from three repeated experiments; Different letters (^{a, b, c, d}) in the same column indicate a statistically significant difference at a significance level of 0.05 ($p<0.05$).



Figure 2 Ready-to-drink 'Hom Thong' banana peel tea with different banana peel ratio

อย่างไรก็ตามในส่วนของการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองทั้ง 5 ตัวอย่าง โดยนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบกับผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 100 คน โดยทำการ

ประเมินคุณลักษณะ 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการทดสอบแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 point-hedonic scale) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงใน Table 2

Table 2 Sensory quality evaluation of 'Hom Thong' banana peel tea with 5 different ratios of Hom Thong banana peel tea to water

Attribute	Ratio of Hom Thong banana peel tea to water (% w/v)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Color	7.39±0.67 ^a	7.21±0.80 ^a	7.16±0.81 ^{ab}	6.94±0.81 ^b	6.42±1.01 ^c
Aroma	6.85±0.80 ^c	7.09±0.74 ^b	7.25±0.77 ^{ab}	7.22±0.75 ^{ab}	7.33±0.68 ^a
Taste	6.93±0.78 ^b	7.07±0.70 ^{ab}	7.21±0.84 ^a	7.23±0.63 ^a	7.15±0.63 ^{ab}
Overall preference	6.97±0.74 ^c	7.12±0.61 ^{bc}	7.32±0.60 ^a	7.17±0.60 ^{ab}	7.07±0.59 ^{bc}

Mean±standard deviation; Different letters (a, b, c, d) in the same row indicate a statistically significant difference at a significance level of ($p < 0.05$).

จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสใน Table 2 พบว่าคุณลักษณะด้านสีของน้ำชาที่มีการใช้อัตราส่วนของชาเปลือกกล้วยหอมทองต่อน้ำที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มของคะแนนความชอบที่ลดลง และการใช้อัตราส่วนของชาที่ร้อยละ 2.5 ได้รับคะแนนความชอบด้านสีน้อยที่สุด ($p < 0.05$) ในส่วนของคุณลักษณะด้านกลิ่น พบว่ามีแนวโน้มของคะแนนความชอบที่ตรงกันข้ามกับด้านสี โดยการใช้อัตราส่วนของชาที่ร้อยละ 2.5 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด ($p < 0.05$) ขณะที่การใช้

อัตราส่วนของชาที่น้อยกว่าร้อยละ 1.5 มีแนวโน้มคะแนนความชอบกลิ่นที่ลดลง ($p < 0.05$) คุณลักษณะด้านรสชาติ พบว่าน้ำชาที่ใช้อัตราส่วนของชาที่ร้อยละ 1.5 และ 2.0 ได้รับคะแนนความชอบที่สูง แต่ไม่แตกต่างกันกับชาที่ใช้อัตราส่วนของชาที่ร้อยละ 1.0 และ 2.5 ($p \geq 0.05$) และเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวม พบว่าน้ำชาที่เตรียมโดยใช้ชาที่อัตราส่วนชาร้อยละ 1.5 และ 2.0 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบ

ของผู้บริโภคที่มีต่อชาเปลือกกล้วยหอมทอง จากคุณลักษณะทั้ง 4 ด้าน พบว่าการใช้อัตราส่วนของชาต่อน้ำที่ร้อยละ 1.5 ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่สูงสม่ำเสมอในทุก ๆ ด้าน (7.16–7.32 คะแนน) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกอัตราส่วนของชาเปลือกกล้วยหอมทองต่อน้ำที่ร้อยละ 1.5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำชา สำหรับการนำไปพัฒนาในขั้นตอนต่อไป

การศึกษาปริมาณล่อฮังก๊วยที่เหมาะสมในน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม

จากการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชาเปลือกกล้วยหอมทองเติมไซรัปล่อฮังก๊วยในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทั้ง 6 ระดับ โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ กับผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 100 คน ด้วยวิธีการทดสอบแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 point-hedonic scale) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงใน Table 3

Table 3 Sensory quality evaluation of 'Hom Thong' banana peel tea mixed with *Mogroside* (Monk fruit extract) at different concentrations

Attribute	Hom Thong banana peel tea mixed with Monk fruit syrup at different concentrations (% w/v)					
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Color	7.29±0.54 ^a	7.26±0.56 ^a	7.40±0.74 ^a	7.30±0.59 ^a	6.85±0.95 ^b	6.69±1.08 ^b
Aroma	7.26±0.66 ^a	7.21±0.62 ^{ab}	7.20±0.82 ^{ab}	7.20±0.60 ^{ab}	7.08±1.01 ^{ab}	7.01±0.83 ^b
Taste	6.03±1.00 ^{cd}	7.01±0.82 ^b	7.56±0.82 ^a	7.20±0.67 ^b	6.16±0.77 ^c	5.82±1.00 ^d
Overall preference	6.16±0.93 ^d	7.02±0.93 ^b	7.37±0.61 ^a	7.10±0.75 ^b	6.77±0.72 ^c	6.35±0.98 ^d

Mean±standard deviation; Different letters (^{a, b, c, d}) in the same row indicate a statistically significant difference at a significance level of ($p<0.05$).

จากการศึกษาพบว่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อคุณลักษณะด้านสี มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไซรัปล่อฮังก๊วยมากกว่าร้อยละ 0.3 ในส่วนด้านกลิ่น พบว่าตัวอย่างชาที่เติมไซรัปที่ร้อยละ 0.5 ได้รับคะแนนความชอบต่ำที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการใช้ไซรัปมากกว่าร้อยละ 0.2 และพบว่าตัวอย่างชา

ที่ไม่ได้เติมไซรัป (ร้อยละ 0) และตัวอย่างที่เติมร้อยละ 0.5 ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งจากผลการประเมินความชอบทั้ง 4 ด้านร่วมกัน พบว่าการเติมไซรัปล่อฮังก๊วยที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (Table 3) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกระดับความเข้มข้นของไซรัปล่อฮังก๊วยที่ร้อยละ 0.2 ไปใช้สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม

การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของต้นแบบชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม ที่มีการใช้อัตราส่วนของเปลือกกล้วยหอมทองต่อน้ำที่ร้อยละ 1.5

และใช้รูปหล่อยังก๊วยที่อัตราส่วนร้อยละ 0.2 โดยบรรจุอยู่ในขวดแก้วฝาเกลียวล็อคสีดำ ขนาดบรรจุ 200 มล. (Figure 3) แสดงข้อมูลทางโภชนาการในรูปแบบฉลากโภชนาการ ดัง Figure 4



Figure 3 Prototype of ready-to-drink Hom Thong banana peel tea

Nutrition Facts	
Amount per serving : 1 Bottle (200 ml)	
Total energy	60 kcal
*Percent Thai RDI	
Total Fat 0 g	0%
Saturated Fat 0 g	0%
Cholesterol 0 mg	0%
Protein less than 1 g	
Total Carbohydrates 14 g	5%
Total sugar 6 g	
Sodium 0 mg	
Potassium 1180 mg	34%
*Percent Thai Recommended Daily Intakes for population over 6 years of age are based on a 2,000 kcal diet	

Figure 4 Nutrition label of the ready-to-drink Hom Thong banana peel tea prototype

ฉลากโภชนาการผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม 1 ขวด ขนาด 200 มล. (Figure 4) แสดงข้อมูลทางด้านโภชนาการประกอบด้วย จำนวน 1 หน่วยบริโภค เท่ากับ 1 ขวด ปริมาตร 200 มล. ให้พลังงานเท่ากับ 60 กิโลแคลอรี ไม่มีไขมันอิ่มตัว และ

คอเลสเตอรอล มีปริมาณโปรตีนที่น้อยกว่า 1 กรัม ในขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตนั้นเท่ากับ 14 กรัม คิดเป็นร้อยละ 5 ของปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 6 กรัม โดยสารอาหารที่พบมากที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง

พร้อมดื่ม คือ แร่ธาตุโพแทสเซียม ซึ่งมีปริมาณถึง 1,180 มก. คิดเป็น ร้อยละ 34 ของปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน (Figure 4)

ผลการประเมินอายุการเก็บรักษาชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม

จากการประเมินอายุการเก็บรักษาชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่มในสภาวะแช่เย็น โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ทุก ๆ 7 วัน เป็นเวลาทั้งหมด 14 วัน ผลการศึกษาพบว่า ในส่วนของคุณภาพทางกายภาพด้านสี ค่า L^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์ที่อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสีทั้ง 2 มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ซึ่งแสดงให้เห็นถึงค่าความสว่างที่ลดลงและผลิตภัณฑ์มีสีออกปาทงสีเหลืองมากขึ้น ในขณะที่ ค่า a^* กลับมีแนวโน้มที่ตรงกันข้าม แสดงให้เห็นว่าสีของผลิตภัณฑ์มีสีออกปาทงสีแดงเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ในส่วนของความหวาน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในระหว่างการเก็บ อย่างไรก็ตามในส่วนของการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลา 14 วัน พบว่าค่า pH มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 14) ค่า pH ลดลงเหลือ 5.87 เมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกที่ทำ การเก็บรักษาที่มีค่าเท่ากับ 6.27 (Table 4)

Table 4 Physicochemical quality of ready-to-drink 'Hom Thong' banana peel tea during shelf-life evaluation

Storage time (days)	Color values			pH	Sweetness level (°Brix)
	L^*	a^*	b^*		
0	43.64±0.05 ^a	0.22±0.25 ^c	9.55±0.08 ^a	6.27±0.00 ^a	1.47±0.06 ^a
7	42.49±0.23 ^b	0.99±0.14 ^b	8.07±0.04 ^b	5.91±0.01 ^b	1.53±0.06 ^a
14	41.60±0.48 ^c	1.89±0.09 ^a	6.84±0.09 ^c	5.87±0.21 ^c	1.53±0.06 ^a

Mean±standard deviation; Different letters (a, b, c) in the same column indicate a statistically significant difference at a significance level of ($p < 0.05$).

ในส่วนของคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในชาเปลือกกล้วยหอมทอง ทำการวิเคราะห์คุณภาพตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563 เรื่องกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (Ministry of Public Health. 2020) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องชาเย็น (มผช. 1007/2558) (Thai Community Products Standard, 2015) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาพร้อมดื่ม ที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ชา

เปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม โดยผลิตภัณฑ์ชาถูกเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิแช่เย็น ($4 \pm 2^\circ\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน และทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ทุก ๆ 7 วัน จากผลการศึกษาใน Table 5 พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ใช้อ้างอิง โดยตลอดระยะเวลาของอายุการเก็บรักษา 14 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) ที่พบในผลิตภัณฑ์มีปริมาณที่น้อยกว่า 1 cfu ต่อมิลลิลิตร และไม่

พบจุลินทรีย์ก่อโรคในส่วนของเชื้อ *Salmonella* spp, *Listeria Monocytogenes* และ *Escherichia coli* ในขณะที่เชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* พบในปริมาณที่น้อยกว่า 1 cfu ต่อมิลลิลิตร เช่นเดียวกับ Coliform bacteria ที่พบในปริมาณที่น้อยกว่า 1.1 cfu ต่อมิลลิลิตร ทั้งนี้

ในส่วนของปริมาณยีสต์และรา (yeast and mold) ที่พบในผลิตภัณฑ์นั้นมีปริมาณที่น้อยกว่า 1 cfu ต่อมิลลิลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่มที่ได้จากกระบวนการศึกษาในครั้งนี้ ยังคงมีความปลอดภัยในด้านจุลินทรีย์ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 14 วัน ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นที่ $4\pm 2^{\circ}\text{C}$

Table 5 Effect of shelf-life study on microbial counts found in ready-to-drink 'Hom Thong' banana peel tea product

Microorganism	Microbial counts				
	Ready-to-drink Hom Thong banana peel tea			The Community Product Standard (TCPS 1007/2015)	The Ministry of Public Health (Notification No. 426/2021)
	Day 0	Day 7	Day 14		
Total plate count	<1 cfu/ml	<1 cfu/ml	<1 cfu/ml	Must not exceed 1×10^4 colonies per 1 ml sample	-
<i>Salmonella</i> spp.	ND.	ND.	ND.	Must not be detected in 25 ml sample	Must not be detected in 25 ml sample
<i>Staphylococcus aureus</i>	<1 cfu/ml	<1 cfu/ml	<1 cfu/ml	Must be less than 10 colonies per 1 ml sample	Not exceeding 100 in 1 ml (CFU/ml)
<i>Bacillus cereus</i>	<1 cfu/ml	<1 cfu/ml	<1 cfu/ml	Must not exceed 100 colonies per 1 ml sample	Not exceeding 100 in 1 ml (CFU/ml)
<i>Clostridium perfringens</i>	<1 cfu/ml	<1 cfu/ml	<1 cfu/ml	Must not exceed 100 colonies per 1 ml sample	Not exceeding 100 in 1 ml (CFU/ml)
<i>Listeria Monocytogenes</i>	ND.	ND.	ND.	Must not be detected in 25 ml sample	Must not be detected in 25 ml sample
<i>Escherichia coli</i>	ND.	ND.	ND.	-	-
Coliform bacteria	<1.1 cfu/ml	<1.1 cfu/ml	<1.1 cfu/ml	Must be less than 22 colonies per 100 ml sample	-
Yeast and Mold	<1 cfu/ml	<1 cfu/ml	<1 cfu/ml	Must not exceed 100 colonies per 1 ml sample	-

ND.: Not Detect

วิจารณ์ผลการวิจัย

ในการศึกษานี้พบว่าเปลือกกล้วยหอมทองที่ผ่านกระบวนการทำชาแล้ว มีลักษณะของสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลเข้ม ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลทั้งแบบที่อาศัยเอนไซม์และไม่อาศัยเอนไซม์ ซึ่งเกิดขึ้นในขั้นตอนของการเตรียมชา อาทิ การปอก การหั่นเปลือกกล้วย ซึ่งจะทำให้เนื้อเยื่อของเปลือกกล้วยเกิดความเสียหาย ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ภายในเซลล์สัมผัสกับเอนไซม์ Polyphenol Oxidase (PPO) โดยมีออกซิเจนในอากาศเป็นตัวกระตุ้น ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ของสารประกอบฟีนอลิกเกิดเป็นสารควิโนน และพัฒนาต่อไปเป็นสารสีน้ำตาลจำพวกเมลานิน (melanin) หรือ เมลานอยดิน (melanoidins) (Whitaker, 1995) นอกจากนี้ ในส่วนของขั้นตอนการอบแห้งด้วยความร้อนที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ยังส่งผลให้น้ำภายในเซลล์ของเปลือกกล้วยเกิดการระเหยออกสู่ภายนอก ทำให้เปลือกกล้วยมีลักษณะที่แห้งแข็งและมีความเข้มสีที่เพิ่มขึ้น รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของสารแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ที่เป็นรงควัตถุสีเหลืองหรือสีส้มที่อยู่ในเปลือกกล้วย ที่อาจเกิดการสลายตัว อันเนื่องมาจากความร้อนในกระบวนการอบ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสีเหลืองที่เปลี่ยนไปในชา (Ngamwonglumlert *et al.*, 2020) ขณะเดียวกันการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์จากความร้อนส่งผลให้มีการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกและสารหอมระเหยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ชามีลักษณะกลิ่นและรสชาติที่เด่นชัดมากขึ้น (Dippong *et al.*, 2023)

ในส่วนของคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทอง พบว่าการใช้อัตราส่วนเปลือกกล้วยที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อคุณภาพด้านสีของน้ำชา โดยเฉพาะในด้านของความสว่าง ที่พบว่าอัตราส่วนของชาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สีของน้ำชามีความสว่างที่ลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากสีของชาเปลือกกล้วยหอมทองมีลักษณะเป็นสีน้ำตาล เมื่อนำมาทำการเตรียมเป็นน้ำชา จึงทำให้

น้ำชาที่มีสีที่เข้มข้นตามอัตราส่วนของชาที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันค่า pH ที่มีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อใช้อัตราส่วนของชาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ลักษณะดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากการละลายของสารประกอบฟีนอลิกและกรดอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นกรด ที่สามารถพบได้ในเปลือกกล้วย อาทิ gallic acid, chlorogenic acid, caffeic acid, citric และ malic (Wani and Dhanya, 2025; Yasin *et al.*, 2025) ดังนั้น เมื่อใช้อัตราส่วนของชาเปลือกกล้วยที่มากขึ้น ปริมาณสารดังกล่าวจึงละลายออกมามากขึ้น ส่งผลให้ค่า pH มีค่าที่ลดลง

ในด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำชาพบว่าน้ำชาที่มีการใช้อัตราส่วนของชาเปลือกกล้วยที่เพิ่มขึ้น ทำให้น้ำชาที่มีลักษณะของสีที่เข้มและส่งผลต่อคะแนนความชอบของผู้บริโภคที่ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ (Chueamchaitrakun *et al.*, 2018) ที่ทำการศึกษเกี่ยวกับการบริโภคผลิตภัณฑ์ชาเขียวของประเทศไทย และพบว่าปัจจัยด้านสีเป็นหนึ่งในตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อ ความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค เช่นเดียวกับการศึกษาของ Fernández-Vázquez *et al.* (2014) ที่พบว่า การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำส้มไปจากความคาดหวังเดิมของผู้บริโภค ส่งผลทำให้คะแนนความชอบด้านสีลดลงได้ ถึงแม้ว่ารสชาติจะไม่มีเปลี่ยนแปลงก็ตาม และการศึกษาของ Spence (2019) ที่พบว่าความเข้มสีหรือความอึดตัวของสีในผลิตภัณฑ์อาหาร มีอิทธิพลต่อการรับรู้ทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

ในส่วนของคุณลักษณะด้านกลิ่นมีแนวโน้มคะแนนความชอบตรงกันข้ามกับด้านสี ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกล้วยหอมทองมีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะที่มาจากองค์ประกอบในเปลือกกล้วย โดยเกิดจากการผสมผสานของสารประกอบอินทรีย์หลาย ๆ ชนิด (Bugaud and Alter, 2016) การเพิ่มปริมาณชาในการเตรียมน้ำชาที่มากขึ้น ส่งผลให้สารประกอบต่าง ๆ เกิดการระเหยออกมาได้มากขึ้น น้ำชาจึงมีความเข้มข้นของกลิ่นที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับคุณลักษณะด้านรสชาติ ที่มีแนวโน้มคะแนนความชอบที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีการ

ใช้อัตราส่วนของชาเปลือกกล้วยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากเปลือกกล้วยหอมทองในระยะที่สุก มีองค์ประกอบของน้ำตาลที่ให้รสหวาน อาทิ ซูโครส กลูโคส (Puangphet *et al.*, 2022) ดังนั้น การใช้ชาเปลือกกล้วยหอมทองในปริมาณที่เหมาะสม จึงทำให้น้ำชามีรสชาติหวาน ในทางตรงกันข้ามหากใช้ในปริมาณที่มากเกินไป อาจส่งผลให้เกิดความรู้สึกฝาด อันเป็นผลมาจากสารแทนนินที่เป็นองค์ประกอบในเปลือกกล้วยที่ให้รสฝาด ซึ่งพบว่าปริมาณมากในกล้วยระยะดิบ และจะมีปริมาณที่ลดลงเมื่อกล้วยเข้าสู่ระยะสุก (Hikal *et al.*, 2022) สอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ ที่พบว่าน้ำชาที่เตรียมจากชาที่อัตราส่วนร้อยละ 2.5 มีแนวโน้มคะแนนความชอบด้านรสชาติที่ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ชาเปลือกกล้วยหอมทองในปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมน้ำชา อาจส่งผลทำให้เกิดรสฝาดในน้ำชาที่ส่งผลต่อความชอบของผู้บริโภคได้

ในส่วนของการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้ไซรัปหล่อฮังก้วย ในชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม พบว่าการใช้ไซรัปหล่อฮังก้วยในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 0.2 ส่งผลให้คะแนนความชอบของผู้บริโภคลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากผู้บริโภคส่วนใหญ่ยังมีความต้องการผลิตภัณฑ์ชาพร้อมดื่มที่มีรสชาติหวานในระดับที่เหมาะสม คือ ไม่น้อยจนทำให้รู้สึกจืด ในขณะเดียวกันก็ไม่หวานมากจนเกินไป ซึ่งการใช้ไซรัปหล่อฮังก้วยที่ความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 0.2 ส่งผลให้น้ำชามีแนวโน้มของรสชาติที่หวานมากขึ้น เนื่องจากหล่อฮังก้วยเป็นสารให้ความหวานจากธรรมชาติที่มีสารในกลุ่มโมโกรไซด์ (mogrosides) ซึ่งมีความหวานสูงกว่าน้ำตาลซูโครส ประมาณ 100–250 เท่า (Matangkasombut and Thanyasrisung, 2019) และเมื่อใช้ในปริมาณสูงอาจทำให้เกิดรสหวานที่มากเกินไปหรือเกิดรสขมติดปลายลิ้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการใช้ในระดับที่เหมาะสม นอกจากนี้ หล่อฮังก้วยยังเป็นสารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำ และไม่ส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด จึงมีศักยภาพต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับกลุ่มผู้บริโภค

ที่ควบคุมระดับน้ำตาลและพลังงาน เช่น ผู้ป่วยเบาหวาน และผู้บริโภคที่คำนึงถึงสุขภาพ (Chen *et al.*, 2024)

อย่างไรก็ตามจากข้อมูลฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่มต่อขวด ขนาด 200 มล. พบว่าให้พลังงานทั้งหมด 60 กิโลแคลอรี ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ได้มาจากสารอาหารต่าง ๆ อาทิ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อของเปลือกกล้วย (Puangphet *et al.*, 2022) และนอกจากนี้ยังพบว่า ผลิตภัณฑ์ชาที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก โดยพบในปริมาณ 1,180 มก. ซึ่งโพแทสเซียมมีความสำคัญและจำเป็นกับร่างกายที่ช่วยทำให้ระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายสามารถทำงานได้อย่างเป็นปกติ อาทิ การทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ มีบทบาทสำคัญในการรักษาสสมดุลของอิเล็กโทรไลต์และสมดุลกรด-เบสในร่างกาย เป็นกลไกที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อภาวะกรดเกิน (hyperacidity) นอกจากนี้ โพแทสเซียมยังมีความสำคัญในการช่วยป้องกันภาวะความดันโลหิตสูง ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและโรคหลอดเลือดหัวใจ (Kim *et al.*, 2024) สอดคล้องกับการศึกษาของ Aburto *et al.* (2013) พบว่าประชากรที่ได้รับโพแทสเซียมจากอาหารอย่างเพียงพอ ส่งผลในการลดโอกาสเสี่ยงต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคหลอดเลือดสมองอุดตัน (stroke) ได้ดีกว่ากลุ่มที่ได้รับโพแทสเซียมในปริมาณต่ำ ในส่วนของปริมาณโพแทสเซียมที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน สำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปี ขึ้นไป (Thai RDI) ที่มีการระบุไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 445) พ.ศ. 2566 เรื่อง ฉลากโภชนาการ คือ 3,500 มก. ในขณะที่ ปริมาณโพแทสเซียมที่พบในการบริโภคชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม 1 ขวด คิดเป็นร้อยละ 34 ของปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน

ในส่วนของการประเมินอายุการเก็บรักษาชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่มที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ เป็นเวลา 14 วัน ในสถานะแช่เย็นที่อุณหภูมิ $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$ พบว่าน้ำชามีค่าความสว่างที่ลดลง มีสีออกไปทางสีเหลืองและสีแดงที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้

ลักษณะปรากฏของน้ำชาเป็นสีน้ำตาลเข้มเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเป็นผลมาจากการเกิด auto-oxidation ของสารในกลุ่ม polyphenol ที่พบในเปลือกกล้วย อาทิ gallic acid, catechin, epicatechin และ epigallocatechin (Pramote *et al.*, 2018) สอดคล้องกับการศึกษาของ Tan *et al.* (2020) ที่พบว่าการเกิด auto-oxidation ของ catechin ในผลิตภัณฑ์ชาเขียว ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ในส่วนของคุณค่าความหวานของผลิตภัณฑ์ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างอายุการเก็บรักษา 14 วัน ในขณะที่ค่า pH ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจสัมพันธ์กับการเกิด auto-oxidation ของ polyphenol ทั้งนี้ จากการศึกษาของ Zhang *et al.* (2023) พบว่าค่า pH ของชาดำในระหว่างการเก็บรักษามีค่าลดลง ในขณะที่เดียวกันก็พบการเพิ่มขึ้นของกรดอินทรีย์หลายชนิดในชา ที่อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในชาได้ ในขณะที่ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่มระหว่างการเก็บรักษานั้น พบว่ายังเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563 เรื่องกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานหลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (Ministry of Public Health, 2020) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องชาเย็น (มผช. 1007/2558) (Thai Community Products Standard, 2015) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เบื้องต้นที่ระยะเวลา 14 วัน ภายใต้สภาวะแช่เย็น ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการศึกษาที่อาจจะยังไม่ครอบคลุมระยะเวลาของการเสื่อมเสีย รวมถึงการเก็บรักษาในสภาวะอื่น ๆ ที่ผู้วิจัยจะได้

ดำเนินการศึกษาเพิ่มเติมสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในลำดับต่อไป

สรุปผลการวิจัย

น้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่มที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคส่วนใหญ่ คือ น้ำชาที่เตรียมด้วยอัตราส่วนของชาเปลือกกล้วยหอมทองต่อน้ำที่ร้อยละ 1.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) และใช้ไซรัปหล่อฮังก้วยที่ร้อยละ 0.2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองพร้อมดื่ม 1 หน่วยบริโภค ขนาด 200 มล. ให้พลังงาน 60 กิโลแคลอรี ประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรต 14 กรัม และโพแทสเซียม 1,180 มล. ทั้งนี้หลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการพาสเจอร์ไรส์และเก็บที่อุณหภูมิ $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 14 วัน พบว่าคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย ด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประเพณีทุนสนับสนุนงานวิจัยมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กองทุน ววน.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินงาน ทำให้การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- About-Enein, A.M., Z.A. Salama, A.A. Gaafar, H.F. Aly, F. Abou-Elella and H. Ahmed. 2016. Identification of phenolic compounds from banana peel as antioxidant and antimicrobial agents. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research** 8(4): 46–55.
- Aburto, N.J., S. Hanson, H. Gutierrez, L. Hooper, P. Elliott and F.P. Cappuccio. 2013. Effect of increased potassium intake on cardiovascular risk factors and disease: systematic review and meta-analysis. **BMJ** 346: 1–19.
- Bugaud, C. and P. Alter. 2016. Volatile and non-volatile compounds as odour and aroma predictors in dessert banana. **Postharvest Biology and Technology** 112: 14–23.
- Chabuck, Z.A.G., A.H.A. Charrakh, N.K. Kadhim and S.K. Kadhim. 2013. Antimicrobial effect of aqueous banana peel extract. **Iraq Research Gate Pharmaceutical Sciences** 1: 73–75.
- Chen, N., W. Cao, Y. Yuan, Y. Wang, X. Zhang, Y. Chen, M.N. Yiasmin, N.A. Tristante and X. Hua. 2024. Recent advancements in mogrosides: A review on biological activities, synthetic biology, and applications in the food industry. **Food chemistry** 449: 1–18.
- Chirinang, P., I. Wattananakhasem, J. Prattanaruk, J. Intanin and S. Nawong. 2024. Study on production of functional ready-to-drink tea from *Borassus flabellifer* L. male flowers mixed with herbs. **Burapha Science Journal** 29(1): 181–198. [in Thai]
- Chueamchaitrakun, P., D.R. Adawiyah and W. Prinyawiwatkul. 2018. Consumer acceptance and emotions study of green tea products. **Current Applied Science and Technology** 18(1): 37–44.
- Dachruangsri, A. 2014. **High Antioxidant Ready-to-Drink Mulberry Leaves Tea Product Development by Using Innovative Microencapsulation**. Master Thesis. Chulalongkorn University. 137 p. [in Thai]
- Dippong, T., O. Cadar, M.H. Kovacs, M. Dan and L. Senila. 2023. Chemical analysis of various tea samples concerning volatile compounds, fatty acids, minerals and assessment of their thermal behavior. **Foods** 12(16): 1–21.
- Fernández-Vázquez, R., M. Mora, P. Gaspar and J. Rúa. 2014. Colour influences sensory perception and liking of orange juice. **Flavour** 3(1): 1–8.
- Hikal, W.M., H.A. Said-Al Ahl, A. Bratovcic, K.G. Tkachenko, J. Sharifi-Rad, M. Kačániová, M. Elhourri and M. Atanassova. 2022. Banana peels: a waste treasure for human being. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine** 2022(1): 1–9.

- Janjariyanon, S. 2009. **Participatory in the Organic Hom Thong Banana Production for Export Project of Members in Agricultural Cooperative Limited Banlat, Phetchaburi Province.** Master Thesis. Maejo University. 144 p. [in Thai]
- Kim, B.S., M.Y. Yu and J. Shin. 2024. Effect of low sodium and high potassium diet on lowering blood pressure and cardiovascular events. **Clinical Hypertension** 30(1). 1–13.
- Mammasse, N. and P. Schlich. 2014. Adequate number of consumers in a liking test. Insights from resampling in seven studies. **Food Quality and Preference** 31: 124–128.
- Matangkasombut, O. and P. Thanyasrisung. 2019. Sugar substitutes and their effects on systemic and oral health. **Journal of the Dental Association of Thailand** 69(4): 379–397. [in Thai]
- Ministry of Public Health. 2020. **Notification of the Ministry of Public Health (No. 416) B.E. 2563 (2020): Standards for Contaminants in Food.** Bangkok: Ministry of Public Health. 16 p. [in Thai]
- Ministry of Public Health. 2023. **Notification of the Ministry of Public Health (No. 445) B.E. 2566 (2023): Nutrition Labeling.** Bangkok: Ministry of Public Health. 47 p. [in Thai]
- Navghare, V. and S. Dhawale. 2017. In vitro antioxidant, hypoglycemic and oral glucose tolerance test of banana peels. **Alexandria Journal of Medicine** 53(3): 237–243.
- Ngamwonglumlert, L., S. Devahastin, N. Chiewchan and V. Raghavan. 2020. Plant carotenoids evolution during cultivation, postharvest storage, and food processing: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety** 19(4): 1561–1604.
- Nujnetra, A. and S. Pheratkul. 2013. Kloyhomthongbanlad: production cost and return on investment. **Journal of Southern Technology** 6(2): 1–8. [in Thai]
- Phakamus, S., S. Chokrathok, J. Woraratphoka and S. Innok. 2018. Development of Yanang mixed herb tea products. **Burapha Science Journal** 23(3): 1682–1695. [in Thai]
- Pramote, B., W.N. Waranuch and O. Kritsunankul. 2018. Simultaneous determination of gallic acid and catechins in banana peel extract by reversed-phase high performance liquid chromatography. **Asian Health, Science and Technology Reports** 26(3). 189–200.

- Puangphet, A., P. Chirinang and S. Nawong. 2022. **Study of Chemical and Physical Compositions of Hom Thong Banana Peel from Phetchaburi and Development of Banana Peel Tea.** 139 p. Research Report. Phetchaburi: Phetchaburi Rajabhat University. [in Thai]
- Puangphet, A., P. Chirinang and S. Nawong. 2024. Product development of Hom Thong banana peel tea. **VRU Research and Development Journal Science and Technology** 19(2): 107–121. [in Thai]
- Spence, C. 2019. On the relationship between colour and flavour. **Flavour** 8(1): 1–17.
- Tan, J., W.J. De Bruijn, A. Van Zadelhoff, Z. Lin and J.-P. Vincken. 2020. Browning of epicatechin (EC) and epigallocatechin (EGC) by auto-oxidation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 68(47): 13879–13887.
- Tayeh, N. 2018. **The Development of Tea Product from Betong Watercress.** 47 p. *In* Research Report. Yala: Yala Rajabhat University. [in Thai]
- Thai Community Products Standard. 2015. **Thai Community Products Standard (TCPS 1007/2558): Iced Tea with Milk.** Bangkok: Thai Industrial Standards Institute (TISI). 9 p. [in Thai]
- Wani, K.M. and M. Dhanya. 2025. Unlocking the potential of banana peel bioactives. **Discover Food** 5(1): 1–25.
- Whitaker, J.R. 1995. Polyphenol Oxidase. pp. 271–307. *In* Wong, D.W.S. (Ed.). **Food Enzymes: Structure and Mechanism.** Boston: Springer.
- Wirivutthikorn, W. 2022. Appropriate ratios of mulberry leaf and pineapple on qualities of mulberry leaf and pineapple juice. **King Mongkut's Agricultural Journal** 40(2): 178–186. [in Thai]
- Yasin, M., S. Gangan and S.K. Panchal. 2025. Banana peels: a genuine waste or a wonderful opportunity? **Applied Sciences** 15(6): 1–20.
- Zhang, S., Q. Li, S. Wen, L. Sun, R. Chen, Z. Zhang, J. Cao, Z. Lai, Z. Li, X. Lai, P. Wu, S. Sun and Z. Chen. 2023. Metabolomics reveals the effects of different storage times on the acidity quality and metabolites of large-leaf black tea. **Food Chemistry** 426: 1–11

ผลของการเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลายต่อคุณภาพทางโภชนาการ
สมบัติทางกายภาพ-เคมี และสมบัติเชิงหน้าที่ของพาสต้าปราศจากกลูเตน
Effect of Cricket (*Acheta domesticus* L.) Protein Concentrate Fortification
on Nutritional Quality, Physico-Chemical and Functional Properties
of Gluten-Free Pasta

จันทร์จิรา วันชนะ¹ นันทณภัต ระหงส์¹ สุมิตร เชื้อมชัยตระกูล¹ กาญจนา นาคประสม²
ปัทมกร ส่างสวัสดิ์³ และศรัณญา สุวรรณอังกุล^{1,*}

Janjira Wanchana¹, Nunnapat Rahong¹, Sumit Chueamchaitrakun¹, Kanjana Narkprasom²
Papungkorn Sangsawad³ and Saranya Suwanangul^{1,*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

³สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

¹Program of Food Science and Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

²Program in Food Engineering, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

³School of Animal Technology and Innovation, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima, Thailand 30000

*Corresponding author: saranya_sw@mju.ac.th

*ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4096-3285>

Received: November 25, 2025

Revised: March 21, 2026

Accepted: June 11, 2026

Abstract

Gluten-free pasta consumption has continued to increase. However, limited nutritional value and inferior post-cooking quality remain major constraints of many commercial products, and the appropriate supplementation level of striped copper cricket protein concentrate powder for balancing cooking quality and texture remains unclear. This study investigated the effects of striped copper cricket (*Acheta domesticus* L.) protein concentrate powder (0–7.5% w/w) on the nutritional quality, color attributes, and cooking quality of gluten-free pasta produced from Jao Kham Hom Maejo 1A rice flour. The results showed that pasta color changed with increasing supplementation; L* increased from 39.15 to 47.34 at 5.0%, while a* reached its highest value (7.35) at 7.5%. In parallel, protein content increased from 4.25% (control) to 13.51% (2.5%), 27.97% (5.0%), and 47.58% (7.5%), and fat content increased from 1.34% (control) to 2.90% at 7.5%. Regarding texture, hardness increased from 4,397 g in the control to 5,332 g at 7.5% supplementation. For cooking quality, the 5.0% formulation showed the

most favorable overall performance, with the lowest cooking loss (0.02%) and a cooking yield of 98.19%, which was close to the control (101.66%). In conclusion, supplementation with 5.0% cricket protein concentrate powder appears to be the most suitable level for developing high-protein gluten-free pasta from Jao Kham Hom Maejo 1A rice flour while maintaining acceptable cooking quality and texture.

Keywords: cooking quality, cricket protein concentrate, gluten-free pasta, high-protein pasta texture profile

บทคัดย่อ

แนวโน้มนำการบริโภคพาสต้าปราศจากกลูเตนเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ช่องว่างด้านโภชนาการและคุณภาพหลังการต้ม ยังเป็นข้อจำกัดสำคัญของผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด อีกทั้งระดับการเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลายที่เหมาะสมต่อคุณภาพหลังการต้มและเนื้อสัมผัสยังไม่ชัดเจน งานวิจัยนี้ศึกษาผลการเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลาย (0-7.5% w/w) ต่อคุณภาพทางโภชนาการ คุณสมบัติสี และคุณภาพหลังการต้มของพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าก่ำหอมแม่โจ้ 1 เอ ผลการทดลองพบว่า ค่าสีของเส้นพาสต้าเปลี่ยนแปลงตามระดับการเสริม โดยค่า L^* เพิ่มขึ้นจาก 39.15 เป็น 47.34 ที่ระดับ 5.0% และค่า a^* มีค่าสูงสุด 7.35 ที่ระดับ 7.5% ขณะเดียวกันปริมาณโปรตีนเพิ่มจาก 4.25% (สูตรควบคุม) เป็น 13.51% (เสริม 2.5%) 27.97% (เสริม 5.0%) และ 47.58% (เสริม 7.5%) ส่วนปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริม โดยเพิ่มจาก 1.34% (สูตรควบคุม) เป็น 2.90% (เสริม 7.5%) ด้านเนื้อสัมผัส พบว่าค่าความแข็งเพิ่มจาก 4,397 g ในสูตรควบคุม เป็น 5,332 g เมื่อเสริมผงโปรตีนที่ระดับ 7.5% สำหรับคุณภาพหลังการต้มสูตรเสริม 5.0% ให้ผลดีที่สุด โดยมีการสูญเสียของแข็งต่ำที่สุด (0.02%) และให้ผลผลิตหลังการต้ม 98.19% ใกล้เคียงสูตรควบคุม (101.66%) โดยสรุป การเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลายที่ระดับ 5.0% เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดในการพัฒนาพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า

ก่ำหอมแม่โจ้ 1 เอ โดยยังคงคุณภาพหลังการต้มและเนื้อสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

คำสำคัญ: คุณภาพหลังการต้ม ผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีด พาสต้าปราศจากกลูเตน พาสต้าโปรตีนสูง ลักษณะเนื้อสัมผัส

บทนำ

พาสต้าเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สะดวกต่อการปรุง และมีราคาที่สามารถเข้าถึงได้ โดยทั่วไปพาสต้าผลิตจากแป้งสาลีซึ่งมีกลูเตนเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสร้างโครงข่ายที่ยืดหยุ่น ส่งผลให้ได้เนื้อสัมผัสเหนียวแบบ al dente และมีอิทธิพลโดยตรงต่อสมบัติด้านการต้มและคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ พาสต้าคุณภาพดีมักมีการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้มต่ำ มีความเหนียวติดกันน้อย และสามารถคงสภาพโครงสร้างได้ดี (Phongthai *et al.*, 2017) อย่างไรก็ตาม ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา จำนวนผู้ป่วยโรคเซลิแอคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งส่วนหนึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการบริโภคผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลีที่เพิ่มขึ้น และการที่อาหารจำนวนมากในซูเปอร์มาร์เก็ตมักมีกลูเตนเป็นส่วนประกอบ ภาวะดังกล่าวเกิดจากการตอบสนองต่อกลูเตนที่ผิดปกติ ส่งผลให้เกิดการอักเสบของเยื่อบุลำไส้เล็ก และนำไปสู่การลดลงของประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามิน (Phongthai *et al.*, 2017)

แม้ผลิตภัณฑ์พาสต้าปราศจากกลูเตนในท้องตลาดจะมีความหลากหลายเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ยังคงมีข้อจำกัดสำคัญทั้งด้านโภชนาการและคุณภาพหลังการต้ม โดยพาสต้าปราศจากกลูเตนส่วนใหญ่มักใช้แป้งข้าวเป็นวัตถุดิบหลักทดแทนแป้งสาลี ส่งผลให้มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าพาสต้าแป้งสาลี (Ismail, 2024) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาคุณภาพหลังการต้ม พบว่าพาสต้าปราศจากกลูเตนมีแนวโน้มเกิดการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้ม (cooking loss) สูงกว่า มีความเหนียวติดกันมากกว่า ความคงตัวของโครงสร้างต่ำกว่า และมีผิวเส้นหยาบมากขึ้น เมื่อเทียบกับพาสต้าแป้งสาลี (Padalino *et al.*, 2013) ข้อจำกัดดังกล่าวสะท้อนว่าพาสต้าปราศจากกลูเตนขาดกลไกการพยุงโครงสร้างจากโครงข่ายกลูเตน ทำให้เส้นพาสต้ามีความอ่อนตัวและคงคุณภาพระหว่างการต้มได้จำกัด

ภายใต้แนวโน้มที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญต่อคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น “ข้าวมีสี” จึงได้รับความสนใจในฐานะแหล่งสารพฤกษเคมีที่ช่วยเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับการใช้แป้งข้าวสีขาว โดยเฉพาะสารกลุ่มแอนโทไซยานิน (Kraithong *et al.*, 2025) ข้าวเจ้าก่ำหอมแม่โจ้ 1 เอ (*Oryza sativa* L.) เป็นสายพันธุ์ที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแป้ง เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการและสมบัติเชิงหน้าที่ที่เอื้อต่อการต่อยอดเชิงผลิตภัณฑ์ (Suwanangul *et al.*, 2025) อย่างไรก็ตาม แม้การใช้แป้งข้าวมีสีจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสารพฤกษเคมีของผลิตภัณฑ์ได้ แต่ยังไม่สามารถแก้ไขข้อจำกัดด้านความคงตัวของโครงสร้างหลังการต้มของพาสต้าปราศจากกลูเตนได้อย่างเพียงพอ ดังนั้น การเสริมโปรตีนจึงเป็นแนวทางสำคัญในการยกระดับทั้งคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพการบริโภคของพาสต้าปราศจากกลูเตน

ในบรรดาแหล่งโปรตีนทางเลือก จิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domesticus* L.) มีศักยภาพเด่นด้านโภชนาการ โดยมีโปรตีนประมาณ 60–70% ของน้ำหนัก

แห้ง และมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน โดยเฉพาะกรดอะมิโนสายกิ่ง ได้แก่ ลิวซีน ไอโซลิวซีน และวาเลีน ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการเสริมสร้างและซ่อมแซมกล้ามเนื้อ (Takaew and Kraiklang, 2025) อีกทั้งยังเป็นแหล่งสารอาหารสำคัญอื่น เช่น โยอาอาหาร วิตามิน เกลือแร่ (ธาตุเหล็ก สังกะสี และแคลเซียม) และกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ โอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 (Takaew and Kraiklang, 2025) อย่างไรก็ตาม การใช้ผงจิ้งหรีดโดยตรงอาจมีข้อจำกัด เนื่องจากมีปริมาณไขมันค่อนข้างสูง และอาจส่งผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยเฉพาะกลิ่นเฉพาะของวัตถุดิบ ด้วยเหตุนี้ จึงมีการประยุกต์ใช้กระบวนการสกัดและแยกส่วนเพื่อลดไขมันหรือเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนให้เหมาะสมต่อการพัฒนาอาหารที่มุ่งเน้นโปรตีนเป็นหลัก ขณะเดียวกัน โปรตีนจิ้งหรีดเข้มข้นยังอาจช่วยเสริมสมบัติเชิงหน้าที่ของส่วนผสมอาหาร เช่น การอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมัน การเกิดโฟม และการเกิดอิมัลชัน ซึ่งสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ (Cruz-López *et al.*, 2024) สอดคล้องกับรายงานของ Adebowale *et al.* (2005) ที่พบว่าโปรตีนจาก African giant cricket มีความเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติการเกิดเจล การเพิ่มความข้นหนืด การกักเก็บน้ำระหว่างการปรุง และการดูดซับไขมัน

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของการเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลายในพาสต้าปราศจากกลูเตนที่พัฒนาจากแป้งข้าวเจ้าก่ำหอมแม่โจ้ 1 เอ โดยประเมินการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพทางโภชนาการ สมบัติทางกายภาพ-เคมี และสมบัติเชิงหน้าที่ที่สัมพันธ์กับคุณภาพหลังการต้ม สี และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เพื่อกำหนดระดับการเสริมที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาพาสต้าปราศจากกลูเตนโปรตีนสูงที่ยังคงคุณภาพการบริโภคอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และสามารถต่อยอดสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารทางเลือกที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงตอบโจทย์ผู้บริโภคที่ต้องการหลีกเลี่ยงกลูเตนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

การผลิตผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลาย

การผลิตผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดดัดแปลง โดยนำจิ้งหรีดทองแดงลายมาล้างทำความสะอาด จากนั้นเติมน้ำในอัตราส่วนจิ้งหรีดต่อน้ำ 1:3 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 3 นาที นำส่วนผสมที่ได้มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วแยกตะกอนโปรตีนออกจากส่วนของเหลว ตะกอนโปรตีนที่ได้ถูกนำมาผสมน้ำในอัตราส่วน 1:10 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ภายในถังสกัดขนาด 50 ลิตร จากนั้นปรับค่า pH เป็น 10 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ และทำการสกัดโปรตีนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 90 นาที ภายหลังการสกัดแยกสารละลายโปรตีนออกจากของแข็ง ทำการตกตะกอนโปรตีนด้วยวิธีไอโซอิเล็กทริก โดยปรับค่า pH เป็น 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.2 โมลาร์ ตะกอนโปรตีนที่เกิดขึ้นถูกล้างด้วยน้ำจนมีค่า pH ใกล้เคียงเป็นกลาง ก่อนนำไปทำแห้งด้วยวิธีพ่นฝอย จากนั้นบดผงให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช ผงโปรตีนคอนเซนเทรตที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธี AOAC (2000) ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น คาร์โบไฮเดรต และ

เยื่อใย โดยพบว่ามีค่าเท่ากับ 71.47, 5.85, 2.39, 5.60, 8.05 และ 6.64% ตามลำดับ (โดยน้ำหนักแห้ง)

การผลิตพาสต้าปราศจากกลูเตนเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีด

เตรียมพาสต้าปราศจากกลูเตนโดยใช้แป้งข้าวเจ้า ก๋วยเตี๋ยวแม่โจ้ 1 เอ ผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลาย แขนแทนกัม ไซโกสแตค และน้ำสะอาด ตามสัดส่วนที่กำหนดใน Table 1 โดยกำหนดระดับการเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดที่ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5% ตามลำดับ กระบวนการผลิตเริ่มจากผสมส่วนผสมแห้ง ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า ก๋วยเตี๋ยวแม่โจ้ 1 เอ ผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีด และแขนแทนกัม ให้เข้ากัน จากนั้นร่อนเพื่อให้ส่วนผสมกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ต่อมาเตรียมส่วนผสมของเหลวโดยผสมไซโกสแตคกับน้ำสะอาดตามสัดส่วนของแต่ละสูตรจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงเติมส่วนผสมของเหลวลงในส่วนผสมแห้งและนวดจนได้แป้งโดที่มีความเหนียวเป็นเนื้อเดียวกัน และมีความสม่ำเสมอ แป้งโดที่ได้ถูกห่อด้วยฟิล์มพลาสติกและแช่เย็นอย่างน้อย 2 ชั่วโมง เพื่อให้การกระจายความชื้นและการไฮเดรตขององค์ประกอบเกิดขึ้นอย่างทั่วถึง จากนั้นนำออกมาพักที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที ก่อนรีดผ่านเครื่องรีดพาสต้าให้ได้ความหนาที่ระดับ 3 และตัดขึ้นรูปเป็นเส้นพาสต้าเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

Table 1 Formulations of gluten-free pasta fortified with striped house cricket (*Acheta domesticus* L.) protein concentrate powder

Cricket protein (%)	Jao Kham Hom Maejo 1A flour (%)	Xanthan gum (%)	Whole egg (%)	Water (%)
0.00	35.00	7.00	35.00	23.00
2.50	35.00	7.00	35.00	20.50
5.00	35.00	7.00	35.00	18.00
7.50	35.00	7.00	35.00	15.50

การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์

พาสต้าที่ขึ้นรูปแล้วถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์พาสต้าหลังต้มสุก ได้แก่ ค่าสี องค์ประกอบทางเคมี และลักษณะเนื้อสัมผัส และ (2) การประเมินคุณภาพพาสต้าหลังการต้ม ได้แก่ เวลาในการต้มสุกที่เหมาะสม (Optimal Cooking Time: OCT) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking loss) และน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (Cooking yield) ทั้งนี้ ตัวอย่างในกลุ่มพาสต้าต้มสุกจะถูกต้มภายใต้เงื่อนไขเดียวกันตามค่า optimal cooking time ของแต่ละสูตร จากนั้นสะเด็ดน้ำและพักให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ก่อนดำเนินการวิเคราะห์ในแต่ละรายการ

การประเมินคุณภาพหลังการต้ม

เวลาในการต้มให้สุกที่เหมาะสม (OCT) ดัดแปลงจากวิธีของ Phongthai *et al.* (2017) โดยชั่งเส้นพาสต้าปริมาณ 20 กรัม ต้มในน้ำเดือดปริมาตร 300 มล. ภายในบีกเกอร์ที่ปิดด้วยกระจกนาฬิการะหว่างการต้ม ทำการสุ่มเส้นพาสต้าออกมาตรวจสอบทุก ๆ 30 วินาที เพื่อตรวจสอบส่วนที่บวมแข็งบริเวณกึ่งกลางเส้น จนไม่พบส่วนที่บวมแข็งหลงเหลืออยู่ภายในเส้นพาสต้า บันทึกเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มพาสต้าให้สุก

ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม ดัดแปลงจากวิธีของ Phongthai *et al.* (2017) โดยชั่งเส้นพาสต้าปริมาณ 20 กรัม ต้มในน้ำเดือด 300 มล. เป็นเวลาตามค่า OCT ของแต่ละสูตร เมื่อครบเวลานำพาสต้าขึ้นจากน้ำต้มและปล่อยให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรงเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นล้างบีกเกอร์ที่ใช้ต้มพาสต้าด้วยน้ำกลั่น 50 มล. และรวบรวมน้ำต้มรวมกับน้ำล้างบีกเกอร์ใส่ในบีกเกอร์ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C จนมีน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์หลังการอบ และคำนวณปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มตามสมการ $\text{Cooking loss (\%)} = \frac{[\text{น้ำหนักบีกเกอร์หลังอบ} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์เปล่า}]}{\text{น้ำหนักพาสต้าก่อนต้ม}} \times 100$

น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม ดัดแปลงจากวิธีของ Phongthai *et al.* (2017) ชั่งเส้นพาสต้าปริมาณ 20 กรัม ต้มในน้ำเดือด 300 มล. เป็นเวลาตามค่า OCT ของแต่ละสูตร เมื่อครบเวลานำพาสต้าขึ้นจากน้ำต้มและสะเด็ดน้ำบนตะแกรงเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นชั่งความชื้นส่วนเกินด้วยกระดาษซับน้ำอย่างเบามือแล้วชั่งน้ำหนักพาสต้าในสภาพต้มสุก คำนวณน้ำหนักที่ได้หลังการต้มตามสมการ $\text{Cooking yield (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักพาสต้าหลังต้ม} / \text{น้ำหนักพาสต้าก่อนต้ม}) \times 100$

การวิเคราะห์ค่าสี

ค่าสีของพาสต้าถูกวัดด้วยเครื่องวัดสี HunterLab colorimeter (HunterLab, รุ่น ColorFlex) และรายงานผลในระบบพิกัดสี CIE Lab* ได้แก่ ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ทำการวัด 3 ซ้ำ โดยในแต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง หมุนตัวอย่างไป 90 องศา ในแต่ละครั้งที่ทำการวัด

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl และวิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยวิธี Soxhlet ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (2000) โดยเตรียมตัวอย่างพาสต้าด้วยการบดให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนนำไปทดสอบ และรายงานผลเป็นร้อยละตามน้ำหนักแห้ง

การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าในสภาพต้มสุก โดยดัดแปลงจากวิธีของ Jia *et al.* (2023) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, รุ่น TA.XTplus) และรายงานค่าความแข็ง (hardness) ความเป็นเนื้อเดียวกัน (cohesiveness) การคืนตัว (springiness) ความเหนียว (gumminess) และความทนต่อการเคี้ยว (chewiness) โดยใช้หัวกดทรงกระบอก (compression probe, P50) เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. กำหนดเงื่อนไขการทดสอบของเครื่อง ดังนี้ pre-test speed 2.0 mm s⁻¹,

test speed 5.0 mm s⁻¹, post-test speed 5.0 mm s⁻¹ และกำหนดระยะเวลาการกดอัดเท่ากับ 90% การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบดำเนินการโดยชั่งเส้นพาสต้า 40 กรัม ต้มในน้ำเดือดปริมาตร 600 มล. เป็นเวลาตามค่า OCT ของแต่ละสูตร เมื่อครบเวลานำพาสต้าออกจากน้ำต้มและแช่ในน้ำเย็นเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นสะเด็ดน้ำบนตะแกรงเป็นเวลา 2 นาที แล้วบรรจุลงในกล่องพลาสติกปิดฝาเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ก่อนนำไปทดสอบเนื้อสัมผัส โดยดำเนินการวัดให้แล้วเสร็จภายใน 15 นาทีหลังการต้ม

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองทุกชุดดำเนินการอย่างน้อย 3 ซ้ำ (triplicate) รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ standard deviation) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลของการเสริมโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลายต่อค่าสีและลักษณะปรากฏของพาสต้าปราศจากกลูเตนหลังต้มสุก

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของพาสต้าปราศจากกลูเตนหลังต้มสุก พบว่าการเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลายมีผลทำให้ค่าสี L*, a*, b* เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับสูตร

ควบคุม ($p < 0.05$) โดยค่า L* เพิ่มขึ้นจาก 39.15 (สูตรควบคุม) เป็น 42.70 ที่ระดับการเสริม 2.5% และเพิ่มสูงสุดที่ 47.34 ที่ระดับ 5.0% ก่อนลดลงเล็กน้อยเป็น 46.22 ที่ระดับ 7.5% ทั้งนี้ค่า L* ของสูตรที่เสริมยังคงสูงกว่าสูตรควบคุม แสดงให้เห็นว่าเส้นพาสต้ามีความสว่างเพิ่มขึ้นตามการเสริมโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลาย (Table 2) แนวโน้มดังกล่าวอธิบายได้จากลักษณะสีของวัตถุดิบและการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุระหว่างการต้ม โดยผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดมีค่า L* สูง ($L^* = 54.70$) เมื่อนำมาผสมในสูตรที่ใช้แป้งข้าวซึ่งมีโทนสีค่อนข้างเข้ม จึงทำให้สีโดยรวมของเส้นสว่างขึ้นตามสัดส่วนการเติม

นอกจากนี้ การเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลายยังทำให้ความเข้มของสีม่วงจากแอนโทไซยานินในแป้งข้าวเจ้ากำห่อมแม่โจ้ 1 เอ ลดลง ในเชิงสัดส่วน ส่งผลให้ค่า L* เพิ่มขึ้นเด่นชัดยิ่งขึ้น ขณะเดียวกัน กระบวนการต้มอาจทำให้แอนโทไซยานินบางส่วนละลายออกสู่ตัวกลางน้ำและมีความเสถียรลดลงจากความร้อน จึงทำให้ความเข้มของสีม่วงหลังต้มอ่อนลง และสนับสนุนแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า L* ในผลิตภัณฑ์หลังต้มสุก สอดคล้องกับรายงานของ Musika *et al.* (2024) พบว่าการเสริมผงจิ้งหรีดในพาสต้าปราศจากกลูเตนจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ทำให้ค่า L* เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่า a* และ b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมโปรตีนคอนเซนเทรต ซึ่งสอดคล้องกับสีเริ่มต้นของผงโปรตีนคอนเซนเทรตที่มีโทนแดง-เหลืองเด่น ($a^* = 10.69$ และ $b^* = 27.58$) ส่งผลให้โทนสีดังกล่าวปรากฏชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนการเสริมในสูตร

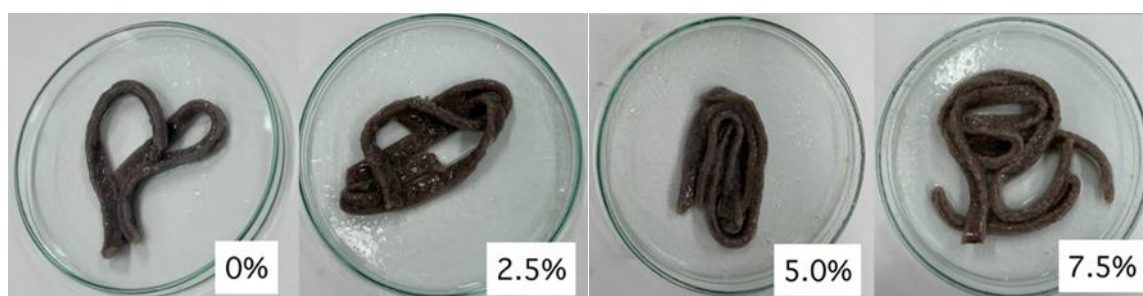
Table 2 Effect of cricket protein concentrate fortification at different levels on the L*, a*, b* color values of cooked gluten-free pasta

Protein concentrate fortification (%)	L*	a*	b*
Cricket protein concentrate powder	54.70±0.09 ^a	10.69±0.02 ^a	27.58±0.04 ^a
0.0	39.15±0.83 ^e	5.38±0.04 ^d	3.46±0.09 ^d
2.5	42.70±0.51 ^d	6.27±0.23 ^c	6.07±0.21 ^c
5.0	47.34±0.12 ^b	6.81±0.16 ^c	6.82±0.45 ^c
7.5	46.22±0.47 ^c	7.35±0.24 ^b	7.13±0.64 ^b

The same column followed by different letters is significantly different at $p < 0.05$.

ลักษณะปรากฏของเส้นพาสต้าหลังต้มสุก (Figure 1) สอดคล้องกับแนวโน้มค่าสีเชิงตัวเลขใน Table 2 อย่างชัดเจน โดยสูตรควบคุมมีสีม่วงเข้มจากแป้งข้าวเจ้าทำหอมแมโจ 1 เอ ค่อนข้างสม่ำเสมอและมีผิวเส้นเรียบ ขณะที่สูตรที่เสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดมีแนวโน้มให้สีอ่อนลงและเปลี่ยนเป็นโทนสีน้ำตาลอมม่วง โดยโทนแดง-เหลืองปรากฏเด่นชัดขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการเสริมโปรตีน ในสูตรที่มีระดับการเสริมโปรตีนสูงพบจุดสีน้ำตาลละเอียดกระจายบนผิวเส้นเป็นบางตำแหน่ง

ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าเกิดจากอนุภาคโปรตีนจิ้งหรีดกระจายตัวไม่สม่ำเสมอในส่วนผสมของแป้ง ส่งผลให้ผิวเส้นดูหยาบขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เส้นพาสต้าในทุกสูตรยังคงมีสีโดยรวมค่อนข้างสม่ำเสมอ และไม่พบการแตกหักหรือเสียรูปเด่นชัดหลังการต้ม จึงบ่งชี้ว่าการเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดในช่วงระดับที่ศึกษาสามารถปรับลักษณะสีของพาสต้าได้อย่างเป็นระบบ โดยยังคงลักษณะปรากฏหลังต้มให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์พาสต้าปราศจากกลูเตน

**Figure 1** Appearance of cooked gluten-free pasta fortified with cricket protein concentrate at different levels (0, 2.5, 5.0 and 10%)

ปริมาณโปรตีนและไขมันของพาสต้าปราศจากกลูเตนหลังต้มสุกที่เสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลาย

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและไขมันของพาสต้าปราศจากกลูเตนหลังต้มสุก (Table 3) พบว่าการเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลายส่งผลให้ปริมาณโปรตีนและไขมันแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมจาก 4.25% ในสูตรควบคุม (0.0%) เป็น 13.51% (2.5%), 27.97% (5.0%) และ 47.58% (7.5%) ตามลำดับ (น้ำหนักแห้ง) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ การเพิ่มขึ้นของโปรตีนในงานนี้มีค่าเด่นชัดมากกว่าการใช้ผงจิ้งหรีดทั้งตัวเป็นแหล่งเสริมโปรตีน โดย Carcea (2020) รายงานว่าพาสต้าจากแป้งสาลีที่เสริมผงจิ้งหรีดมีโปรตีนอยู่ในช่วง 15–18% ขณะที่ Musika et al. (2024) พบว่าพาสต้าไรซ์เบอร์รี่เสริมผงจิ้งหรีดมีโปรตีน 12.6% ซึ่งต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ในงานนี้ โดยเฉพาะสูตรที่เสริม 5.0 และ 7.5% โดยรวมผลการเปรียบเทียบพบว่า การใช้ “โปรตีนคอนเซนเทรต” แทน “ผงจิ้งหรีดทั้งตัว” เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพมากกว่าในการเพิ่มความเข้มข้นโปรตีนของพาสต้าปราศจากกลูเตน

อย่างไรก็ตาม แม้กระบวนการผลิตโปรตีนคอนเซนเทรตจะช่วยลดไขมันได้บางส่วน แต่ไม่สามารถกำจัดออกได้ทั้งหมด จึงทำให้ปริมาณไขมันของพาสต้าหลังต้มสุกเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมจาก 1.34% (สูตรควบคุม) เป็น 1.45% (2.5%), 1.74% (5.0%) และ 2.90% (7.5%) ตามลำดับ (น้ำหนักแห้ง) (Table 3) แนวโน้มดังกล่าวสะท้อนลักษณะของกระบวนการผลิตผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลายที่เป็นการสกัดแยกส่วนเพื่อลดองค์ประกอบที่ไม่ใช่โปรตีน โดยสามารถแยกไขมันออกได้เพียงบางส่วน ทำให้ยังมีไขมันตกค้างอยู่ในผงโปรตีน ดังนั้น เมื่อเพิ่มสัดส่วนการเสริมลงในสูตร ปริมาณไขมันรวมของผลิตภัณฑ์จึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แม้ว่าโดยภาพรวมจะได้ผงโปรตีนที่มีความเข้มข้นของโปรตีนสูงก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานว่าการเสริมผงจิ้งหรีดในผลิตภัณฑ์เส้นและเบเกอรี่มักทำให้โปรตีนและไขมันเพิ่มขึ้นควบคู่กันตามระดับการเสริม (Kim et al., 2022) เมื่อเปรียบเทียบกับ Musika et al. (2024) ที่รายงานพาสต้าไรซ์เบอร์รี่เสริมผงจิ้งหรีดมีไขมันประมาณ 4.7% ผลิตภัณฑ์ในงานนี้ยังคงมีปริมาณไขมันต่ำกว่า แม้จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมก็ตาม

Table 3 Effect of cricket protein concentrate fortification at different levels on the protein and fat contents (% dry matter, DM basis) of gluten-free pasta

Protein concentrate fortification (%)	Protein contents (%)	Fat contents (%)
Cricket (<i>Acheta domesticus</i> L.)	57.32±0.10 ^a	13.66±0.12 ^a
Cricket protein concentrate powder	71.47±0.08 ^b	5.85±0.03 ^b
0.0	4.25±0.62 ^f	1.34±0.05 ^f
2.5	13.51±0.11 ^e	1.45±0.01 ^e
5.0	27.97±1.10 ^d	1.74±0.01 ^d
7.5	47.58±0.33 ^c	2.90±0.10 ^c

The same column followed by different letters is significantly different at $p<0.05$.

ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าปราศจากกลูเตนหลังต้มสุกที่เสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลาย

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าปราศจากกลูเตนหลังต้มสุก (Table 4) พบว่าการเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลายทำให้ค่าความแข็ง (hardness) ความเป็นเนื้อเดียวกัน (cohesiveness) การคืนตัว (springiness) ความเหนียว (gumminess) และความทนต่อการเคี้ยว (chewiness) แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจาก 4,397 g ในสูตรควบคุม (0.0%) เป็น 5,193, 5,105 และ 5,332 g เมื่อเสริมโปรตีนที่ระดับ 2.5, 5.0 และ 7.5% ตามลำดับ (Table 4) แนวโน้มนี้สะท้อนบทบาทของโปรตีนในการเสริมความแน่นของเนื้อเส้นหลังผ่านความร้อน โดยโปรตีนมีสมบัติการอุ้มน้ำ และสามารถเกิดการจับตัวและยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากขึ้นเมื่อได้รับความร้อน ส่งผลให้โครงสร้างภายในของเส้นแน่นและต้านทานแรงกดได้มากขึ้น จึงทำให้ค่าความแข็งสูงขึ้น (Zielinska, 2022) ในทางตรงกันข้าม ค่าการคืนตัวลดลงต่อเนื่องจาก 1.35 (สูตรควบคุม) เป็น 1.21, 1.02 และ 0.93 ตามลำดับ (Table 4) สะท้อนว่าเมื่อโครงสร้างของเส้นแน่นขึ้น เส้นพาสต้ามีความสามารถในการคืนรูปหลังถูกกดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของโครงสร้างที่แข็งตัวมากขึ้นเมื่อ

เพิ่มสัดส่วนโปรตีน สำหรับพฤติกรรมระหว่างการเคี้ยวพบว่าค่าความเหนียวลดลงในช่วงการเสริม 2.5–5.0% จาก 462 g เป็น 399 และ 349 g ก่อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ระดับ 7.5% (414 g) ขณะที่ค่าความทนต่อการเคี้ยว ลดลงจาก 7.30 mJ เป็น 6.58–6.72 mJ ในทุกระดับการเสริม (Table 4) ผลดังกล่าวชี้ว่าแม้ค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้น แต่ไม่ได้หมายความว่าเส้นจะเคี้ยวยากขึ้นเสมอไป เนื่องจากเมื่อการคืนตัวและความเป็นเนื้อเดียวกันเปลี่ยนแปลงไป ค่าที่สะท้อนการเคี้ยวโดยรวม (ความเหนียวและความทนต่อการเคี้ยว) จึงอาจลดลงได้ ทั้งนี้ แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานพาสต้าที่เสริมวัตถุดิบจากจิ้งหรีดซึ่งมักพบความแข็งเพิ่มขึ้นควบคู่กับการคืนตัวที่ลดลงเมื่อเพิ่มระดับการเสริม (Carcea, 2020; Musika *et al.*, 2024)

โดยภาพรวม ระดับการเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลายที่ 5.0% ให้แนวโน้มสมดุลของเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม โดยช่วยเพิ่มความแน่นของเส้นหลังต้ม (ค่าความแข็งสูงขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม) ขณะที่ค่าการคืนตัว ความเหนียว และความทนต่อการเคี้ยว ยังลดลงไม่มากจนสะท้อนความแข็งกระด้างอย่างชัดเจน ทั้งนี้ เมื่อเพิ่มระดับการเสริมเป็น 7.5% มีแนวโน้มโครงสร้างแข็งตัวเด่นชัดขึ้นและความยืดหยุ่นลดลงมากกว่า จึงอาจกระทบลักษณะการเคี้ยวได้มากขึ้น

Table 4 Texture profile of cooked gluten-free pasta fortified with cricket protein concentrate at different levels

Protein concentrate fortification (%)	Hardness (g)	Cohesiveness	Springiness (mm)	Gumminess (g)	Chewiness (mJ)
0.0	4397±2.49 ^a	0.10±0.07 ^a	1.35±0.51 ^a	462±3.40 ^a	7.30±1.10 ^a
2.5	5193±2.96 ^c	0.09±0.02 ^a	1.21±0.11 ^b	399±1.04 ^b	6.58±1.54 ^b
5.0	5105±1.33 ^d	0.09±0.07 ^a	1.02±0.26 ^c	349±1.12 ^c	6.72±1.43 ^c
7.5	5332±1.87 ^b	0.12±0.08 ^b	0.93±0.30 ^d	414±2.59 ^d	6.62±2.59 ^d

The same column followed by different letters is significantly different at $p<0.05$.

คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าปราศจากกลูเตนหลังต้มสุก ที่เสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลาย

ผลการประเมินคุณภาพหลังการต้มของพาสต้าปราศจากกลูเตนแสดงดัง Table 5 พบว่าระดับการเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลายมีผลต่อเวลาในการต้มที่เหมาะสม (optimal cooking time) การสูญเสียของแข็งระหว่างการต้ม (cooking loss) และผลผลิตหลังการต้ม (cooking yield) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) บ่งชี้ได้ว่าระดับการเสริมโปรตีนเป็นตัวกำหนดสมดุลระหว่างความคงตัวของเส้นกับพฤติกรรมระหว่างการต้มอย่างชัดเจน โดยเวลาในการต้มที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริม จาก 7.0 นาที ในสูตรควบคุม (0.0%) เป็น 9.0, 10.0 และ 11.0 นาที เมื่อเสริมที่ระดับ 2.5, 5.0 และ 7.5% ตามลำดับ อาจเนื่องจากโปรตีนคอนเซนเทรตมีส่วนช่วยเสริมโครงสร้างของเส้นทำให้โครงสร้างภายในแน่นขึ้น น้ำซึมเข้าสู่แกนเส้นได้ช้าลง และต้องใช้เวลามากขึ้นเพื่อให้สุกสม่ำเสมอ

สำหรับการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้มของทุกสูตรอยู่ในระดับต่ำมาก (0.02–0.04%) โดยสูตรที่เสริม 5.0% ให้ค่าต่ำที่สุด (0.02%) ขณะที่สูตร 7.5% เพิ่มขึ้นเป็น 0.04% แนวโน้มนี้สะท้อนว่าการเสริมโปรตีนในระดับปานกลางมีส่วนช่วยเสริมความคงตัวของเส้นระหว่างการต้ม จึงลดการหลุดร่อนขององค์ประกอบที่ละลายน้ำออกสู่น้ำต้มได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มระดับการเสริมสูงขึ้นสัดส่วนโปรตีนที่มากเกินไปอาจทำให้โครงสร้างภายในเกิดความไม่สม่ำเสมอ เช่น การกระจายตัวของโปรตีนไม่ทั่วถึงหรือเกิดช่องว่างจุลภาค ส่งผลให้การยึดเหนี่ยวขององค์ประกอบในเส้นลดลงและทำให้การ

สูญเสียของแข็งเพิ่มขึ้น แม้ค่าโดยรวมยังคงอยู่ในระดับต่ำก็ตาม (Larrosa *et al.*, 2016)

ด้านผลผลิตหลังการต้ม สูตรควบคุมให้ค่าสูงสุด (101.66%) ขณะที่สูตรเสริมโปรตีนอยู่ในช่วง 95.96–98.19% โดยสูตร 5.0% ให้ค่า 98.19% และใกล้เคียงสูตรควบคุมที่สุดในกลุ่มสูตรเสริม การที่ผลผลิตหลังการต้มลดลงเมื่อเสริมโปรตีนอาจเนื่องมาจากเมื่อสัดส่วนโปรตีนเพิ่มขึ้น โครงสร้างของเส้นมีแนวโน้มแน่นขึ้นและจำกัดการพองตัวของแป้ง จึงทำให้การดูดซึมน้ำสุกหลังต้มลดลงบางส่วน อีกทั้งการสูญเสียองค์ประกอบที่ละลายน้ำระหว่างการต้ม เช่น แป้งที่หลุดออก อาจแตกต่างกันไปตามระดับการเสริม ซึ่งสัมพันธ์กับการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้ม (Larrosa *et al.*, 2016) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Carcea (2020) ที่รายงานว่า การเพิ่มระดับโปรตีนจากจิ้งหรีดมีผลต่อการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้มและทำให้ผลผลิตหลังการต้มลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม อีกทั้ง Larrosa *et al.* (2016) รายงานว่า พาสต้าที่มีการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้มต่ำมักสะท้อนคุณภาพที่ดีกว่า เนื่องจากโครงสร้างสามารถยึดเหนี่ยวองค์ประกอบภายในเส้นไว้ได้ดี ดังนั้น เมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งเวลาในการต้มที่เหมาะสม การสูญเสียของแข็งระหว่างการต้มและผลผลิตหลังการต้ม พบว่าการเสริมที่ระดับ 5.0% ให้สมดุลเหมาะสมที่สุดสำหรับพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าก่ำหอมแม่โจ้ 1 เอ โดยสามารถเพิ่มโปรตีนได้โดยไม่เพิ่มการสูญเสียของแข็ง และยังคงผลผลิตหลังการต้มใกล้เคียงสูตรควบคุม ซึ่งสะท้อนความคงตัวของเส้นและคุณภาพหลังการต้มโดยรวมได้ดีที่สุด

Table 5 Effect of cricket protein concentrate fortification at different levels on the cooking quality of gluten-free pasta

Protein concentrate fortification (%)	Optimal cooking time (min)	Cooking loss (%)	Cooking yield (%)
0.0	7.0±0.05 ^d	0.03±0.00 ^b	101.66±0.07 ^a
2.5	9.0±0.07 ^c	0.03±0.00 ^b	95.96±0.07 ^d
5.0	10.0±0.02 ^b	0.02±0.00 ^c	98.19±0.27 ^b
7.5	11.0±0.05 ^a	0.04±0.01 ^a	96.89±0.13 ^c

The same column followed by different letters is significantly different at $p < 0.05$.

สรุปผลการวิจัย

การเสริมผงโปรตีนคอนเซนเทรตจากจิ้งหรีดทองแดงลายในพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าทำหอมแม่โจ้ 1 เอ ส่งผลให้ค่าสี L* เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณโปรตีน ไขมัน และค่าความแข็ง ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนที่เติม อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม พบว่าการคั่วตัว ความเหนียว และความทนต่อการเคี้ยวมีแนวโน้มลดลง ในด้านคุณภาพหลังการต้ม ระดับการเสริมมีผลต่อเวลาในการต้มที่เหมาะสม การสูญเสียของแข็งระหว่างการต้มและผลผลิตหลังการต้ม โดยเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับโปรตีนสูงขึ้น ขณะที่สูตรเสริม 5.0% ให้ผลเด่นที่สุด เนื่องจากการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้มต่ำที่สุดและให้ผลผลิตหลังการต้มใกล้เคียงสูตรควบคุมมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนงานวิจัยมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2569 รหัสโครงการวิจัย มจ.1-69-11-001 จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ตลอดจนการสนับสนุนด้านสถานที่และอุปกรณ์จากห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งเอื้อให้การดำเนินงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Adebowale, Y.A., K. O. Adebowal and M.O. Oguntokunc. 2005. Evaluation of nutritive properties of the large African cricket (*Gryllidae* sp). **Pakistan Journal of Scientific & Industrial Research** 48(4): 274–278.
- AOAC. 2000. **Official Method of Analytical Chemists**. 17th Ed. Maryland: Association of Analytical Communities. 2200 p.
- Carcea, M. 2020. Quality and nutritional/textural properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. **Foods** 9(9): 1-4.

- Cruz-López, S.O., H.B. Escalona-Buendía, I. Martínez-Arellano, J. Domínguez-Soberanes and Y.M. Álvarez-Cisneros. 2024. Physicochemical and techno-functional characterization of soluble proteins extracted by ultrasound from the cricket *Acheta domestica*. **Heliyon** 10(23): e40718.
- Ismail, B.B., A. Gambo, U. Garba and K.A. Ayub. 2024. **Gluten-free Pasta's Consumer Appeal and Qualities**. Cambridge: Academic Press. 1–18 p.
- Jia, B., L. Devkota, M. Sissons and S. Dhital. 2023. Degradation of starch in pasta induced by extrusion below gelatinization temperature. **Food Chemistry** 426: 136524.
- Kim, T.K., J.Y. Cha, H.I. Yong, H.W. Jang, S. Jung and Y.S. Choi. 2022. Application of edible insects as novel protein sources and strategies for improving their processing. **Food Science of Animal Resources** 42(3): 372.
- Kraithong, S., Y. Liu, S. Suwanangul, P. Sangsawad, A. Theppawong and N. Bunyameen. 2025. A comprehensive review of the impact of anthocyanins from purple/black rice on starch and protein digestibility, gut microbiota modulation, and their applications in food products. **Food Chemistry** 473: 143007.
- Larrosa, V., G. Lorenzo, N. Zaritzky and A. Califano. 2016. Improvement of the texture and quality of cooked gluten-free pasta. **LWT-Food Science and Technology** 70: 96–103.
- Musika, J., C. Kapcum, P. Itthivadhanapong, T. Musika, P. Hanmontree and S. Piayura. 2024. Enhancing nutritional and functional properties of gluten-free riceberry rice pasta supplemented with cricket powder using D-optimal mixture design. **Frontiers in Sustainable Food Systems** 8: 1417045.
- Padalino, L., M. Mastromatteo, P. DeVita, D.B. Maria Ficco and M.A. Del Nobile. 2013. Effects of hydrocolloids on chemical properties and cooking quality of gluten-free spaghetti. **International Journal of Food Science and Technology** 48(5): 972–983.
- Phongthai, S., S. D'Amico, R. Schoenlechner, W. Homthawornchoo and S. Rawdkuen. 2017. Effects of protein enrichment on the properties of rice flour based gluten-free pasta. **LWT-Food Science and Technology** 80: 378–385.
- Suwanangul, S., K. Arkanit, S. Kraithong, W. Sorndech, S. Tastub, N. Rungraeng, and P. Sangsawad. 2025. Impact of an innovative two-step temperature-controlled accelerated germination process on phytochemical enhancement, digestibility, and morphological changes in colored rice. **Food Chemistry** 478: 143558.

Takaew, S. and R. kraiklang. 2025. Development of dietart supplements protein form cricket. **Academic Journal of Community Public Health** 11(4): 50–62. [in Thai]

Zielinska, E. 2022. Evaluating the functional characteristics of certain insect flours (non-defatted/defatted flour) and their protein preparations. **Molecules** 27(19): 6339.

ความมั่นคงในการถือครองและการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืน
กรณีศึกษา การจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล
ภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ (คทช.) ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ
Land Tenure Security and Sustainable Land Use Case Study on the Policy of
Land Allocation for Communities by the National Land Policy Committee (NLPC)
in the National Reserved Forest Area

นวินตา ไ้วศิริชากร^{1,2} รัชณี โพธิ์แทน^{2,*} และวันชัย อรุณประภารัตน์²
Nawinta Ngawsirichakorn^{1,2}, Rachanee Pothitan^{2,*} and Wanchai Arunprapat²

¹สำนักงานคณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ กรุงเทพฯ 10400

²คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹Office of the National Land Policy Board, Bangkok, Thailand 10400

²Department of Forest Management, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand 10900

*Corresponding author: fforrcm@ku.ac.th

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0003-6270-1531>

Abstract

Received: January 10, 2026

Revised: March 25, 2026

Accepted: April 02, 2026

This research is a mixed-methods research study that collects data through documentary research, in-depth interviews with ten key informants, and surveys using structured interviews with a sample group of 343 individuals. Qualitative data were analyzed using content analysis, while quantitative data were processed using statistical software and interpreted through descriptive statistics. The study found that past government policies allocated land to individuals for private ownership. However, once the land was allocated, a significant number of recipients engaged in buying and selling, thereby leading to further encroachments in search of new agricultural land. As a response, the government revised its land allocation policy, particularly in national forest reserves, to implement a community-based land allocation model by the National Land Policy Committee (NLPC) in the form of joint ownership. Regarding perception of this system most respondents in the sample group were of the opinion that the joint ownership system provides relatively low security of tenure. This is because the right granted, are primarily rights of occupation certified for utilization, along with a personal booklet allowing land use for productive purposes. Nevertheless, there remains a lack of clarity regarding the long-term development framework. This uncertainty may affect ownership security, as it could lead to inheritance by heirs, together with the enforcement of clear regulations prohibiting sale or transfer to other parties. At the same time, these

regulations also define the conditions for land use, there by enabling communities to plan for the sustainable development of the area in the future.

Keywords: land allocation for communities, land tenure stability, National Land Policy Committee (NLPC)

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบผสม โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากการวิจัยเอกสาร การสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้ให้ข้อมูลหลักจำนวน 10 ราย การสำรวจด้วยแบบสัมภาษณ์จากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 343 ราย วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยวิธีการวิเคราะห์เนื้อหา และข้อมูลเชิงปริมาณวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ และอธิบายผลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ผลการศึกษาพบว่า นโยบายของรัฐในอดีตมีการจัดสรรที่ดินให้แก่ประชาชน โดยให้ถือครองแบบปัจเจกบุคคล เมื่อประชาชนได้รับการจัดที่ดินแล้วส่วนใหญ่มีการซื้อขายเปลี่ยนมือ ส่งผลให้มีการบุกรุกเพื่อหาที่ดินทำกินใหม่ รัฐจึงได้ปรับเปลี่ยนนโยบายการจัดที่ดินโดยเฉพาะในเขตป่าสงวนแห่งชาติ ด้วยการดำเนินงานจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน ภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ (คทช.) ในรูปแบบกรรมสิทธิ์ร่วมแบบแปลงรวม กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความเห็นว่า สิทธิในการถือครองแบบแปลงรวมในปัจจุบันมีความมั่นคงน้อย เนื่องจากเป็นสิทธิครอบครองโดยการรับรองทำประโยชน์ มีหนังสืออนุญาตให้เข้าทำประโยชน์และสมุดประจำตัว และสามารถเข้าทำประโยชน์ในที่ดินได้ แต่ไม่มีความชัดเจนที่จะต่อยอดพัฒนาไปสู่การวางแผนพัฒนาในอนาคต ปัจจัยที่ส่งผลต่อการถือครองมีความมั่นคงมากขึ้น เนื่องจากสามารถทบทวนทางมรดกได้ มีหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนห้ามขายหรือโอนให้ผู้อื่น โดยกำหนดเงื่อนไขการใช้ประโยชน์เพื่อให้สามารถวางแผนเพื่อพัฒนาพื้นที่ในอนาคตได้

คำสำคัญ: การจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน ความมั่นคงในการถือครอง คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ (คทช.)

บทนำ

“ที่ดิน” ที่ดินเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เป็นปัจจัยพื้นฐานการผลิตทั้งเพื่อการยังชีพและสร้างรายได้ ก่อให้เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ทั้งในภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และบริการ การเพิ่มขึ้นของประชากรจึงทำให้ความต้องการที่ดินเพื่อการผลิต โดยเฉพาะในภาคเกษตรกรรมมีแนวโน้มสูงขึ้น จากรายงาน United Nations (2024) พบว่าปัจจุบันมีประชากรโลกราว 8.2 พันล้านคน และคาดการณ์ว่าจำนวนประชากรโลกจะเพิ่มสูงขึ้นถึงหนึ่งหมื่นล้านคน ภายในปี พ.ศ. 2623 ความต้องการใช้ที่ดินเพื่อการผลิตอาหารและที่อยู่อาศัยจึงยังคงมีความสำคัญอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในกรณีประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมที่ต้องการที่ดินในการผลิต กลับพบปัญหาข้อจำกัดในการบริหารจัดการที่ดินและทรัพยากรดิน รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมใช้ที่ดินเพื่อยังชีพ แต่ในปัจจุบันใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อรองรับการผลิตรูปแบบต่าง ๆ เพื่อตอบรับกับรูปแบบการบริโภคที่หลากหลาย (Kuthin, 2021) รวมทั้งการพัฒนาระบบเศรษฐกิจแบบทุนนิยมทำให้ที่ดินและอสังหาริมทรัพย์มีส่วนทำให้เกิดความเหลื่อมล้ำด้านเศรษฐกิจสังคมของคนในประเทศเพิ่มมากขึ้น (Rattanawaraha, 2015)

รัฐบาลในอดีตได้มีนโยบายในการแก้ไขปัญหาการจัดที่ดินทำกิน และที่อยู่อาศัยของประชาชนในเขตป่ามาอย่างต่อเนื่อง โดยผู้วิจัยแบ่งเป็น 2 ช่วง ประกอบด้วย 1) ช่วงก่อนมีมติคณะรัฐมนตรี เมื่อ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 เช่น การจัดที่ดินนิคมสร้างตนเองและนิคมสหกรณ์ การจัดที่ดิน 13 นิคมสหกรณ์ 14 ป่าในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ การจัดที่ดินในเขตปฏิรูปที่ดิน นโยบายหมู่บ้านป่าไม้

หมู่บ้านสหกรณ์ สิทธิทำกิน (สหก.) โครงการจัดที่ดินทำกินให้กับราษฎรที่ยากไร้ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติเสื่อมโทรม (คจก.) และการรับรองสิทธิในการอยู่อาศัยหรือทำกินในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ 2) ช่วงหลังมีมติคณะรัฐมนตรี เมื่อ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 ประกอบด้วย การจัดที่ดินหมู่บ้านป่าไม้แผนใหม่ ดำเนินการในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ โฉนดชุมชน และธนาคารที่ดิน แต่พบว่าการใช้มาตรการดังกล่าว บางนโยบายยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร เกิดปัญหาในการจัดการที่ดินตามนโยบายการจัดที่ดินและการพัฒนาของรัฐ การใช้ที่ดินผิดประเภทหรือผิดวัตถุประสงค์ ปัญหาสิทธิในที่ดินทำกิน หรือการที่ภาครัฐได้นำพื้นที่ป่ามาจัดสรรให้แก่ประชาชนโดยไม่มีการบริหารจัดการ ทำให้สูญเสียสมดุลธรรมชาติ ขาดการพัฒนาสาธารณูปโภคควบคู่ ทำให้ประชาชนที่ได้รับที่ดินสร้างรายได้จากที่ดินได้ไม่เพียงพอ บางกรณีต้องขายที่ดินไป รวมถึงปัญหาการกระจายการถือครองที่ดิน ขนาดการถือครองที่ดิน การเช่าหรือซื้อขายเปลี่ยนมือ ต้นตอปัญหาดังกล่าวมาจากการสิทธิการถือครองที่ดิน การกำหนดเขตการใช้ประโยชน์ที่ดิน การบังคับใช้กฎหมาย การมีส่วนร่วมของประชาชน เกิดเป็นความขัดแย้งระหว่างภาคประชาชนและภาครัฐมาอย่างต่อเนื่อง (Kraiurawong *et al.*, 2006; Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2018)

รัฐบาลจึงมีแนวคิดในการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล ภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ (คทช.) โดยการให้กรรมสิทธิ์แบบแปลงรวม ตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขที่ คทช. กำหนด มีที่มาจากรัฐบาลในปี พ.ศ. 2557 มีการประกาศระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยคณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ พ.ศ. 2557 วัตถุประสงค์เพื่อให้การบริหารจัดการที่ดินและทรัพยากรดินของประเทศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แก้ไขปัญหาความเดือดร้อนของประชาชน และพัฒนาศักยภาพการใช้ประโยชน์ในที่ดินให้เกิดประโยชน์สูงสุด สมดุล เป็นธรรม และยั่งยืน ทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และความมั่นคงของประเทศ ต่อมามีการประกาศใช้พระราชบัญญัติคณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ พ.ศ.

2562 เมื่อวันที่ 14 เมษายน พ.ศ. 2562 เพื่อให้มีคณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ หรือ "คทช." เพื่อทำหน้าที่กำหนดนโยบายและแผนการบริหารจัดการที่ดินและทรัพยากรดินของประเทศ โดยมีนายกรัฐมนตรีเป็นประธานกรรมการ มีกลไกในการดำเนินงาน 11 คณะ โดยพื้นที่ที่มีความคับคั่งในการดำเนินงานมากที่สุด คือ พื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 3, 4 และ 5 ตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 (Office of the National Land Policy Board, 2023)

การให้กรรมสิทธิ์ในรูปแบบแปลงรวมยังเป็นข้อถกเถียงอยู่ในสังคม ว่ามีความเหมาะสมหรือจะนำไปสู่การแก้ปัญหาที่ดินทำกินในพื้นที่ป่าไม้ได้จริงหรือไม่ การมีกรรมสิทธิ์แบบแปลงรวมจะทำให้เกิดความมั่นคงในการถือครองที่ดิน ที่จะขับเคลื่อนไปสู่การใช้ที่ดินอย่างยั่งยืนได้มากน้อยเพียงใด เพราะความมั่นคงในการถือครองที่ดินเป็นประเด็นที่มีความสำคัญ และเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความยั่งยืนในการใช้ที่ดินในอนาคต ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals; SDGs) ของ UN ข้อที่ 1 การขจัดความยากจน (no poverty) ได้กำหนดตัวชี้วัดสำคัญในการขจัดความยากจน คือ ประชาชนต้องมีความมั่นคงในที่ดินทำกิน โดยที่ดินต้องได้รับการรับรองอย่างถูกต้องตามกฎหมาย (United Nations Statistics Division Development Data and Outreach Branch, 2019) จึงเป็นที่น่าสนใจว่า การจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล ภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ (คทช.) ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ สามารถนำไปสู่ความมั่นคงในการถือครองและการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืนได้หรือไม่อย่างไร

โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัย เพื่อวิเคราะห์นโยบายและแนวทางการดำเนินงานการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน และศึกษารูปแบบการถือครองและการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนในลักษณะแปลงรวม รวมถึงเพื่อศึกษาความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล ภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ (คทช.) ต่อความมั่นคงในการถือครองและการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืน

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบผสม (mixed method) ใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพ (qualitative) และข้อมูลเชิงปริมาณ (quantitative) โดยมีรายละเอียดดังนี้

การวิจัยเอกสาร (documentary research)

เก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทั้งข้อมูลปฐมภูมิ เช่น การสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้ให้ข้อมูลหลัก และการสัมภาษณ์ประชาชนที่ได้รับการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล และข้อมูลทุติยภูมิ เช่น คู่มือการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน งานวิจัย เอกสาร มติคณะรัฐมนตรี รายงานการประชุมที่เกี่ยวข้องกับการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน รวมถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการที่ดิน แล้วนำมาเสนอผลในเชิงวิเคราะห์

การสัมภาษณ์เชิงลึก (in-depth interview)

วิธีการสัมภาษณ์ที่ต้องการรายละเอียดในประเด็นเฉพาะ เช่น ที่มา รูปแบบ และปัญหาของการจัดที่ดินในรูปแบบต่าง ๆ ปัจจุบันที่มีผลกระทบต่อที่ดิน รูปแบบการถือครองที่ดินที่มีความมั่นคง เป็นต้น มีแนวคำถามเป็นกรอบในการสัมภาษณ์จากผู้ให้ข้อมูลหลัก (key informants) 2 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มที่ 1 ผู้ทรงคุณวุฒิภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ และผู้บริหารสำนักงานคณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ การสัมภาษณ์เชิงลึกนำไปสู่การจัดทำแนวทาง ข้อเสนอแนะการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน เพื่อสร้างความมั่นคงในการถือครองและใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืน จำนวน 6 ท่าน และกลุ่มที่ 2 ฝ่ายเลขานุการคณะกรรมการที่เกี่ยวข้องกับการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล จำนวน 4 คณะอนุกรรมการ ประกอบด้วย คณะอนุกรรมการการจัดหาที่ดิน คณะอนุกรรมการการจัดที่ดิน คณะอนุกรรมการส่งเสริมพัฒนาอาชีพและการตลาด และคณะอนุกรรมการ

นโยบายที่ดินจังหวัด ซึ่งเป็นผู้ทํานโยบายไปสู่การปฏิบัติ จำนวน 4 ท่าน

การสำรวจด้วยแบบสัมภาษณ์

1) การพัฒนาแบบสัมภาษณ์ นำข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึก และการตรวจเอกสารต่าง ๆ ทั้งแนวคิดและทฤษฎี มาพัฒนาเป็นข้อคำถาม เมื่อได้แบบสัมภาษณ์แล้วนำไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มประชากรที่ต้องการศึกษา ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ ป่าน้ำหนาว ตำบลโคกมน อำเภอป่าสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อทดสอบค่าความเที่ยง (reliability) ของเครื่องมือ โดยใช้สูตรการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha – Coefficient หรือ α – Coefficient) ตามวิธีของครอนบัค (Cronbach) จำนวน 32 ชุด จากการทดสอบเครื่องมือพบว่า ค่า Cronbach alfa มีค่าเท่ากับ 0.755 บ่งชี้ว่าเครื่องมือมีความน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้ในการวิจัยได้

2) ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาค้นคว้านี้ได้แก่ ครุฑเรือนที่ได้รับการจัดที่ดินทำกินตามนโยบายการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (multistage sampling) โดยกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างกระจายไปทุกภาค จากนั้นคัดเลือกจังหวัดที่จะทำการศึกษา แบบเจาะจง (purposive sampling) ภาคละ 1 จังหวัด รวม 4 จังหวัด โดยคัดเลือกจากพื้นที่นาร่องในการดำเนินการจัดที่ดินทำกิน คทช. ในแต่ละภาค ที่มีผลการดำเนินตั้งแต่ปีแรก (พ.ศ. 2558) จำนวน 4 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ป่าขุนแม่ทา อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่ป่าห้วยยอดม่น อำเภอสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี พื้นที่ป่าเขาพระฤๅษี และป่าเขบ่อแร่ แปลงที่ 1 อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี และพื้นที่ป่าบางเบาและป่าคลองเขียด อำเภอศรีวิชัย จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยมีประชากรที่ได้รับการจัดที่ดินทำกินในพื้นที่ป่าสงวน 4 พื้นที่ศึกษา จำนวนทั้งสิ้น 2,381 ราย การเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปสู่การเป็นตัวแทนของประชากร โดยใช้สูตรของ Yamane (Yamane, 1973)

กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 0.05 คำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ได้ 343 ราย และการสุ่มตัวอย่างโดยเลือกจำนวนตัวอย่าง ใช้การคำนวณตามสูตรการกระจายตามสัดส่วน (Jameekom, 1983) จากนั้นสำรวจด้วยแบบสัมภาษณ์ ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (simple random sampling) จากผู้ถือครองที่ดิน ที่ได้รับการจัดที่ดินตามโครงการในพื้นที่ศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ จากการสำรวจด้วยแบบสัมภาษณ์ และนำมาวิเคราะห์ ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ได้แก่ ความถี่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ นำข้อมูลจาก เอกสารทั้งข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ เก็บรวบรวม ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้ให้ข้อมูลหลัก และการสัมภาษณ์ประชาชนที่ได้รับการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน ตามนโยบายรัฐบาล รวมถึงข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการที่ดิน แล้วนำมาเสนอผลในเชิงวิเคราะห์

ผลการวิจัย

นโยบายและแนวทางการดำเนินงานการจัดที่ดินทำกิน ให้กับชุมชนในช่วงเวลาต่าง ๆ

ช่วงที่ 1: การบริหารจัดการที่ดินก่อนมีมติ คณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 (พ.ศ. 2475-2541)

การบริหารจัดการที่ดิน ด้านการอนุรักษ์ สงวน ค้ำครองป่า รัฐบาลมีความพยายามที่จะสงวนคุ้มครอง รักษาป่า เห็นได้จากที่รัฐบาลมีนโยบายในการกำหนด พื้นที่ป่าไม้ทั่วประเทศอย่างน้อย ร้อยละ 40 ของพื้นที่ ประเทศ เพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์ ร้อยละ 15 และเพื่อ เป็นป่าเศรษฐกิจ ร้อยละ 25 สอดคล้องกับนโยบายป่าไม้ แห่งชาติและกำหนดไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม แห่งชาติ ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2530-2534) ต่อมาในแผนพัฒนา

เศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2535-2539) จึงมีการเปลี่ยนตัวเลขเพื่อเป็นป่าอนุรักษ์ ร้อยละ 25 และ เพื่อเป็นป่าเศรษฐกิจ ร้อยละ 15 ตอรับกระแสอนุรักษ์ที่เพิ่ม มากขึ้น ซึ่งในความเป็นจริงการประกาศป่าอนุรักษ์ ร้อยละ 25 ดังกล่าว ได้รวมถึงพื้นที่ทำกินของประชาชนที่อยู่มาก่อน การประกาศเขตอนุรักษ์ การเปลี่ยนตัวเลขดังกล่าวยิ่งส่งผล ต่อการขยายเขตอนุรักษ์ มีการอพยพชาวบ้านมาไว้เขต กันชนรอบป่าอนุรักษ์ ทำให้เกิดปัญหาขัดแย้งระหว่าง หน่วยงานภาครัฐกับประชาชนในพื้นที่ป่าที่เป็นปัญหาอย่าง ต่อเนื่อง โดยมีการบริหารจัดการที่ดิน ด้านการจัดที่ดิน ให้กับประชาชนที่สำคัญ ดังนี้

1) นโยบายการจัดที่ดินนิคมสร้างตนเองและ นิคมสหกรณ์ ตามพระราชบัญญัติการจัดที่ดินเพื่อการ ครอบครอง พ.ศ. 2511 ที่ใช้ในปัจจุบัน มีเจตนารมณ์ให้กับ ประชาชนได้มีกรรมสิทธิ์ที่ดินเป็นของตนเอง โดยมีการ ควบคุมการจัดสรรที่ดิน ไม่เกิน 50 ไร่ต่อครอบครัว จำกัด ห้ามโอนภายใน 5 ปี นับแต่วันที่ได้รับโฉนดที่ดิน นอกจากนี้ ตกทอดทางมรดก โดยกรมพัฒนาสังคมและสวัสดิการ มีนิคมสร้างตนเอง จำนวนทั้งสิ้น 59 นิคม ในพื้นที่ 41 จังหวัด มีการประกาศสันสภาพนิคมสร้างตนเองในราชกิจจานุเบกษา แล้ว จำนวน 14 นิคม และกรมส่งเสริมสหกรณ์ จำนวนทั้งสิ้น 37 นิคม ในพื้นที่ 21 จังหวัด มีการประกาศสันสภาพนิคม สร้างตนเองในราชกิจจานุเบกษาแล้ว จำนวน 1 นิคม ในปัจจุบันนิคมส่วนใหญ่ยังไม่สามารถประกาศสันสภาพได้ ทำให้นโยบายการจัดที่ดินในรูปแบบนิคมจึงยังไม่ประสบ ผลสำเร็จจนถึงปัจจุบัน ปัจจัยประการหนึ่งมาจากการซื้อ ขาย เปลี่ยนมือของประชาชนที่ได้รับการจัดที่ดิน เช่น ที่ดิน ที่ได้รับไม่สามารถทำการเกษตรได้ พื้นที่ห่างไกลความเจริญ การไม่มีทุนในการประกอบอาชีพ การย้ายถิ่นฐาน เป็นต้น

2) นโยบายการจัดที่ดินในเขตป่าและการจัด ที่ดิน 13 นิคมสหกรณ์ 14 ป่าสงวนแห่งชาติ การ ดำเนินงานตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 16 ธันวาคม 2513 และมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 13 สิงหาคม พ.ศ. 2517 ให้ราษฎรในเขตพื้นที่ป่าไม้ที่ถือครองมาก่อนให้เช่าอาศัย จากกรมป่าไม้ และให้กรมส่งเสริมสหกรณ์เข้าช่วยเหลือ

โดยราษฎรมีสิทธิอยู่อาศัยและทำกินตลอดไปแต่ไม่ทำกรรมสิทธิ์ในที่ดินเพื่อมิให้ตกเป็นของนายทุน คราวละ 30 ปี นโยบายในช่วงนี้เพื่อแก้ไขปัญหาประชาชนอาศัยในเขตป่าคล้ายกับการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล ในปัจจุบันมีการจัดที่ดิน โดยการเข้าไปพัฒนาสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐาน รวมถึงการส่งเสริมอาชีพ แต่ยังคงขาดการสร้างความรู้ความเข้าใจให้ประชาชนได้รับรู้สิทธิ หรือผลประโยชน์ที่ตนเองพึงได้จากการได้รับการจัดที่ดินดังกล่าว ส่งผลให้มีความเข้าใจคลาดเคลื่อน รัฐบาลต้องเร่งหาแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าว พร้อมทั้งถอดบทเรียนเพื่อนำมาปรับปรุงนโยบายในปัจจุบัน

3) การจัดที่ดินในเขตปฏิรูปที่ดิน ตามพระราชบัญญัติการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม พ.ศ. 2518 โดยเป็นการจัดที่ดินให้เกษตรกรเข้าทำประโยชน์ในเขตปฏิรูปที่ดินเพื่อการเกษตรกรรม การอยู่อาศัย หรือการอื่นที่เป็นการสนับสนุนหรือเกี่ยวเนื่องกับการปฏิรูปที่ดิน จำนวนที่ดินไม่เกิน 50 ไร่ต่อครอบครัว และจะจัดทำหนังสืออนุญาตให้เข้าทำประโยชน์ในเขตปฏิรูปที่ดินเพื่อการเกษตรกรรม (ส.ป.ก. 4-01) หรือเพื่ออยู่อาศัย (ส.ป.ก. 4-01 ข) ให้เกษตรกร นโยบายการจัดที่ดินในเขตปฏิรูปนี้มุ่งให้ประชาชนมีที่ดินทำการเกษตร แต่ปัญหาที่พบคือ บิดามารดาที่ส่งบุตรหลานจบการศึกษาสูงแต่ไม่เต็มใจทำเกษตร ส่งผลให้ที่ดินดังกล่าวไม่สามารถตกทอดถึงบุตรหลานได้ เมื่อบิดามารดาชราภาพไม่สามารถทำการเกษตรได้ จึงเกิดการซื้อขายเปลี่ยนมือให้กับบุคคลอื่น ที่ดินไปอยู่ในมือของนักลงทุนจำนวนมาก ไม่สามารถระบุผู้ถือครองได้ รัฐบาลจึงได้หาแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงนำมาสู่การจัดทำโฉนดเพื่อการเกษตรในปัจจุบัน

5) นโยบายหมู่บ้านป่าไม้ โครงการหมู่บ้านป่าไม้ มติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2518 อนุญาตให้ราษฎรที่บุกรุกอยู่ในป่าสงวนแห่งชาติอยู่ทำกินต่อไปได้ มิให้มีการจับกุม และมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2518 คณะรัฐมนตรีเห็นชอบให้จัดที่ดินให้ราษฎรได้อยู่อาศัยในรูปหมู่บ้านป่าไม้ในเขตป่าสงวน

ที่เสื่อมโทรมแล้ว โดยรัฐได้จัดที่ดินให้ครอบครัวละไม่เกิน 15 ไร่ ซึ่งกำหนดระยะเวลาปฏิบัติงานไว้ 5 ปี (พ.ศ. 2528–2532) ในระยะที่ผ่านมาโครงการประสบผลสำเร็จดีมาก ในด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้และการปลูกสร้างสวนป่า ต่อมาขาดการสนับสนุนงบประมาณทำให้ไม่มีการดำเนินการที่ต่อเนื่อง

6) นโยบายหมู่บ้านสหกรณ์ หมู่บ้านสหกรณ์ เป็นโครงการตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร ทรงมีพระราชประสงค์เพื่อให้ราษฎรได้มีที่ดินทำกินในรูปแบบหมู่บ้านสหกรณ์ และกรรมสิทธิ์ในที่ดินเป็นของสหกรณ์หมู่บ้าน เริ่มดำเนินการ ปี พ.ศ. 2518 มีหลายหน่วยงานเข้าไปดำเนินการส่งเสริมพัฒนาอาชีพ และพัฒนาสาธารณูปโภคอย่างต่อเนื่อง แต่ประชาชนที่อาศัยอยู่ไม่ได้รับการอนุญาตให้ใช้ประโยชน์ในที่ดินรัฐดังกล่าว ส่งผลให้ปัจจุบันประชาชนไม่สามารถได้สิทธิการถือครองหรือการใช้ประโยชน์ หน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องต้องเร่งช่วยเหลือให้ประชาชนได้รับสิทธิการอยู่อาศัยและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

7) สิทธิทำกิน (สทก.) เพื่อช่วยเหลือประชาชนให้สามารถเข้าใช้ประโยชน์ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ และออกเป็นหนังสืออนุญาตให้เข้าทำประโยชน์และอยู่อาศัยภายในเขตปรับปรุงป่าสงวนแห่งชาติ (แบบ สทก.) ครอบครองไม่เกิน 20 ไร่ (Royal Forest Department, 2015) ในระยะต่อมา มีนโยบายนำที่ดิน สทก. ไปให้สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม นำไปเป็นเขตปฏิรูปที่ดินและจัดสรรให้ประชาชน และปัจจุบันกรมป่าไม้ได้เสนอพื้นที่ที่ได้รับ สทก. ดังกล่าว เข้าเป็นพื้นที่เป้าหมายการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน ตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2558

8) นโยบายการจัดที่ดินโครงการจัดที่ดินทำกินให้เกษตรกรที่ยากไร้ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติเสื่อมโทรม (คจก.) รัฐบาลบริหารจัดการทรัพยากรป่าไม้ดำเนินการอยู่ในหน้าที่และอำนาจของพนักงานเจ้าหน้าที่ ตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2534

เป็นการจัดที่ดินโดยใช้มาตรา 19 แห่งพระราชบัญญัติ ป่าสงวนแห่งชาติ พ.ศ. 2507 ซึ่งภายหลังมีการยกเลิก โครงการดังกล่าว ตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2535 (Rungruangtantisuk, 2020)

9) การรับรองสิทธิในการอยู่อาศัยหรือทำกิน ในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ ตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2540 เรื่องมาตรการและแนวทางการแก้ไขปัญหาที่ดินทำกินและการบุกรุกพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ และอุทยานแห่งชาติในภาพรวมทั้งประเทศ รวมถึงมติ คณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 17 และ 29 เมษายน พ.ศ. 2540 ที่เห็นชอบเจรจาแนวทางการแก้ไขปัญหากลุ่มป่าไม้-ที่ดิน กรณีป่าอนุรักษ์ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ ภาคตะวันออก

ช่วงที่ 2: การบริหารจัดการที่ดินช่วงมีมติ คณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 ถึงก่อน ช่วงมีมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 (พ.ศ. 2541-2561)

จากการดำเนินการช่วงที่ 1 การบริหารจัดการ ที่ดินก่อนมีมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 (พ.ศ. 2475-2541) เป็นสาเหตุให้มีการบุกรุก ทำลายป่าและเผาป่าเพิ่มขึ้น กล่าวคือ มติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2540 ไม่ได้กำหนดหลักเกณฑ์ การพิสูจน์สิทธิให้ชัดเจน มีปัญหาการตีความเกิดช่องว่าง การบุกรุกทำลายป่าเพิ่มมากขึ้น มติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 17 เมษายน พ.ศ. 2540 ขาดความชัดเจนเรื่อง รูปแบบเอกสารสิทธิที่มั่นคง และมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2540 กรณีปัญหาในภาคเหนือ หลักเกณฑ์การพิสูจน์สิทธิไม่สมบูรณ์ กรณีภาค ตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออก ที่กำหนดให้เพิก ถอนแนวเขตป่าอนุรักษ์ตามกฎหมาย และป่าอนุรักษ์ตาม มติคณะรัฐมนตรี (พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 1 และ 2) แล้วออก เอกสาร ส.ป.ก. 4-01 ขัดกับมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2540 จึงมีการยกเลิกมติดังกล่าวในปี พ.ศ. 2541 และปรับปรุงเป็นมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 นำมาสู่การบริหารจัดการที่ดิน

ด้านการอนุรักษ์ สงวน ค้ำครองป่า เช่น กรมอุทยาน แห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช ยืนยันนโยบายของรัฐไม่นำ พื้นที่ป่าอนุรักษ์ไปดำเนินการตามกฎหมายพื้นที่เขตปฏิรูป ที่ดิน และเริ่มสำรวจพื้นที่ที่มีการครอบครองชัดเจน และขึ้นทะเบียน เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการอนุรักษ์ และพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยมีการบริหารจัดการที่ดินด้าน การจัดที่ดินให้กับประชาชน โดยมีนโยบายและ แนวทางการดำเนินงานที่สำคัญ ได้แก่

1) หมู่บ้านป่าไม้แผนใหม่ดำเนินการในพื้นที่ป่า อนุรักษ์ ได้แก่ พื้นที่อุทยานแห่งชาติ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ ป่า และพื้นที่อนุรักษ์ตามมติคณะรัฐมนตรี มีวัตถุประสงค์ เพื่อบริหารจัดการป่าไม้ตามแนวพระราชดำริ หยุดยั้งการ บุกรุกทำลายและฟื้นฟูทรัพยากรป่าไม้ มีกลไกเป็น คณะกรรมการอำนวยการโครงการหมู่บ้านแผนใหม่ โดยมี ประชาชน หน่วยงานภาครัฐและเอกชน ในรูปพหุภาคี เพื่อให้เกิดการบูรณาการการทำงานร่วมกัน การดำเนิน โครงการดังกล่าวไม่คืบหน้ามากนักเพราะในระยะต่อมา ไม่ได้รับการสนับสนุนงบประมาณ

2) โฉนดชุมชน เป็นรูปแบบกรรมสิทธิ์ร่วม ซึ่งการ ดำเนินงานจัดระบบการกระจายการถือครองที่ดิน และ เงื่อนไขการใช้ประโยชน์บนพื้นฐานความสมดุลและยั่งยืน ของสิ่งแวดล้อม แสดงให้เห็นว่าชุมชนท้องถิ่นสามารถ จัดการตนเองได้ รวมถึงมีเงื่อนไขไม่ให้เกิดกรขายที่ดิน หรือสูญเสียที่ดิน เนื่องจากที่ดินในโฉนดชุมชนนั้นไม่อาจ ซื้อขายได้ยกเว้นแต่ซื้อขายแก่สมาชิกชุมชนเท่านั้น (Samranjit, 2013) กระบวนการโดยหน่วยงานเจ้าของ ที่ดินพิจารณาอนุญาตตามกฎหมายหน่วยงาน ก่อนครบ กำหนดระยะเวลาที่หน่วยงานเจ้าของที่ดินอนุญาตอย่าง น้อย 90 วัน ให้ชุมชนยื่นขอดำเนินงานโฉนดชุมชนต่อ สำนักงานโฉนดชุมชน ผลการดำเนินงานโฉนดชุมชน ในปี พ.ศ. 2553-2561 มีชุมชนที่ประสงค์จะดำเนินงานโฉนด ชุมชน ยื่นคำขอต่อสำนักงานโฉนดชุมชน จำนวน 486 ชุมชน มีชุมชนได้ใช้ประโยชน์ในที่ดินของรัฐเพื่อ ดำเนินงานโฉนดชุมชน 4 ชุมชน ประกอบด้วย ชุมชน คลองโยง ชุมชนแม่่อาว ชุมชนใหม่ป่าฝาง และชุมชน

พระธาตุขิงแกง จากผลการดำเนินงานที่สามารถอนุญาตให้ชุมชนได้ใช้ประโยชน์ในที่ดินของรัฐเพื่อดำเนินงานโหนดชุมชน ได้เพียง 4 ชุมชน แสดงให้เห็นว่า หากมีนโยบายการจัดที่ดินในที่ดินของรัฐควรต้องมีการศึกษาการจัดทำนโยบายให้ครบถ้วนทุกด้าน มีการรับฟังความคิดเห็นในการจัดทำนโยบายโหนดชุมชนจากหน่วยงานภาครัฐ ภาคประชาชนและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้อง รับฟังข้อสังเกต และประสานความร่วมมือกับหน่วยงานเจ้าของพื้นที่อย่างใกล้ชิด รวมถึงคณะกรรมการประสานงานเพื่อจัดให้มีโหนดชุมชน และสำนักงานโหนดชุมชนต้องเป็นกลไกการดำเนินงานในการขับเคลื่อนการดำเนินงานโหนดชุมชนอย่างต่อเนื่อง

3) ธนาคารที่ดิน ในปี พ.ศ. 2554 มีการจัดตั้งสถาบันบริหารจัดการธนาคารที่ดิน (องค์การมหาชน) พ.ศ. 2554 เพื่อทำหน้าที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลที่ดินที่ไม่ใช้ประโยชน์ และจัดซื้อที่ดินจากเอกชน เพื่อนำมาจัดให้เกษตรกร ผู้ยากจน หรือประสงค์จะใช้ประโยชน์ในที่ดินได้เช่า เช่าซื้อ หรือเข้าทำประโยชน์ และสนับสนุนทางการเงินแก่การปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม สามารถดำเนินการช่วยเหลือเกษตรกรและผู้ยากจนแล้ว 12 พื้นที่ รวมเนื้อที่ 1,234-2-17.7 ไร่ จำนวน 453 ครอบครัว (Land Bank Management Institute (Public Organization), 2023)

4) การจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล (คทช.) ตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2558 อนุมัติหลักการการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาลในลักษณะแปลงรวมโดยมีให้กรรมสิทธิ์ แต่อนุญาตให้เข้าทำประโยชน์ในที่ดินของรัฐเป็นกลุ่มหรือชุมชนตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขที่ คทช. กำหนด ในรูปแบบสหกรณ์หรือรูปแบบอื่นที่เหมาะสม มีพื้นที่เป้าหมายตามประเภทที่ดินที่นำมาจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน จำนวน 9 ประเภท ประกอบด้วย ป่าสงวนแห่งชาติ ป่าชายเลน ที่ดินในเขตปฏิรูปที่ดิน ที่ดินสาธารณประโยชน์ ที่ราชพัสดุ ที่ดินสงวนเพื่อกิจการนิคมในนิคมสร้างตนเอง ที่ป่าไม้ถาวร ที่ป่าไม้ตามพระราชบัญญัติป่าไม้ พ.ศ. 2484 และพื้นที่นิคมสหกรณ์ (13 นิคม 14 ป่าสงวนแห่งชาติ) ลักษณะที่ดินของ

รัฐที่มีความเหมาะสมและมีศักยภาพในการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน จำแนกเป็น 2 ลักษณะ คือ การจัดระเบียบการใช้ประโยชน์ที่ดินของรัฐที่มีราษฎรครอบครอง และการจัดระบบการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ว่างเปล่าไม่มีผู้ครอบครอง และมีศักยภาพในการจัดที่ดิน หรือการแก้ไขปัญหาที่ดินในจังหวัด

ช่วงที่ 3: การบริหารจัดการที่ดินช่วงหลังมีมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 ถึงปัจจุบัน (พ.ศ. 2561-ปัจจุบัน)

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเห็นชอบตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 พื้นที่เป้าหมายและกรอบมาตรการแก้ไขปัญหาการอยู่อาศัยและทำกินในพื้นที่ป่าไม้ (ทุกประเภท) โดยจำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม หรือเรียกว่า รถไฟ 5 ขบวน ดังนี้

ขบวนที่ 1 หรือกลุ่มที่ 1 ชุมชนในเขตป่าสงวนแห่งชาติที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ชั้นที่ 3, 4 และ 5 ก่อนมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 หรือเรียกได้ว่าเป็นการดำเนินงานตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2558

ขบวนที่ 2 หรือกลุ่มที่ 2 ชุมชนในเขตป่าสงวนแห่งชาติที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ชั้นที่ 3, 4 และ 5 หลังมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 และต้องปฏิบัติตามคำสั่ง คสช. ที่ 66/2557 ลงวันที่ 17 มิถุนายน 2557 ดำเนินการตามกรอบมาตรการแก้ไขปัญหาโดยการอนุญาตให้อยู่อาศัยและทำกินแบบแปลงรวมโดยออกแบบการใช้พื้นที่ร่วมกันระหว่างชุมชนและหน่วยงานรัฐ

ขบวนที่ 3 หรือกลุ่มที่ 3 กรณีชุมชนในเขตป่าสงวนแห่งชาติที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ชั้นที่ 1, 2 ก่อนมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 ดำเนินการตามกรอบมาตรการแก้ไขปัญหา โดยการจัดระเบียบการใช้ที่ดินทำกินและรับรองการอยู่อาศัยทำกินในลักษณะแปลงรวม กำกับควบคุมจัดการการใช้ที่ดินและป่าไม้ภายใต้การอนุรักษ์และพัฒนาอย่างยั่งยืน และกรณีชุมชนในเขตป่าสงวนแห่งชาติที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ชั้นที่ 1, 2 หลัง

มติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 และต้องปฏิบัติตามคำสั่ง คสช. ที่ 66/2557 ลงวันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ดำเนินการตามกรอบมาตรการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการวางแผนร่วมกับราษฎรและกรรมการหมู่บ้านประชาคมโดยกรมป่าไม้ได้อนุมัติตามมาตรา 19 แห่งพระราชบัญญัติป่าสงวนแห่งชาติ พ.ศ. 2507

ขบวนการที่ 4 หรือกลุ่มที่ 4 ชุมชนในเขตป่าอนุรักษ์ก่อนและหลังมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 อยู่ในความรับผิดชอบของกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช ดำเนินงานรังวัดและจัดทำเครื่องหมายแนวเขตบริหารพื้นที่การอนุรักษ์

ขบวนการที่ 5 หรือกลุ่มที่ 5 ชุมชนในเขตป่าชายเลนพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่เมืองและสิ่งก่อสร้างถาวร ดำเนินการตามกรอบมาตรการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยกรมทรัพยากรธรรมชาติและชายฝั่งจะดำเนินการอนุญาตตามแผนบริหารจัดการพื้นที่และหลักเกณฑ์ที่ผ่านความเห็นชอบของคณะอนุกรรมการบูรณาการด้านการบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนและป่าชายหาด และคณะกรรมการนโยบายและแผนบริหารจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งแห่งชาติ

การวิเคราะห์ภาพรวมการจัดที่ดิน

ภาพรวมด้านการจัดที่ดินให้กับประชาชน ในปัจจุบันมีการเร่งรัดการสำรวจแนวเขตป่าสงวนแห่งชาติ อุทยานแห่งชาติ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า เขตห้ามล่าสัตว์ป่า เพื่อแก้ไขปัญหาที่ดินทำกิน โดยตรวจสอบเพื่อรับรองสิทธิทำกิน และส่งเสริมการปลูกป่าในรูปแบบป่าไม้ชุมชน รวมถึงเร่งรัดให้กรมที่ดินจัดทำโครงการบริหารจัดการการใช้ประโยชน์ที่ดินสาธารณะประโยชน์ที่มีการบุกรุกเพื่อจัดความยากจนและพัฒนาชนบท ซึ่งเป็นโครงการการจัดที่ดินในพื้นที่สาธารณะประโยชน์ เพื่อจัดที่ดินให้ประชาชนและป้องกันการบุกรุกขยายพื้นที่เพิ่มเติม เร่งขับเคลื่อนการแก้ไขการบุกรุกในที่ดินของรัฐอื่น ๆ เช่น ที่ราชพัสดุ ที่สงวนหวงห้ามเพื่อกิจการนิคมสร้างนิคม ป่าชายเลน ป่าไม้ถาวรที่ดินในเขตปฏิรูป เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับการกำหนดให้มีการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาลในปี พ.ศ. 2558

เร่งอนุญาตให้ประชาชนสามารถอยู่อาศัยและทำกินในพื้นที่ได้ตามกฎหมาย ประชาชนสามารถอยู่กับป่าได้ ประชาชนสามารถอยู่อาศัยในที่ดินของรัฐได้ เข้าถึงสวัสดิการของรัฐ และมีการพัฒนาคุณภาพชีวิตที่ดีต่อไป

การจัดที่ดินทำกินตามนโยบายรัฐบาล ภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ (คทช.)

1) นโยบายการจัดที่ดินทำกินตามนโยบายรัฐบาล การจัดที่ดินทำกินตามนโยบายรัฐบาล ภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ (คทช.) มีการนำที่ดินของรัฐดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่ดินใน 2 ลักษณะประกอบด้วย การจัดที่ดินที่มีราษฎรครอบครอง และการนำพื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีผู้ครอบครองและศักยภาพนำมาจัดที่ดินดำเนินการใน 9 ประเภทที่ดิน ป่าสงวนแห่งชาติ ป่าชายเลนที่ดินในเขตปฏิรูปที่ดิน ที่ดินสาธารณประโยชน์ ที่ราชพัสดุที่ดินสงวนหวงห้ามเพื่อกิจการนิคม ในนิคมสร้างตนเอง ป่าตามพระราชบัญญัติป่าไม้ พุทธศักราช 2484 ป่าไม้ถาวรและที่ดินนิคมสหกรณ์ โดยหลักเกณฑ์คุณสมบัติเป็นไปตามที่คทช. กำหนด ผลดำเนินงานการจัดที่ดินทำกินตามนโยบายรัฐบาล ภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ (คทช.) ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2558-2567 จากผลการดำเนินงานตามมติการประชุมคณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ ครั้งที่ 3/2567 มีพื้นที่เป้าหมาย จำนวนทั้งสิ้น 1,594 พื้นที่ 73 จังหวัด เนื้อที่ประมาณ 5,924,671-2-92.65 ไร่ ออกหนังสืออนุญาตแล้ว 621 พื้นที่ 2,741,932-1-1.79 ไร่ ดำเนินการจัดคนเข้าทำประโยชน์ในที่ดินแล้ว 91,974 ราย และมีการส่งเสริมและพัฒนาอาชีพแล้วใน 357 พื้นที่

2) รูปแบบการถือครองและการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนในลักษณะแปลงรวมในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ การดำเนินงานจัดที่ดินนำเอาพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติที่ได้รับการสำรวจรังวัดแปลงที่ดินตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 เรื่อง การแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่ดินในพื้นที่ป่าไม้ในบริเวณที่มีราษฎรอยู่อาศัยทำกินในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ 3, 4, 5 จำนวนประมาณ 3.9 ล้านไร่ มาดำเนินการอนุญาตให้ถูกต้องตามกฎหมาย ใช้กลไกชุด

ปฏิบัติการ คทช. อำเภอ ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ ตามคำสั่งคณะกรรมการจัดที่ดิน ที่ 2/2561 เมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เรื่องแต่งตั้ง “ชุดปฏิบัติการ คทช. อำเภอ ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ”

รูปแบบการจัดที่ดิน มีการจัดระเบียบการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ มีการจัดที่ดินให้แก่ผู้ทำประโยชน์หรืออยู่อาศัยในพื้นที่ตามการครอบครองอยู่จริง แต่ไม่เกิน 20 ไร่ ตามเกณฑ์การตรวจสอบข้อมูลการถือครองและแนวทางการจัดที่ดินที่ คทช. เห็นชอบ และการจัดระบบการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ เป็นการนำที่ดินป่าสงวนแห่งชาติที่ไม่มีผู้ครอบครองมาจัดระบบการใช้ประโยชน์ให้แก่ผู้ยากไร้ไม่มีที่ดินทำกิน หรือมีแต่ไม่พอเลี้ยงชีพ โดยจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนในรูปแบบแปลงรวมให้ใช้ประโยชน์ร่วมกัน การจัดที่ดินดังกล่าวนี้ให้ผู้ที่ถูกผลักดันและอพยพออกจากพื้นที่สงวนหวงห้ามของรัฐ และผู้ที่ได้รับผลกระทบจากการดำเนินการตามโครงการของทางราชการที่สูญเสียที่ดินทำกินเป็นลำดับแรก และผู้ไม่มีที่ดินทำกินหรือมีเพียงเล็กน้อย ไม่เพียงพอต่อการครองชีพ ที่มีถิ่นที่อยู่ในท้องที่ที่จะจัดที่ดินทำกิน และจัดที่ดินให้แก่ราษฎรที่มีคุณสมบัติและเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่ คทช. เห็นชอบ

ความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน

1) ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่และกลุ่มตัวอย่าง พื้นที่ศึกษา ได้แก่ พื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติป่าบางเบาและป่าคลองเขียด อำเภอศรีรัตนนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี พื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติป่าเขาพระฤๅษีและป่าเขาบ่อแร่ แปลงที่ 1 อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี พื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติป่าห้วยยอดมน อำเภอสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี และพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติป่าขุนแม่ทา อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ ดำเนินการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 343 ราย ที่อยู่อาศัยและทำกินในพื้นที่การจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาลในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย จำนวน 305 ราย

คิดเป็นร้อยละ 88.92 เป็นเพศหญิง จำนวน 38 ราย คิดเป็นร้อยละ 11.08 ส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 51–60 ปี คิดเป็นร้อยละ 57.44 สถานภาพในครัวเรือน พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ ร้อยละ 95.50 เป็นหัวหน้าครัวเรือน ลักษณะของครัวเรือนส่วนใหญ่ ร้อยละ 88.63 เป็นครอบครัวเดี่ยว โดยส่วนใหญ่มีสมาชิกที่สามารถเป็นแรงงานในภาคเกษตรในแปลงที่ดิน คทช.ได้ เฉลี่ย 2 คน คิดเป็นร้อยละ 54.23 การอพยพย้ายถิ่น พบว่า ส่วนใหญ่ ร้อยละ 93.59 เป็นคนดั้งเดิมในหมู่บ้าน และร้อยละ 6.41 เป็นผู้ที่ย้ายมาจากถิ่นฐานอื่นเพื่อมาแต่งงานกับคนในหมู่บ้าน เป็นผู้ที่มาจากอำเภอและจังหวัดใกล้เคียง การประกอบอาชีพ พบว่ากลุ่มตัวอย่างทั้งหมด ประกอบอาชีพเกษตรกรรม เนื่องจากประชาชนที่ได้รับการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน เป็นประชาชนที่อยู่อาศัยและทำกินในพื้นที่ที่ได้รับการจัดที่ดินอยู่ก่อนแล้ว รวมถึงรายได้ของครัวเรือนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมาจากอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก

2) ข้อมูลการถือครองที่ดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน การถือครองที่ดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่ากลุ่มตัวอย่างถือครองที่ดิน คทช. ที่ได้รับมาจากบรรพบุรุษ เจ้าของแปลงทำกินด้วยตนเองทั้งหมด โดยกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ร้อยละ 40.82 ถือครองที่ดิน คทช. ขนาด 16–20 ไร่ การใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่ปลูกยางพาราและปลูกข้าว โดยกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ยังไม่มีแผนเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

3) การประเมินมั่นคงในการถือครองและการใช้ประโยชน์ที่ดิน คทช. อย่างยั่งยืน การประเมินความมั่นคงในการถือครองและการใช้ประโยชน์ที่ดิน คทช. อย่างยั่งยืน มีความมั่นคง โดยประเด็นด้านสิทธิในการถือครองพบว่าสิทธิในการถือครองเป็นสิทธิครอบครองโดยออกหนังสืออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ มีเอกสารแสดงสิทธิในการถือครอง เป็นหนังสืออนุญาตให้เข้าทำประโยชน์และสมุดประจำตัว สามารถเข้าทำประโยชน์ได้ และสามารถวางแผนเพื่อพัฒนาพื้นที่ในอนาคตได้ ส่งผลให้การประเมินความมั่นคงในการถือครอง จึงมีคะแนนความมั่นคงน้อย ส่วนประเด็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการถือครอง พบว่าการจัดที่ดิน

แปลงรวม คทช. สามารถตกทอดเป็นมรดก ทำให้ไม่มีโอกาสเป็นไปได้ในการขายโอนให้บุคคลอื่น และนำไปสู่การเข้าถึงสวัสดิการของรัฐ มีการส่งเสริมอาชีพและพัฒนาสาธารณูปโภคในพื้นที่ได้ รวมถึงสามารถวางแผนการพัฒนาต่อไปในอนาคตได้ จึงมีความมั่นคงมาก รายละเอียดตาม Table 1

4) ความคิดเห็นเพิ่มเติมของกลุ่มตัวอย่างที่มีผลต่อความมั่นคงในการถือครองและการใช้ประโยชน์ที่ดิน คทช. ความคิดเห็นต่อความมั่นคงในการถือครองและการใช้ประโยชน์ที่ดิน คทช. มีความมั่นคงมาก จากความคิดเห็นพบว่า 1) ด้านผลิตภาพ การรักษาหรือเพิ่มความสามารถในการผลิต (productivity) มีความมั่นคง

ปานกลาง ค่าเฉลี่ย 66.13 คะแนน 2) ด้านความเสี่ยงการลดระดับความเสี่ยงในการผลิต (security) มีความมั่นคงมาก ค่าเฉลี่ย 94.62 คะแนน 3) ด้านการป้องกันการรักษาศักยภาพของทรัพยากรธรรมชาติและการป้องกันการเสื่อมโทรมของคุณภาพดินและน้ำ (protection) มีความมั่นคงมาก ค่าเฉลี่ย 98.79 คะแนน 4) ด้านคุณค่า ความสามารถในการเชิงเศรษฐกิจ (viability) มีความมั่นคงมาก ค่าเฉลี่ย 81.50 คะแนน และ 5) ด้านการยอมรับของสังคม ไม่เกิดผลกระทบต่อสังคม (acceptability) มีความมั่นคงมาก ค่าเฉลี่ย 99.65 คะแนน รายละเอียดตาม Table 2

Table 1 Land tenure security and sustainable land use

Criteria	The levels of land tenure security and sustainable land use				Remark
	Unsecurity	Low security	Moderate security	High security	
1. Land tenure					
1.1 Form of land tenure		✓			
	Rental	Occupancy rights granted through a permit for land utilization	Occupancy rights granted by the state for land utilization	Land ownership according to the land code	Holding a land in the National Reserved Forest areas is not led to the issuance of land ownership according to the land code.
1.2 Certificate of land tenure		✓			
	Land lease agreement	Permission for land utilization and identification booklet	Notification of land ownership (Sor Kor 1)	Nor Sor 3 Nor Sor 3 Gor Title deed	Holding a land in the National Reserved Forest areas is permitted only for the utilization granted by the state. Occupants are granted only a permit to use the land and an identification booklet.

Table 1 (Continued)

Criteria	The levels of land tenure security and sustainable land use				Remark
	Unsecurity	Low security	Moderate security	High security	
1.3 Right of inheritance	Unable to be transferred to descendants through inheritance			✓ Able to be transferred to descendants through inheritance	Land allocation under the collective land management scheme (Kor Thor Chor) can be inherited.
1.4 Rights to buy, sell, and transfer ownership to others	During 1 to 3 years, the plans are provided to transfer land to others.	There is relatively high likelihood of being sold or transferred to others.	There is a possibility that the land may be sold or transferred to others, if necessary, in the future.	✓ There is no possibility of selling or transferring to others.	Sale and transfer to others are prohibited under the permit conditions.
2. Forms of rights and utilization					
2.1 Rights of land utilization	Able to utilize a land	Land utilization is permitted, but prior approval from the Royal Forest Department is required on a case-by-case basis.	Able to utilize a land	✓ Able to utilize a land and plan to develop the area for the future	Beneficiaries of land allocated under Kor Thor Chor program are permitted to utilize the land and can plan to develop of the area for the future.
2.2 Right to access the state welfare services and development of public utilities and infrastructure	Able to access state welfare and public infrastructure development	Able to access to the state welfare and livelihood promotion, but no public infrastructure development yet	Able to access to the state welfare, receive livelihood promotion, and enable public infrastructure development in the area as required	✓ Able to access the state welfare, receive livelihood promotion, enable public infrastructure development in the area, and plan for further development in the future	Livelihood promotion and public infrastructure development in the area lead to planning for further area development in the future.

Table 2 The opinions of the sample group that affect of land tenure security and sustainable land use

Factor	Particulars	Average score	Security level in ownership
1. Productivity			
1.1 Land potential	The lands have moderate fertility and can produce yields only in certain seasons, resulting in some seasonal income. Based on interviews with the sample groups, areas in Kanchanaburi and Ubon Ratchathani provinces have low land suitability for agriculture, leading to low productivity, while Surat Thani and Chiang Mai provinces have high land potential suitable for agricultural activities, leading to high-quality yields.	66.13	Moderate
1.2 Access to irrigation systems	Irrigation systems and sources of water for domestic use are limited and can be used for agriculture and daily activities, but they are insufficient. Opinions across all areas are generally consistent.		
2. Risk security			
2.1 Risk of natural disasters	In Surat Thani and Kanchanaburi provinces, communities are affected by natural disasters and climate conditions, including forest fires and seasonal flash floods, which impact agricultural production and livelihoods. The effects are mainly caused floods and forest fires during rainy seasons. Anyhow, Ubon Ratchathani and Chiang Mai are subject to minimal effects, including sporadic flash flooding (passing through the region) and seasonal forest fires.	94.62	High
2.2 Risk of diseases, insects, and pests	For Surat Thani, Ubon Ratchathani, and Chiang Mai, there are no notable effects from crop diseases, insects, or pests on agricultural output, and producers are capable of managing these challenges efficiently. In contrast, Kanchanaburi province experiences substantial problems with crop diseases and pest infestations, including widespread plant diseases and a high number of insect pests.		
2.3 Risk management for natural disasters, diseases, and pests	Across all areas, opinions are consistent that the government has plans for risk management and can integrate responses effectively, enabling immediate assistance to affected people when natural disasters, diseases, insects, and pest outbreaks occur.		
3. Protection			
3.3 The community has adopted the agricultural concepts that emphasize the environmental, social, and economic sustainability, such as organic farming and safe agriculture practices.	In all study areas, opinions were consistent that communities are minimally affected by insects, pests, and plant diseases. Communities adopt agricultural concepts that emphasize environmental, social, and economic sustainability, such as organic farming and safe agricultural practices. Agricultural products are marketed and distributed to sub-district and district hospitals, as well as to local safe-food restaurants within the areas.	98.79	High

Table 2 (Continued)

Factor	Particulars	Average score	Security level in ownership
3.4 Encroachment into forest areas and deforestation for agricultural purposes have increased.	In all study areas, there has been no increase in forest encroachment and deforestation. Community members comply with regulations under the social sanctions for building disciplines in the communities, such as prohibitions on cutting trees in the community forests and encroachment into forest areas.	98.79	High
3.5 Land use changes involving expansion into residential areas, housing, and tourist destinations.	In all surveyed areas, communities have no intention to change land use toward expansion into residential areas, housing, or tourist destinations, and instead continue to plan for conservation-oriented land use. The primary cause is that these regions lack neighboring tourist destinations and economic development zones and are situated far from urban centers. In addition, agriculture—such as fruit orchards, rubber plantations, and oil palm cultivation—remains the dominant land use. Therefore, no significant land use changes have occurred over the past 5 to 10 years.		
4. Viability			
4.1 Communities provide local employment opportunities, generating income and reducing the need for residents to work outside the area.	In Surat Thani, Kanchanaburi, and Chiang Mai, communities have local employment opportunities that generate income, reducing the need for residents to work outside the area. In addition to farming, there are agricultural wage labor opportunities, handicraft production, and strong community enterprises that provide alternative sources of income, allowing residents to remain and work within their communities. In contrast, in Ubon Ratchathani, agriculture is mainly seasonal, and during off-season periods, residents migrate to other areas to seek temporary employment for additional income.	81.50	High
4.2 Communities apply knowledge, technology, and machinery to improve quality of life, increase income, and reduce production costs.	For all the areas, communities make use of technological knowledge and agricultural machinery to enhance quality of life, increase household income, and lower production costs like spraying drones, tractors, and combine harvesters. However, more advanced technologies remain limited, such as automated irrigation systems, automated fertilizer and pesticide application systems, and software supported by temperature-based monitoring for crop and hormone management, etc.		
4.3 Some agricultural land are unused or abandoned.	In all study areas, no agricultural land is left unused or abandoned, and communities plan land use to maximize its potential.		

Table 2 (Continued)

Factor	Particulars	Average score	Security level in ownership
5. Social acceptability			
5.1 Clear boundaries are defined for individual land tenure and land utilization.	According to the study for all the areas, clear boundaries are defined for individual land tenure and land use, supported by clearly documented maps. Community members are aware of these boundaries and follow the practices, jointly managing and caring for the land without encroaching beyond their own holdings. In addition, communities participate in planning to prevent outsiders from using land within the community.	99.65	High
5.2 Common areas are designated for shared use to support the development of community public utilities and infrastructure.	As found in all study areas, common areas are clearly designated and have been developed and improved for shared use to support community infrastructure and public utilities, such as road corridors, sites for community enterprises or cooperatives, communal meeting spaces, and community forests.		
5.3 Provision for Religious and Cultural Ceremonies and Traditions	The findings indicate that religious and cultural ceremonies and traditions are held annually and are publicly promoted and supported as part of conservation efforts. Community histories are recorded and community identities reflect diverse local characteristics.		
5.4 Participation in land management and land utilization	The communities actively participate in land management and land-use planning through consultations, shared decision-making, and collective monitoring and problem-solving. With improved access to information, residents are more aware of potential land-related issues, resulting in regular meetings and joint planning for land management within their communities.		

วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

การศึกษาวเคราะห์นโยบายและแนวทางการดำเนินงานการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน และการศึกษารูปแบบการถือครองและการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนในลักษณะแปลงรวมตามนโยบายรัฐบาล ภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ (คทช.) พบว่านโยบายการถือครองที่ดินในอดีต ส่วนใหญ่เป็นแบบปัจเจกบุคคลจากบริบทที่ผ่านนโยบายทุกยุคทุกสมัยมุ่งให้ประชาชนมีที่ดินทำกินส่งต่อถึงลูกหลานในอนาคต แต่กลับพบว่าเมื่อประชาชนได้รับที่ดิน ด้วยเหตุพื้นที่ที่รกร้างว่างเปล่าไม่มีสิ่งอำนวยความสะดวกและสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานที่ดี ทำให้ประชาชนส่วนใหญ่ซื้อขายเปลี่ยนมือ ทำให้ที่ดินหลุดมือ จึงไม่ประสบ

ความสำเร็จ จึงเกิดนโยบายแบบแปลงรวมแต่ไม่ให้กรรมสิทธิ์หรือการดำเนินงานของการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน (คทช.) โดยมีหนังสืออนุญาตให้เข้าทำประโยชน์และอยู่อาศัยภายในเขตป่าสงวนแห่งชาติในลักษณะแปลงรวม มีออกสมุดประจำตัวให้ประชาชน มีการส่งเสริมพัฒนาอาชีพรวมถึงการพัฒนาสาธารณูปโภคโดยพบว่า มีจุดแข็ง คือ มีการอนุญาตให้เข้าประโยชน์อย่างถูกต้องแล้ว ยังให้ความสำคัญกับการพัฒนาสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐาน มีหน่วยงานร่วมบูรณาการเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตประชาชนในพื้นที่ จุดอ่อนที่ต้องพัฒนา คือ นโยบายการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชน (คทช.) มีการดำเนินงานตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2558 จนถึงปัจจุบัน มีการดำเนินงานมาแล้ว 9 ปี ในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงไปหลายบริบท ควรมีการทบทวนนโยบาย

หลักเกณฑ์การจัดที่ดิน และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคมในปัจจุบัน

การศึกษาความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล ภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ (คทช.) ต่อความมั่นคงในการถือครองและการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา การจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล ภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ (คทช.) ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ จากการศึกษาพบว่า การประเมินความมั่นคงในการถือครองที่ดินของประชาชน มาจากการที่ประชาชนสามารถมีสิทธิเข้าถึงทรัพยากรดิน มีเอกสารการถือครองที่ถูกต้อง สิทธิสามารถส่งต่อให้ลูกหลานในอนาคต รวมถึงการเข้าถึงสวัสดิการของรัฐเพื่อนำไปสู่การวางแผนพัฒนาพื้นที่ต่อไปในอนาคต ในส่วนปัจจัยที่ส่งผลต่อความมั่นคงในการถือครองและการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าศักยภาพดินและการเข้าถึงระบบชลประทาน มีความสำคัญต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก หากที่ดินไม่มีศักยภาพและไม่มีการใช้ในการเกษตรที่เพียงพอ ก็จะส่งผลให้ผู้ถือครองที่ดินต้องการย้ายที่ดินทำกิน ปัจจัยอื่น ๆ เช่น ภัยพิบัติทางธรรมชาติ ความเสี่ยงภัยโรค แมลง ทรัพยากรธรรมชาติรอบชุมชน ปัจจัยค่าจ้างและเครื่องจักร การกำหนดพื้นที่ส่วนกลางใช้ประโยชน์ รวมถึงการมีส่วนร่วมของชุมชน เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ และไม่ต้องพึ่งพางบประมาณหรือความช่วยเหลือจากทางภาครัฐมากนัก ชุมชนสามารถบริหารจัดการได้

โดยมีความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อการดำเนินงานการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล ประกอบด้วย 1) ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ควรมีการให้สิทธิประชาชนได้คิด ออกแบบ การใช้ประโยชน์ในพื้นที่ชุมชนของตนเอง โดยรัฐควรเป็นพี่เลี้ยงที่ดี ไม่จำกัดความคิด โดยใช้กฎหมายและนโยบายรัฐบาลในการบังคับใช้ 2) ข้อเสนอแนะต่อสำนักงานคณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ ควรเร่งรัดให้มีการออกหนังสืออนุญาตการใช้ประโยชน์ที่ดินตามกฎหมายของแต่ละหน่วยงานให้เพิ่มมากขึ้น แก้ไขกฎหมาย นโยบาย ข้อระเบียบที่ติดขัดหลาย

ประการ รวมถึงการเร่งจัดคนเข้าใช้ประโยชน์ตามหลักเกณฑ์ของ คทช. แก้ไขหลักเกณฑ์ที่ไม่สอดคล้องกับบริบทปัจจุบัน รวมไปถึงการพัฒนาเครื่องมือ พร้อมทั้งส่งเสริมอาชีพและการตลาด พัฒนาสาธารณูปโภคและโครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่ คทช. ให้มีความพร้อม มีการสร้างมูลค่าในที่ดินของรัฐ และจัดทำแนวทางเพื่อเสริมสร้างและพัฒนาความร่วมมือระหว่างหน่วยงานของรัฐ ภาคเอกชน และประชาชน ในการบริหารจัดการที่ดินและทรัพยากรดิน 3) ข้อเสนอแนะต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง การจัดที่ดินอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน ต้องมีการบูรณาการแบบมีส่วนร่วมระหว่างหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน ภาคประชาคมกับประชาชนในพื้นที่ ควบคู่กับการบังคับใช้กฎหมายที่เข้มแข็งในการบริหารจัดการที่ดิน มีการใช้เทคโนโลยีเพื่อการบริหารจัดการ สร้างให้ชุมชนเข้มแข็ง มีการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เต็มศักยภาพ ควบคู่กับการอนุรักษ์ มีป่า มีรายได้ ควบคู่กัน 4) ข้อเสนอแนะต่อประชาชนที่ได้รับการจัดที่ดินทำกินชุมชน ซึ่งถือเป็นผู้ที่รัฐบาลมุ่งให้ความช่วยเหลืองบประมาณที่ส่งไปถึงประชาชนในพื้นที่ การบูรณาการของทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เพื่อพัฒนาคนไทยในประเทศให้มุ่งสู่การเป็นพลเมืองที่มีคุณภาพชีวิตที่ดี ประชาชนควรตระหนักรู้ถึงความตั้งใจของรัฐบาล ใช้ประโยชน์ในที่ดินของรัฐ ตามแนวทางการอนุรักษ์ควบคู่กับการใช้ประโยชน์อย่างเต็มศักยภาพ ส่งต่อที่ดินผืนนี้ให้ลูกหลานเพื่อให้ลูกหลานในอนาคตมีที่ดินเป็นของตนเอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชนิ โปธิแท่น ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย อรุณประภารัตน์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ช่วยเหลือ และชี้แนะแก้ไขในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงอาจารย์คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้ชี้แนะเพิ่มเติม นอกจากนี้ขอขอบคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิของคณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ ผู้อำนวยการสำนักงานคณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ รองผู้อำนวยการสำนักงาน

คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ ผู้ช่วยผู้อำนวยการสำนักงานคณะกรรมการ นโยบายที่ดินแห่งชาติ ผู้บริหารระดับสูงของสำนักงานคณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ ฝ่ายเลขานุการภายใต้คณะกรรมการนโยบายที่ดินแห่งชาติ รวมถึงประชาชนผู้ที่ได้รับการจัดที่ดินทำกินให้ชุมชนตามนโยบายรัฐบาล ที่กรุณาให้ความร่วมมือสนับสนุน และช่วยเหลือให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Jameekorn, S. 1983. **Analytical Statistics for Social Science Research**. Bangkok: Kasetsart University. 150 p. [in Thai]
- Kraiurawong, S., B. Chairat, R. Chaisawat, P. Pholpinyo, K. Payaksak and P. Withantirawat. 2006. **Disputes and Conflicts on Land Problems in Thailand**. Bangkok: Thailand Research Fund (TRF). 445 p. [in Thai]
- Kuthin, U. 2021. **Sustainable Land Use and Natural Resource Management**. Bangkok: Faculty of Forestry, Kasetsart University. 336 p. [in Thai]
- Land Bank Management Institute (Public Organization). 2023. **Annual Report 2023**. Bangkok: Office of the Prime Minister. 144 p. [in Thai]
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. 2018. **The Project of Driving Potential Promotion in National Land and Soil Resource Management Plan (B.E. 2560-2564)**. Bangkok: Ministry of Natural Resources and Environment. 197 p. [in Thai]
- Office of the National Land Policy Board. 2023. **Land Allocation Project for Communities under the National Land Policy Committee (NLPC)**. 5th Ed. Bangkok: Office of the National Land Policy Board. 213 p. [in Thai]
- Rattanawaraha, A. 2015. **The Land Economy of Thailand: A State of Knowledge Series**. Bangkok: National Research Council of Thailand. 318 p. [in Thai]
- Royal Forest Department. 2015. **Basic Data of the National Forest Reserve Management Center No. 55-75, Forest Resource Management Office No. 3 (Lampang)**. Bangkok: Ministry of Natural Resources and Environment. 74 p. [in Thai]
- Rungruangtantisuk, T. 2020. Forest conservation and the Thai military's new role after warfare against the Thai Communist Party (CPT): a case of Land Allocation for Poor in Degraded Forest Land (Kor Jor Gor) **Journal of History** 45: 117–132. [in Thai]
- Samranjit, P. 2013. **Tangible Imaginary Community Title Deed**. Bangkok: Local Action Group without Borders. 335 p. [in Thai]
- United Nations Statistics Division Development Data and Outreach Branch. 2019. **SDGs indicators metadata repository**. Retrieved from <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/>

United Nations. 2024. **The world population prospects 2024**. Retrieved from <https://www.nso.go.th/public/e-book/Statistical-Yearbook/SYB-2024/55/>

Yamane, T. 1973. **Statistics: An Introductory Analysis**. New York: Harper & Row. 1130 p.

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจการผลิตข้าวสาลีของเกษตรกร
ในพื้นที่อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่
Factors Affecting the Farmers' Intention of Wheat Production
in Samoeng District, Chiang Mai

ภัทรธีรา อินพลับ^{1,2,*} รพี ดอกไม้เทศ¹ จิรฐินาฏ ถังเงิน¹ และสิปปวิชญ์ ปัญญาตุ้ย²
Phattarateera Inplub^{1,2,*}, Rapee Dokmaithes¹, Jirattinart Thungngern¹ and Sippawit Punyatuy²

¹สาขาการจัดการเกษตรและชุมชน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

²ศูนย์วิจัยข้าวสะเมิง เชียงใหม่ 50250

¹Agriculture and Community Management, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University
Nakhon Pathom, Thailand 73140

²Samoeng Rice Research Center, Chiang Mai, Thailand 50250

*Corresponding author: lack_jeep@hotmail.com

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0006-0207-8874>

Abstract

Received: February 09, 2026

Revised: March 20, 2026

Accepted: April 02, 2026

This research aimed to study wheat production intention and analyze the factors influencing such intention among farmers in Samoeng district, Chiang Mai, by applying the Theory of Planned Behavior (TPB). The population consisted of 80 farmers registered for wheat cultivation with the Samoeng Rice Research Center during the 2024/2025 season. Data were collected using a 5-point Likert scale questionnaire with a reliability coefficient of 0.94. Statistical analysis included descriptive statistics and multiple regression analysis. The results showed that the overall intention of farmers toward wheat production was at a high level ($\bar{x}=4.12$). Considering individual factors, attitude toward the behavior had the highest mean at the highest level ($\bar{x}=4.21$), followed by perceived behavioral control ($\bar{x}=4.11$) and subjective norm ($\bar{x}=4.04$), respectively. The multiple regression analysis indicated that all three factors significantly predicted wheat production intention, accounting for 69.7% of the variance ($R^2=0.697$) at a 0.01 significance level. Perceived behavioral control was the most influential factor ($\beta=0.659$), followed by attitude toward the behavior ($\beta=0.323$) and subjective norm ($\beta=0.240$). The findings suggest that relevant agencies should enhance farmers' confidence in resources and technology while developing clear market mechanisms and guaranteed prices to ensure production sustainability.

Keywords: wheat production, wheat production intention, attitude, subjective norm
perceived behavioral control

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความตั้งใจผลิตข้าวสาลี และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจในการผลิตข้าวสาลีของเกษตรกรในอำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (TPB) กลุ่มประชากร คือ เกษตรกรที่ขึ้นทะเบียนปลูกข้าวสาลีกับศูนย์วิจัยข้าวสะเมิงในฤดูปลูกปี พ.ศ. 2567/2568 จำนวน 80 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถามแบบมาตราประมาณค่า 5 ระดับ ซึ่งมีความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.94 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรมีความตั้งใจในการผลิตข้าวสาลีโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.12$) เมื่อพิจารณา รายปัจจัยพบว่า ทศนคติต่อพฤติกรรมมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.21$) รองลงมา คือ การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม ($\bar{X}=4.11$) และการคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง ($\bar{X}=4.04$) ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณพบว่า ปัจจัยทั้ง 3 ด้านสามารถร่วมกันพยากรณ์ความตั้งใจในการผลิตข้าวสาลีได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 69.7 ($R^2=0.697$) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจผลิตสูงที่สุดคือ การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม ($\beta=0.659$) รองลงมาคือ ทศนคติต่อพฤติกรรม ($\beta=0.323$) และการคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง ($\beta=0.240$) ข้อเสนอแนะจากการวิจัยชี้ว่าหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรเสริมสร้างความเชื่อมั่นด้านทรัพยากรและเทคโนโลยี ควบคู่กับการพัฒนาการตลาดและราคาซื้อที่ชัดเจนเพื่อสร้างความยั่งยืนในการผลิต

คำสำคัญ: การผลิตข้าวสาลี ความตั้งใจผลิตข้าวสาลี
ทศนคติ การคล้อยตาม การรับรู้
ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม

บทนำ

ข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) จัดเป็นธัญพืชเมืองหนาวที่มีความสำคัญเชิงยุทธศาสตร์ต่อระบบเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมอาหารของประเทศไทยอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในกลุ่มผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และอาหารแปรรูป ซึ่งมีความต้องการบริโภคเพิ่มสูงขึ้นตามการขยายตัวของสังคมเมือง วิถีชีวิตที่เร่งรีบ และความนิยมผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและเบเกอรี่สมัยใหม่ ความต้องการที่ขยายตัวอย่างต่อเนื่องนี้สะท้อนผ่านมูลค่าการนำเข้าเมล็ดและผลิตภัณฑ์ข้าวสาลีในปี พ.ศ. 2567 ที่สูงถึง 40,956 ล้านบาท (Office of Agricultural Economics, 2025) การพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศในสัดส่วนสูงเช่นนี้ ทำให้ห่วงโซ่อุปทานอาหารของประเทศไทยมีความเสี่ยงจากความผันผวนของตลาดโลกและสถานการณ์ทางภูมิรัฐศาสตร์ ดังนั้น การส่งเสริมการผลิตข้าวสาลีภายในประเทศ โดยเฉพาะข้าวสาลีปลูกต้นฤดูใบไม้ผลิ (spring wheat) ที่สามารถปรับตัวได้ดีในพื้นที่สูงของไทย จึงเป็นมาตรการสำคัญในการเสริมสร้างความมั่นคงทางอาหารและลดการเสียดุลการค้า

ภูมิประเทศและภูมิอากาศของพื้นที่สูงในภาคเหนือตอนบน โดยเฉพาะอำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ มีความเหมาะสมต่อการผลิตข้าวสาลีเป็นพืชหลังนา เนื่องจากมีสภาพอากาศหนาวเย็นยาวนานในฤดูแล้ง และเป็นระบบนิเวศที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของธัญพืชเมืองหนาว อย่างไรก็ตาม การผลิตข้าวสาลีของไทย

ในอดีตยังประสบข้อจำกัดหลายประการ ทั้งความอุดมสมบูรณ์ของดิน ระดับความชื้น ผลผลิตต่อไร่ที่ต่ำกว่าต่างประเทศ และความท้าทายด้านเทคโนโลยีการผลิต ทำให้การส่งเสริมเชิงพาณิชย์ในช่วงที่ผ่านมาไม่ประสบความสำเร็จอย่างเป็นรูปธรรม (Punyatuy *et al.*, 2023)

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ได้มีการพัฒนาพันธุ์ข้าวสาลีที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นและทนทานต่ออุณหภูมิสูง ตลอดจนการผลักดันเชิงนโยบายเกี่ยวกับการรื้อฟื้นการผลิตข้าวสาลีอินทรีย์ ซึ่งเป็นตลาดเฉพาะ (niche market) ที่มีมูลค่าสูง และเป็นโอกาสสำคัญสำหรับเกษตรกรรายย่อยในพื้นที่สูง โดยมีพื้นที่ที่มีความเหมาะสมมาก (S1) และปานกลาง (S2) สำหรับการผลิตข้าวสาลี จำนวน 33,252 ไร่ ซึ่งพื้นที่อำเภอสะเมิงมีศักยภาพสูงทั้งด้านภูมิประเทศ ความเหมาะสมทางนิเวศวิทยา มีพื้นที่ปลูกที่สามารถส่งเสริมการผลิตได้มากกว่า 2,000 ไร่ รวมทั้งประสบการณ์ของเกษตรกรในการปลูกพืชหลังนา (Punyatuy *et al.*, 2025) ความเคลื่อนไหวเหล่านี้สะท้อนถึงช่องว่างระหว่างศักยภาพของพื้นที่กับความต้องการใช้ประโยชน์ข้าวสาลีในเชิงเศรษฐกิจ ซึ่งยังเปิดโอกาสให้การผลิตภายในประเทศเติบโตได้อีกมาก

อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จของการส่งเสริมพืชเศรษฐกิจชนิดใหม่มิได้ขึ้นอยู่กับศักยภาพพื้นที่ หรือการสนับสนุนนโยบายเพียงอย่างเดียว หากยังขึ้นอยู่กับกระบวนการตัดสินใจของเกษตรกร หรือ “ความตั้งใจในการผลิต” (production intention) ซึ่งเป็นปัจจัยเชิงพฤติกรรมที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior: TPB) ของ Ajzen (1991) เป็นกรอบแนวคิด โดย TPB อธิบายว่าความตั้งใจของบุคคลเป็นสิ่งที่ทำนายพฤติกรรมที่แน่นอนที่สุด และถูกกำหนดจาก 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ทศนคติต่อพฤติกรรม (attitude toward the behavior) หรือการประเมินคุณค่าและผลลัพธ์ของการผลิตข้าวสาลี 2) การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง (subjective norm) คือ แรงสนับสนุนหรือแรงกดดัน

ทางสังคมจากบุคคลรอบข้าง และ 3) การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม (perceived behavioral control) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงทรัพยากร ทักษะ และความเชื่อมั่นของเกษตรกรในการผลิต ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความตั้งใจผลิตข้าวสาลี รวมทั้งวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจในการผลิตข้าวสาลีของเกษตรกรในอำเภอสะเมิง ซึ่งข้อมูลที่ได้จะมีความสำคัญต่อการกำหนดกลยุทธ์การส่งเสริมการผลิตข้าวสาลี สำหรับกระทรวงเกษตรและสหกรณ์และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อย่างแม่นยำและยั่งยืนในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือหลักในการรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งศึกษาข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการ แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องมือและดำเนินการวิจัยอย่างเป็นระบบ ดำเนินงาน ณ ศูนย์วิจัยข้าวสะเมิง ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกข้าวสาลีที่ขึ้นทะเบียนกับศูนย์วิจัยข้าวสะเมิง ฤดูกาลข้าว ในฤดูปลูกปี พ.ศ. 2567/2568 ในอำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวนทั้งหมด 80 คน ซึ่งถูกนำมาเป็นประชากรทั้งหมดสำหรับการเก็บข้อมูล

สำหรับการสร้างเครื่องมือ เริ่มจากการกำหนดกรอบเนื้อหาและคำถามให้สอดคล้องกับกรอบแนวคิดการวิจัย โดยศึกษาแบบสอบถามจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และงานวิจัยที่ผ่านมาประกอบกับการออกแบบแบบสอบถามจากนั้นนำร่างแบบสอบถามเสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านข้าวสาลีและการส่งเสริมการผลิตพืช เพื่อประเมินค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) และปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ จากนั้นได้ทดสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม โดยนำไปทดลองใช้กับเจ้าหน้าที่ผู้ปลูกข้าวสาลีในศูนย์วิจัยข้าวสะเมิง จำนวน 30 คน แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha)

ด้วยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Khumhome and Rattanawan, 2023) ผลการทดสอบพบว่า แบบสอบถามมีค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ย 0.94 ซึ่งอยู่ในระดับความเชื่อมั่นสูง

แบบสอบถามเป็นความคิดเห็นของเกษตรกรต่อการผลิตข้าวสาลี ครอบคลุม 3 มิติ ตามทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior: TPB) ได้แก่ทัศนคติ การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง และการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม โดยใช้มาตราประมาณค่าแบบลิเคิร์ต 5 ระดับ (Phonman and Kajitnatitham, 2024) ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.21–5.00 หมายถึง เห็นด้วยมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.41–4.20 หมายถึง เห็นด้วยมาก

ค่าเฉลี่ย 2.61–3.40 หมายถึง เห็นด้วยปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.81–2.60 หมายถึง เห็นด้วยน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00–1.80 หมายถึง เห็นด้วยน้อยที่สุด

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Science) โดยนำข้อมูลส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคม มาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ได้แก่ ค่าความถี่ (frequency) ค่าร้อยละ (percentage) ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าต่ำสุด (minimum) ค่าสูงสุด (maximum) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) โดยข้อมูลความคิดเห็นของเกษตรกรในการผลิตข้าวสาลี เป็นความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยด้านพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior: TPB) ของเกษตรกรในการผลิตข้าวสาลี โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) นอกจากนี้การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจในการผลิตข้าวสาลีของเกษตรกร โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis) (Daophakhanan and Wimoonard, 2024) ซึ่งเป็นการศึกษาอิทธิพลระหว่างตัวแปรอิสระ (x) ตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป กับตัวแปรตาม (Y) เพื่อหาสมการที่สามารถใช้พยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y)

และตัวแปรอิสระ (x) ของกลุ่มตัวอย่าง โดยในงานวิจัยนี้ ตัวแปรอิสระ (x) มี 3 ตัวแปร คือ ปัจจัยด้านทัศนคติต่อพฤติกรรม (attitude toward the behavior) ปัจจัยด้านการคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง (subjective norm) และปัจจัยการรับรู้ถึงการควบคุมพฤติกรรม (perceived behavioral control) และตัวแปรตาม (Y) คือ ความตั้งใจในการผลิตข้าวสาลี ดังสมการ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \epsilon \quad (1)$$

โดยที่ Y = ระดับความตั้งใจในการผลิตข้าวสาลี

β = ค่าคงที่ (constant)

$\beta_1 - \beta_3$ = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ

x_1 = ทัศนคติต่อพฤติกรรม (attitude toward the behavior)

x_2 = การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง (subjective norm)

x_3 = การรับรู้ถึงการควบคุมพฤติกรรม (perceived behavioral control)

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ความตั้งใจผลิตข้าวสาลีของเกษตรกร

ข้อมูลความคิดเห็นของเกษตรกรในการผลิตข้าวสาลีเกี่ยวกับปัจจัยด้านพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior: TPB) ในภาพรวม พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ "มาก" โดยมีค่าเฉลี่ยรวมพฤติกรรมตามแผนเท่ากับ 4.12 (SD=0.58) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าเกษตรกรในพื้นที่ศึกษามีทัศนคติและแรงจูงใจเชิงบวกต่อการตัดสินใจผลิตข้าวสาลีอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับ Worasittanon (2024) พบว่าทัศนคติต่อพฤติกรรมการทำงานอุปกรณ์สมาร์ทโฮมเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจในการใช้งาน และผู้ใช้งานที่มีทัศนคติเชิงบวกต่ออุปกรณ์สมาร์ทโฮม โดยการรับรู้คุณค่าและประโยชน์โดยรวมของสมาร์ทโฮมมีบทบาทสำคัญในด้านทัศนคติของผู้ใช้งาน ซึ่งทัศนคติเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อการตัดสินใจและ

ความตั้งใจในการใช้งานอุปกรณ์สมาร์ทโฮมอย่างต่อเนื่อง เมื่อพิจารณารายปัจจัย พบว่าผลการศึกษาด้านทัศนคติ ต่อพฤติกรรมการผลิตข้าวสาลีของเกษตรกร มีค่าเฉลี่ย อยู่ในระดับมากที่สุด เท่ากับ 4.21 โดยเกษตรกรมีทัศนคติ เชิงบวกต่อการผลิตข้าวสาลี โดยตระหนักว่าข้าวสาลีเป็น พืชที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุน สามารถเพิ่ม รายได้และสร้างความมั่นคงทางรายได้ให้แก่ครัวเรือน อีกทั้งยังเป็นพืชที่ปลูกและดูแลรักษาได้ไม่ยุ่งยาก มีความ เสี่ยงต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่นที่ปลูกในพื้นที่ เดียวกัน ในขณะที่ด้านการรับรู้ถึงการควบคุมพฤติกรรม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.11 อยู่ในระดับมาก จากข้อมูลดังกล่าว เกษตรกรมีระดับความเชื่อมั่นต่อศักยภาพของตนเอง ในระดับมาก โดยมีความสามารถและความพร้อมในการ ควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าวสาลีได้อย่าง มีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านทรัพยากร ความรู้ โอกาสในการ เข้าถึงปัจจัยสนับสนุน ตลอดจนเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการ ถ่ายทอดความรู้ และในส่วนด้านการคล้อยตามกลุ่ม อ้างอิง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.04 อยู่ในระดับมาก สะท้อนให้

เห็นว่าแรงสนับสนุนจากสภาพแวดล้อมทางสังคมมีอิทธิพล ต่อความตั้งใจในระดับมากเช่นกัน โดยบุคคลที่มีบทบาท สำคัญในการโน้มน้าวและสนับสนุนการตัดสินใจ คือ สมาชิก ในครัวเรือนเป็นอันดับต้น ๆ รองลงมาคือ แบบอย่าง ความสำเร็จของเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่เพาะปลูกข้าวสาลี ร่วมกัน ซึ่งนำไปสู่การแลกเปลี่ยนเรียนรู้และช่วยเหลือกัน ภายในชุมชน นอกจากนี้ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรและ นักวิชาการจากหน่วยงานรัฐ ยังถือเป็นกลุ่มอ้างอิงที่มี อิทธิพลสูงในเชิงความเชื่อมั่นด้านเทคนิควิชาการ ซึ่งล้วน เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเสริมสร้างความรู้สึกว่าจะสามารถ ควบคุมพฤติกรรมการผลิตได้ (Table 1) สอดคล้องกับ Chaianont *et al.* (2025) พบว่ากลุ่มอ้างอิงที่มีอิทธิพล ต่อความตั้งใจในการแสดงพฤติกรรมสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ บุคคลในครอบครัว บุคคลภายนอกครอบครัว และกลุ่มคนทั่วไปในสังคม โดยเฉพาะบรรพบุรุษทาง สังคม มีความสำคัญกับความคิดเห็นของกลุ่มอ้างอิง ส่งผล ต่อความตั้งใจและพฤติกรรมของบุคคล

Table 1 Results of levels of opinion regarding the Theory of Planned Behavior (TPB) factors influencing farmers' wheat production in Samoeng district, Chiang Mai

(n=80)

Item	$\bar{x}$	SD	Level of opinion
Attitude toward wheat cultivation behavior	4.21	0.718	Highest
Subjective norm	4.04	0.901	High
Perceived behavioral control	4.11	0.763	High
Average	4.12	0.794	High

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจผลิตข้าวสาลีของเกษตรกร การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (multicollinearity)

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ได้ตรวจสอบ ปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (multicollinearity) ด้วยค่าความแปรปรวนร่วม

(Variance Inflation Factor: VIF) และค่า tolerance พบว่าตัวแปรทุกตัวมีค่า VIF อยู่ระหว่าง 1.040–2.882 (ซึ่งน้อยกว่า 10) และค่า tolerance อยู่ระหว่าง 0.347–0.962 (มากกว่า 0.1) แสดงว่าไม่มีปัญหา multicollinearity ในตัวแปรอิสระ และสามารถนำไป วิเคราะห์การถดถอยพหุคูณได้อย่างเหมาะสม (Table 2)

Table 2 Relationship between variables (multicollinearity)

Variables	Collinearity statistics	
	Tolerance	Variance inflation factor
Attitude toward wheat cultivation behavior	0.347	2.882
Subjective norm	0.962	1.040
Perceived behavioral control	0.349	2.866

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis)

ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis) ที่ใช้ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยทั้งสามต่อความตั้งใจในการผลิตข้าวสาลีในพื้นที่อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าโมเดลสมการถดถอยมีความเหมาะสมทางสถิติ โดยตัวแปรอิสระทั้งหมดสามารถร่วมกันอธิบายความแปรปรวนของความตั้งใจในการผลิตได้ร้อยละ 69.7 ($R^2=0.697$) และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ($F=59.765$, $p<0.001$) โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์ (Standard Error of Estimate: SEE) เท่ากับ 0.445

เมื่อทดสอบอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวพบว่าตัวแปรทั้งสามตัวมีผลต่อความตั้งใจในการผลิตข้าวสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตัวแปรด้านทัศนคติ

ต่อพฤติกรรม มีผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($\beta=0.323$, $p<0.017$) สำหรับตัวแปรด้านการคล้อยตามกลุ่มอ้างอิงและการรับรู้ถึงการควบคุมพฤติกรรม มีผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ($\beta=0.240$, $p<0.008$ และ $\beta=0.659$, $p<0.001$ ตามลำดับ) ซึ่งผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสามด้านมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความตั้งใจในการผลิต นั่นคือ เกษตรกรที่มีทัศนคติเชิงบวก การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง และการรับรู้ถึงความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมในระดับสูง จะมีความตั้งใจในการผลิตข้าวสาลีสูงกว่าเกษตรกรที่มีระดับปัจจัยดังกล่าวต่ำกว่า หรือกล่าวได้ว่าหากเกษตรกรมีระดับทัศนคติ การสนับสนุนจากกลุ่มอ้างอิง และการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมสูงขึ้น ทำให้ความตั้งใจในการผลิตข้าวสาลีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Table 3)

Table 3 Regression analysis of factors influencing wheat production intention

Variables	Unstandardized		Standardized coefficients beta	<i>t</i>	<i>Sig.</i>
	coefficients				
	B	Std. Error			
Attitude toward wheat cultivation behavior	0.323	0.132	0.260	2.451	0.017*
Subjective norm	0.240	0.089	0.173	2.707	0.008**
Perceived behavioral control	0.659	0.124	0.563	5.311	0.000**
Constant = -0.861; SEE = 0.445; F = 59.765**; R ² = 0.697					

* Significant at the 0.05 level, ** Significant at the 0.01 level

สามารถเขียนเป็นสมการการถดถอยพหุคูณ ได้ดังนี้

$$Y = -0.861 + 0.323 \text{ attitude} + 0.240 \text{ subjective norm} + 0.659 \text{ perceived control} \quad (2)$$

เมื่อพิจารณาความหมายของสัมประสิทธิ์ถดถอยในสมการ พบว่าค่าคงที่ของสมการ (intercept) มีค่าเท่ากับ -0.861 หมายความว่า หากค่าตัวแปรอิสระทั้งหมดอยู่ที่ศูนย์ ระดับความตั้งใจในการผลิตจะมีค่าเท่ากับ -0.861 นอกจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ของทัศนคติต่อพฤติกรรม ($\beta_1=0.323$) หมายถึง เมื่อทัศนคติต่อพฤติกรรมเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ระดับความตั้งใจในการผลิตข้าวสาลีจะเพิ่มขึ้น 0.323 หน่วย ขณะที่ การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง ($\beta_2=0.240$) หมายถึง เมื่อการคล้อยตามกลุ่มอ้างอิงเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ความตั้งใจในการผลิตจะเพิ่มขึ้น 0.240 หน่วย และการรับรู้ถึงการควบคุมพฤติกรรม ($\beta_3=0.659$) หมายถึง เมื่อการรับรู้ถึงการควบคุมพฤติกรรมเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ความตั้งใจในการผลิตจะเพิ่มขึ้น 0.659 หน่วย

ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าปัจจัย "การรับรู้ถึงการควบคุมพฤติกรรม" (perceived behavioral control) มีอิทธิพลต่อความตั้งใจสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ Ajzen (1991) ที่ระบุว่า ในกรณีของพฤติกรรมที่ต้องใช้ทักษะเฉพาะด้านหรือทรัพยากรที่จำกัด การรับรู้ว่าคุณสามารถควบคุมปัจจัยเหล่านั้นได้จะเป็นแรงขับเคลื่อนหลัก การที่อำเภอสะเมิงมีศูนย์วิจัยข้าวตั้งอยู่ในพื้นที่จึงถือเป็นปัจจัยเชิงบวกที่ช่วยเสริมสร้างความมั่นใจให้แก่เกษตรกรในด้านแหล่งเมล็ดพันธุ์และองค์ความรู้ (Punyatuy et al., 2022) ซึ่งความใกล้ชิดระหว่างหน่วยงานรัฐกับเกษตรกรนี้เป็นกลไกสำคัญที่สร้างอิทธิพลเชิงพฤติกรรม อย่างไรก็ตาม ปัญหาด้านการตลาดที่มีความรุนแรงในระดับปานกลาง สะท้อนถึงโครงสร้างเกษตรกรรมรายย่อยของไทยที่มีขนาดอำนาจการต่อรองหากไม่มีระบบเกษตรพันธสัญญาที่เป็นธรรมหรือราคาซื้อขั้นต่ำที่ชัดเจน ความตั้งใจในการผลิตอาจลดลงในระยะยาว เมื่อเกษตรกรเผชิญกับทางเลือกของพืชชนิดอื่นที่มีเสถียรภาพราคาดีกว่า ดังนั้น การคงอยู่ของความตั้งใจ

จึงต้องการระบบสนับสนุนที่ครอบคลุมไปถึงปลายน้ำ ไม่ใช่เพียงแค่ต้นน้ำด้านการผลิตเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maliwan and Thangngoen (2024) และ Piriyapatrakij and Suramongkol (2019) ที่ประยุกต์ใช้ทฤษฎี TPB ในการอธิบายความตั้งใจเชิงพฤติกรรม โดยพบว่าทัศนคติ การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง และการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม มีอิทธิพลเชิงบวกต่อความตั้งใจอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สะท้อนว่า "ความมั่นใจของเกษตรกรต่อทรัพยากร ทักษะ ความพร้อมด้านปัจจัยการผลิต และการเข้าถึงการสนับสนุน" เป็นแรงขับเคลื่อนหลักต่อการตัดสินใจผลิตและความต่อเนื่องของการปลูกในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

ทัศนคติต่อพฤติกรรม การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง และการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมการผลิตข้าวสาลี มีอิทธิพลต่อความตั้งใจในการผลิตข้าวสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเป็นทิศทางเชิงบวก โดยเฉพาะการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมการผลิตข้าวสาลี เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงที่สุดและข้อเสนอแนะเชิงนโยบายให้หน่วยงานรัฐควรพัฒนาตลาดและราคาข้าวสาลี โดยกำหนดราคารับซื้อขั้นต่ำ หรือโครงการประกันรายได้ควบคู่กับการสนับสนุนเครื่องจักรกลขนาดเล็กระดับชุมชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหลังการเก็บเกี่ยว และส่งเสริมระบบเกษตรพันธสัญญาที่เป็นธรรมระหว่างเกษตรกรและภาคเอกชน ส่วนข้อเสนอเชิงปฏิบัติจำเป็นต้องเสริมความเข้มแข็งของการรวมกลุ่มเกษตรกร จัดอบรมเชิงปฏิบัติการในแปลงปลูกอย่างต่อเนื่อง และสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อวางแผนการผลิตให้แม่นยำขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวสะเมิง ที่ให้การสนับสนุนทรัพยากรและงบประมาณในการวิจัย ตลอดจนเกษตรกรทุกท่านในพื้นที่อำเภอสะเมิง ที่กรุณาให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนางานวิจัยชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

- Ajzen, I. 1991. The theory of planned behavior. **Organizational Behavior and Human Decision Processes** 50(2): 179–211.
- Chaiyanont, P., W. Watanarawee, P. Boonyarasai and K. Rattanasimakul. 2025. The influence of communication on enhancing the predictive power of the Theory of Planned Behavior (TPB): suggestions for application to business management. **Journal of Management Science Pibulsongkram Rajabhat University** 7(2): 69–86. [in Thai]
- Daophakhanan, N. and T. Wimoonard. 2024. Factors influencing consumers' acceptance of novel food in the category of cultured meat. **Journal of Humanities and Social Sciences Mahasarakham University** 43(6): 1041–1057. [in Thai]
- Khumhome, B. and S. Rattanawan. 2023. The effect of perceived workload on burnout of an asset management company employees generation Y and Z: compensation as a moderating variable. **Journal of Management Science, Ubon Ratchathani University** 12(2): 22–34. [in Thai]
- Maliwan, N. and T. Thangngoen. 2024. Factors influencing farmers' intention to grow post-rice crops in the upper northern region of Thailand. **Journal of Agricultural Research and Extension** 41(1): 12–25. [in Thai]
- Office of Agricultural Economics. 2025. **Wheat import statistics**. Retrieved from <https://oae.go.th> [in Thai]
- Phonman, R. and M. Kajitnatitham. 2024. From Likert-type scale to Likert-like scale. **Journal of Social Sciences in Measurement Evaluation Statistics and Research** 5(1): 1–15. [in Thai]
- Piriyapatrakij, A. and N. Suramongkol. 2019. Factors influencing research engagement at Thailand Institute of Scientific and Technological Research. **ARU Research Journal Humanities and Social Sciences** 6(1): 9–16. [in Thai]
- Punyatuy, S., J. Ancheta, P. Inplub, N. Insalud and T. Kaeomuangmoon. 2025. Spatial analysis of suitable area for wheat production in the upper northern region, Thailand. **Journal of Agricultural Science and Management** 8(1): 36–50. [in Thai]
- Punyatuy, S., S. Chaiwongsar and N. Insalud. 2023. Effects of planting dates on growth, yield components and yield of promising temperate cereal lines. **Khon Kaen Agriculture Journal** 51(3): 452–468. [in Thai]

Punyatuy, S., S. Kaewkosaba, N. Boonmee,
P. Inplub, S. Chaiwongsar and N. Insalud.
2022. The comparative study of wheat
production process in Chiang Mai and
Mae Hong Son province. **Journal of
Science and Technology Kasetsart
University** 11(1): 1–16. [in Thai]

Worasittanon, T. 2024. Factors influencing the
intention to use and actual use of smart
home devices. **Journal of Information
Systems in Business** 10(2-3): 70–92.
[in Thai]

ความท้าทายและโอกาสของการพัฒนาผู้ให้บริการโดรนกำจัดแมลงศัตรูมะพร้าว
ในจังหวัดสมุทรสงคราม

Challenges and Opportunities in Developing Drone-Based Pest Control Service
Providers for Coconut Plantations in Samut Songkhram Province

ศราวุฒิ อินทพนม

Sarawoot Intapanom

สำนักวิจัยและพัฒนาชุมชนท้องถิ่น สถาบันการเรียนรู้เพื่อปวงชน สมุทรสงคราม 75120

Office of Research and Local Community Development, Learning Institute for Everyone, Samut Songkhram, Thailand 75120

*Corresponding author: sarawooti@life.ac.th

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0007-9626-1289>

Abstract

Received: August 04, 2025

Revised: March 06, 2026

Accepted: March 17, 2026

This study investigated the application of chemical formulations suitable for agricultural drones to control coconut pests under real field conditions and to transfer knowledge for developing drone-based pest control service providers in Samut Songkhram Province. An area-based action research approach was conducted to pilot the use of agricultural drones for chemical spraying, compared with conventional manual spraying, in two coconut plantations covering 40 rai (approximately 800 trees). A mist-spraying agricultural drone was operated at a height of 2 meters with a spraying duration of 8 seconds per tree. Two chemical formulations, lufenuron and flubendiamide (each with an adjuvant), were applied twice at 7-day intervals, with monitoring at 15, 30, and 60 days after first application.

The results showed that both formulations reduced black-headed caterpillar infestation by more than 85% within 60 days and promoted clear tree recovery, including new shoot emergence and increased leaf greenness. Water-sensitive paper analysis confirmed effective spray coverage across all canopy levels. Knowledge transfer activities on safe chemical use and drone operation supported the development of model operators and readiness for drone service providers. However, challenges related to high initial investment, hidden maintenance costs, and limited local after-sales services remain. The study recommends establishing standardized cost frameworks and strengthening support systems to ensure the long-term sustainability of community-based agricultural drone services.

Keywords: agricultural drones, drone service providers, coconut pests

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้สารเคมีกำจัดแมลงศัตรูมะพร้าวที่เหมาะสมกับการใช้โดรนเกษตรในสภาพพื้นที่จริง และถ่ายทอดองค์ความรู้เพื่อพัฒนาศักยภาพสถาบันการศึกษาและเกษตรกรไปสู่การเป็นผู้ให้บริการโดรนกำจัดแมลงศัตรูมะพร้าวในจังหวัดสมุทรสงคราม งานวิจัยนี้ใช้แนวทางการวิจัยเชิงปฏิบัติการในพื้นที่ เพื่อทดสอบการใช้โดรนเกษตรสำหรับการฉีดพ่นสารเคมี เปรียบเทียบกับการฉีดพ่นแบบใช้แรงงานคนตามวิธีการดั้งเดิม ในสวนมะพร้าวจำนวน 2 แปลง ครอบคลุมพื้นที่รวม 40 ไร่ (ประมาณ 800 ต้น) ใช้โดรนเกษตรแบบพ่นละอองฝอยควบคุมความสูงเฉลี่ย 2 เมตร และเวลาพ่น 8 วินาทีต่อต้น ทดสอบสารเคมี 2 สูตร ได้แก่ สูตรลูเฟนนูรอน (Lufenuron) ร่วมกับสารจับใบ และสูตรฟลูเบนไดอไมด์ (Flubendiamide) ร่วมกับสารจับใบ โดยฉีดพ่น 2 ครั้ง ห่างกัน 7 วัน และติดตามผลที่ 15, 30 และ 60 วัน หลังจากฉีดพ่นครั้งแรก

ผลการวิจัยพบว่าสารเคมีทั้งสองสูตรเมื่อใช้ร่วมกับโดรนสามารถลดการระบาดของหนอนหัวดำได้มากกว่าร้อยละ 85 ภายใน 60 วัน พร้อมทั้งทำให้ต้นมะพร้าวฟื้นตัวชัดเจนจากการแตกยอดใหม่และการเพิ่มความเขียวของใบ การประเมินการกระจายละอองด้วยกระดาษไวต่อน้ำ ยืนยันว่าการพ่นสามารถครอบคลุมเรือนยอดได้ทุกระดับ สนับสนุนความน่าเชื่อถือของผลเชิงชีวภาพ ด้านการขยายผลโครงการได้จัดกิจกรรมถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการใช้สารเคมีอย่างปลอดภัยและการบินโดรน ส่งผลให้เกิดบุคลากรต้นแบบและความพร้อมในการพัฒนาผู้ให้บริการโดรนเกษตร อย่างไรก็ตาม ยังพบอุปสรรคด้านต้นทุนเริ่มต้น ต้นทุนแฝงการซ่อมบำรุง และระบบบริการหลังการขายในพื้นที่ จึงเสนอให้จัดทำต้นทุนมาตรฐานและเสริมระบบสนับสนุนเพื่อเพิ่มความยั่งยืนของการให้บริการโดรนระดับชุมชน

คำสำคัญ: โดรนเกษตร ผู้ให้บริการโดรน ศัตรูมะพร้าว

บทนำ

เทคโนโลยีโดรนหรืออากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ถูกประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในภาคเกษตรกรรมเพื่อประโยชน์ที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น การพ่นปุ๋ย พ่นสารชีวภัณฑ์ หว่านเมล็ดพันธุ์ ตลอดจนการตรวจสอบสุขภาพพืชและสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตร ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ลดต้นทุนแรงงาน และลดความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีโดยตรง (Secretariat of the House of Representatives [Thailand], 2022)

โดรนเป็นเครื่องมือสำคัญในแนวคิดเกษตรอัจฉริยะ (smart farming) ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพลดต้นทุน และยกระดับความปลอดภัยให้กับเกษตรกรในภาคสนาม โดยเฉพาะในพืชที่มีลักษณะลำต้นสูง เช่น มะพร้าว ที่การพ่นสารแบบดั้งเดิมมักต้องใช้แรงงานคนปีนขึ้นไปซึ่งเสี่ยงอันตรายอย่างมาก มีผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการพ่น ได้แก่ ความสูงในการบิน และระยะเวลาในการหยุด Hover ในประเทศอินเดียพบว่า การพ่นที่ความสูง 2 เมตร เป็นเวลา 8 วินาที สามารถกระจายละอองน้ำได้อย่างเหมาะสมในทุกระดับของเรือนยอดต้นมะพร้าว และลดการสูญเสียของสารที่ตกถึงพื้นดิน (Pandiselvam *et al.*, 2024) แนวทางนี้ได้รับการเสนอให้เป็นแนวทางมาตรฐานสำหรับการพ่นสารในพืชลำต้นสูง

สำหรับผลการทดลองในประเทศไทย งานของ Daoden *et al.* (2021) แสดงให้เห็นว่า การใช้โดรนร่วมกับการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมศัตรูพืชในสวนมะพร้าว และลดการใช้สารเคมีได้อย่างชัดเจน ส่งผลให้เกษตรกรสามารถวางแผนการจัดการศัตรูพืชแบบแม่นยำ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งยังลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใช้งานสารเคมีโดยตรงอีกด้วย

นอกจากนี้ นักวิจัยหลายคนยืนยันว่าโดรนสามารถพ่นสารเคมีได้อย่างแม่นยำมากขึ้น เมื่อใช้ร่วมกับเทคโนโลยีเซ็นเซอร์และภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อระบุจุดที่

เกิดการระบาดของแมลงอย่างเฉพาะเจาะจง และสามารถควบคุมปริมาณสารที่ใช้ได้ดีกว่าวิธีดั้งเดิม (Anderson and Gaston, 2013)

อย่างไรก็ตาม มีข้อถกเถียงเกี่ยวกับการใช้จริงในพื้นที่ที่ส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีโดรน ได้แก่ ความรู้ด้านเทคนิคที่เกษตรกรต้องเรียนรู้เพิ่มเติม โครงสร้างสนับสนุน ศูนย์ซ่อมบำรุง หรือระบบการให้บริการที่เป็นมืออาชีพในระดับชุมชน ความปลอดภัย ความคุ้มค่าของเทคโนโลยีในแง่ของการลงทุนเพื่อนำโดรนเกษตรมาใช้งานในชุมชน (Setthamani, 2022) ทำให้การนำเทคโนโลยีโดรนมาใช้จริงในการเกษตรระดับชุมชนในสังคมไทยยังมีความท้าทายที่ไม่ได้ขึ้นอยู่กับศักยภาพทางเทคนิคของเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับ การยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้ การยอมรับเทคโนโลยีของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องไปพร้อม ๆ กับการใช้งานของโดรนกับสารเคมีอย่างปลอดภัยต่อทั้งผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อมในชุมชน การตัดสินใจยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้งานขึ้นอยู่กับ การรับรู้ถึงประโยชน์ของเทคโนโลยี รวมไปถึงความรู้ และประสบการณ์ของการใช้งานเทคโนโลยีอันจะส่งผลต่อทัศนคติและความตั้งใจในการใช้งานเทคโนโลยี Charoenwikkai (2023) อธิบายผ่านงานวิจัยด้านการยอมรับเทคโนโลยีโดรนในประเทศไทย พบว่าปัจจัยด้านทักษะและความรู้ของผู้ใช้งานมีบทบาทสำคัญต่อการตัดสินใจใช้โดรนเพื่อการเกษตร โดยเฉพาะการรับรู้ว่าเทคโนโลยีมีความซับซ้อนหรือยากต่อการเรียนรู้

เมื่อความท้าทายในการยอมรับเทคโนโลยีโดรนเพื่อการเกษตรเกิดขึ้นควบคู่กับความจำเป็นเร่งด่วนในการจัดการกับการระบาดของแมลงศัตรูพืช ซึ่งการใช้โดรนมีความเป็นไปได้มากที่สุดในการจัดการปัญหาของศัตรูพืชขั้นต้นโดยเฉพาะมะพร้าวที่ปัญหาของการระบาดจากหนอนหัวดำมะพร้าว (*Opisina arenosella* Walker) ยังคงเป็นปัญหาสำคัญในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะในจังหวัดสมุทรสงคราม ซึ่งมีพื้นที่ปลูกมะพร้าวกว่า 66,900 ไร่ เกิดการระบาดของหนอนหัวดำในพื้นที่กว่า 550 ไร่ (Ministry of Agriculture and Cooperatives,

2025) สร้างความเสียหายอย่างรุนแรง เพราะหนอนชนิดนี้มีพฤติกรรมกัดกินใต้ทางใบ ทำให้ยากต่อการกำจัดด้วยวิธีดั้งเดิม เช่น เครื่องพ่นแบบสะพายหลังหรือการฉีดสารเข้าลำต้น ซึ่งไม่สามารถเข้าถึงจุดซ่อนตัวของหนอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดรนการเกษตรจึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสูง เนื่องจากสามารถพ่นสารเคมีได้ใบได้อย่างแม่นยำและสม่ำเสมอ ลดการฟุ้งกระจายของสาร ลดการสัมผัสโดยตรงของเกษตรกร และช่วยให้เข้าถึงพื้นที่สูงหรือภูมิประเทศซับซ้อนได้สะดวกยิ่งขึ้น (Charoenwikkai, 2023)

แนวทางการกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวในประเทศไทย พบว่ามีการใช้ทั้งสารเคมีและวิธีชีวภาพควบคู่กัน งานวิจัยของสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร แนะนำให้ใช้สาร Spinosad, Chlorantraniliprole หรือ Emamectin benzoate ในรูปแบบการพ่นทางใบหรือฉีดเข้าลำต้นซึ่งให้ผลดีในการควบคุมประชากรหนอนในระยะสั้น ขณะที่งานของ Amporn (2014) เสนอแนวทาง IPM (Integrated Pest Management) ที่ผสมผสานการใช้สารเคมีร่วมกับเชื้อราบิวเวอเรีย (*Beauveria bassiana*) หรือเชื้อราทำลายแมลง และแตนเบียน (*Habrobracon hebetor*) เพื่อควบคุมหนอนอย่างยั่งยืน ลดโอกาสเกิดการดื้อยา ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังช่วยคงคุณภาพผลผลิตมะพร้าวไม่ให้เสื่อมจากการใช้สารเคมีมากเกินไป (Plant Protection Research and Development Office, 2017)

โครงการวิจัยเลือกพื้นที่วิจัยแบบเฉพาะเจาะจงในพื้นที่ระบาดของหนอนหัวดำในระดับปานกลางไปจนถึงระดับรุนแรง ในเขตตำบลท่าคาและตำบลบางนางลี่ จังหวัดสมุทรสงคราม เพื่อออกแบบกรอบการพัฒนาผู้ให้บริการโดรนกำจัดศัตรูพืชในลักษณะเชิงระบบและครบวงจร บูรณาการทั้งมิติทางเทคนิค มิติการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ และมิติเชิงธุรกิจ ตั้งแต่การคัดเลือกและทดสอบสารเคมีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร การตั้งค่าบริการบินให้สอดคล้องกับลักษณะทรงพุ่มมะพร้าว การฝึกอบรมทักษะการบินโดรนและ

การใช้สารเคมีอย่างปลอดภัย ตลอดจนการออกแบบรูปแบบธุรกิจระดับชุมชน และการประยุกต์ใช้แพลตฟอร์มดิจิทัลเพื่อการจองงานและการจัดการข้อมูลการฉีดพ่น เพื่อความยั่งยืนจากการต่อยอดการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีได้มุ่งเน้นผลลัพธ์ด้านประสิทธิภาพการควบคุมศัตรูพืชเท่านั้น หากแต่ยังคำนึงถึงผลกระทบเชิงสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม โดยสามารถช่วยลดต้นทุนแรงงาน เพิ่มผลผลิต เพิ่มความปลอดภัยในการทำงานของเกษตรกร ลดผลกระทบจากการใช้สารเคมี และสร้างโอกาสในการประกอบอาชีพให้แก่เกษตรกรรุ่นใหม่หรือผู้ที่มีความสนใจด้านเทคโนโลยีการเกษตร (Agricultural Research Development Agency [Public Organization], 2022)

จากที่กล่าวมาแล้วว่าการพัฒนาผู้ให้บริการโดรนเกษตรในระดับชุมชนให้เกิดขึ้นได้จริงและมีความยั่งยืนยังคงเผชิญกับความท้าทายหลายประการ ทั้งด้านความพร้อมของเกษตรกรในการเรียนรู้และยอมรับเทคโนโลยีใหม่ ข้อจำกัดด้านกฎระเบียบและการขอใบอนุญาต การเข้าถึงแหล่งเงินทุนสำหรับการจัดหาอุปกรณ์ ตลอดจนการขาดระบบนิเวศสนับสนุน เช่น ศูนย์ซ่อมบำรุงหรือระบบบริหารจัดการงานบริการอย่างเป็นระบบ

งานวิจัยฉบับนี้จึงใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปฏิบัติการ (action research) เพื่อศึกษาทั้งมิติด้านเทคนิคและมิติด้านการพัฒนาผู้ให้บริการในบริบทจริงของชุมชน โดยมุ่งระบุความท้าทายหลักที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานภาคสนาม และสังเคราะห์แนวทางแก้ไขที่สามารถนำไปใช้ได้จริง เพื่อสนับสนุนการพัฒนา Drone Service Provider ให้สามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถขยายผลในเชิงพื้นที่และเชิงนโยบายภายใต้วัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้สารเคมีที่เหมาะสมกับการใช้โดรน ซึ่งสามารถกำจัดแมลงศัตรูมะพร้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมจริงของพื้นที่ศึกษา
2. เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้และพัฒนาศักยภาพของสถาบันการศึกษาและกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ ให้

สามารถพัฒนาไปสู่การเป็นผู้ให้บริการโดรนกำจัดแมลงศัตรูมะพร้าว (drone service provider) ในจังหวัดสมุทรสงครามและพื้นที่ใกล้เคียง

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปฏิบัติการ (action research) ร่วมกับการวิจัยเชิงพื้นที่ (area-based research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการกำจัดแมลงศัตรูพืชในสวนมะพร้าวด้วยโดรนเกษตร ควบคู่กับการพัฒนารูปแบบผู้ให้บริการโดรนในระดับชุมชน กระบวนการวิจัยมุ่งเน้นการทดลองจริงในพื้นที่ การมีส่วนร่วมของเกษตรกร และการพัฒนาองค์ความรู้ที่สามารถนำไปใช้ได้จริงและขยายผล จาก 4 ขั้นตอนของการดำเนินงาน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีและโดรนเกษตรในสวนมะพร้าวจำนวน 2 แปลง ตำบลบางนางลี่ และตำบลท่าคา จังหวัดสมุทรสงคราม ใช้ระยะเวลาการทดลอง 60 วัน เลือกพื้นที่แบบเจาะจง (purposive sampling) ซึ่งเป็นพื้นที่ระบาดของหนอนหัวดำครอบคลุมพื้นที่ทดลองรวม 40 ไร่ โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 20 ต้นต่อไร่ คิดเป็นต้นมะพร้าวที่อยู่ในพื้นที่ทดลองประมาณ 800 ต้น ฉีดพ่นสารเคมีด้วยโดรนเกษตรแบบหลายใบพัด (multirotor agricultural drone) ที่มีถังบรรจุสารเคมีขนาด 45 ลิตร ใช้ระบบพ่นแบบละอองฝอย (mist spray) ที่สามารถควบคุมขนาดหยดน้ำในช่วงประมาณ 250–350 ไมโครเมตร พร้อมระบบควบคุมอัตราการไหลของสารแบบอัตโนมัติและระบบรักษาระดับความสูงคงที่จากยอดพืช (altitude hold system) ทดสอบการบินโดรนร่วมกับการใช้สารเคมี 2 สูตร ได้แก่

สูตรที่ 1 ลูเฟนนูรอน (Lufenuron) 5% EC ร่วมกับสารจับใบพาร์โล เวท ในอัตรา 4–5 ซีซีต่อต้นมะพร้าว หรือประมาณ 80–100 ซีซีต่อไร่ (เฉลี่ย 20 ต้นต่อไร่) โดยใช้ลูเฟนนูรอน 500 มิลลิลิตร และพาร์โล เวท

5 มิลลิลิตร ผสมน้ำ 100 ลิตร ทดสอบในพื้นที่ตำบลบางนางลี่ จังหวัดสมุทรสงคราม

สูตรที่ 2 ทาคุมิ (Flubendiamide) ร่วมกับสารจับใบพาร์โล เวท ในอัตรา 2 กรัมต่อต้นมะพร้าว หรือประมาณ 40 กรัมต่อไร่ โดยใช้ทาคุมิรวม 6.8 กระปุก (กระปุกละ 50 กรัม) และพาร์โล เวท 1 กระปุก ผสมน้ำ 170 ลิตร ทดสอบในพื้นที่ตำบลท่าคา จังหวัดสมุทรสงคราม

การเก็บข้อมูลของการทดสอบอยู่ภายใต้รูปแบบเชิงทดลองภาคสนาม โดยเริ่มเก็บข้อมูลก่อนการทดลองหลังฉีดพ่นครั้งที่ 1 และการฉีดพ่นครั้งที่ 2 วัดผลจากจำนวนซากหนอนหัวดำได้ใบ การแตกยอดใหม่ สีใบ และความสมบูรณ์ของต้น ร่วมกับการประเมินผลการฟื้นตัวของต้นมะพร้าวช่วง 20, 30 และ 60 วัน

การรวบรวมข้อมูลการกระจายสารเคมีใช้กระดาดไต้หวัน (WSP) ติดตั้งในเรือนยอด 3 ระดับ (ยอด-กลาง-ล่าง) ติดตั้ง WSP บริเวณพื้นดินรอบโคนต้นเพื่อตรวจสอบการสูญเสียของสาร หลังจากนั้นทำการสัมภาษณ์เกษตรกรเกี่ยวกับประสิทธิภาพ ความคุ้มค่าและความปลอดภัยหลังจากการฉีดพ่น 60 วัน

การทดลองนี้ทดสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของข้อมูลจากการเก็บข้อมูลซ้ำ เปรียบเทียบระหว่างสูตรสารเคมี และการตรวจสอบข้ามแหล่งข้อมูลโดยกำหนดตัวชี้วัด ดังนี้

(1) ความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง ฉีดพ่นซ้ำ 2 ครั้งต่อสูตร เว้นระยะ 15 วัน และประเมินความสม่ำเสมอของผล จากร้อยละการลดลงของหนอนหัวดำหลังการฉีดพ่นแต่ละครั้ง รวมถึงความสม่ำเสมอของข้อมูลจากต้นตัวอย่าง 9 ต้นต่อแปลง

(2) ความถูกต้องของการวัดการกระจายสารประเมินด้วยกระดาดไต้หวัน (WSP) ที่ติดตั้งในเรือนยอด 3 ระดับ (ยอด-กลาง-ล่าง) และบริเวณพื้นดิน โดยใช้ตัวชี้วัด จำนวนหยด ร้อยละการครอบคลุม และการสูญเสียสู่พื้นดิน

(3) ความถูกต้องของผลเชิงชีวภาพวัดจากร้อยละการลดลงของหนอนหัวดำ และการฟื้นตัวของต้นมะพร้าว (การแตกยอดใหม่และสีใบ) ในช่วง 20-30 วัน และ 60 วัน หลังการฉีดพ่น

(4) ตรวจสอบข้ามแหล่งข้อมูล (Triangulation) โดยเปรียบเทียบข้อมูลเชิงทดลองด้านการลดลงของหนอนหัวดำ ข้อมูลการกระจายสารเคมีจากกระดาดไต้หวัน และข้อมูลสังเกตภาคสนามจากภาพถ่ายและการฟื้นตัวของต้นมะพร้าว หากผลจากทั้งสามแหล่งมีความสอดคล้องกัน จะถือว่าผลการวิจัยมีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องสูง

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษารูปแบบธุรกิจของผู้ให้บริการโดรนเพื่อวิเคราะห์รูปแบบธุรกิจบริการโดรนที่เหมาะสมกับสวนมะพร้าวในท้องถิ่น โดยคำนึงถึงปัจจัยด้านลูกค้า บริการ ต้นทุน ช่องทางการตลาด การสร้างพันธมิตร และความยั่งยืน รวมถึงพิจารณารูปแบบบริการเชิงพาณิชย์ บริการพันธมิตร บริการสำรวจสุขภาพพืช และบริการฝึกอบรม

ขั้นตอนที่ 3 ดำเนินการฝึกอบรมให้แก่สถาบันการศึกษาในจังหวัดสมุทรสงคราม เกษตรกร และผู้ให้บริการโดรน ในหลักสูตรความรู้เกี่ยวกับแมลงศัตรูพืช การเลือกใช้สารเคมี การใช้อย่างปลอดภัย การจัดเก็บการบูรณาการ IPM และการปฏิบัติตามกฎหมาย

ขั้นตอนที่ 4 การอบรมทักษะการบินโดรนเพื่อการเกษตรด้วยการฝึกอบรมภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติในการบินโดรนในสวนมะพร้าว ครอบคลุมหัวข้อพื้นฐาน การพ่นสารเคมี การสำรวจสวน การบำรุงรักษา ความปลอดภัย การขอใบอนุญาต และการใช้ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง ตามกรอบแนวคิดในการวิจัย โดยเริ่มจากการทดลองภาคสนามเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้โดรนร่วมกับสารเคมีในสภาพพื้นที่จริง ผลการทดลองถูกนำไปใช้ในการถ่ายทอดองค์ความรู้และพัฒนาทักษะก่อนต่อยอดสู่การจัดตั้งและขยายผลผู้ให้บริการโดรนในระดับชุมชนอย่างยั่งยืน

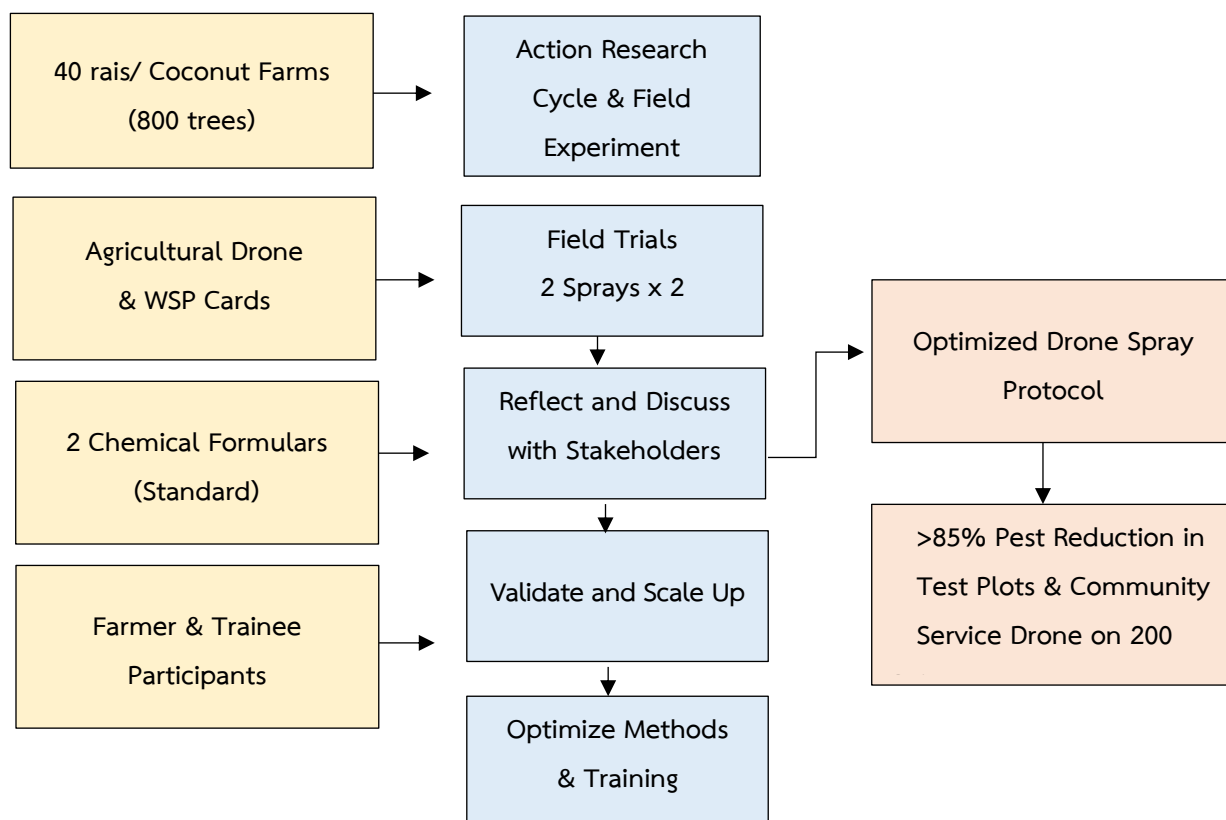


Figure 1 Illustrates the procedures used to evaluate the effectiveness of drone-based chemical spraying for coconut pest control, together with the action research process for developing drone service providers in the target area.

ผลการวิจัย

ผลการทดลองจากแปลงตัวแทนในพื้นที่
ศึกษาแสดงให้เห็นว่า สารเคมีแต่ละสูตรให้ผลลัพธ์

ที่แตกต่างกันในด้านความเร็วและลักษณะการฟื้นตัวของต้นมะพร้าว ดังแสดงใน Table 1 ซึ่งสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสูตรสารเคมีที่ใช้ร่วมกับโดรนภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน ดังนี้

Table 1 Comparison of chemical formulations used with drones for coconut pest control

Comparison criteria	Lufenuron + Adjuvant	Flubendiamide (Takumi) + Adjuvant
Test area	Bang Nang Li sub-district, 15 rai	Tha Kha sub-district, 25 rai
Field characteristics	Tall coconut trees; prevailing local winds	Open plantation area
Spraying frequency	2 applications (7-day interval)	2 applications (7-day interval)
Black-headed caterpillar reduction	Significant reduction (>85%)	Very high reduction (>85–90%)
Shoot recovery	New shoot emergence observed	Rapid shoot recovery; dark green leaves
Leaf condition after 60 days	Gradual increase in leaf greenness	Dense and uniform green foliage
Spray distribution (WSP)	Adequate coverage at all canopy levels	Excellent and uniform canopy coverage
Adverse effects on plants	No abnormal symptoms observed	No severe adverse effects observed

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า สารเคมีทั้งสองสูตรสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับโดรนได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพพื้นที่จริง โดยหลังการฉีดพ่น 2 ครั้ง หนอนหัวดำลดลงมากกว่าร้อยละ 85 และต้นมะพร้าวแสดงการฟื้นตัวชัดเจนภายใน 60 วัน การใช้โดรนช่วยให้การกระจายละอองสารครอบคลุมเรือนยอดได้ดี ลดการสูญเสียสารเคมี และเพิ่มความปลอดภัยเมื่อเทียบกับการฉีดพ่นแบบดั้งเดิม

Table 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับความเสียหายของต้นมะพร้าวจากการระบาดของหนอนหัวดำในช่วงเวลาก่อนและหลังการฉีดพ่นสารเคมีด้วยโดรนเกษตรกร โดยติดตามผลหลังการฉีดพ่นครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 รวมถึงการติดตามผลระยะ 60 วัน ผลการทดลองสะท้อนให้เห็นแนวโน้มการลดลงของการระบาดอย่างต่อเนื่องและการฟื้นตัวของต้นมะพร้าวในสภาพแวดล้อมจริงของพื้นที่ศึกษาอย่างชัดเจน

Table 2 Changes in the severity of coconut tree damage

Time period	Level of black-headed caterpillar infestation	Condition of coconut trees
Before spraying	High (dry leaves, damaged or stunted shoots)	Growth stagnation
After 1st application (15 days)	Reduced by ~50–60%	Initial recovery; partial new leaf emergence
After 2nd application (30 days)	Reduced to ~15–20%	Clear shoot emergence; green leaves
60-day follow-up	Very low (<10%)	Good recovery; mostly green foliage

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงระดับความเสียหายของต้นมะพร้าวจากการระบาดของหนอนหัวดำในช่วงเวลาก่อนและหลังการฉีดพ่นสารเคมีด้วยโดรนเกษตร โดยก่อนการฉีดพ่นพบว่าการระบาดอยู่ในระดับสูง ส่งผลให้ใบแห้งและยอดมะพร้าวหยุดการเจริญเติบโต หลังการฉีดพ่นครั้งที่ 1 เป็นระยะเวลา 15 วัน ระดับการระบาดลดลงประมาณร้อยละ 50–60 และต้นมะพร้าวเริ่มแสดงอาการฟื้นตัว โดยมีการแตกใบใหม่บางส่วน หลังการฉีดพ่นครั้งที่ 2 เมื่อครบ 30 วัน พบว่าการระบาดลดลงเหลือประมาณร้อยละ 15–20 และต้นมะพร้าวมีการแทงยอดใหม่อย่างชัดเจน ใบมีสีเขียวมากขึ้น เมื่อทำการติดตามผลในระยะ 60 วัน ระดับการระบาดลดลงอยู่ในระดับต่ำมาก (น้อยกว่าร้อยละ 10) และต้นมะพร้าวส่วนใหญ่ฟื้นตัวได้ดี ใบเขียวสมบูรณ์ สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้สารเคมีร่วมกับโดรนในการควบคุมหนอนหัวดำในสภาพพื้นที่จริงอย่างมีนัยสำคัญ

หลังจากได้ผลการทดลองด้านประสิทธิภาพของการใช้โดรนเกษตรและสารเคมีที่เหมาะสมแล้วจึงเริ่มดำเนินการขยายผล เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้และพัฒนาศักยภาพของสถาบันการศึกษาและกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่

ให้สามารถพัฒนาไปสู่การเป็นผู้ให้บริการโดรนกำจัดแมลงศัตรูมะพร้าว (Drone Service Provider) ในจังหวัดสมุทรสงครามและพื้นที่ใกล้เคียง ผลการวิจัยแสดงให้เห็นโอกาสและความท้าทายดังรายงานผลการวิจัยต่อไปนี้

ความซับซ้อนของการใช้โดรน ทำให้เกษตรกรที่มีกำลังทรัพย์แต่ไม่มีความรู้ถึงจะเป็น service provider

ผลการดำเนินการฝึกอบรมเพื่อต่อยอดสู่การพัฒนาผู้ให้บริการโดรนเกษตร (drone service provider) ในระดับชุมชน พบว่ามีความก้าวหน้าในหลายด้านที่สำคัญ โดยเฉพาะในแง่ของการสร้างศักยภาพของบุคลากรในพื้นที่ให้พร้อมต่อการเป็นผู้ให้บริการอย่างเป็นระบบ ผลการฝึกอบรมกับผู้เข้าร่วมจำนวน 50 คน ครอบคลุมทั้งเกษตรกร คนรุ่นใหม่ และผู้สนใจทั่วไป ซึ่งผ่านการเรียนรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติในสองหัวข้อหลัก ได้แก่ 1) การใช้สารเคมีกำจัดแมลงอย่างถูกต้องและปลอดภัย และ 2) การบินโดรนเกษตรเพื่อการพ่นสาร ซึ่งมีความซับซ้อนในด้านการควบคุมอุปกรณ์ ความปลอดภัยในการใช้งาน และการบำรุงรักษาเบื้องต้น จากผู้เข้าร่วมทั้งหมดมีเพียง 6 คนที่สามารถสอบผ่านเกณฑ์และได้รับใบอนุญาตนักบินโดรนอย่างถูกต้องตามกฎหมาย พร้อมทั้ง

จะเข้าสู่การให้บริการจริงในพื้นที่ ถือเป็นความสำเร็จเบื้องต้นของโครงการในการสร้างกลุ่มผู้ให้บริการรายแรกที่มีความรู้ ทักษะ และความมั่นใจในการปฏิบัติงาน

อย่างไรก็ตาม แม้ผู้ผ่านการอบรมจำนวนมากจะได้รับความรู้พื้นฐาน แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในด้านความต่อเนื่อง เช่น การขาดเงินทุนเริ่มต้นในการซื้ออุปกรณ์หรือความลังเลของบางรายที่ยังไม่มั่นใจในการประกอบธุรกิจเดี่ยว ดังนั้นจึงเกิดข้อเสนอในการพัฒนารูปแบบการรวมกลุ่ม เช่น วิสาหกิจชุมชน หรือ smart farmer startup เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรร่วมกัน และลดความเสี่ยงจากการลงทุน หนึ่งในประเด็นสำคัญที่สะท้อนออกมาจากกลุ่มเป้าหมาย คือ ความลังเลของเกษตรกรที่มีกำลังทรัพย์แต่ไม่มีความรู้ด้านเทคนิค ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการขยายตัวของผู้ให้บริการโทรเกษตรในระดับชุมชน แม้จะมีเกษตรกรบางรายที่มีศักยภาพทางการเงินเพียงพอในการลงทุนซื้ออุปกรณ์และตั้งต้นธุรกิจบริการพ่นสารด้วยโดรน แต่ไม่มั่นใจในความสามารถของตนเองในการเรียนรู้การควบคุมและบำรุงรักษาโดรน รวมถึงการปฏิบัติตามกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง เช่น การขอใบอนุญาตและการบริหารความเสี่ยงด้านความปลอดภัยของผู้ใช้และพื้นที่โดยรอบ ความรู้สึกที่โดรนเป็นเทคโนโลยีที่ซับซ้อนหรือไกลตัวจึงเป็นอุปสรรคเชิงจิตวิทยา ที่ทำให้ผู้มีศักยภาพกลุ่มนี้ตัดสินใจชะลอหรือยุติความคิดที่จะเข้าสู่อาชีพนี้ แม้ว่าตลาดจะมีความต้องการสูงและมีโอกาสสร้างรายได้ที่มั่นคง

นอกจากนี้ ยังมีข้อสังเกตว่าเกษตรกรบางรายกลัวการใช้ผิดวิธี เช่น พ่นผิดความสูง ผิดปริมาณ หรือพ่นในทิศทางลม ทำให้มีผลกระทบต่อพืชผลหรือเพื่อนบ้าน ซึ่งความกังวลเหล่านี้สะท้อนถึงช่องว่างขององค์ความรู้ที่ยังไม่ได้รับการเติมเต็มจากระบบสนับสนุนในพื้นที่

ความกังวลด้านสารเคมีกับความต้องการสารเคมีในการกำจัดศัตรูมะพร้าวอย่างเร่งด่วน

ความกังวลด้านสารเคมีสะท้อนความตื่นตัวของชุมชนต่อประเด็นสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ แม้โครงการวิจัย

จะใช้วิธีการควบคุมอย่างรัดกุมและได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แต่หากไม่มีการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ และการมีส่วนร่วมของชุมชนตั้งแต่ต้นความเข้าใจผิดจะกลายเป็นแรงต้านสำคัญที่ขัดขวางความก้าวหน้าของนวัตกรรมด้านการเกษตร โดยเฉพาะการพัฒนาผู้ให้บริการโดรนในระดับพื้นที่ ซึ่งต้องอาศัยความไว้วางใจจากผู้ใช้งานปลายทาง

ประเด็นปัญหาที่พบ คือ ความวิตกกังวลของชาวบ้านในพื้นที่โดยรอบสวนมะพร้าวเกี่ยวกับการใช้สารเคมี โดยเฉพาะเรื่องการฟุ้งกระจายของละอองสารที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของคนในครัวเรือน และก่อให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เช่น แหล่งน้ำหรือพืชผลทางการเกษตรที่อยู่ใกล้เคียง ความกังวลเหล่านี้นำไปสู่การตั้งคำถาม และแสดงความไม่สบายใจต่อกิจกรรมของโครงการอย่างชัดเจน

แม้ในภาพรวมจะพบว่ามีความกังวลด้านสารเคมีจากชุมชนโดยรอบพื้นที่ทดลอง ซึ่งส่งผลให้การดำเนินกิจกรรมฉีดพ่นและการพัฒนาธุรกิจด้านสารเคมีกำจัดศัตรูมะพร้าวเผชิญกับข้อจำกัดในระดับหนึ่ง แต่เมื่อพิจารณาในระดับเจ้าของสวนหรือเกษตรกรผู้ได้รับผลกระทบโดยตรงจากหนอนหัวดำ กลับพบว่าไม่ได้มีความกังวลต่อการใช้สารเคมีในระดับที่เป็นอุปสรรค หากแต่ให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพในการจัดการศัตรูพืชมากกว่า เจ้าของสวนส่วนใหญ่ต้องการเพียงให้สามารถควบคุมหนอนหัวดำได้อย่างรวดเร็วและได้ผล ซึ่งสะท้อนถึงความคาดหวังที่เน้นผลลัพธ์ทางการเกษตรเป็นหลักมากกว่าความกังวลเชิงสิ่งแวดล้อมหรือสุขภาพ

ความแตกต่างของทัศนคติระหว่างชาวบ้านในบริเวณใกล้เคียงกับเกษตรกรเจ้าของสวน จึงกลายเป็นประเด็นที่โครงการจำเป็นต้องบริหารจัดการอย่างรอบคอบ ทั้งในด้านการสื่อสาร ความโปร่งใสของข้อมูล และการสร้างความเข้าใจร่วมกันในชุมชน เพื่อให้การพัฒนานวัตกรรม เช่น การใช้โดรนเพื่อพ่นสารเคมีสามารถดำเนินไปได้อย่างราบรื่นและเกิดประโยชน์สูงสุดทั้งในเชิงเทคนิคและการยอมรับทางสังคม

การสนับสนุนจากหน่วยงานในพื้นที่ทั้งจากภาครัฐและเอกชนยังไม่เป็นรูปธรรม

ผลการรวบรวมข้อมูลเพื่อสังเคราะห์อุปสรรคในการพัฒนาผู้ให้บริการโดรนเกษตรในจังหวัดสมุทรสงคราม พบว่า “การสนับสนุนจากหน่วยงานในพื้นที่ทั้งภาครัฐและเอกชนยังไม่เป็นรูปธรรม” เป็นหนึ่งในปัจจัยจำกัดที่ส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนาและขยายผลโครงการ Drone Service Provider ในระดับชุมชน

แม้โครงการจะได้รับความร่วมมือในระดับเบื้องต้น เช่น การจัดอบรมหรือการอำนวยความสะดวกจากหน่วยงานภาครัฐในจังหวัด แต่ในเชิงโครงสร้างระบบสนับสนุนระยะยาว เช่น งบประมาณต่อเนื่อง การสร้างกลไกขับเคลื่อนถาวร หรือการประสานความร่วมมือข้ามหน่วยงาน ยังไม่ปรากฏให้เห็นอย่างเป็นรูปธรรม ความพยายามของเกษตรกรหรือผู้ผ่านการอบรมจำนวนหนึ่งจึงกลายเป็นความพยายามแบบ “โดดเดี่ยว” และขาดแรงส่งทางนโยบาย

ภาคเอกชนเองก็ยังไม่เข้ามามีบทบาทอย่างจริงจัง เช่น ด้านการตลาด การลงทุนร่วม หรือการจัดหาช่องทางจำหน่ายบริการ ซึ่งทำให้โอกาสในการขับเคลื่อนโมเดลธุรกิจมีลักษณะ startup หรือ smart service provider ยังไม่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน

การขาดโครงสร้างสนับสนุนที่ชัดเจนและต่อเนื่อง ส่งผลให้โครงการอยู่ในลักษณะ “ต้นแบบทดลอง” มากกว่าจะสามารถกลายเป็นระบบที่ขยายผลในเชิงพื้นที่ได้อย่างยั่งยืน ทั้งที่มีความพร้อมของบุคลากรและเทคโนโลยีในระดับหนึ่งแล้วก็ตาม นี่คือการอ่อนเชิงระบบที่ต้องได้รับการเสริมในระยะถัดไป โดยเฉพาะผ่านนโยบายระดับจังหวัด หรือกลไกกลางที่เชื่อมโยงรัฐ-เอกชน-ชุมชนเข้าด้วยกันอย่างเป็นรูปธรรม

อัตราผลตอบแทนชี้ให้เห็นว่าคืนทุนได้เร็ว แต่ยังคงขาดความชัดเจนในด้านต้นทุนค่าซ่อมบำรุงค่าเก็บรักษาจากผู้ให้บริการเช่าโดรนหรือขายโดรน

ผลการรวบรวมข้อมูลเพื่อสังเคราะห์อุปสรรคในการพัฒนาผู้ให้บริการโดรนเกษตรในจังหวัดสมุทรสงคราม พบว่า แม้การประเมินเบื้องต้นด้านอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) จะชี้ว่าธุรกิจให้บริการโดรนมีศักยภาพในการคืนทุนได้ค่อนข้างเร็ว เนื่องจากมีความต้องการใช้งานจริงจากเกษตรกร และสามารถลดต้นทุนแรงงานได้อย่างชัดเจน แต่ในทางปฏิบัติยังมีข้อจำกัดสำคัญที่กระทบต่อความยั่งยืนของรูปแบบธุรกิจ

ต้นทุนรวมในการดำเนินธุรกิจผู้ให้บริการโดรนเกษตรอยู่ที่ประมาณ 1,362,000 บาทต่อปี โดยเป็นต้นทุนถาวรสูงถึงกว่าร้อยละ 77 ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด ประกอบด้วยค่าชุดโดรนและอุปกรณ์ประมาณ 700,000 บาท และค่ารถกระบะสำหรับขนส่ง 350,000 บาท ขณะที่ต้นทุนดำเนินงานรายปีอยู่ที่ประมาณ 312,000 บาท แม้ค่าบริการพ่นสารต่อไร่จะอยู่ในระดับที่เอื้อต่อการคืนทุนภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 ปี หากมีงานต่อเนื่องแต่ยังพบอุปสรรคสำคัญจากความไม่ชัดเจนของต้นทุนแฝงระยะยาว

ประเด็นหลัก คือ การขาดข้อมูลมาตรฐานเกี่ยวกับค่าซ่อมบำรุงและค่าเก็บรักษาอุปกรณ์ เช่น ค่าเปลี่ยนอะไหล่ แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพเร็ว ค่าบำรุงรักษาระบบการบิน และค่าแรงช่างผู้เชี่ยวชาญ ทำให้ผู้ประกอบการไม่สามารถคาดการณ์ต้นทุนที่แท้จริงและวิเคราะห์จุดคุ้มทุนได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ ระบบบริการหลังการขายยังมีข้อจำกัดด้านพื้นที่ เนื่องจากไม่มีศูนย์ซ่อมในจังหวัดหรือพื้นที่ใกล้เคียง ส่งผลให้เกิดต้นทุนแฝงด้านเวลา การขนส่ง และการหยุดชะงักของการให้บริการ

อุปสรรคดังกล่าวทำให้ผู้ประกอบการต้องถื่น แม้จะเห็นโอกาสทางรายได้จากธุรกิจโดรนเกษตร แต่ยังคงเล็งเล่อต่อการลงทุนในระยะยาว ดังนั้น การพัฒนาโมเดลผู้ให้บริการโดรนในระดับชุมชนจำเป็นต้องมีแนวทางต้นทุนมาตรฐานที่โปร่งใส การสนับสนุนด้านการเงิน และระบบบริการหลังการขายในพื้นที่ เพื่อสร้างความมั่นใจและความยั่งยืนของธุรกิจในระยะยาว

การเข้าถึงแหล่งเงินทุนในการกู้ยืมยังไม่แพร่หลาย

โครงการได้ทำการศึกษาและสำรวจแหล่งเงินทุนในพื้นที่จังหวัดสมุทรสงคราม พบว่าไม่มีแหล่งทุนหรือหน่วยงานทางการเงินใดที่ให้บริการสินเชื่อหรือเงินกู้สำหรับการลงทุนในเทคโนโลยีโดรนเกษตรโดยเฉพาะ ทั้งในระดับธนาคารพาณิชย์ สถาบันการเงินท้องถิ่น หรือกองทุนสนับสนุนชุมชน ส่งผลให้เกษตรกรและผู้สนใจในธุรกิจโดรนไม่สามารถเข้าถึงเงินทุนเริ่มต้นสำหรับจัดซื้ออุปกรณ์ได้อย่างเป็นรูปธรรม แม้จะมีความต้องการใช้งานจริงและมองเห็นโอกาสในเชิงรายได้เป็นอย่างดี

เมื่อพิจารณาจากต้นทุนการจัดตั้งธุรกิจผู้ให้บริการโดรนที่ประเมินไว้ในเบื้องต้น อยู่ที่ประมาณ 1.36 ล้านบาทต่อหนึ่งหน่วยบริการ ครอบคลุมค่าโดรน อุปกรณ์ รถขนส่ง ค่าบำรุงรักษา และค่าแรงงานตลอดทั้งปี ถือเป็นจำนวนเงินที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเศรษฐกิจของชุมชนระดับตำบล หรือรายได้ของเกษตรกรรายย่อยทั่วไป ทำให้การลงทุนในธุรกิจดังกล่าวแทบเป็นไปไม่ได้หากขาดการสนับสนุนด้านเงินทุนโดยตรง

ข้อจำกัดนี้จึงกลายเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการพัฒนาผู้ให้บริการโดรนในระดับชุมชน เพราะไม่เพียงแต่ขาดเงินทุนตั้งต้น หากแต่ยังไม่มีเครื่องมือทางการเงินที่เหมาะสมกับลักษณะธุรกิจที่ต้องใช้เทคโนโลยีต้นทุนสูงในช่วงเริ่มแรก แต่ต้นทุนในระยะกลางถึงยาว ซึ่งแตกต่างจากรูปแบบเกษตรดั้งเดิมที่แหล่งเงินทุนมีความคุ้นชินมากกว่า สถานการณ์นี้จึงชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการจัดตั้งกลไกการสนับสนุนทางการเงินใหม่ ไม่ว่าจะเป็นโครงการร่วมทุนระหว่างรัฐกับเอกชน สินเชื่อดอกเบี้ยต่ำที่ออกแบบเฉพาะสำหรับเทคโนโลยีการเกษตร หรือระบบค้ำประกันความเสี่ยงผ่านกองทุนชุมชนหรือสหกรณ์ เพื่อให้เกิดการเข้าถึงเงินทุนอย่างเท่าเทียมและส่งเสริมให้ธุรกิจผู้ให้บริการโดรนสามารถเริ่มต้นได้จริงในระดับพื้นที่

ต้นทุนที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะรถในการขนส่ง ส่งผลต่อต้นทุนในการเริ่มต้นการประกอบธุรกิจ ผู้ให้บริการโดรนเกษตรอย่างมีนัยสำคัญ

ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงาน โดยเฉพาะค่าใช้จ่ายในการจัดการขนส่ง เช่น รถกระบะสำหรับบรรทุกอุปกรณ์และโดรน ถือเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อต้นทุนเริ่มต้นของธุรกิจอย่างมีนัยสำคัญ การลงทุนในรถยนต์แม้จะเป็นทรัพย์สินถาวรที่สามารถใช้งานได้ในระยะยาว แต่สำหรับผู้ประกอบการรายใหม่ในระดับชุมชน การจัดการในช่วงเริ่มต้นต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมาก โดยในกรณีของโครงการต้นแบบประเมินต้นทุนรถกระบะมือสองไว้ที่ประมาณ 350,000 บาท ซึ่งคิดเป็นเกือบหนึ่งในสี่ของต้นทุนรวมในการเริ่มต้นธุรกิจ

ต้นทุนส่วนนี้จึงไม่เพียงแต่เป็นภาระด้านการเงินในช่วงตั้งต้น แต่ยังอาจเป็นตัวแปรที่ทำให้เกษตรกรรายย่อยหรือกลุ่มวิสาหกิจชุมชนไม่สามารถเข้าสู่ธุรกิจผู้ให้บริการโดรนได้อย่างเต็มรูปแบบ หากไม่ได้รับการสนับสนุนหรือมีโมเดลการจัดการที่เหมาะสม เช่น การใช้ระบบร่วมใช้รถ (shared logistics) ระหว่างผู้ให้บริการในพื้นที่ หรือการเช่าใช้งานในระยะเริ่มต้น ทั้งนี้ การออกแบบต้นทุนเริ่มต้นของธุรกิจให้เหมาะสมกับศักยภาพของชุมชนและการลดภาระการลงทุนในส่วนที่ไม่ใช่เทคโนโลยีหลัก จึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ธุรกิจผู้ให้บริการโดรนสามารถขยายตัวได้จริงในพื้นที่ชนบท

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การใช้โดรนเกษตรร่วมกับสารเคมีทั้งสองสูตร ได้แก่ ลูเฟนนูรอน (Lufenuron) และฟลูเบนไดอไมด์ (Flubendiamide) สามารถควบคุมการระบาดของหนอนหัวดำมะพร้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมจริง โดยหลังการฉีดพ่น 2 ครั้ง ระดับการระบาดลดลงมากกว่าร้อยละ 85 และต้นมะพร้าวฟื้นตัวชัดเจนภายในระยะเวลา 60 วัน ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดการใช้เทคโนโลยีโดรนในระบบ smart farming ที่มุ่งเพิ่มความแม่นยำ ลดการสูญเสียสาร

และลดความเสียหายต่อแรงงาน (Secretariat of the House of Representatives, 2022)

เมื่อพิจารณาในเชิงเทคนิค ผลการกระจายสารจากกระดาดไวน้ำ (WSP) แสดงให้เห็นว่าการตั้งค่าการบินที่ความสูงประมาณ 2 เมตร และการหยุด Hover ตามเวลาที่กำหนด สามารถทำให้ละอองสารครอบคลุมเรือนยอดมะพร้าวได้ทุกระดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Yallappa *et al.* (2023) ที่ระบุว่า การควบคุมพารามิเตอร์การบินเป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการพ่นสารในพืชลำต้นสูง เช่น มะพร้าว งานวิจัยนี้จึงช่วยยืนยันว่าแนวทางดังกล่าวสามารถนำมาปรับใช้ได้จริงในบริบทของประเทศไทย

ในมิติของสารเคมี พบว่าสารทั้งสองสูตรให้ผลลัพธ์แตกต่างกันในเชิงลักษณะการพ่นตัว โดยสูตรฟลูเบนไดอไมด์ให้ผลการพ่นตัวของยอตและสีไบที่รวดเร็วกว่า ขณะที่ลูเฟนูรอนให้ผลการควบคุมประชากรหนอนอย่างสม่ำเสมอ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับเอกสารของกรมวิชาการเกษตรและงานของ Amporn (2014) ที่ชี้ว่า สารเคมีกลุ่มควบคุมการลอกคราบและกลุ่มออกฤทธิ์ต่อระบบกล้ามเนื้อของแมลงมีประสิทธิภาพสูงต่อหนอนหัวดำในระยะสั้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ได้ขยายองค์ความรู้เพิ่มเติมโดยแสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้ร่วมกับโดรนสามารถลดข้อจำกัดของการพ่นแบบดั้งเดิมที่ไม่สามารถเข้าถึงได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ

ผลการวิจัยยังสอดคล้องกับงานของ Daoden *et al.* (2021) ยืนยันว่า โดรนช่วยเพิ่มความแม่นยำในการจัดการศัตรูพืชและลดการใช้สารเคมีเกินความจำเป็น ทั้งนี้ งานวิจัยปัจจุบันได้เพิ่มมิติใหม่ด้วยการทดสอบในระดับแปลงจริงขนาดใหญ่ (40 ไร่ 800 ต้น) และการตรวจสอบข้ามแหล่งข้อมูล (triangulation) ทั้งข้อมูลเชิงชีวภาพ การกระจายสารและการสังเกตภาคสนาม ทำให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือสูง

ในเชิงทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี ผลการทดลองด้านประสิทธิภาพของสารเคมีมีบทบาทสำคัญต่อการรับรู้ ประโยชน์ของเทคโนโลยี (perceived

usefulness) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจยอมรับโดรนของเกษตรกร ตามที่ Charoenwikkai (2023); Setthamani (2022) ได้อธิบายไว้ กล่าวคือ เมื่อเกษตรกรเห็นผลลัพธ์ที่ชัดเจนจากการควบคุมศัตรูพืชและการฟื้นตัวของสวน ความกังวลด้านเทคโนโลยีและสารเคมีจะลดลง และเกิดทัศนคติเชิงบวกต่อการใช้โดรนมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม แม้ผลเชิงเทคนิคจะยืนยันประสิทธิภาพของโดรนและสายเคมีย่างชัดเจน งานวิจัยนี้พบว่าการขยายผลยังเผชิญข้อจำกัดเชิงสังคมและโครงสร้าง เช่น ความกังวลของชุมชนต่อสารเคมี และการขาดระบบสนับสนุนในระดับพื้นที่ ประเด็นนี้สอดคล้องกับ Setthamani (2022) ที่ชี้ว่าการยอมรับเทคโนโลยีโดรนไม่ได้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับ การสื่อสาร ความไว้วางใจ และระบบสนับสนุนรอบด้าน

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า การใช้โดรนเกษตรแบบหลายใบพัดที่สามารถควบคุมความสูงและอัตราการพ่นได้อย่างแม่นยำ ร่วมกับการตั้งค่าการบินที่เหมาะสม (ความสูงประมาณ 2 เมตร และการพ่นเฉลี่ย 8 วินาทีต่อต้น) ช่วยให้การกระจายละอองสารเคมีครอบคลุมเรือนยอดมะพร้าวได้ทุกระดับ ทั้งชั้นบน ชั้นกลาง และใต้ใบ ส่งผลให้การกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวมีประสิทธิภาพสูงในสภาพพื้นที่จริง ลดการพึ่งกระจายของสารและเพิ่มความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพ่นแบบดั้งเดิม

ในด้านสารเคมี พบว่าสารทั้งสองสูตร ได้แก่ ลูเฟนูรอน (Lufenuron) ซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของแมลง และฟลูเบนไดอไมด์ (Flubendiamide) ซึ่งออกฤทธิ์ต่อระบบกล้ามเนื้อของแมลง สามารถควบคุมการระบาดของหนอนหัวดำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลังการฉีดพ่น 2 ครั้ง ห่างกัน 7 วัน ระดับการระบาดลดลงมากกว่าร้อยละ 85 ภายในระยะเวลา 60 วัน ต้นมะพร้าวแสดงการฟื้นตัวอย่างชัดเจน ทั้งการแทงยอด

ใหม่และการเพิ่มความเชี่ยวชาญของใบ โดยสูตร
ฟลูเบนไดอไมด์ให้ผลการฟื้นตัวที่รวดเร็วกว่า ขณะที่สูตร
ลูเฟนนูรอนให้ผลการควบคุมประชากรหนอนอย่าง
สม่ำเสมอ

การถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการใช้สารเคมีอย่าง
ถูกต้องและปลอดภัยควบคู่กับการฝึกทักษะการบินโดรน
ช่วยยกระดับศักยภาพของเกษตรกรและบุคลากรในพื้นที่
ให้มีความพร้อมต่อการเป็นผู้ให้บริการโดรนเกษตร
ในระดับชุมชน อย่างไรก็ตาม การขยายผลในเชิงธุรกิจ
ยังเผชิญข้อจำกัดด้านต้นทุนเริ่มต้น ต้นทุนแฝงจากการ
ซ่อมบำรุงโดรน และระบบบริการหลังการขายในพื้นที่
ผลการวิจัยจึงสะท้อนให้เห็นว่าการพัฒนา drone
service provider อย่างยั่งยืน จำเป็นต้องบูรณาการ
ทั้งเทคโนโลยีโดรน สารเคมีที่เหมาะสม การพัฒนาทักษะ
บุคลากร และระบบสนับสนุนเชิงนโยบายควบคู่กัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัย
ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การ
มหาชน) (สวก.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณและ
แนวทางเชิงวิชาการ อันเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้งานวิจัย
สามารถดำเนินการได้อย่างเป็นระบบและบรรลุ
วัตถุประสงค์ตามที่กำหนดไว้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันการเรียนรู้เพื่อปวงชน
ที่ให้การสนับสนุนด้านองค์ความรู้ การประสานงาน และ
การจัดการเรียนรู้ร่วมกับชุมชน ตลอดจนเจ้าหน้าที่
ทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัยตลอด
ระยะเวลาโครงการ ขอขอบคุณสภาเกษตรกรจังหวัด
สมุทรสงคราม ที่ให้ความร่วมมือในการประสานเครือข่าย
เกษตรกร ให้คำแนะนำเชิงพื้นที่และสนับสนุนการดำเนิน
กิจกรรมภาคสนาม ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการทดลองและการ
ขยายผลในระดับพื้นที่จริง

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอขอบคุณ เกษตรกรเจ้าของ
สวนมะพร้าวทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือ อนุเคราะห์พื้นที่
ทดลอง แลกเปลี่ยนประสบการณ์ และให้ข้อมูลภาคสนาม
อย่างเต็มที่ ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้งานวิจัยฉบับนี้
สามารถสะท้อนสภาพจริงของพื้นที่ และนำไปสู่ข้อค้นพบ
ที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน
ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกภาคส่วนที่มีส่วนร่วมและสนับสนุน
งานวิจัยฉบับนี้ไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- Agricultural Research Development Agency
(Public Organization). 2022. **Role of
new-generation farmers in building
national economic security.**
Retrieved from [https://www.arda.
or.th/detail/6179](https://www.arda.or.th/detail/6179) [in Thai]
- Amporn, W. 2014. Integrated pest management
of important insect pests of coconut.
**Coconut Research & Development
Journal** 30(2): 18–36.
- Anderson, K. and K.J. Gaston. 2013. Lightweight
unmanned aerial vehicles will
revolutionize spatial ecology.
**Frontiers in Ecology and the
Environment** 11(3): 138–146.
<https://doi.org/10.1890/120150>
- Charoenwikkai, P. 2023. **Factors for
Acceptance of Drone Technology
for Spraying Herbicides in Sugarcane
Fields, Lan Krabue District,
Kamphaeng Phet Province.**
Master Thesis. Naresuan University.
57 p. [in Thai]

- Daoden, K., T. Sornnen, T. Pankasemsuk, P. Phaphuangwittayakal, S. Sringam, and S. Nicrotha. 2021. Development of agricultural spraying drones prototype for coconut beetle weevil control. **Natural Volatiles & Essential Oils** 8(5): 8322–8322.
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2025. **Report on coconut black-headed caterpillar outbreak monitoring in Samut Songkhram province.** Retrieved from <https://www.moac.go.th/moaceng-news-preview-471891792209>
- Pandiselvam, R., Daliyamol, S. Syed Imran, V. Hegde, M. Sujithra, P.S Prathibha, V.H. Prathibha and K.B. Hebbar. 2024. Evaluation of unmanned aerial vehicle for effective spraying application in coconut plantations. **Heliyon** 10(19): 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38569>
- Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture. 2017. **Technical Document: Management of Coconut Pests.** **Bangkok:** 91 p. *In* Research Report. Bangkok. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [in Thai]
- Secretariat of the House of Representatives. 2022. **Analytical report on the application of drones in Thai agriculture.** Retrieved from https://library.parliament.go.th/th/radio-script/rr2565-mar4?utm_source=chatgpt.com
- Setthamani, T. 2022. **Factors Influencing the Adoption of Drones for Rice Farming among Large-scale Rice Farmers in Pathum Thani Province.** Master Thesis. Thammasat University. 112 p. [in Thai]
- Yallappa, D., R. Kavitha, A. Surendrakumar, B. Suthakar, A.P. Mohan Kumar, M.K. Kalarani and B. Kannan. 2023. Effect of downwash airflow distribution of multi-rotor unmanned aerial vehicle on spray droplet deposition characteristics in rice crop. **ResearchGate** 125(2): 172–182. <https://doi.org/10.18520/cs/v125/i2/172-182>

การเปรียบเทียบความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์
เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวีแกน
Marketing Mix Requirements Comparison in Vegan Consumers' Purchase
of Instant Seasonings

อมรรัตน์ ถนนแก้ว¹ พรพิมล มะยะเฉียว¹ พิมพชนก ฮกธา² วิไลลักษณ์ กล่อมพงษ์¹ และเสาวณีย์ เล็กบางพง^{3,*}
Amonrat Thanonkaew¹, Pornpimon Mayachiew¹, Pimchana Hoktha², Vilailak Klompong¹
and Saowanee Lekbangpong^{3,*}

¹สาขาวิทยาศาสตร์อาหารและโภชนาการ คณะอุตสาหกรรมเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

²สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและพัฒนาชุมชน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹Program in Food Science and Nutrition, Faculty of Agro and Bio Industry, Thaksin University, Phatthalung, Thailand 93210

²Program in Chemistry, Faculty of Science and Digital Innovation, Thaksin University, Phatthalung, Thailand 93210

³Program in Agricultural Extension and Community Development, Faculty of Technology Community Development
Thaksin University, Phatthalung, Thailand 93210

*Corresponding author: Saowanee.l@tsu.ac.th

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0002-5257-675X>

Abstract

Received: September 14, 2025

Revised: January 17, 2026

Accepted: January 27, 2026

This research aimed to examine the basic personal characteristics, acceptance, and needs, and to compare the marketing mix factors in the purchase of instant seasoning products among 400 vegan consumers. The data were collected using a questionnaire and analyzed with descriptive statistics (frequency, percentage, mean, and standard deviation) as well as inferential statistics, including the t-test and one-way ANOVA (F-test). The results revealed that: 1) most respondents were female, with an average age of 39.10 years; they had graduated with a bachelor's degree, were students, and had an average monthly income of 5,001–10,000 Baht. 2) a total of 97.50% of vegan consumers reported that they like instant seasoning products because of their appetizing aroma, with the preferred price range being 50–100 Baht, with a product weight of no more than 100 grams per package. In the future, consumers indicated that they might purchase instant seasoning products; 3) the overall need for marketing mix factors in purchasing instant seasoning products was at the highest level ($\bar{x}=4.30$). When considering each aspect, it was found that the sales promotion aspect ($\bar{x}=4.33$), product aspect ($\bar{x}=4.32$), packaging aspect ($\bar{x}=4.28$), and distribution channel aspect ($\bar{x}=4.28$) had the highest level of demand, respectively; 4) gender, age, product acceptance, product price, and intention to purchase in

the future had a significant effect on the marketing mix factors in purchasing instant seasoning products at the 0.05 level of significance. Educational level had a significant effect on the need for marketing mix factors in purchasing instant seasoning products at the 0.01 level of significance.

Keywords: vegan consumers, marketing mix (4Ps), purchase decision, product acceptance

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล การยอมรับ ความต้องการ และการเปรียบเทียบความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวีแกน จำนวน 400 ราย เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถาม การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ t-test, One-way ANOVA (F-test) ผลการศึกษาพบว่า 1) ผู้บริโภคกลุ่มวีแกนส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 39.10 ปี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี อาชีพนักศึกษา รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 5,001–10,000 บาท 2) ผู้บริโภคกลุ่มวีแกนชอบผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป ร้อยละ 97.50 เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอม น่ายรับประทาน ราคา 50–100 บาท ปริมาณน้ำหนักรับรองคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 กรัม และในอนาคตอาจจะซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป 3) ความต้องการส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.30) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านของส่วนประสมทางการตลาดพบว่า ด้านส่งเสริมการขาย (ค่าเฉลี่ย 4.33) ด้านผลิตภัณฑ์ (ค่าเฉลี่ย 4.32) ด้านราคา (ค่าเฉลี่ย 4.28) และด้านช่องทางการจัดจำหน่าย (ค่าเฉลี่ย 4.28) มีความต้องการอยู่ในระดับมากที่สุด ตามลำดับ และ 4) เพศ อายุ การยอมรับผลิตภัณฑ์ ราคาของผลิตภัณฑ์ และการซื้อผลิตภัณฑ์ในอนาคต ส่งผลต่อความต้องการปัจจัย

ส่วนประสมทางการตลาด ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนระดับการศึกษา ส่งผลต่อความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

คำสำคัญ: ผู้บริโภควีแกน ส่วนประสมทางการตลาด การตัดสินใจซื้อ การยอมรับผลิตภัณฑ์

บทนำ

กระแสการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ (healthy eating) และการใส่ใจสิ่งแวดล้อม (environmental concern) กำลังเป็นแนวโน้มสำคัญของผู้บริโภคทั่วโลก ปัจจุบันมีกลุ่มผู้บริโภคที่ละเว้นหรืองดการบริโภคเนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งกลุ่มคนเหล่านี้เน้นการบริโภคอาหารจำพวกพืช ผัก ผลไม้ และธัญพืชเป็นหลัก สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ใหญ่ ๆ คือ กลุ่มคนมังสวิรัต (vegetarian) กลุ่มคนที่บริโภคอาหารเจ (buddhist vegetarians) และกลุ่มวีแกน (vegan) โดยกลุ่มวีแกนเป็นกลุ่มที่เคร่งครัดมากที่สุด นอกจากจะไม่บริโภคเนื้อสัตว์ ยังรวมถึงผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์ เช่น นม ไข่ ซีส เป็นต้น (Puntaburt, 2024) โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้แนวโน้มนี้ขยายตัว ได้แก่ ความตระหนักด้านสุขภาพ การคำนึงถึงสวัสดิภาพสัตว์ และการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตอาหาร (Cherry, 2019)

ปัจจุบันรูปแบบการดำเนินชีวิตของประชากรในสังคมไทยมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

การใช้ชีวิตของผู้คนในเมืองหลวง ประชากรทั้งชายและหญิงในวัยทำงานต่างก็ต้องทำงานเพื่อหารายได้เลี้ยงตนเองและครอบครัว การครองชีพที่เพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้มีจำนวนสมาชิกในครอบครัวที่ลดลงตามไปด้วย ตลอดจนภาวะเศรษฐกิจที่ส่งผลต่อค่าครองชีพที่สูงขึ้น หรือสภาพการจราจรที่ติดขัดโดยเฉพาะในเวลาเร่งรีบ ล้วนแล้วแต่เป็นสาเหตุที่ทำให้ประชาชนในเมืองหลวงไม่นิยมการซื้ออาหารสดเพื่อทำอาหารรับประทานเอง เนื่องจากไม่มีเวลาและสิ้นเปลืองมากกว่า ส่งผลให้พฤติกรรมในการซื้อสินค้าและการบริการได้เปลี่ยนแปลงไป และหันมาพึ่งพาสินค้าสำเร็จรูปและกึ่งสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น เพื่อความสะดวกและเหมาะสมกับเวลา ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความต้องการสินค้าและบริการของลูกค้าที่เป็นไปอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน (Jantawatcharagorn, 2016)

เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้รับคามนิยม เนื่องจากสามารถช่วยให้ผู้บริโภคประหยัดเวลาในการปรุงอาหาร แต่ยังคงได้รสชาติที่คงที่และตรงกับความต้องการของครอบครัว โดยเฉพาะในสังคมไทยซึ่งอาหารมีบทบาทสำคัญต่อวัฒนธรรมและวิถีชีวิต เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปจึงถือเป็นสินค้าที่ช่วย “ย่นระยะเวลา” ในการปรุงอาหารแต่ยังคงเอกลักษณ์ทางรสชาติที่ผู้บริโภคคาดหวัง (Kotler and Keller, 2016) ผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการประกอบอาหาร เนื่องจากช่วยสร้างรสชาติที่กลมกล่อมและสะดวกต่อการใช้งาน แต่สำหรับผู้บริโภควิทนการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีข้อจำกัดมากขึ้นเนื่องจากต้องหลีกเลี่ยงวัตถุดิบหรือส่วนผสมที่มาจากสัตว์ เช่น ผงชูรสที่ผลิตจากสัตว์ ขอสหอยนางรม หรือผงปรุงรสที่มีส่วนประกอบจากเนื้อสัตว์ ทั้งนี้อุตสาหกรรมเครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปในประเทศไทยมีการแข่งขันที่สูงและมีผู้ผลิตหลายราย ทั้งในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ผลิตภัณฑ์ในตลาดมีความคล้ายคลึงกัน ทำให้ผู้ประกอบการต้อง

อาศัยกลยุทธ์การตลาดที่เหมาะสมเพื่อสร้างความแตกต่างและจูงใจให้ผู้บริโภคตัดสินใจเลือกซื้อ (Porter, 2008) ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด (Marketing Mix: 4Ps) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ (product) ราคา (price) ช่องทางจัดจำหน่าย (place) และการส่งเสริมการตลาด (promotion) มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ธุรกิจสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ตรงจุด (Kotler, 2003)

ดังนั้น การศึกษาที่มุ่งเปรียบเทียบความต้องการของผู้บริโภคต่อปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปโดยเฉพาะผู้บริโภคกลุ่มวิทน จึงมีความจำเป็นและมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการกำหนดและวางกลยุทธ์ทางการตลาดที่มีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริงของผู้บริโภค ผลการศึกษายังสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การกำหนดส่วนประสมทางการตลาดที่เหมาะสม ตลอดจนการเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการในตลาดอาหารสำเร็จรูป อีกทั้งยังช่วยให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคกลุ่มวิทนได้อย่างตรงจุดและยั่งยืนในระยะยาว

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประชากรที่ศึกษา คือ ผู้บริโภคกลุ่มวิทนในพื้นที่จังหวัดพัทลุง เนื่องจากไม่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน ดังนั้นขนาดกลุ่มตัวอย่างสามารถคำนวณได้จากสูตร Cochran (1963) โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่น 95% และระดับความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% ในการวิจัยครั้งนี้ต้องใช้กลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 385 ราย แต่ผู้ศึกษาจึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 400 ราย เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ผล

เครื่องมือและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยนี้ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคม โดยใช้แบบสอบถามเป็นแบบคำถามปลายเปิด (open-ended) และปลายปิด (close-ended)

ตอนที่ 2 การยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวิชน โดยใช้แบบสอบถามเป็นแบบคำถามปลายเปิด (open-ended) และปลายปิด (close-ended)

ตอนที่ 3 ความต้องการส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป โดยใช้แบบสอบถามเป็นคำถามเป็นมาตรวัดแบบลิเคิร์ต (Likert rating scale) แบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ ความต้องการมากที่สุด มีคะแนนเท่ากับ 5 ความต้องการมาก มีคะแนนเท่ากับ 4 ความต้องการปานกลาง มีคะแนนเท่ากับ 3 ความต้องการน้อย มีคะแนนเท่ากับ 2 และความต้องการน้อยที่สุด มีคะแนนเท่ากับ 1 โดยนำข้อมูลที่ได้ออกมาเฉลี่ยและแบ่งช่วง เพื่อเป็นการพิจารณา ระดับความต้องการปัจจัยทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป ดังต่อไปนี้

คะแนนเฉลี่ย	ระดับความต้องการ
4.21–5.00	ความต้องการมากที่สุด
3.41–4.20	ความต้องการมาก
2.61–3.40	ความต้องการปานกลาง
1.81–2.60	ความต้องการน้อย
1.00–1.80	ความต้องการน้อยที่สุด

การทดสอบคุณภาพเครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้มีการวัดความเที่ยงตรงของเนื้อหา (content validity) เพื่อหาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย (IOC: Index of Item Objective Congruence) โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน พิจารณาและตรวจสอบความ

เที่ยงตรงตามเนื้อหา (content validity index) และความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ (wording) และแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำ จากนั้นทดสอบคุณภาพด้วยการทดสอบความเชื่อมั่น (reliability) โดยการนำแบบสอบถามไปทดสอบ (try out) กับผู้บริโภคกลุ่มวิชนในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียง แต่ไม่ใช่ประชากรจริงในการวิจัยจำนวน 30 ราย โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์ปัลลัสของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.83 ซึ่งอยู่ระหว่าง 0.80–0.97 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Hair *et al.*, 2010) แบบสอบถามถือว่ามีความน่าเชื่อถือ ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยทักษิณ (TSU 2025_249 REC No 0502) เมื่อวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2568 จากนั้นจึงทำการปรับปรุงรายละเอียดแล้วนำไปเก็บรวบรวมข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่าง

การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากเก็บรวบรวมข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสังคมศาสตร์สำเร็จรูปทางสถิติเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. สถิติเชิงพรรณนา (description statistics) ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล ลักษณะทางเศรษฐกิจ สังคม การยอมรับ และความต้องการส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวิชน จำแนกตามปัจจัยส่วนบุคคล โดยเพศใช้วิธี t-test ในส่วนของอายุ ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้เฉลี่ยต่อเดือน การยอมรับผลิตภัณฑ์ ราคาของผลิตภัณฑ์ ปริมาณน้ำหนักรต่อบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ การซื้อผลิตภัณฑ์ในอนาคต สถานที่ที่เหมาะสมในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ ใช้วิธี F-test หรือ One-way ANOVA

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวิเณ ประกอบด้วยประเด็นต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคมของผู้บริโภคกลุ่มวิเณ การยอมรับ ความต้องการส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป และการเปรียบเทียบความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวิเณ โดยมีรายละเอียดผลวิจัย ดังนี้

ลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคมของผู้บริโภคกลุ่มวิเณ

กลุ่มตัวอย่างผู้บริโภค จำนวน 400 คน พบว่า ผู้บริโภคกลุ่มวิเณส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 62.00 อายุเฉลี่ย 39.10 ปี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ร้อยละ 46.30 รองลงมาคือ ระดับประถมศึกษา ร้อยละ 17.50 อาชีพนักศึกษา ร้อยละ 57.80 รองลงมาคือ รับจ้างทั่วไป ร้อยละ 17.30 รายได้เฉลี่ย/เดือน 5,001–10,000 บาท ร้อยละ 54.30 รองลงมาคือ 10,001–15,000 บาท ร้อยละ 18.80

การยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวิเณ

ผู้บริโภคกลุ่มวิเณทดลองชิมผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป พบว่าผู้บริโภคกลุ่มวิเณส่วนใหญ่ชอบผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป ร้อยละ 97.50 เหตุผลที่ชอบผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป เพราะผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปมีกลิ่นหอมน่ารับประทานมากที่สุด ร้อยละ 47.30 รองลงมาคือ สีสวย รูปลักษณ์ดี ร้อยละ 41.50 มีประโยชน์ต่อร่างกาย ร้อยละ 41.30 รสชาติดี มีความ

อร่อย ร้อยละ 38.00 มีคุณค่าทางโภชนาการ ร้อยละ 32.80 มีความแปลกใหม่ น่าสนใจ ร้อยละ 23.80 มีความเป็นเอกลักษณ์ ร้อยละ 23.50 และภาชนะ/ฉลาก สวยงาม เหมาะสม ร้อยละ 11.80 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Puntaburt (2024) ได้ศึกษาเรื่องผู้บริโภคยุคใหม่: กลุ่มวิเณและผลิตภัณฑ์อาหารพืช พบว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารในกลุ่มที่มาจากพืช และอาหารวิเณนอกจากคำนึงถึงคุณค่าโภชนาการแล้ว ยังคำนึงถึงเรื่องรสชาติ เพราะรสชาติเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกรับประทานอาหาร และคำนึงถึงเนื้อสัมผัสที่ต้องมีลักษณะคล้ายอาหารที่มาจากเนื้อสัตว์ให้มากที่สุด ราคาที่ผู้บริโภคกลุ่มวิเณมีความพึงพอใจจะซื้อ เมื่อเปรียบเทียบกับราคาทั่วไปในท้องตลาด พบว่า ราคา 50–100 บาทมากที่สุด ร้อยละ 77.50 รองลงมาคือ ราคา 101–200 บาท ร้อยละ 17.80 เนื่องจากผู้บริโภคมีระดับราคาที่พึงพอใจแตกต่างกันตามกลุ่มเป้าหมาย และมักเปรียบเทียบกับราคาที่เคยพบหรือราคาตลาด หากราคาพึงพอใจต่ำกว่าหรือเท่ากับราคาตลาด จะเพิ่มโอกาสในการตัดสินใจซื้อ ขณะที่ราคาที่สูงกว่ามักทำให้ผู้บริโภครอโปรโมชั่นหรือเปลี่ยนไปซื้อคู่แข่ง ปริมาณน้ำหนักต่อบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์น้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 กรัม มากที่สุด ร้อยละ 50.00 รองลงมาคือ 101–200 กรัม ร้อยละ 40.80 งานวิจัยของ Siriporn and Chaiyasit (2018) พบว่าผู้บริโภคไทยมีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปที่มีน้ำหนักต่อบรรจุภัณฑ์เหมาะสม เพราะสะท้อนถึงความคุ้มค่าและความมั่นใจในการซื้อ

นอกจากนี้ผู้บริโภคกลุ่มวิเณไม่ชอบผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป ร้อยละ 2.50 ด้วยเหตุผลว่าหาผลิตภัณฑ์อื่นมาทดแทนได้มากที่สุด ร้อยละ 90.00 รองลงมาคือ รสชาติไม่ถูกปาก ร้อยละ 70.00 และชอบผงปรุงรสถึงสำเร็จรูปรูปแบบอื่นมากกว่า ร้อยละ 60.00 ตามลำดับ ในอนาคตผู้บริโภคกลุ่มวิเณอาจจะซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป ร้อยละ 53.25 รองลงมาคือ ซื้อมาบริโภคแน่นอน ร้อยละ 44.30 และไม่ซื้อมาบริโภคแน่นอน ร้อยละ 2.50 สถานที่ที่เหมาะสม

ในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวีแกน คือ ร้านค้าชุมชนมากที่สุด ร้อยละ 36.00 รองลงมาคือ ตลาด ร้อยละ 34.30 ร้านค้าปลีก/ค้าส่ง ร้อยละ 13.50 ซูเปอร์มาร์เก็ต ร้อยละ 10.30 และห้างสรรพสินค้า ร้อยละ 6.00 สอดคล้องกับงานวิจัย

ของ Schiffman and Wisenblit (2019) ระบุว่าสถานที่จัดจำหน่ายมีอิทธิพลต่อการเข้าถึงสินค้าและการรับรู้แบรนด์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของส่วนประสมการตลาด (marketing mix) ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Acceptance of instant seasoning products for vegan

Acceptance of instant seasoning products for vegan	Frequency	Percentage
Acceptance of instant seasoning products	390	50.97
Reason for accepting the product*		
Beautiful and appropriate container/label	47	80.11
Unique	94	50.23
New and interesting	95	80.23
Nutritious	131	80.32
Good taste delicious	152	00.38
Beneficial to the body	165	30.41
Beautiful color, good appearance	166	50.41
Delicious aroma	189	30.47
A price considered satisfactory when compared with prevailing market prices		
50–100 Baht	310	77.50
101–200 Baht	71	17.80
201–300 Baht	11	2.75
301–400 Baht	3	0.75
401–500 Baht	4	1.00
More than 500 Baht	1	0.25
Product weight per unit of packaging		
100 grams or less	200	50.00
101–200 grams	163	40.80
201–300 grams	19	4.80
301–400 grams	8	2.00
401–500 grams	5	1.30
More than 500 grams	5	1.30

Table 1 (Continued)

Acceptance of instant seasoning products for vegan	Frequency	Percentage
No acceptance of instant seasoning products	10	2.50
Reason for no accepting the product*		
I prefer different varieties of instant seasoning products powder.	6	60.00
The flavor is not satisfactory.	7	70.00
I look for alternative product.	9	90.00
Future product purchases		
Definitely don't buy it for consumption	10	2.50
May be bought for consumption	213	53.25
Definitely buy and consume	177	44.30
Where should the product be sold? *		
Department store	24	6.00
Supermarket	41	10.30
Retail/Wholesale	54	13.50
Market	137	34.30
Community shop	144	36.00

* Answer more than one question

ความต้องการส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป

ความต้องการส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.30) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านส่งเสริมการขาย (ค่าเฉลี่ย 4.33) รองลงมาคือ ด้านผลิตภัณฑ์ (ค่าเฉลี่ย 4.32) ด้านราคา (ค่าเฉลี่ย 4.28) และด้านช่องทางการจัดจำหน่าย (ค่าเฉลี่ย 4.28) โดยมีความต้องการอยู่ในระดับมากที่สุดตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yaemchuti and

Muangmee (2025) ศึกษาเรื่องปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อน้ำสมุนไพรสกัดเย็นของผู้บริโภคบริษัท เอสเอ็มซี จำกัด พบว่าผู้บริโภคมีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.2) เมื่อพิจารณาในรายละเอียด พบว่าด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ด้านการส่งเสริมการตลาด อยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.42) รองลงมาคือ ด้านการจัดจำหน่าย (ค่าเฉลี่ย 4.35) ด้านผลิตภัณฑ์ (ค่าเฉลี่ย 4.14) อยู่ในระดับมากที่สุด และด้านราคา อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.12) ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 Demand for marketing mix factors in vegan consumers' purchase of instant seasonings

Marketing mix factors	Mean	SD	Description
1. Product	4.32	0.71	Highest
2. Price	4.28	0.76	Highest
3. Place	4.27	0.76	Highest
4. Promotion	4.23	0.77	Highest
Total	4.32	0.71	Highest

ด้านผลิตภัณฑ์ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.32) เมื่อพิจารณารายชื่อ พบว่าคุณค่าทางโภชนาการที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.39) รองลงมาคือ กระบวนการผลิตตามมาตรฐานอาหารปลอดภัย (ค่าเฉลี่ย 4.37) ไม่มีวัตถุกันเสีย (ค่าเฉลี่ย 4.33) ความสวยงามของผลิตภัณฑ์ (ค่าเฉลี่ย 4.26) รสชาติของผลิตภัณฑ์ (ค่าเฉลี่ย 4.24) โดยมีความต้องการอยู่ในระดับ

มากที่สุด ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jutatipat and Saichana (2023) ศึกษาเรื่องปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดและการรับรู้คุณค่าที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการตัดสินใจซื้ออาหารจากพืชของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่าผู้บริโภคให้ความสำคัญในระดับมากกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องได้รับการรับรองคุณภาพมาตรฐานจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ รวมไปถึงผลิตภัณฑ์ต้องมีรสชาติอร่อย และมีคุณสมบัติตรงตามความต้องการของผู้บริโภค (Table 3)

Table 3 Demand for product in vegan consumers' purchase of instant seasonings

Marketing mix factors	Mean	SD	Description
1. Nutritional content that contributes positively to health	4.39	0.66	Highest
2. Production process according to food safety standards	4.37	0.65	Highest
3. No preservatives	4.33	0.40	Highest
4. The beauty of the product	4.26	0.76	Highest
5. Product taste	4.24	0.69	Highest
Product	4.32	0.71	Highest

ด้านราคา โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.28) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่าใช้งานง่าย เช่น มีราคาจำหน่ายที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และมีราคาที่คุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบกับคุณค่าสารอาหารอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.31) รองลงมาคือ (ค่าเฉลี่ย 4.28) มี

การชำระค่าใช้จ่ายหลากหลายช่องทาง (ค่าเฉลี่ย 4.27) ราคาจำหน่ายที่ตรงกับความต้องการของท่าน (ค่าเฉลี่ย 4.24) มีความต้องการอยู่ในระดับมากที่สุด ตามลำดับ (Table 4)

Table 4 Demand for price in vegan consumers' purchase of instant seasonings

Marketing mix factors	Mean	SD	Description
1. The product is affordably priced.	4.31	0.67	Highest
2. Considering its nutritional value, it represents good value for money.	4.31	0.72	Highest
3. Prices are clearly displayed for customers.	4.28	0.81	Highest
4. Multiple payment options are available.	4.27	0.76	Highest
5. We offer pricing options to meet your needs.	4.24	0.85	Highest
Price	4.28	0.76	Highest

ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.27) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่าสถานที่จำหน่ายสะอาดและถูกหลักอนามัย อยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.32) รองลงมาคือ เลือกซื้อผลิตภัณฑ์ ณ จุดขาย ได้ง่ายและสะดวก (ค่าเฉลี่ย 4.29) การจัดวางผลิตภัณฑ์น่าสนใจ น่าดึงดูดใจ (ค่าเฉลี่ย 4.28) มีช่องทางการจัดจำหน่ายที่หลากหลายและผลิตภัณฑ์มีวางจำหน่ายอยู่ในร้านตลอดเวลา (ค่าเฉลี่ย 4.27) โดยมีความต้องการอยู่ในระดับมากที่สุด ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัย Chaola *et al.* (2025) ศึกษาเรื่องส่วน

ประสมทางการตลาดบริการที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสำเร็จรูปของผู้บริโภคเจนเรชั่นในร้านค้าปลีกประเทศไทย พบว่าควรเน้นการพัฒนาช่องทางการจัดจำหน่ายให้หลากหลายทั้งแบบออฟไลน์และออนไลน์ เช่น การขายผ่านแอปพลิเคชันส่งอาหาร (food delivery) และตู้จำหน่ายอัตโนมัติ (vending machine) ที่ตั้งอยู่ในจุดยุทธศาสตร์ พร้อมทั้งควรส่งเสริมภาพลักษณ์ของร้านให้มีความสะอาด ทันสมัย และมีการบริการที่รวดเร็ว เพื่อตอบสนองความต้องการด้านประสบการณ์การซื้อแบบครบวงจร (Table 5)

Table 5 Demand for place in vegan consumers' purchase of instant seasonings

Marketing mix factors	Mean	SD	Description
1. The product is available through different channels.	4.23	0.78	Highest
2. The sales location is clean and sanitary.	4.32	0.73	Highest
3. Consumers can purchase the product at points of sale with ease and convenience.	4.29	0.73	Highest
4. Product placement is interesting and attractive.	4.28	0.73	Highest
5. Products are always available in stores.	4.23	0.80	Highest
Place	4.27	0.76	Highest

ด้านการส่งเสริมการขาย โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.27) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่ามิจิจกรรมส่งเสริมการขายที่ตรงตามความต้องการอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.37) รองลงมาคือ มีพนักงานขายคอยอธิบายรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ (ค่าเฉลี่ย 4.34) มีสินค้าตัวอย่างการให้ทดลองชิมฟรี

ทุกเมนูและมีการแสดงสินค้า ณ จุดขาย และมีพนักงานขายแนะนำพร้อมสาธิต (ค่าเฉลี่ย 4.33) และการโฆษณาผ่านช่องทางต่าง ๆ เช่น Facebook, Line, TikTok (ค่าเฉลี่ย 4.28) โดยมีความต้องการอยู่ในระดับมากที่สุดตามลำดับ (Table 6)

Table 6 Demand for promotion in vegan consumers' purchase of instant seasonings

Marketing mix factors	Mean	S.D.	Description
1. Advertising through various channels such as Facebook, Line, and TikTok	4.28	0.79	Highest
2. Free sample products are available for all menu items	4.33	0.74	Highest
3. There are sales staff to explain the details of the products.	4.34	0.75	Highest
4. Promotional activities are available that cater to consumer needs.	4.37	0.75	Highest
5. Products are displayed at points of sale, and sales staff offer guidance and demonstrations	4.33	0.77	Highest
Promotion	4.23	0.77	Highest

การเปรียบเทียบความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวีแกน

ปัจจัยส่วนบุคคลและการยอมรับผลิตภัณฑ์

เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปของผู้บริโภคกลุ่มวีแกนที่แตกต่างกันจะความต้องการส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปที่แตกต่างกัน (Table 7)

Table 7 The comparison of consumer's marketing mix decisions in instant seasoning products for vegan

Independent variables	T-test	F-test	Sig.	Description
Gender	1.572		0.000*	Different
Age	-	1.525	0.005*	Different
Education level	-	1.502	0.011**	Different
Religion	-	0.980	0.527	No Different
Occupation	-	1.302	0.069	No Different
Average income/month	-	0.857	0.777	No Different
Acceptance of instant seasoning products	-	3.835	0.000*	Different
Price of the product	-	2.103	0.000*	Different
Product weight per package	-	1.055	0.371	No Different
Future product purchases	-	1.414	0.026*	Different
Place to sell products	-	0.831	0.821	No Different

* statistical significant level at 0.05 level; ** statistical significant level at 0.01 level

จาก Table 7 พบว่าปัจจัยส่วนบุคคลในด้านเพศ อายุ การยอมรับผลิตภัณฑ์ ราคาของผลิตภัณฑ์ การซื้อผลิตภัณฑ์ในอนาคตแตกต่างกัน มีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และระดับการศึกษาแตกต่างกัน มีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ในขณะที่ศาสนา อาชีพ รายได้เฉลี่ยต่อเดือน ปริมาณน้ำหนักรต่อบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ และสถานที่ที่เหมาะสมในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน มีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปไม่แตกต่างกัน ความต้องการปัจจัย

ส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปที่แตกต่างกัน มีดังนี้

1. ผู้บริโภคกลุ่มวีแกนที่มีเพศแตกต่างกัน มีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผู้บริโภคกลุ่มวีแกนเพศหญิงมีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปมากกว่าเพศชาย สอดคล้องกับทฤษฎีพฤติกรรมผู้บริโภคของ Schiffman and Wisenblit (2019) ที่ระบุว่าเพศเป็นปัจจัยทางประชากรศาสตร์ที่มีผลต่อทัศนคติและแรงจูงใจในการเลือกซื้อสินค้า โดยเพศหญิงมักมีแรงจูงใจเชิงอารมณ์ (emotional motives) เช่น ความปลอดภัย ความมั่นใจ และภาพลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ขณะที่

เพศชายมีแรงจูงใจเชิงเหตุผล (rational motives) ได้แก่ ราคาและความคุ้มค่า

2. ผู้บริโภคกลุ่มวัยเกาที่มีอายุแตกต่างกันมีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.05$) โดยผู้บริโภคกลุ่มวัยเกาอายุมากมีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปมากกว่าผู้บริโภคกลุ่มวัยเกาอายุน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kharueaweangmol *et al.* (2019) ศึกษาเรื่องปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผักปลอดสารพิษของผู้บริโภคอำเภอชำสูง จังหวัดขอนแก่น พบว่าผู้บริโภคที่มีอายุแตกต่างกัน มีปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดด้านราคาและด้านช่องทางการจำหน่ายในการเลือกซื้อผักปลอดสารพิษแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผู้บริโภคที่มีอายุ 31-40 ปี มากที่สุด

3. ผู้บริโภคกลุ่มวัยเกาที่มีระดับการศึกษาแตกต่างกัน มีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยผู้บริโภคกลุ่มวัยเกาที่มีระดับการศึกษาระดับปริญญาตรีมีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปมากกว่าผู้บริโภคกลุ่มวัยเกาที่มีระดับการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sangsri (2023) ศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ชุมชนของผู้บริโภคอำเภอปะคำ จังหวัดบุรีรัมย์ พบว่าระดับการศึกษาต่างกันมีผลต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ชุมชนของผู้บริโภคอำเภอปะคำ จังหวัดบุรีรัมย์ ในด้านช่องทางการจัดจำหน่ายและด้านบุคคลต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4. ผู้บริโภคกลุ่มวัยเกาที่มีการยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปแตกต่างกัน มีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผู้บริโภคกลุ่มวัยเกาที่มีการยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปมีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปมากกว่าผู้บริโภคกลุ่มวัยเกาที่ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป

5. ผู้บริโภคกลุ่มวัยเการาคาของผลิตภัณฑ์ที่พึงพอใจจะซื้อแตกต่างกัน มีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผู้บริโภคกลุ่มวัยเกาที่มีราคาของผลิตภัณฑ์ที่พึงพอใจจะซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปน้อยกว่า 100 บาท มีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปมากกว่าผู้บริโภคกลุ่มวัยเกาที่มีราคาของผลิตภัณฑ์ที่พึงพอใจจะซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปมากกว่า 300 บาท

6. การซื้อผลิตภัณฑ์ในอนาคตแตกต่างกัน มีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผู้บริโภคกลุ่มวัยเกาที่มีการซื้อผลิตภัณฑ์ในอนาคตแน่นอน มีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปมากกว่าผู้บริโภคกลุ่มวัยเกาที่ไม่ซื้อผลิตภัณฑ์มาบริโภคแน่นอน เช่น กลุ่มที่ไม่ให้ความสำคัญกับสุขภาพอาจเน้นคุณภาพของวัตถุดิบและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่กลุ่มที่มุ่งเน้นความสะอาดสบายอาจให้ความสำคัญกับขนาดบรรจุภัณฑ์และความง่ายต่อการใช้งาน

สรุปผลการวิจัย

ผู้บริโภคกลุ่มวีแกนให้ความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป โดยพิจารณาจาก กลิ่น รส สี และประโยชน์ต่อสุขภาพ เป็นปัจจัยหลักในการเลือกซื้อ ขณะที่ ราคาที่เหมาะสมและปริมาณบรรจุภัณฑ์เป็นตัวกำหนดความพึงพอใจในการซื้อ ส่วนปัจจัยด้านบรรจุภัณฑ์และความแปลกใหม่มีบทบาทรองลงมา การวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้วางแผนกลยุทธ์การตลาดเชิงผลิตภัณฑ์และการกำหนดราคา สำหรับกลุ่มผู้บริโภควีแกนได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ ผู้บริโภคกลุ่มวีแกนมีแรงจูงใจเชิงคุณค่า (value-based motivation) ในการเลือกซื้อ โดยปัจจัยผลิตภัณฑ์และการส่งเสริมการขายที่เน้นคุณภาพและความปลอดภัยมีอิทธิพลสูงสุด ส่วนราคายังคงเป็นตัวแปรสำคัญ แต่ต้องสอดคล้องกับคุณค่าของผลิตภัณฑ์ ขณะที่ช่องทางการจัดจำหน่าย มีบทบาทในการสร้างความสะดวกและเข้าถึงผู้บริโภคกลุ่มนี้ ผลการวิจัยยังพบว่า ปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการยอมรับผลิตภัณฑ์ และความพร้อมในการจ่ายมีอิทธิพลต่อความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดอย่างชัดเจนและมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งบ่งชี้ว่าการวิเคราะห์และออกแบบกลยุทธ์การตลาดควรพิจารณาลักษณะของผู้บริโภคเฉพาะกลุ่ม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตลาด และตอบสนองความต้องการของกลุ่มเป้าหมายอย่างเหมาะสม

ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในประเด็นหัวข้อเรื่อง “การเปรียบเทียบความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวีแกน” มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. จากผลการวิจัยพบว่า ผู้บริโภคกลุ่มวีแกนมีความต้องการปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการ

ตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูปในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงมีข้อเสนอแนะให้ผู้ประกอบการ ชุมชน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผน วางกลยุทธ์ และพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคต่อไป

2. จากผลการวิจัยพบว่า ผู้บริโภคกลุ่มวีแกนมีความต้องการปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดด้านการส่งเสริมการขาย ดังนั้น ควรมีการจัดกิจกรรมชิมสินค้าในงานเกี่ยวกับอาหารเพื่อสุขภาพหรือเทศกาลวีแกน ใช้สื่อออนไลน์ เช่น Facebook, Instagram และ TikTok เป็นต้น เพื่อสร้างการรับรู้ และใช้ Influencer ที่สอดคล้องกับแนวคิดรักษาสິงแวดล้อมและวีแกน พร้อมทั้งสื่อสารความใส่ใจต่อสิ่งแวดลอมและสุขภาพผ่านเรื่องราวแบรนด์ (brand storytelling) อย่างต่อเนื่อง เพื่อสร้างความเชื่อมั่นและความผูกพันระหว่างผู้บริโภคกับแบรนด์ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนากลยุทธ์การพัฒนาผลิตภัณฑ์นี้ต่อไปในอนาคต

3. จากผลการวิจัยพบว่า ผู้บริโภคกลุ่มวีแกนมีการยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารสำเร็จรูป ดังนั้น ควรพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตอบสนองรสนิยม ความต้องการ และคุณค่าที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ เช่น ความปลอดภัยต่อสุขภาพ วัตถุดิบจากพืช และความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อขยายและต่อยอดธุรกิจอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้บริโภคกลุ่มวีแกนที่ให้ความร่วมมือ ในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือและตอบแบบสอบถามมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- Chaola, P., S. Parichatnon and P. Kaewbuadee. 2025. Service marketing mix affecting decision to purchase frozen food products of generation Z customers in Thailand retail store. **Journal of Social Science and Cultural** 9(6): 339–351. [in Thai]
- Cherry, E. 2019. Veganism as a cultural movement: a relational approach. **Social Movement Studies** 18(2): 160–177.
- Cochran, W.G. 1963. **Sampling Techniques**. 2nd Ed. New York: John Wiley and Sons. 413 p.
- Hair, Jr. J.F., W.C. Black, B.J. Babin and R.E. Anderson. 2010. **Multivariate Data Analysis**. 7th Ed. New York: Pearson. 816 p.
- Jantawatcharagorn, J. 2016. Factors influencing the purchasing decision making of read-to-eat product at the convenience stores in Bangkok area. **Panyapiwat Journal** 8(1): 39–51. [in Thai]
- Jutatipat, A. and S. Saichana. 2023. Marketing mix and perceived value influencing the consumers purchasing decisions of plant based food in Bangkok metropolitan region. **Procedia of Multidisciplinary Research** 1(7):1–14. [in Thai]
- Kharueaweangmol, R., J. Jankamjon and S. Liengjindathaworn. 2019. The Marketing mix factors for choosing pesticide-free vegetables of consumers in Sum Sung district, Khon Kaen province. **Journal of Management Science Udon Thani Rajabhat University** 1(2): 81–90. [in Thai]
- Kotler, P. 2003. **Marketing Management**. 11th Ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 738 p.
- Kotler, P. and K.L. Keller. 2016. **Marketing Management**. 15th Ed. New York: Pearson Education. 679 p.
- Porter, M.E. 2008. **Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance**. New York: Free Press. 592 p.
- Puntaburt, K. 2024. Modern consumer: vegan and plant-based food product. **Journal of Food Research and Development** 54(2): 85–97. [in Thai].
- Sangsri, E. 2023. The Comparison of marketing mix factors affecting the purchase of community products by consumers Pakham district, Buriram province. **Journal of Srivanalai Vijai Humanities & Social Sciences** 13(2): 72–84. [in Thai]
- Schiffman, L.G. and J. Wisenblit. 2019. **Consumer Behavior**. 12th Ed. Harlow: Pearson. 512 p.

Siriporn, W. and S. Chaiyasit. 2018. Influence of packaging size and weight on consumer purchase decisions in Thailand. **Asian Journal of Business and Management** 6(2): 45–56. [in Thai]

Yaemchuti, N. and C. Muangmee. 2025. Marketing mix factors affecting consumers' decision to purchase cold pressed herbal juice of SMC Co., Ltd. **Journal of Humanities and Social Sciences Thonburi University (Graduate Studies)** 3(1): 57–66. [in Thai]

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร เป็นวารสารราย 4 เดือน กำหนดออกปีละ 3 ฉบับ โดยเริ่มฉบับที่ 1 ในเดือนมกราคม ฉบับที่ 2 ในเดือนพฤษภาคม และฉบับที่ 3 ในเดือนกันยายน มีจุดประสงค์หลักเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ และองค์กร ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตรทั่วประเทศ โดยมีการเผยแพร่ออนไลน์ (Journal Online) ในรูปวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (ISSN 2985-0118 (Online) สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตร เรื่องที่จะตีพิมพ์ในวารสาร นอกจากบทความวิจัยแล้ว บทความทางวิชาการอื่น ๆ ที่เป็นการแสดงความคิดใหม่ หรือสมมุติฐานใหม่ที่มีหลักฐานอ้างอิง หรือเป็นการแสดงความคิดเห็นอย่างกว้างขวางหรือลึกซึ้งในสาขาวิชาการใดสาขาวิชาการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร หรือเป็นการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ก็มีสิทธิ์ได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องกับบทความนั้น ๆ อย่างน้อย 3 ท่าน พิจารณาให้ลงตีพิมพ์ได้เช่นเดียวกัน

การเตรียมต้นฉบับ

1. **ต้นฉบับ** เผยแพร่บทความเป็นภาษาไทย โดยใช้ตัวอักษร TH Sarabun NEW ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา ในส่วนของหัวข้อเรื่อง และขนาดตัวอักษร 15 ตัวปกติ ในส่วนของเนื้อหา พิมพ์หน้าเดียว เว้นขอบทั้ง 4 ด้าน 1 นิ้ว (2.5 ซม.) พร้อมระบุเลขหน้า ความยาวของเนื้อเรื่อง รวมรูปภาพ ตาราง และเอกสารอ้างอิงต้องไม่เกิน 10 หน้า
2. **ชื่อเรื่อง** ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกระชับและตรงกับเนื้อเรื่อง ขนาดตัวอักษร 18 ตัวหนา
3. **ชื่อผู้แต่ง และสถานที่ติดต่อ** ต้องมีชื่อเต็ม-นามสกุลเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 15 ตัวหนา และระบุหน่วยงานหรือสถาบันที่สังกัด ของผู้แต่งหลักและผู้แต่งร่วมทุกคน และ E-mail address ของผู้แต่งหลักไว้ด้วย ขนาดตัวอักษร 12 ตัวปกติ
4. **บทคัดย่อ (Abstract)** บทความวิจัย/บทความทางวิชาการอื่น ๆ จะต้องมีย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด โดยเขียนให้กระชับ ตรงประเด็น และให้สาระสำคัญ
5. **คำสำคัญ (Keywords)** ต้องมีคำสำคัญทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา อย่างละไม่เกิน 5 คำ
6. **เนื้อเรื่อง**

(1) **คำนำ** อธิบายความสำคัญของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการวิจัย อาจรวมการตรวจเอกสารเข้าไว้ด้วย ในการอ้างอิงเอกสารให้เขียนชื่อผู้แต่ง และปีที่ตีพิมพ์ อยู่ในวงเล็บเดียวกัน หรือเขียนชื่อผู้แต่ง แล้วเขียนปีที่ตีพิมพ์ ไว้ในวงเล็บแล้วแต่กรณี **เฉพาะภาษาอังกฤษ** ดังนี้ “.....โรคใบหงิกมีพบทั่วไปในประเทศบังคลาเทศ จีน อินเดีย อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา ไต้หวัน ไทย (Boccardo and Milne, 1984; Ling *et al.*, 1978) ในประเทศไทยนั้น นอกจากก่อความเสียหายกับ ข้าวปลูกทั้งชนิด Japonica และ Indica (*Oryza sativa*) พันธุ์ต่างๆ แล้ว Thawat (2001) ยังพบว่า ทำความเสียหายได้กับข้าวไร่และข้าวป่าต่างๆ.....”

(2) **อุปกรณ์และวิธีการ/วิธีดำเนินการวิจัย** อธิบายเครื่องมือ พร้อมระบุวิธีการวิจัย วิธีการเก็บข้อมูล ระยะเวลาและปีที่ทำการวิจัย รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ให้บรรยายโดยสรุปและไม่จำเป็นต้องระบุวิธีการที่เป็นที่รู้จักทั่วไป

(3) **ผลการวิจัย** ไม่จำเป็นต้องแสดงวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ แต่ให้เสนอในรูปของตาราง และรูปภาพโดยสรุปหลังจากวิเคราะห์ทางสถิติแล้ว ทั้งนี้ **คำอธิบายและรายละเอียดต่าง ๆ ของตารางและรูปภาพ ต้องเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น** โดยมีความชัดเจน กระชับ และมีหมายเลขกำกับด้านบนของตารางและด้านล่างของรูปภาพ และเมื่ออ้างถึงในเนื้อหาให้ใช้คำว่า Table และ Figure

(4) **การวิจารณ์ผล การสรุปผล และข้อเสนอแนะ** ควรวิจารณ์ผลการวิจัยพร้อมทั้งสรุปประเด็น และสาระสำคัญของงานวิจัย หรือให้ข้อเสนอแนะบนพื้นฐานของผลการวิจัย

หมายเหตุ: หน่วยวัดตามระบบต่างๆ ให้ใช้ตัวย่อตามมาตรฐานในการเขียนที่กำหนดไว้ เช่น เซนติเมตร = ซม. ตารางเมตร = ตร.ม. มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม = มก./กก. แต่ถ้าเป็นหน่วยวัดที่มีเพียงคำเดียวให้ใช้คำเต็มตามปกติ เช่น เมตร กรัม ลิตร

7. **กิตติกรรมประกาศ** เพื่อแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ทุนวิจัย หรือผู้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง รายชื่อเอกสารที่ใช้เป็นหลักในการค้นคว้าวิจัยและมีการอ้างอิงถึงในเนื้อหา ต้องแสดงเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น
กรณีที่อ้างอิงจากเอกสารภาษาไทยหรือภาษาอื่นๆ ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษ โดยมีวงเล็บกำกับท้ายเอกสาร [in Thai] หรือภาษา
อื่นๆ ตามคำแนะนำวิธีการเขียน ดังนี้

การเขียนเอกสารอ้างอิง

การเขียนอ้างอิงภายในเนื้อหา

ในการอ้างอิงเอกสารให้ใช้นามสกุลผู้แต่ง และปีที่ตีพิมพ์ อยู่ในวงเล็บเดียวกัน หรือเขียนนามสกุลผู้แต่ง แล้วเขียนปีที่ตีพิมพ์
ไว้ในวงเล็บแล้วแต่กรณี โดยเป็นภาษาอังกฤษ ดังนี้

“.....โรคใบหงิกมีพบทั่วไปในประเทศบังคลาเทศ จีน อินเดีย อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา ไต้หวัน
ไทย (Boccardo and Milne, 1984; Ling *et al.*, 1978) ในประเทศไทยนั้น นอกจากก่อความเสียหายกับข้าวปลูกทั้งชนิด
Japonica และ Indica (*Oryza sativa*) พันธุ์ต่าง ๆ แล้ว Thawat (2001) ยังพบว่า ทำความเสียหายได้กับข้าวไร่และข้าวป่าต่าง
ๆ.....”

1. บทความจากวารสารวิชาการมาตรฐาน

1.1 ผู้เขียนคนเดียวหรือหลายคน

ชื่อผู้เขียนบทความคนที่ 1./ผู้เขียนบทความคนที่ 2/และ/ผู้เขียนบทความคนสุดท้าย./ปีที่พิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร/
เลขปีที่(เลขฉบับที่):/เลขหน้า.

Koiprasert, H. and P. Niranatlumpong. 2004. Investigation of method for stainless steel welding wire as a
replacement for arc wire consumables. **Songklanakarin Journal of Science and Technology.**
27(1): 91-100. [in Thai]

Nadeem, M.Y. and M. Ibrahim. 2002. Phosphorus management in wheat-rice cropping system. **Pakistan
Journal of Soil Science.** 21(4): 21-23.

Chowdhury, M.A.H., R. Begum, M.R. Kabit and H.M. Zakir. 2002. Plant and animal residue decomposition
and transformation of S and P in soil. **Pakistan Journal of Biological Sciences** 5(7): 736-739.

2. หนังสือ

2.1 ผู้เขียนคนเดียวหรือหลายคน

ชื่อผู้แต่งคนที่ 1./ผู้แต่งคนที่ 2/และผู้แต่งคนสุดท้าย./ปีที่พิมพ์./ชื่อหนังสือ./ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)./สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์./
จำนวนหน้า.

Peyachoknagu, S. 2000. **Pan Thu Vis Sa Wa Kum.** Bangkok: Kasetsart University Press. 256 p. [in Thai]

Aksornkoae, S. 1999. **Ecology and Management of Mangroves.** Bangkok: Kasetsart University Press. 198 p.

Rajeshwar, K. and J.G. Ibanez. 1997. **Environmental Electrochemistry.** San Diego: Academic Press. 327 p.

2.2 บทหนึ่งในหนังสือ

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่พิมพ์./ชื่อบทความ./น./เลขหน้าที่ปรากฏเรื่อง./ใน/ชื่อผู้รับผิดชอบ./ชื่อหนังสือ./รายละเอียดอื่นๆ (ถ้า
มี). /ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)./สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.

Hill, S.E. 1996. Emulsions. pp. 153-185. *In* Hall, G.M. (ed.). **Methods of Testing Protein Functionality.**
London: Chapman & Hall.

Jacober, L.F. and A.G. Rand. 1982. Biochemical of Seafood. pp. 347-365. *In* Martin, R.E., G.J. Flick, C.E. Hebard
and D.R. Ward (eds.). **Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products.** Westport: AVI Inc.

2.3 หนังสือที่มีผู้รับผิดชอบในหน้าที่เป็นผู้รวบรวม ผู้เรียบเรียง หรือบรรณาธิการ

ชื่อผู้รับผิดชอบ.//หน้าที่ได้รับผิดชอบ.// ปีที่พิมพ์.//ชื่อเรื่อง.//ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี).//สถานที่พิมพ์.//สำนักพิมพ์.//จำนวนหน้า.

Tosirichok, K. (Editor). 1994. *Karn Rak Sa Doi Sa Moon Pri*. 1st. Bangkok: Mayik Publisher. 172 p. [in Thai]

Byrappa, K. and M. Yoshimura. (eds.). 2001. *Handbook of Hydrothermal Technology*.

New Jersey: Noyes Publication. 854 p.

3. เอกสารอื่นๆ

3.1 วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง.//ปีที่พิมพ์.//ชื่อวิทยานิพนธ์.//ระดับของวิทยานิพนธ์.//ชื่อสถาบันการศึกษา.//จำนวนหน้า.

Soitongcome, P. 1987. *Tannin Extraction from Rhizophora's Bark for Retanning*. Master Thesis.

Kasetsart University. 113 p. [in Thai]

Saiklao, W. 2002. *Adaptive Bandwidth Allocation Control for Virtual Paths in Broadband Networks*.

Doctoral Dissertation. Georgia Institute of Technology. 86 p.

3.2 รายงานการประชุมวิชาการ รายงานการสัมมนา ปาฐกถา รายงานประจำปี

ชื่อผู้เขียนบทความ.//ปีที่พิมพ์.//ชื่อบทความ.//น./เลขหน้าที่ย่ปรากฏเรื่อง.//ใน/ชื่อการประชุม.//รายละเอียดอื่นๆ (ถ้ามี).//ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี).//สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

Summadee, P. and B. Leenanon. 2013. Production of Probiotic Kefir Product. p. 109-116 *In*

Proceedings of the 12th MJU Annual Conference (Poster). Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]

Coates, J. 2013. Clinical Trial for Canine Degenerative Myelopathy. pp. 29-31. *In Proceedings of ACVIM*

Specialty Symposium (Pre-forum) 12-15 June 2013. Seattle: American College of Veterinary Internal Medicine (ACVIM).

3.3 รายงานผลการวิจัย

ชื่อผู้เขียนงานวิจัย.//ปีที่พิมพ์.//ชื่องานวิจัย.//จำนวนหน้า.//ใน/รายงานผลการวิจัย.//สถานที่พิมพ์: ชื่อหน่วยงาน.

Pooprompan, P., K. Duangsong and R. Sribaopern. 2001. *DNA fingerprinting of Thai native orchid*

Vanda coerulea. 62 p. *In* Research Report. Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]

Theraumpon, N. 2003. *Automatic Classification of White Blood Cells in Bone Marrow Images*. 74 p.

In Research Report. Chiang Mai: Chiang Mai University.

3.4 บทความจากวารสาร

ชื่อผู้เขียนบทความ.//ปีที่พิมพ์.//ชื่อบทความ.//ชื่อวารสาร. (ชื่อเต็มของวารสาร)//ปีที่ของนิตยสาร(เล่มที่): เลขที่หน้าที่ย่อ้างอิง.

Srinuansom, K. 2018. Half-artificial breeding of *Monopterus albus*. *Maejo Vision* 18(4): 33-37. [in Thai]

3.5 บทความจากหนังสือพิมพ์

ชื่อผู้เขียนบทความ.//ปีที่พิมพ์.//ชื่อบทความ.//ชื่อหนังสือพิมพ์.// (เดือน/วันที่/ปี): เลขที่หน้าที่ย่อ้างอิง.

Manapaisam, S. 2006. Kra Sate Tra Korn Thai Nai A Na Koth. *Thai Rath*. (January 10, 2006): 7. [in Thai]

3.6 บทความออนไลน์

- มีเลข DOI (Digital Object Identifier)

ชื่อผู้เขียนบทความ.//ปีที่พิมพ์.//ชื่อบทความ.//ชื่อวารสาร. ปีที่: หน้าเริ่มต้น-สิ้นสุด. <https://doi.org/xxxxxxxxxxxxx>

Rodcharoen, E., N.L. Bruce and P. Pholpunthin. 2017. *Cirolana phuketensis*, a new species of marine

isopod (Crustacea, Isopoda, Cirolanidae) from the Andaman sea coast of Thailand. **ZooKeys** 695(2): 1-17.
<https://doi.org/10.3897/zookeys.695.13771>.

- ไม่มีเลข DOI (Digital Object Identifier)

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่ตีพิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./ปีที่/หน้าเริ่มต้น-สิ้นสุด./ แหล่งที่มา./
[http://www.xxxxxxxxxx /](http://www.xxxxxxxxxx/)

Hasler, K., S. Bröring, S.W.F. Omta and H.W. Olf. 2015. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. **European Journal of Agronomy** 69: 41-51. Retrieved from
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001>

4. แหล่งข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

ผู้แต่งหรือผู้รับผิดชอบ./ปีที่บันทึกข้อมูล./ชื่อเรื่อง./แหล่งที่มา/ระบุแหล่งการติดต่อเครือข่าย
หรือการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล ชื่อแฟ้มข้อมูล

Maythyanon, T., N. Piriyaungroj and S. Soponarit. 2004. Novel vortex-fluidized bed combustor with two combustion chambers for rice-husk fuel. **SJST** 26(6): 875-893. Retrieved from
<http://www2.psu.ac.th/PresidentOffice/EduService/Journal/Firstpage.htm> [in Thai]

National Economic and Social Development Board (NESDB). 2001. **Input-output tables of Thailand**. Retrieved from <http://www.nesdb.go.th>

Singh, M. and R.P. Singh. 2001. **Siderophore producing bacteria-as potential biocontrol agents of mushroom disease**. Retrieved from <http://www.uio.no/conferences/June2000.htm#Samuels>

Guide for Authors

Manuscripts submitted for publication should be of high academic merit and are accepted on condition that they are contributed solely to the Journal of Agricultural Research and Extension. Manuscripts, parts of which have been previously published in conference proceedings, may be accepted if they contain additional material not previously published and not currently under consideration for publication elsewhere.

Submission of a multi-authored manuscript implies the consent of all the participating authors. All manuscripts considered for publication will be peer-reviewed by at least 3 independent referees.

Submission checklist

Manuscript submission must include title page, abstract, keywords, text, tables, figures, acknowledgments, reference list and appendices (if necessary). The title page of this file should include the title of the article, full names, official name and affiliations of all authors, E-mail address, telephone and fax numbers and full postal address of the corresponding author.

Preparation and Submission of Manuscripts

Authors submitting manuscripts for consideration for publication should follow the following guidelines.

1. Manuscript texts must be written using high-quality language. For non-native English language authors, the article should be proof-read by a language specialist before it is sent to Journal.
2. Manuscript texts should not exceed than 10 pages and the combined number of figures and tables. The inclusion of more figures and tables will reduce the word allowance, and vice versa.
3. The manuscript text and tables should be created using Microsoft Word.
4. Manuscript texts should be prepared single column, with sufficient margins (1.0 inch) for editorial and proof-reader's marks. 15 pt TH Sarabun NEW font should be used throughout and all pages numbered consecutively.
5. Abstracts should not exceed than 200 words. About 5 keywords should also be provided.
6. All measures in the text should be reported in abbreviation
7. Tables and figures should each be numbered consecutively.
8. Acknowledgments should be as brief as possible, in a separate section before the references, not in the text or as footnotes.
9. Citations of published literature in the text should be given in the form of author and year in parentheses; (Hoffmann *et al.*, 2001), or, if the name forms part of a sentence, it should be followed by the year in parenthesis; Hoffmann *et al.* (2001). All references mentioned in the reference list must be cited in the text, and vice versa. The references section at the end of the manuscript should list all and only the references cited in the text in alphabetical order of the first author's surname. The following are examples of reference writing.

Reference to a journal article:

Chowdhury, M.A.H., R. Begum, M.R. Kabit and H.M. Zakir. 2002. Plant and animal residue decomposition and transformation of S and P in soil. **Pakistan Journal of Biological Sciences** 5: 736-739.

Reference to article or abstract in a conference proceedings:

Coates, J. 2013. Clinical Trial for Canine Degenerative Myelopathy. pp. 29-31. **In Proceedings of ACVIM Specialty Symposium (Pre-forum) 12-15 June 2013**. Seattle: American College of Veterinary Internal Medicine (ACVIM).

Reference to a book:

Rajeshwar, K. and J.G. Ibanez. 1997. **Environmental Electrochemistry**. San Diego: Academic Press. 327 p.

Reference to an edited book:

Hill, S.E. 1996. Emulsions. pp. 153-185. **In** Hall, G.M. (ed.). **Methods of Testing Protein Functionality**. London: Chapman & Hall.

Reference to journal online:

Rodcharoen, E., N.L. Bruce and P. Pholpunthin. 2017. *Cirolana phuketensis*, a new species of marine isopod (Crustacea, Isopoda, Cirolanidae) from the Andaman sea coast of Thailand. **ZooKeys** 695(2): 1-17. <https://doi.org/10.3897/zookeys.695.13771>.

Hasler, K., S. Bröring, S.W.F. Omta and H.W. Ols. 2015. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. **European Journal of Agronomy** 69: 41-51. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001>

Reference to an electronic data source (used only when unavoidable): Supplier/Database name (Database identifier or number)/Item or accession number (Access date) should be included
National Economic and Social Development Board (NESDB). 2001. **Input-output tables of Thailand**. Retrieved from <http://www.nesdb.go.th>

10. Submission of manuscript must conform to the format of the Journal of Agricultural Research and Extension and cover letter to the editor. All should be directed to the editor at the <http://tcj-thaijo.org/index.php/MJUJN/index>

การส่งต้นฉบับ การตรวจสอบเบื้องต้น และการแก้ไข

1) ส่งไฟล์ต้นฉบับ ให้มีรายละเอียดครบตรงตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ และส่งพร้อมใบลงทะเบียนวารสาร โดยส่งผ่านระบบ ThaiJo ของวารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร หรือลิงค์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index> เท่านั้น

2) กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้น ในกรณีที่ต้องแก้ไขจะแจ้งให้เจ้าของบทความทำการแก้ไขก่อนนำส่งต่อให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาในลำดับต่อไป สำหรับบทความที่ไม่ได้รับการพิจารณาให้ดำเนินการต่อจะส่งต้นฉบับคืนให้เจ้าของบทความ

3) บทความที่ได้รับการพิจารณาจากกองบรรณาธิการให้ดำเนินการต่อ จะได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ อย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน ที่เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องกับบทความนั้น ๆ และบทความที่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะส่งข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ พร้อมทั้งต้นฉบับให้เจ้าของบทความปรับปรุงแก้ไข

4) บทความที่ได้รับการตีพิมพ์จะมีการเผยแพร่ออนไลน์ (Journal Online) ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index>

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

Honorable Consultants: President of Maejo University
Vice President (Asst. Prof. Dr. Suriyajaras Techatunminasakul)
Director, The Office of Agricultural Research and Extension
Vice Director – Academic Service
The Office of Agricultural Research and Extension
Vice Director – Research Affairs
The Office of Agricultural Research and Extension
Vice Director – Administration
The Office of Agricultural Research and Extension

Editor-in Chief: Assoc. Prof. Dr. Kriangsak Sri-Ngernyuang

Associate Editor: Asst. Prof. Dr. Witchaphart Sungpalee

Assistant Editor: Asst. Prof. Dr. Sutheera Hermhuk
Dr. Chuthamat Atnaseo

Editorial Board:	Prof. Emeritus Dr. Savitree	Limtong	Kasetsart University
	Prof. Dr. Dokrak	Marod	Kasetsart University
	Prof. Dr. Uthairat	Na-Nakorn	Kasetsart University
	Prof. Dr. Alissara	Reungsang	Kasetsart University
	Prof. Dr. Chatchai	Ngernsaengsaruy	Kasetsart University
	Assoc. Prof. Dr. Pichai	Tongdeelert	Kasetsart University
	Assoc. Prof. Dr. Skorn	Koonawootrittriron	Kasetsart University
	Prof. Dr. Monchai	Duangjinda	Khon Kaen University
	Assoc. Prof. Dr. Sakkarin	Nonthapot	Khon Kaen University
	Assoc. Prof. Dr. Boonmee	Siri	Khon Kaen University
	Assoc. Prof. Dr. Pongsakorn	Suppakittpaisarn	Chiang Mai University
	Assoc. Prof. Dr. Wallratat	Intaruccomporn	Chiang Mai University
	Asst. Prof. Dr. Piyawan	Suttiapran	Chiang Mai University
	Assoc. Prof. Dr. Wipharat	Chuachud Chaiyasith	Naresuan University
	Assoc. Prof. Dr. Jaruntorn	Boonyanuphap	Naresuan University
	Assoc. Prof. Dr. Narit	Taochan	Prince of Songkla University
	Prof. Dr. Arnat	Tancho	Maejo University
	Assoc. Prof. Dr. Teeka	Yothapakdee	Maejo University
	Assoc. Prof. Dr. Siriwat	Sakhonwasee	Maejo University
	Assoc. Prof. Dr. Jukkaphong	Poungngamchuen	Maejo University
	Assoc. Prof. Dr. Doungporn	Amornlerdpison	Maejo University
	Assoc. Prof. Dr. Jongkon	Promya	Maejo University
	Asst. Prof. Dr. Kanjana	Narkprasom	Maejo University
	Asst. Prof. Dr. Sureewan	Mekkamol	Maejo University
	Asst. Prof. Dr. Piyanuch	Niamsup	Maejo University

Proofreading and Language Editing Division Mrs. Thipsuda Pookmanee Dr. Junpen Sara

Operation committee: Ms. Ranrana Kayun Ms. Ampar Sansai
Mr. Kiattisak Tasoon

Journal of Agricultural Research and Extension is a scholarly publication of the Office of Agricultural Research and Extension, Maejo University. It is dedicated to the dissemination of research and academic articles in the fields of agriculture, food, health, and the environment, as well as agricultural innovation and extension. The journal is published three times per year as an online journal, with ISSN 2985-0118 (Online). All submitted manuscripts undergo a rigorous peer-review process by at least three qualified reviewers. Contact with the Journal should be address to:

The Editor, Journal of Agricultural Research and Extension
Academic Services Administration Division, Office of Agricultural Research and Extension
Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

Tel: +66-53-87-3411
E-mail: Mju_journal@gmaejo.mju.ac.th
Web site: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index>



JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

Office of Agricultural Research & Extension

Maejo University

Vol. 43 No. 2 May – August 2026

ISSN 2985-0118 (Online)

Effects of Day Length and Temperature on Growth and Development of <i>Vanda</i> ‘Pakchong Blue’ Pornwajana Kongkeaw, Kanokwan Panjama, Chaiaid Inkham, Panupon Hongpakdee, Takonwan Sirisawad and Soraya Ruamrungsri	1-8
Effects of Leaf Segment Positions on Callus Induction in Robusta Coffee (<i>Coffea canephora</i>) cv. Chumphon 2 Jackrit Anantasaran, Karistsapol Nooprom and Narakorn Treedecha	9-22
Water Requirement of Arabica Coffee under Different Shade Conditions during the Dry Season Woraphon Panjasutaros, Witchaphart Sungpalee, Visut Asanavijit, Suttipong Srichatjai, Aumarin Aitui and Wassana Wiroonrat	23-32
Effect of Plant Spacing on Growth, Yield, and Cannabidiol Content of Hemp Cultivars EHFGP#1, EHFGP#3, and EHFGP#8 under Greenhouse Condition Watcharin Jantawan, Orapin Saritnum, Sasima Ganesaborirak, Seksan Songchainthuek Tawan Chatsungnoen and Winai Wiriya-Alongkorn	33-45
Primary Metabolomic Profiling Associated with Rice Blast Resistance Rattanawan Jansasithorn, Supatthra Narawattana, Pattarasaya Sai-Yued Duangkamon Boonchuay and Chaninphat Thongrod	46-58
Diurnal Changes in Photosynthetic Parameters of Promising Sugarcane Clones under Drought Conditions and Rehydration at the Mature Growth Stage in Northeast Thailand Theerarat Chinnasoen, Krongkan Pongpanchamit, Chayant Pakdeethai Ammarawan Tippayawat and Sangduan Chanachai	59-77
Possibility of Using Organic Rice Straw Fermentation Liquid to Replace Chemical Fertilizers in Water Meal (<i>Wolffia</i> sp.) Cultivation Arom Tiaoakul, Sukjai Rattanayurakorn, Duangsuda Thongchan and Supa Srianyot	78-89
Impact of Antagonistic Microorganisms on the Growth, Fruit Quality and Identification of Fungal Diseases in Greenhouse-Grown Melons cv. Momeji Siriporn Amthong, Phongyuth Nualbunruang, Chiti Sritontip, Pattama Janruang, Methinee Nakdee and Kittipan Pensri	90-102
Bacterial Diversity in Large-Leaf Indigo (<i>Strobilanthes cusia</i>) and Small-Leaf Indigo (<i>Strobilanthes</i> sp.) Revealed by Metagenomic Analysis Nuttaporn Chanchay, Piyawan Sangthong and Ansaya Boonpajaub	103-113
Ecological Service Valuation of Tree Species in Forest Areas of Maejo University Farm, Chiang Mai Arissara Tunnaket, Sutheera Hermhuk, Witchaphart Sungpalee, Wanida Panya Teeranon Pasutham and Kanitta Satiengperakul	114-132
Application of Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Moisture Index (NDMI) to Study the Impacts of Wildfires in Forest Areas Using Sentinel-2 Satellite Imagery: A Case Study of National Reserves Forest, Phrae Province Panitnart Kangan, Thanakorn Lattirasuvan, Teeka Yotapakdee, Ubonwan Subhasaen, Sieneenard Songsri and Piyapit Khonkaen	133-146
Growth Performance of Mekong Giant Catfish Fed with Powdered, Fresh, and Fermented <i>Arthrospira</i> sp. Sudaporn Tongsir, Jongkon Promya and Nissara Kitcharoen	147-157
Enhancing the Value of Milkfish (<i>Chanos chanos</i>) through the Development of Spices Trio Tasty Sauce Recipes and Nutritional Evaluation Nantida Dangkhaw, Phatchara Piriyaorn, Apiram Sinthupachee, Sommarut Klumklomjit Korawit Sakkaekaewa and Marasri Junsri	158-172
Effect of Dried <i>Wolffia</i> Supplementation on the Quality of Thai Custard Dessert Narathorn Satsue, Napapha Homhual, Wuttichai Ritti, Yanaphat Promprasit Sumitahnun Chunthaburee and Pradipunt Thongtam Na Ayudhaya	173-189
Product Development of Ready-to-Drink Hom Thong Banana (<i>Musa acuminata</i>, AAA Group) Peels Derived from Agricultural Waste in Phetchaburi Province Aschariyakul Pungphet, Jintana Sangsopha, Pornariya Chirinan, Narathorn Satsue Tawipat Vijitpunyaruk, Sajeemas Nutasuton and Pannatat Suttirak	190-206
Effect of Cricket (<i>Acheta domesticus</i> L.) Protein Concentrate Fortification on Nutritional Quality, Physico-Chemical and Functional Properties of Gluten-Free Pasta Janjira Wanchana, Nunnapat Rahong, Sumit Chueamchaitrakun, Kanjana Narkprasom Papungkorn Sangsawad and Saranya Suwanangul	207-219
Land Tenure Security and Sustainable Land Use Case Study on the Policy of Land Allocation for Communities by the National Land Policy Committee (NLPC) in the National Reserved Forest Area Nawinta Ngawisrichakorn, Rachanee Pothitan, and Wanchai Arunpraparat	220-237
Factors Affecting the Farmers’ Intention of Wheat Production in Samoeng District, Chiang Mai Phattarateera Inplub, Rapee Dokmaithes, Jirattinart Thungnern and Sippawit Punyaty	238-246
Challenges and Opportunities in Developing Drone-Based Pest Control Service Providers for Coconut Plantations in Samut Songkhram Province Sarawoot Intapanom	247-260
Marketing Mix Requirements Comparison in Vegan Consumers’ Purchase of Instant Seasonings Amonrat Thanonkaew, Pornpimon Mayachiew, Pimchana Hoktha, Vilailak Klompong and Saowanee Lekbangpong	261-275

AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION