



วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร

สำหรับวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปีที่ 41 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2567

ISSN 2985-0118 (Online)

การศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการปลูกกล้วยพันธุ์ CBD type และ Superfood type วชิระ เกตุเพชร พุทธิพงษ์ มะโนคำ นันทภรณ์ เตชะสร้อย พิรุณ วังศ์สวัสดิ์ ประภัสสร ทิพย์รัตน์ สิริสุภาพร คำสุกดี ชนากาน ศรีเมือง และศศิเทพ ชัยชม.....	1-20
ผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของต้นใบพายอัลบิดา (<i>Cryptocoryne albida</i>) ในระบบไฮโดรโปนิกส์ เบญจกานต์ หล้าบรรเทา ชนิตธาม โคธินบรรณกฤต วราจกาน กาศิม และณัฐชยา เลหาหะวิสุทธิ.....	21-31
การศึกษานิตดินปลูกและขนาดกระถางต่อการปลูกหน่อไม้สำหรับเกษตรกรในเมือง อภิสิทธิ์ ชิตวัฒน์ และธนาวัฒน์ เอมอ.....	32-38
ผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้สภาพขาดน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน จิตรารัตน์ ศิริบุรณ์ กาญจนภา จอมสังข์ สัมพันธ์ ตาดีวงศ์ และอัญญาอร สุวรรณชาติ.....	39-47
ผ่านชีวภาพตัดแปลงเสริมด้วยจุลินทรีย์บำรุงจากฟางข้าวสำหรับการส่งเสริมการเจริญของพืชและปรับปรุงดิน มูจลินทร์ ผลจันทร์ ทิพปภา พิสิษฐ์กุล ปิยะนุช เนียมทรัพย์ ศรีกาญจนา คล้ายเรือง นงคราญ พงศ์ตระกูล สุรศักดิ์ ฤยมมาลี และจักรพงษ์ ไชยวงศ์.....	48-66
ความหลากหลายชนิดและอัตราการเพิ่มพูนของไม้ไผ่ในพื้นที่ป่าชุมชน จังหวัดแพร่ กฤษดา พงษ์การรัมย์ภาส แหม่มไทย อาชานอก พิทยาธร อินแก้ว และวรรณอุบล สิงห์อยู่เจริญ.....	67-79
การจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวไทยด้วยลำดับนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างกันของยีนซึ่งเกี่ยวข้องกับความทนแล้ง กนกวรรณ จันทร์เพ็ญ ช่อทิพา สุกุลสิงหาโรจน์ ยุพเยาว์ คบพิมาย และแสงทอง พงษ์เจริญกิต.....	80-92
การคัดเลือกสายพันธุ์บรูสิธูที่เห็ดถั่งเช่าทิเบต (<i>Ophiocordyceps sinensis</i>) จากดอกเห็ดถั่งเช่าทิเบตแห้งที่มาจากประเทศจีน สุวรรณโสม ชาตินรินทร์ วิจิตรา แดงปรก ภาวีณี อารีศรีสม และมงคล ธิरणุยานนท์.....	93-102
การศึกษางอร์ปะกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากดอกเอื้องคำสดด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี/แมสสเปกโตรเมตรี ตรีปีเปิลควอดรูโพล รุ่งทิพย์ กาวารี นลิน วงศ์ชิตติยะ และทิพย์สุดา ตั้งตระกูล.....	103-112
การพัฒนาชุดผลิตภัณฑ์สปาบำรุงเส้นผมสูตรอ่อนโยนจากสารสกัดสมุนไพรไทย ศนิพร จันทร์บุรี และธนพล กิจพจน์.....	113-126
จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งไฟพลที่อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลภายใต้สภาวะสุญญากาศ เศรษฐวัฒน์ ถนิมกาญจน์ ขวกร มุกसान และชโลธร ศักดิ์มาศ.....	127-139
อุปปลิงกาหมาดพร้อมบริโภค ชุตินุช สุจริต และลักษมี วิทยา.....	140-149
การศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชาเลือกม้งพร้อมดื่มระหว่างการผลิตและการเก็บรักษา ภาสุรี ฤทธิเลิศ.....	150-161
การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อคัดแยกระดับความสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้โดยใช้เทคนิคค่าเฉลี่ยของสี วิทยา บุญสุข จิม ยืนนาน วัฒนา ศรีวะระมย์ และศักดิ์ชัย ศรีสุข.....	162-177
ไมโครเอนแคปซูเลชันสารสกัดเห็ดหลินจือสำหรับควบคุมการปลดปล่อยสารต้านอนุมูลอิสระในสภาวะเลียนแบบทางเดินอาหารสัตว์ปีก ปิยาพัชร เพ็ชรวัฒนาภา ทองเลียน บัวจุม บัวเรียม มณีวรรณ อัมพร คำพองเครือ ปรีชา รัตน์ และสุวีรัตน์ ลือแก้ว.....	178-189
การสำรวจไวรัสโคโรนาในนกในประเทศไทย เจริญชัย ไต่โรสง ภักพล ศิลปานนท์ ภิรดา นรเดชาพันธ์ อนัญพร สุภัทรกุล และณัฐกานต์ ทิพม่อม.....	190-203
ต้นทุนและผลตอบแทนการปลูกพริกไทยพันธุ์เปลี่ยน ในพื้นที่อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง นภัสวรรณ เลี่ยมนิมิตร และรัตนา อุณจันทร์.....	204-215
การศึกษาระบบการผลิตและการตลาดไก่ค้ออ่อนศรีวิชัยลูกผสม ณภัช ช่วยชูหนู บัณฑิตา ภูทร์พรมิ ไปณะทอง และจวีร์วรรณ จันทร์คง.....	216-228
พลวัตของตลาดและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการค้าไก่พื้นเมืองในจังหวัดพิจิตร ดำรงศรีรักษ์ รักบุรี บัญชา สมบูรณ์สุข และสุธา วัฒนสิทธิ์.....	229-239
ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกรในอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ปทุมมาลัย นาคสมพันธ์ เชิดพงษ์ ชีระจิตต์ และจิรัฐินาฎ ถังเงิน.....	240-252

AGRI RESEARCH AND EXTENSION JOURNAL

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

ที่ปรึกษา	อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พาวิณ มะโนชัย รองผู้อำนวยการสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร ฝ่ายวิจัย รองผู้อำนวยการสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร ฝ่ายบริการวิชาการ	
บรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง	
รองบรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิญญูภาส สังขาลี	
บรรณาธิการผู้ช่วย	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธีระ เหมฮัก อาจารย์ ดร.จุฑามาศ อางนาเสียว	
กองบรรณาธิการ	ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.อนุรักษ์ ปัญญาวัฒน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.อารี วิบูลย์พงศ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.दनัย บุญเกียรติ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.สัญญา จตุรสิทธา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ศาสตราจารย์ ดร.ดอกรัก มารอด	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	ศาสตราจารย์ ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	ศาสตราจารย์ ดร.ประนอม จันทร์โณทัย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล สิทธิกรกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
	ศาสตราจารย์ ดร.สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ศาสตราจารย์เฉลิมพล แซมเพชร	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	รองศาสตราจารย์ ดร.วรทัศน์ อินทร์คัมพร	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	รองศาสตราจารย์ ดร.บุญมี ศิริ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	รองศาสตราจารย์ ดร.วันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
	รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญธร บุญญาภาพ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
	รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ จรรยาสุภาพ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สุวรรณรักษ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	รองศาสตราจารย์อ้อมทิพย์ เมฆรักษาวิช แคมป์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	รองศาสตราจารย์ประวีตร พุทยานนท์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนุช เนียมทรัพย์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระพงษ์ สว่างปัญญางูร	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ฝ่ายจัดทำวารสารฯ	นางทิพย์สุดา ปุกมณี	นางสาวรังสิมา อัมพวัน
	นางสาวอัมภา สันทราย	นางสาวรัฐธรรมา ขยัน
ฝ่ายประชาสัมพันธ์และเผยแพร่	นายปริญญา เพ็ชรอุตสาห์	
จัดทำโดย	กองบริหารงานบริการวิชาการ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290 โทรศัพท์ 0-5387-3411 โทรสาร 0-5387-3418 E-mail: Mju_journal@gmaejo.mju.ac.th Web site: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index	

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

การศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการปลูกกัญชงพันธุ์ CBD type และ Superfood type Comparison Studies of Cultivation Technology of CBD and Superfood Hemp Varieties

วชิระ เกตุเพชร^{1*} พุทธพงศ์ มะโนคำ¹ นันทภรณ์ เตจจะสร้อย¹ พิรุณภูมิ วงศ์สวัสดิ์² ประภัสสร ทิพย์รัตน์³
สิริสุภาพร คำสุกดี¹ ชนาภาณ ศรีเมือง¹ และศศิเทพ ชัยชม¹

Wachira Ketpet^{1*}, Puthapong Manokam¹, Nantaporn Taejasoi¹, Pheravut Wongsawad²
Prapatsorn Tipparat³, Sirisupaporn Khamsukdee¹, Chanakan Srimaueng¹ and Sasitthep Chaichom¹

¹มูลนิธิโครงการหลวง เชียงใหม่ 50100

²ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

³ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 1 เชียงใหม่ 50180

¹Royal Project Foundation, Chiang Mai, Thailand, 50100

²Department of Biology, Faculty of Science, Chiangmai University, Chiang Mai, Thailand 50200

³Regional Medical Sciences Center 1, Chiang Mai, Thailand 50180

*Corresponding author: wachiraketpet@hotmail.co.th

Abstract

Received: September 12, 2023

Revised: May 17, 2024

Accepted: June 10, 2024

Studying the research and the development of the hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivation technology on the CBD types and superfood type of hemp varieties was divided into two experiments i.e. 1) the cultivation technology and harvesting of CBD type hemp varieties were studied on the characteristics of varieties and the effect of fertilizer formulates on growth and yield of three hemp varieties; CD1, 1:20 and CD2 purple. Three methods of canopy training: no-training (Christmas tree shape), the screen of green (ScrOG), and low-stress training (LST) and three different fertilizer formulates applied on 60-day post-planting: no fertilizer, 15-15-15 fertilizer at the rate of 25 kg/rai, and 4-12-15 at the rate of 25 kg/rai were also examined. The results showed the CD2 purple variety with no training (Christmas tree shape) and applying fertilizer formula 15-15-15 on 60 days after planting had the highest growth and yields. The highest plant height of 382.0 cm, the highest plant weight of 12,500 grams, the highest number of inflorescences of 35.3 inflorescences/plants, the largest inflorescence length of 57.7 cm, and the total inflorescence weight of 8,066.7 grams were exhibited. In addition, the study on the effect of varieties and harvesting stages of the mature inflorescence stage on the main substance contents of three CBD types of hemp varieties found that CD1 cultivars harvested at 50% of the mature inflorescence stage had the highest CBD content (11.46% w/w of dry weight) and 62.00% w/w of crude extract. Then 2) the effect of cultivation technology and harvesting on the growth and yield of eight hemp varieties, namely RPF1, RPF2, RPF3, RPF4, RPF5, RPF6, RPF7, and RPF8, were studied. The results

revealed that the RPF6 variety gave the highest seed yields per plant at 107.4 grams and the highest extracted oil percentages at 15.0 %w/w. Besides, the effect of varieties (eight hemp varieties) and harvesting stages on the percentage of seed germination (50, 75, and 100% stages) were studied. It was found that the RPF6 variety harvested at 75% had the highest germination percentage at 94.0%. Therefore, the harvesting stage of hemp seeds at 75% that was suitable for producing seeds for sale and extracting oils, would be advised to the farmers.

Keywords: *Cannabis sativa* L., hemp CBD, hemp superfood, cultivation technology

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการปลูก กัญชง (*Cannabis sativa* L.) พันธุ์ CBD type และพันธุ์ Superfood type ประกอบด้วย 2 กิจกรรม คือ 1) การศึกษาเทคโนโลยีการปลูกและการเก็บเกี่ยวกัญชง พันธุ์ CBD type โดยศึกษาลักษณะประจำพันธุ์และผลของ สูตรปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต โดยปลูกกัญชง 3 พันธุ์ ได้แก่ CD1 1:20 และ CD2 purple ร่วมกับวิธีการ จัดทรงพุ่ม 3 แบบ ได้แก่ ไม่จัดทรงพุ่ม (ทรงต้นคริสต์มาส) Screen of Green (ScrOG) และ Low Stress Training (LST) และการให้ปุ๋ยแตกต่างกัน 3 สูตร ที่ระยะหลังปลูก 60 วัน ได้แก่ ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 25 กก./ไร่ และ 4-12-15 อัตรา 25 กก./ไร่ ผลการทดลองปรากฏว่าพันธุ์ CD2 purple ที่ไม่จัดทรงพุ่ม (ทรงต้นคริสต์มาส) และให้ ปุ๋ยสูตร 15-15-15 หลังปลูก 60 วัน มีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตสูงสุด คือ ต้นมีความสูงมากที่สุด 382.0 ซม. น้ำหนักต้นมากที่สุด 12,500 กรัม มีจำนวนช่อ/ต้น มากที่สุด 35.3 ช่อ และความยาวช่อมากที่สุด 57.7 ช่อ และมีน้ำหนักช่อรวมมากที่สุด 8,066.7 กรัม และ การศึกษาผลของพันธุ์และระยะเก็บเกี่ยวช่อดอกสุกแก่ ที่ 50, 75 และ 100% ต่อปริมาณสารสำคัญในกัญชง พันธุ์ CBD type จำนวน 3 พันธุ์ ผลปรากฏว่าพันธุ์ CD1 เก็บเกี่ยวที่ระยะช่อดอกแก่ 50% มีปริมาณสาร CBD มากที่สุด 10.63%w/w ของน้ำหนักแห้ง และ 62.00% ของสารสกัดหยาบ และ 2) การศึกษาเทคโนโลยีการปลูก

และเก็บเกี่ยวกัญชงพันธุ์ Superfood type โดยศึกษาผล ของพันธุ์ที่การเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของกัญชง จำนวน 8 พันธุ์ ได้แก่ RPF1, RPF2, RPF3, RPF4, RPF5, RPF6, RPF7 และ RPF8 ผลปรากฏว่า พันธุ์ RPF6 ให้ผลผลิต เมล็ดต่อต้นสูงที่สุด 107.4 กรัม และให้เปอร์เซ็นต์น้ำมัน ที่สกัดสูง 15.3% ส่วนการศึกษาผลของพันธุ์และระยะ เก็บเกี่ยวต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด โดยศึกษา ในกัญชงจำนวน 8 พันธุ์ และระยะเก็บเกี่ยว 3 ระยะ ได้แก่ ระยะเก็บเกี่ยวที่ 50, 75 และ 100% พบว่าพันธุ์ RPF6 เก็บเกี่ยวที่ระยะ 75% มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด ที่ 94.0% ดังนั้น ควรแนะนำให้เกษตรกรเก็บเกี่ยวเมล็ดกัญชง ที่ระยะ 75% สำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์ เพื่อจำหน่าย และสกัดน้ำมัน

คำสำคัญ: *Cannabis sativa* L. กัญชงพันธุ์ CBD กัญชงพันธุ์ superfood เทคโนโลยีการปลูก

คำนำ

กัญชง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cannabis sativa* L. เป็นพืชที่มีการแพร่กระจายพันธุ์ไปทั่วโลก สันนิษฐาน ว่ามีแหล่งกำเนิดอยู่บริเวณเอเชียกลางและแพร่กระจาย ไปยังเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และยุโรป โดยพบที่ ประเทศต่าง ๆ เช่น จีน เนปาล ไทย เม็กซิโก โคลัมเบีย แอฟริกาใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ใบเป็นใบเดี่ยว รูปฝ่ามือ มีลักษณะใบเรียวยาว แยกออกเป็นแฉกลึกถึงโคนใบ

ขอบใบจักเป็นฟันเลื่อย ปลายใบเรียวแหลม โดยทั่วไปจะมี 5-9 แฉก กัญชงเป็นพืชฤดูเดียว ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด ลักษณะของเมล็ดเป็นรูปทรงรีคล้ายลูกรีบี้ ผิวของเมล็ดเรียบ เป็นมันมีลายประสีน้ำตาล การออกดอกดอกเพศผู้เป็นช่อแบบ Panicle ออกตามซอกใบและปลายยอด ดอกย่อยจะประกอบด้วยใบเลี้ยง 5 กลีบแยกกัน มีสีเหลืองอมเขียว มี Stamen 5 อัน มีลักษณะห้อยลง มี Anther ที่ยาวเรียวยาวติดอยู่กับ Filament ลักษณะ Pollen มีสีเหลืองอ่อน ดอกเพศเมียออกตามซอกใบและปลายยอดเป็นแบบ Spike บริเวณช่อดอกอัดกันแน่น มีใบประดับขนาดเล็กและมีเส้นเล็ก ๆ จำนวนมาก ช่อดอกมีขนเจริญบนผิวใบประดับ เรียกว่า Trichome ภายในสร้างสารสำคัญกลุ่ม Cannabinoid ที่ใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ และมีฤทธิ์ต่อระบบประสาท การบานของดอกมีระยะเวลาประมาณ 2 เดือน และดอกเพศผู้จะออกก่อนดอกเพศเมีย 1-2 เดือน (Kaveeta *et al.*, 2006) การออกดอกแตกต่างกันระหว่างพันธุ์และช่วงเวลาการปลูก (Amaducci *et al.*, 2008)

กัญชงจัดเป็นพืชวันสั้น (Short day plant) จึงตอบสนองต่อความยาววัน โดยออกดอกประมาณเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงความยาววันสั้นกว่า 12 ชั่วโมง หากปลูกในช่วงวันสั้นทำให้ต้นออกดอกตั้งแต่ยังเล็ก ทำให้ได้ผลผลิตเส้นใยหรือเมล็ดต่ำ การออกดอกกัญชงมีทั้งออกดอกแยกเพศอยู่ต่างต้น (Dioecious) และอยู่ในต้นเดียวกัน (Monoecious) แต่ส่วนใหญ่อยู่แยกต้นและมีสัดส่วนต้นเพศผู้และต้นเพศเมียขึ้นอยู่กับพันธุ์และปัจจัยสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามในต่างประเทศที่ปลูกกัญชงเชิงอุตสาหกรรมนิยมใช้พันธุ์กัญชงที่มีดอกเพศผู้และเพศเมียอยู่ในต้นเดียวกัน (Monoecious) เพื่อให้สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ทุกต้น ในด้านการใช้ประโยชน์ กัญชงจัดเป็นพืชให้เส้นใย พืชสมุนไพร และพืชอาหาร สามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน ตั้งแต่เปลือก ลำต้น ใบ เมล็ด และช่อดอก (Amaducci, *et al.*, 2015; Adesina *et al.*, 2020) เนื่องจากลำต้นกัญชงมีเปลือกหนาจึงสามารถลอกออกเป็นเส้นได้ มีความเหนียวและแข็งแรงมาก สามารถ

ใช้ทำประโยชน์ เช่น เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม เชือก เยื่อกระดาษ ฉนวนกันความร้อน และไบโอพลาสติกได้ ใบสามารถนำมาสกัดสารสำคัญเพื่อเป็นส่วนประกอบอาหารและเครื่องดื่ม อาหารสัตว์ ปุ๋ยชีวภาพ แกนลำต้นมีน้ำหนักเบาใช้ทำอิฐหรือผสมคอนกรีตสำหรับสิ่งก่อสร้าง แผ่นไม้อัด เฟอร์นิเจอร์ ช่อดอกกัญชงมีสารพฤษเคมีออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกลุ่มแคนนาบินอยด์ (Cannabinoids) น้ำมันหอมระเหยหลายชนิด เช่น Terpenes flavonoids และ Volatile compounds หลายชนิด

การนำส่วนต่าง ๆ มาใช้ในทางการแพทย์ Cannabis Laboratory Testing Coordination Center (2019) ได้รายงานชนิดของสารที่สำคัญ ได้แก่ Delta-9-tetrahydrocannabinol (THC) มีฤทธิ์ต่อระบบประสาททำให้มีเมฆาจิตเป็นสารเสพติด Canabidol (CBD) มีฤทธิ์ลดอาการชัก ช่วยให้รู้สึกผ่อนคลาย นอนหลับสบาย รักษาอาการวิงเวียน คลื่นไส้ ปวดศีรษะ ลดอาการปวดและอักเสบ ใช้เป็นยาสำหรับรักษาโรคลมชักชนิดดื้อยาในเด็ก และยาเสริมในการรักษาผู้ป่วยโรคพาร์กินสัน Canabidol (CBN) ลดอาการคลื่นไส้อาเจียน กระตุ้นการอยากอาหาร ลดอาการปวด และ Cannabigerol (CBG) มีฤทธิ์ต้านการลุกลามของมะเร็งสมอง ด้านแบคทีเรีย ช่วยควบคุมความดันโลหิต ช่วยการนอนหลับ เมล็ดกัญชงมีองค์ประกอบทางโภชนาการ ได้แก่ ไขมัน 30% โปรตีน 25% และส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โยอาหาร กรดอะมิโน น้ำมันเมล็ดกัญชงเป็นแหล่งของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงที่สำคัญ ได้แก่ Linoleic acid (omega-6) และ Linolenic (omega-3) ในสัดส่วน 3:1 ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมนุษย์ จึงจัดเป็น Superfood ที่สำคัญชนิดหนึ่ง Barsby *et al.* (2021) ได้จัดกัญชงเป็น Superfood เนื่องจากเป็นแหล่งของโปรตีนโยอาหาร กรดไขมันโอเมก้า 6 และโอเมก้า 3 เมล็ดกัญชงที่กะเทาะแล้วให้พลังงาน 2,599 kJ/100 g โปรตีน 31.3% คาร์โบไฮเดรต 2% โยอาหาร 3.3% และไขมัน 54.2% กรดไขมันโอเมก้า 3 14.5% กรดไขมันโอเมก้า 6 58.4% โดยมีพลังงานโปรตีนและไขมัน มากกว่าเมล็ดแฟลกซ์และเมล็ดเชีย

ที่เป็น Superfood ในกลุ่มเดียวกัน สำหรับประเทศไทย มีภูมิปัญญาการผลิตพืชนี้สืบทอดกันมายาวนานรุ่นต่อรุ่น จนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะชาวเขาเผ่าม้งที่มีถิ่นอาศัยอยู่ในเขตภาคเหนือตอนบน ได้นำเส้นใยกัญชงในการทอผ้า ตามประเพณีที่สืบทอดมาจากบรรพบุรุษ ซึ่งเห็นได้ว่าชุดชนเผ่าม้งทำมาจากกัญชง แต่ในหลาย ๆ ประเทศรวมทั้งประเทศไทยจัดว่าเป็นยาเสพติด เนื่องจากกัญชงมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์คล้ายกับกัญชา ในประเทศไทยพืชสกุลนี้จัดเป็นยาเสพติดให้โทษประเภท 5 จึงทำให้การปลูกมีอยู่ในวงจำกัด ต่อมาสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ พระบรมราชชนนีพันปีหลวง ทรงสนพระทัยผลิตภัณฑ์จากกัญชง และได้มีพระราชเสาวนีย์ให้มีการศึกษาการเพาะปลูกกัญชงอย่างจริงจัง

มูลนิธิโครงการหลวงร่วมกับสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ได้ดำเนินงานวิจัยและพัฒนา กัญชงตามพระราชเสาวนีย์มาตั้งแต่ปีงบประมาณ พ.ศ. 2548 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิจัยและพัฒนา พันธุ์กัญชงให้มีปริมาณเส้นใยสูงและมีสาร THC ต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถแยกกัญชงออกจากกัญชาได้อย่างชัดเจน และได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนาจนเกิดการเปลี่ยนแปลงกฎหมาย ทำให้เกษตรกรสามารถปลูกกัญชงได้อย่างถูกต้องตามกฎหมาย กระทั่งปัจจุบันกระทรวงสาธารณสุข ได้ออกประกาศกระทรวงสาธารณสุข ณ วันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 มีผลให้กัญชงไม่เป็นยาเสพติด นับตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน พ.ศ. 2565 เป็นต้นไป และรัฐบาลยังสนับสนุนให้พัฒนากัญชงเป็นพืชเศรษฐกิจใหม่ในอนาคต (Food Institute, Textile Institute and Small and Medium Enterprise Development Institute, 2022)

อย่างไรก็ตามการผลักดันให้กัญชงพัฒนาไปสู่พืชเศรษฐกิจใหม่ตามนโยบายรัฐบาล จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลเทคโนโลยีการปลูกที่เหมาะสมสำหรับแนะนำให้เกษตรกร โดยเฉพาะการปลูกกัญชงเพื่อผลิตเมล็ดบริโภค สำหรับสกัดน้ำมัน และการปลูกกัญชงเพื่อผลิตช่อดอก สำหรับสกัด CBD ทางด้านการแพทย์และอุตสาหกรรม ซึ่งการปลูกกัญชงทั้ง 2 ประเภทต่างมีมูลค่าสูงจึงเป็นที่สนใจ

ของเกษตรกรทั่วไป โดยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพ เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม ซึ่งที่ผ่านมาประเทศไทยมีการศึกษาเพียงการปลูกกัญชงเพื่อผลิตเส้นใยและเมล็ดพันธุ์เท่านั้น (Pinmanee and Yanaphan 2018a; 2018b; Yanaphan, 2019) อย่างไรก็ตามการปลูกกัญชงเพื่อผลิตช่อดอกและการผลิตเมล็ดบริโภค เพื่อสกัดน้ำมันในประเทศไทยมีการศึกษาค่อนข้างน้อย ดังเช่นการปลูกกัญชง CBD type เพื่อให้ได้ช่อดอกสำหรับสกัดสาร CBD ยังขาดองค์ความรู้ว่าควรจัดทรงพุ่มแบบใดจึงจะให้ผลผลิตสูง ใช้ปุ๋ยสูตรใดจึงเพิ่มผลผลิตช่อดอกและเก็บเกี่ยวระยะใดจึงได้ปริมาณสารสำคัญสูงสำหรับสกัด ในด้านการปลูกกัญชง Superfood type เพื่อผลิตเมล็ดบริโภคสำหรับสกัดน้ำมันยังขาดองค์ความรู้ว่าควรเลือกพันธุ์ใดจึงได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันสูง เพราะปัจจุบันใช้เพียงพันธุ์เดียว คือ RPF 3 เท่านั้น ยังขาดการทดสอบพันธุ์ที่เหลืออีก 7 พันธุ์ และควรเก็บเกี่ยวเมล็ดในระยะใดจึงเหมาะสมทั้งใช้เป็นเมล็ดพันธุ์และเมล็ดบริโภค เนื่องจากเมล็ดพันธุ์กับเมล็ดบริโภคใช้วิธีการผลิตเดียวกัน โดยตั้งสมมุติฐานว่าเมล็ดที่สมบูรณ์ คือ เมล็ดที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูง อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญของการปลูกกัญชงเพื่อผลิตเมล็ด คือ เมล็ดพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำ แม้ว่าจะทำการทดสอบความงอกในห้องปฏิบัติการก่อนรับเข้าคลังเมล็ดพันธุ์ตามกำหนดของกรมวิชาการที่เปอร์เซ็นต์การงอก 70% แล้วก็ตาม (Plant Control Group, Bureau of Plant and Agricultural Materials Control, Department of Academic Affairs, 2022) ซึ่งเกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์จะเป็นแหล่งเมล็ดต้นทางให้กับเกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดบริโภคและเส้นใย ในที่นี้ได้ตั้งสมมุติฐานว่าสาเหตุเกิดจากเกษตรกรอาจเก็บเกี่ยวช่อดอกที่มีเมล็ดอ่อนและสุกแก่ปนกัน ทำให้ผลรวมของเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำ ดังนั้นจึงต้องศึกษาระยะเก็บเกี่ยวที่ถูกต้อง ซึ่งแต่ละพันธุ์อาจมีระยะเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์การศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการปลูกและเก็บเกี่ยวกัญชงใน 2

ประเภทการผลิต ได้แก่ 1) การปลูกกัญชง พันธุ์ CBD type และ 2) การปลูกกัญชง พันธุ์ Superfood type เพื่อนำเอาองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยไปใช้ในการนำร่องส่งเสริมเกษตรกรต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาเทคโนโลยีการปลูกและเก็บเกี่ยวกัญชง พันธุ์ CBD type

การทดลองย่อยที่ 1 การศึกษาลักษณะประจำพันธุ์และผลของสูตรปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต

การเตรียมต้น ดำเนินการปักชำกิ่งจากสถาบันวิจัยพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ประกอบด้วย พันธุ์ CD1, 1:20 และ CD2 purple หน่วยวิจัยขุนห้วยแห้ง สถานีเกษตรหลวงอินทนนท์ ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2565 โดยใช้วัสดุปักชำ ประกอบด้วย พีทมอส:ขุยมะพร้าว:เพอร์ไลท์ อัตราส่วน 3:2:1 จากนั้นย้ายลงปลูกในกระถางขนาด 6 นิ้ว จนมีอายุ 45 วัน จึงทำการย้ายปลูกลงแปลงสำหรับการเตรียมแปลงใช้รถไถขนาดเล็กไถพรวน ดากดิน จากนั้นขึ้นแปลงแล้วคลุมด้วยพลาสติกคลุมแปลงสีดำ/เงิน ติดตั้งระบบน้ำหยด โดยมีระยะปลูกระหว่างต้น 2 เมตร หลังปลูกลงแปลง 15 วัน จึงทำการให้ปุ๋ยครั้งที่ 1 เพื่อสร้างทรงพุ่มในระยะแรก สูตร 46-0-0 อัตรา 25 กก./ไร่ และ 15-15-15 อัตรา 10 กก./ไร่ และหลังปลูกในแปลง 30 วัน ทำการจัดทรงพุ่มตามแผนการทดลอง เมื่อปลูกในแปลงได้ 45 วัน จึงทำการให้ปุ๋ย ครั้งที่ 2 เพื่อสร้างทรงพุ่มเตรียมความพร้อมก่อนออกดอก สูตร 46-0-0 อัตรา 25 กก./ไร่ และ 15-15-15 อัตรา 10 กก./ไร่ เนื่องจากกัญชงเป็นพืชวันสั้น เพื่อความสมบูรณ์ของการออกดอก จึงเตรียมความพร้อมทรงพุ่ม (Vegetative) และสร้างใบก่อนการออกดอก โดยการให้แสง 12 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 18:00-06:00 น. จากนั้นจึงงดการให้แสงเพื่อให้ต้นกัญชงออกดอกต่อไป

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD (Randomized Complete Block Design) (3x3x3) จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 8 ต้น ทำการศึกษา 3 ปัจจัย ประกอบด้วย ปัจจัยที่ 1 พันธุ์กัญชง CBD type จำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ 1) CD1 2) 1:20 และ 3) CD2 purple ปัจจัยที่ 2 การจัดทรงพุ่ม 3 แบบ ได้แก่ ไม่จัดทรงพุ่ม (ทรงพุ่มต้นคริสต์มาส) การจัดทรงพุ่มแบบ Screen of Green (ScrOG) และการจัดทรงพุ่มแบบ Low Stress Training (LST) ปัจจัยที่ 3 โดยการให้ปุ๋ย 3 สูตร เมื่อปลูกลงแปลง อายุ 60 วัน เพื่อเพิ่มผลผลิตช่อดอก ให้ปุ๋ยสูตรที่แตกต่างกัน 3 สูตร ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย 2) สูตร 15-15-15 อัตรา 25 กก./ไร่ และ 3) สูตร 4-12-15 อัตรา 25 กก./ไร่ (Modified from Chicago Cannabis Company, 2019) โดยทำการปลูกกัญชงพันธุ์ CBD-type จำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ CD1, 1:20 และ CD2 purple บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงต้น ขนาดทรงพุ่ม น้ำหนักต้น จำนวนช่อดอก/ต้น ความยาวช่อดอก และน้ำหนักช่อดอกรวมต่อต้น วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและสรุปผลการดำเนินงาน

การทดลองย่อยที่ 2 ผลของพันธุ์ และระยะเก็บเกี่ยวที่มีต่อปริมาณสารสำคัญของกัญชง พันธุ์ CBD-type

วางแผนการทดลอง Factorial in RCBD (Randomized Complete Block Design) 3x3 จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ตัวอย่าง ดำเนินการทดลอง ณ อาคารเมล็ดพันธุ์ และสมุนไพรแปรรูป ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรโครงการหลวงชนกาธิเบศรดำริ ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2565 ทำการศึกษา 2 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1 พันธุ์กัญชง CBD type จำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ CD1, 1:20 และ CD2 purple ปัจจัยที่ 2 ระยะเก็บเกี่ยวช่อดอก สุกแก่ที่ 50, 75 และ 100% นำช่อดอกที่ได้ในแต่ละกรรมวิธีไปวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญหลัก 2 ชนิด ได้แก่ Cannabidiol (CBD) และ Tetrahydrocannabinol (THC) ด้วยเทคนิค GC-FID ที่ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 1 และคำนวณปริมาณสารสำคัญต่อน้ำหนักแห้งช่อดอก วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและสรุปผลการดำเนินงาน

การศึกษาเทคโนโลยีการปลูกและเก็บเกี่ยว พันธุ์ Superfood type

การทดลองย่อยที่ 3 ผลของพันธุ์ที่มีต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของกัญชง พันธุ์ Superfood type

การเตรียมต้น ดำเนินการเพาะเมล็ดกัญชง ที่หน่วยวิจัยขุนห้วยแห่ง สถานีฯ อินทนนท์ จากนั้นย้ายปลูก ที่สถานีฯ อินทนนท์ (บ้านขุนกลาง) โดยทำการปลูกกัญชง ในถุงชำขนาด 12x20 นิ้ว ระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 ถึงมีนาคม พ.ศ. 2565 โดยใช้วัสดุปลูก ประกอบด้วย ดิน แกลบดิบ ขุยมะพร้าว ปุยมูลไส้เดือน และปุ๋ยหมัก อัตราส่วน 1:1:1:1:1

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCB) จำนวน 3 ซ้ำ มี 8 กรรมวิธี ซ้ำละ 8 ต้น ในพันธุ์ Superfood type จำนวน 8 พันธุ์ ได้แก่ RPF1, RPF2, RPF3, RPF4, RPF5, RPF6, RPF7 และ RPF8 บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงต้น ขนาดทรงพุ่ม จำนวนช่อดอก/ต้น วันที่ดอกเพศผู้ออกดอก วันที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ ขนาดเมล็ด น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดที่เก็บเกี่ยวได้ น้ำหนักเศษใบที่หวดเอาเมล็ดออกแล้ว น้ำหนักเมล็ดดิบ เปอร์เซ็นต์น้ำมันหลังสกัดน้ำมันแล้ว จากนั้นนำเมล็ดมาลดความชื้น โดยการตากบนตะแกรงในที่ร่มเป็นเวลา 1-2 วัน แล้วนำไปตากเพื่อลดความชื้นให้เหลือ 10-12% และนำเมล็ดกัญชงมาสกัดน้ำมัน อากาศเมล็ดพันธุ์และสมุนไพรรูป ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรโครงการหลวง ชนกาธิเบศรดำริ ระหว่างเดือนมีนาคม ถึงเมษายน พ.ศ. 2565 เพื่อศึกษาปริมาณน้ำมันในแต่ละพันธุ์ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและสรุปผลการดำเนินงาน

การทดลองย่อยที่ 4 ผลของพันธุ์และระยะการเก็บเกี่ยว ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ Superfood type

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลแบบสุ่ม ในบล็อกสมบูรณ์ Factorial in RCBD (Randomized

Complete Block Design) (8x3) จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด ทำการเพาะเมล็ดในสภาพโรงเรือน (Greenhouse) โดยใช้พีทมอสเป็นวัสดุเพาะเพาะเมล็ด ในถาดหลุมพลาสติกขนาด 104 หลุม ดำเนินการทดลอง ณ สถานีฯ อินทนนท์ (บ้านขุนกลาง) ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง เมษายน พ.ศ. 2565 ทำการศึกษา 2 ปีจจัย ปัจจัยที่ 1 กัญชง พันธุ์ Superfood type จำนวน 8 พันธุ์ ได้แก่ RPF1, RPF2, RPF3, RPF4, RPF5, RPF6, RPF7 และ RPF8 ปัจจัยที่ 2 ระยะเก็บเกี่ยว 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 50, 75 และ 100% จากนั้นทำการบันทึกเปอร์เซ็นต์ความงอกหลังเพาะเมล็ดเป็นเวลา 4 วัน และประเมินต้นอ่อนครั้งสุดท้ายเมื่อผ่านไป 8 วันหลังเพาะ ประเมินความงอกตามหลักการประเมินของ International Seed Testing Association (ISTA) โดยนับต้นอ่อนปกติ ต้นอ่อนผิดปกติ เมล็ดไม่งอก และเมล็ดตาย (ISTA, 2018) นำข้อมูลมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความงอก (%) จากสูตร ความงอก (%) = (จำนวนต้นอ่อนปกติทั้งหมด/จำนวนเมล็ดทั้งหมด) x 100 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและสรุปผลการดำเนินงาน

ผลการวิจัย

การศึกษาเทคโนโลยีการปลูกและเก็บเกี่ยวกัญชง พันธุ์ CBD type

การทดลองย่อยที่ 1 การศึกษาลักษณะประจำพันธุ์และผลของสูตรปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต

จาก Table 1 พบว่า ปัจจัยในด้านของพันธุ์มีผลต่อทุกลักษณะอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ส่วนปัจจัยในด้านของการจัดทรงพุ่มมีผลต่อทุกลักษณะอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แต่น้ำหนักต้นและความยาวช่อดอกให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และการจัดทรงพุ่มพบว่า มีผลต่อทุกลักษณะอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ส่วนปัจจัยในด้านสูตรปุ๋ยพบว่า มีผลอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เฉพาะความสูงต้นและน้ำหนักของต้น แต่ลักษณะอื่นพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปฏิสัมพันธ์

ระหว่างพันธุ์และสูตรปุ๋ยพบว่า มีผลอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับขนาดทรงพุ่ม น้ำหนักต้น และน้ำหนักใบ แต่ลักษณะอื่นพบว่า มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดทรงพุ่มและสูตรปุ๋ยพบว่า มีผลอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเฉพาะน้ำหนักช่อรวมทั้งต้น แต่ไม่มีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความยาวช่อดอก แต่ลักษณะอื่นมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์การ จัดทรงพุ่ม และสูตรปุ๋ย พบว่ามีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับน้ำหนักช่อรวมทั้งต้นและน้ำหนักต้น

แต่ลักษณะอื่นมีผลอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าพันธุ์ CD2 purple ที่ไม่จัดทรงพุ่มรวมกับการให้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 มีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงที่สุด คือ มีความสูงมากที่สุด 382.0 ซม. น้ำหนักต้นมากที่สุด 12,500 กรัม มีจำนวนช่อดอก/ต้นมากที่สุด 35.3 ช่อ และความยาวช่อดอกมากที่สุด 57.7 ซม. และมีน้ำหนักช่อดอกรวมมากที่สุด 8,066.7 กรัม พันธุ์ที่ให้ ความยาวช่อดอกยาวกว่าในทุกปฏิสัมพันธ์ และไม่แตกต่างกัน คือ พันธุ์ CD1 และ CD2 purple

Table 1 Effects of varieties, canopy training, and fertilizing method on growth and yield of three CBD hemp varieties 120 days after planting

Varieties	Canopy training method	Fertilizer formula	Plant height (cm) ^{1/}	Plant canopy (cm)	Plant weight (g)	Leaf weight (g)	No. of inflorescences /Plant	Inflorescence length (cm)	Inflorescence weigh/plants (g)
CD1	No-training	0	120.7h	111.0i	2,400.0i	280.0hi	24.3c	42.0a-f	1,326.7e
		15-15-15	123.7h	110.3i	3,663.3ghi	326.7hi	24.0c	48.7ab	1,505.0e
		4-12-15	119.7h	116.0i	3,133.3hi	328.7hi	24.0c	51.3ab	1,686.7e
	ScrOG	0	122.7h	111.3i	2,600.0i	253.3hi	7.7def	50.7ab	1,413.3e
		15-15-15	122.3h	121.7hi	3,040.0i	207.7hi	7.3def	53.7ab	1,480.0e
		4-12-15	111.7h	115.7i	2,733.3i	240.0hi	9.0d	50.0ab	1,460.0e
	LST	0	118.3h	100.3i	2,333.3i	276.7hi	8.7d	41.3a-g	1,323.3e
		15-15-15	129.3h	110.3i	3,000.0i	330.0hi	7.7def	47.0a-d	1,686.7e
		4-12-15	115.7h	107.3i	2,633.3i	240.0hi	7.7def	47.7a-c	1,436.7e
1:20	No-training	0	328.0b	208.0bc	4,833.3e-i	515.0ghi	32.3b	49.7ab	2,476.7e
		15-15-15	333.3b	208.7bc	5,700.0e-h	353.3hi	32.3b	37.3b-g	2,716.7e
		4-12-15	317.3bc	201.3cd	4,533.3f-i	190.0i	32.3b	24.7fg	1,550.0e
	ScrOG	0	240.0efg	225.0ab	4,500.0f-i	733.3d-h	7.0def	25.0fg	1,467.3e
		15-15-15	263.0de	239.3a	5,900.0e-g	350.0hi	6.0ef	23.3g	2,600.0e
		4-12-15	233.0fg	200.0cd	4,500.0f-i	336.7hi	6.7d-g	27.0e-g	1,900.0e
	Low stress	0	244.3def	192.0cd	4,766.7e-i	640.3e-i	7.3def	29.0d-g	2,533.3e
		15-15-15	232.7fg	190.0cd	4,933.3e-i	550.0f-i	8.0de	30.0c-g	2,451.7e
		4-12-15	217.7g	189.3cd	3,900.0ghi	273.3hi	8.0de	44.0a-e	2,023.3e

Table 1 (Continued)

Varieties	Canopy training method	Fertilizer formula	Plant height (cm) ^{1/}	Plant canopy (cm)	Plant weight (g)	Leaf weight (g)	No. of inflorescences /Plant	Inflorescence length (cm)	Inflorescence weigh/plants (g)
CD2 purple	No-training	0	361.0a	179.0def	7,333.3de	1,833.3a	37.0a	59.3a	5,793.3bcd
		15-15-15	382.0a	185.0cde	12,500.0a	1,333.3bc	35.3a	57.7a	8,066.7a
		4-12-15	362.7a	200.7cd	9,833.3bc	1,633.3ab	35.3a	50.0ab	5,383.3cd
	ScrOG	0	261.3de	161.0f	8,600.0cd	1,033.3c-f	4.3g	59.0a	5,403.3cd
		15-15-15	266.0d	124.3hi	6,833.3def	1,160.0bcd	5.3fg	50.7ab	2,540.0e
		4-12-15	229.0fg	138.7gh	8,566.7cd	1,420.0abc	4.3g	55.0ab	4,883.3d
	Low stress	0	266.3d	165.3ef	7,033.3def	466.7ghi	7.7def	49.0ab	4,783.3d
		15-15-15	298.0c	157.0fg	11,166.7ab	950.0c-g	8.7d	54.3ab	6,900.0abc
		4-12-15	257.3de	162.3f	11,333.3ab	1,066.7cde	7.0def	59.7a	7,400.0ab
F-test	Cultivars		**	**	**	**	**	**	**
	Training		**	**	ns	**	**	ns	**
	Cultivars x Training		**	**	**	**	**	**	**
	Fertilizer Formula		**	ns	**	ns	ns	ns	ns
	Cultivars x Fertilizer		*	**	**	**	*	*	*
	Training x Fertilizer		*	*	*	*	*	ns	**
	Cultivars x Training x Fertilizer		*	*	**	*	*	*	**
CV (%)			5.76	7.87	24.02	21.61	8.63	21.48	25.05

ns, *, ** are non-significantly difference, significantly difference at P<0.05 and P<0.01, respectively.

^{1/}Means within the same column followed by different letters are significantly difference by DMRT.

การทดลองย่อยที่ 2 ผลของพันธุ์และระยะเก็บเกี่ยวที่มีต่อปริมาณสารสำคัญของกัญชงพันธุ์ CBD type

จาก Table 2 พบว่า ในด้านของพันธุ์มีผลต่อทุกปริมาณสารสำคัญทั้งในรูปสารสกัดหยาบเข้มข้นและน้ำหนักรักษา โดยพบว่าพันธุ์ CD1 ปริมาณสาร CBD มากที่สุด ทั้งในรูปสารสกัดหยาบ (58.29% w/w) และน้ำหนักรักษา (9.09% w/w) ในด้านของระยะเก็บเกี่ยวมีผลต่อทุกปริมาณสารสำคัญทั้งในรูปสารสกัดหยาบเข้มข้นและน้ำหนักรักษาเช่นเดียวกัน โดยพบว่าการเก็บเกี่ยวในระยะที่ช่อดอกสุกแก่ 50% จะมีปริมาณของสารสำคัญ CBD และ THC มากที่สุด ทั้งในรูปสารสกัดหยาบ (CBD 43.58% w/w THC 5.22% w/w) และน้ำหนักรักษา (CBD 5.58% w/w THC 0.41% w/w) ปัจจัยในด้านของพันธุ์ ระยะเก็บเกี่ยว และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ร่วมกับระยะ

เก็บเกี่ยว มีผลต่อทุกปริมาณสารสำคัญทั้งในรูปสารสกัดหยาบเข้มข้นและน้ำหนักรักษา โดยด้านปัจจัยของพันธุ์พบว่า พันธุ์ CD1 มีปริมาณสาร CBD มากที่สุด ทั้งในรูปสารสกัดหยาบ (58.29% w/w) และน้ำหนักรักษา (9.09% w/w) ในด้านปัจจัยของระยะเก็บเกี่ยว พบว่าการเก็บเกี่ยวในระยะที่ช่อดอกสุกแก่ 50% จะมีปริมาณของสารสำคัญ CBD และ THC มากที่สุด ทั้งในรูปสารสกัดหยาบเข้มข้น (CBD 43.58% w/w และ THC 5.22% w/w) และน้ำหนักรักษา (CBD 5.58% w/w และ THC 0.41% w/w) สำหรับปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และระยะเก็บเกี่ยว พบว่าพันธุ์ CD1 ที่เก็บเกี่ยวระยะเก็บเกี่ยว 50% มีปริมาณ CBD มากที่สุด ทั้งในรูปสารสกัดหยาบ (CBD 62.00% w/w) และ น้ำหนักรักษา (CBD 11.46% w/w)

Table 2 Effect of varieties and harvesting stage on CBD and THC contents of 3 CBD hemp varieties.

Varieties	Inflorescence harvesting stage	Crude Extract		Dry Plant	
		CBD (%w/w) ^{1/}	THC (%w/w)	CBD (%w/w)	THC (%w/w)
CD1		58.29 a	2.52 b	9.09 a	0.40 b
CD2-Purple		27.43 c	10.97 a	1.17 c	0.47 a
1:20		40.52 b	1.16 c	3.92 b	0.11 c
	50	43.58 a	5.22 a	5.58 a	0.41 a
	75	42.84 b	4.52 c	4.49 b	0.26 b
	100	39.81 c	4.92 b	4.11 b	0.31 b
CD1	50	62.00 a	2.92 d	11.46 a	0.54 a
	75	61.37 b	2.82 d	8.48 b	0.39 b
	100	51.48 c	1.84 e	7.31 c	0.26 c
CD2-Purple	50	28.16 g	11.55 b	1.42 e	0.58 a
	75	25.62 h	9.61 c	0.70 e	0.26 c
	100	28.51 g	11.75 a	1.39 e	0.57 a
1:20	50	40.59 e	1.20 f	3.85 d	0.11 d
	75	41.51 d	1.14 f	4.30 d	0.12 d
	100	39.45 f	1.16 f	3.62 d	0.11 d
F-test	Varieties	**	**	**	**
	Inflorescence harvesting stage	**	**	**	**
	Varieties x Harvesting	**	**	**	**
	CV (%)	0.61	1.46	10.06	13.11

ns, *, **are non-significantly difference, significantly difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

^{1/}Means within the same column followed by different letters are significantly difference by DMRT.

การศึกษาเทคโนโลยีการปลูกกัญชงและการเก็บเกี่ยว

พันธุ์ Superfood type

การทดลองย่อยที่ 3 ผลของพันธุ์ที่มีต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของกัญชงพันธุ์ Superfood type

จาก Table 3 ในด้านการเจริญเติบโต พบว่าปัจจัยด้านพันธุ์มีผลต่อความสูงต้นเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง และมีผลอย่างมีนัยสำคัญกับขนาดทรงพุ่มเฉลี่ย จำนวนช่อดอกต่อต้น และจำนวนวันที่ดอกเพศผู้ออกดอก แต่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของต้นเพศผู้ เปอร์เซ็นต์ต้นเพศเมีย และจำนวนวันที่สามารถเก็บเกี่ยว โดยพบว่าพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด คือ RPF7 เนื่องจากมีความสูงต้นมากที่สุด 228.3 ซม. มีขนาดทรงพุ่มใหญ่ที่สุด 150.0 ซม.

มีจำนวนช่อดอกมากที่สุด 15.4 ช่อ/ต้น แต่มีเปอร์เซ็นต์เพศผู้ค่อนข้างมาก 58.3% และเปอร์เซ็นต์ต้นเพศเมียค่อนข้างน้อย 41.7% แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่พันธุ์ RPF6 มีจำนวนช่อดอกไม่แตกต่างกัน 13.8 ช่อ/ต้น แต่มีเปอร์เซ็นต์ต้นเพศผู้มากที่สุด 37.5 และมีเปอร์เซ็นต์ต้นเพศเมียค่อนข้างมาก 62.5 แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนจำนวนวันที่เพศผู้ออกดอกพบว่าพันธุ์ RPF8 ใช้ระยะเวลาในการออกดอกสั้นที่สุด คือ 31.3 วัน ในขณะที่พันธุ์ RPF2 ใช้ระยะเวลายาวนานที่สุด คือ 51.0 วัน ส่วนจำนวนวันที่ใช้เก็บเกี่ยวพบว่า พันธุ์ RPF5 ใช้ระยะเวลาเก็บเกี่ยวสั้นที่สุด คือ 115.2 วัน ในขณะที่พันธุ์ RPF6 ใช้ระยะเวลายาวนาน

ที่สุด คือ 120.2 วัน แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จาก Table 4 ในด้านการให้ผลผลิต พบว่าปัจจัยด้านพันธุ์มีผลต่อขนาดเมล็ดและปริมาณน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่น้ำหนัก 100 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดต่อต้น น้ำหนักเศษใบหลังหวดเอาเมล็ดออกแล้วต่อต้น น้ำหนักเมล็ดลีบมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าพันธุ์ RPF6 มีปริมาณผลผลิต/ต้นมากที่สุด (107.4 กรัม) และมีปริมาณน้ำมันที่สกัดสูง 15.3% ในขณะที่มีขนาดเมล็ดกว้าง (3.53 มิลลิเมตร) ไม่แตกต่างจากพันธุ์ RPF5 (3.45 มิลลิเมตร) และ RPF4 (3.51

มิลลิเมตร) ในขณะที่พันธุ์ RPF 3 มีน้ำหนัก 100 เมล็ดมากที่สุด 7.20 กรัม ส่วนพันธุ์ RPF 7 ที่มีน้ำหนักของเศษใบหวดเอาเมล็ดออกแล้วมากที่สุด 44.3 กรัม ส่วนพันธุ์ RPF1 มีเมล็ดลีบน้อยที่สุด (2.77 กรัม) ส่วนพันธุ์ RPF 8 มีเมล็ดลีบมากที่สุด (6.17 กรัม) ส่วนในด้านปริมาณน้ำมันสูงที่สุด คือ พันธุ์ RPF5 (15.8 %) และเมื่อพิจารณาทุกลักษณะ พบว่าพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับแนะนำเกษตรกร คือ RPF6 เพราะให้ผลผลิตสูงที่สุด มีปริมาณน้ำมันสูง และมีขนาดเมล็ดใหญ่ที่สุด

Table 3 Effects of eight superfoodtype hemp varieties on growth after planting for 150 days

Variety	Average height (cm)	Average plant canopy (cm)	No. of Inflorescences /Plant	Percentage of male plants (%) ^{1/}	Percentage of female plants (%)	Days to male flowering (days)	Days to maturity (days)
RPF1	197.6 b	146.5 ab	14.7 a	41.7	58.3	36.1 cd	117.9
RPF2	188.7 bc	135.9 abc	14.9 a	50.0	50.0	51.0 a	117.8
RPF3	184.0 bc	123.0 bc	14.1 a	37.5	62.5	43.7 b	119.3
RPF4	168.9 bc	121.0 c	11.8 b	62.5	37.5	44.7 ab	116.1
RPF5	167.2 c	131.6 abc	14.0 a	50.0	50.0	47.3 ab	115.2
RPF6	181.2 bc	135.2 abc	13.8 a	37.5	62.5	42.4 bc	120.2
RPF7	228.3 a	150.0 a	15.4 a	58.3	41.7	48.9 ab	119.7
RPF8	189.2 bc	126.1 bc	15.2 a	50.0	50.0	31.3 d	116.2
F-test	**	*	*	ns	ns	*	ns
CV (%)	7.92	9.05	7.23	22.6	20.6	8.52	2.24

ns, *, ** are non-significantly difference, significantly difference at P<0.05 and P<0.01, respectively.

^{1/}Means within the same column followed by different letters are significantly different by DMRT.

Table 4 Effects of eight superfood-type hemp varieties on yield after planting for 150 days.

Variety	seed weight/plant (grams)	Seed oil content after separation (%)	Average seed size (wide) (mm) ^{1/}	100 Kernel weight (grams)	Weight of inflorescences with seeds removed (grams)	Incomplete seed weight per plant (grams)
RPF1	97.0 a	15.1 b	3.32 ab	6.80 abc	29.6 ab	2.77 c
RPF2	98.5 a	14.0 e	3.37 ab	6.80 abc	34.1 ab	4.07 abc
RPF3	95.8 a	14.4 bc	3.35 ab	7.20 a	32.1 ab	4.10 abc
RPF4	75.9 b	15.0 b	3.51 a	7.13 ab	23.5 b	3.30 bc
RPF5	92.2 ab	15.8 a	3.45 a	6.47 c	27.8 b	3.60 abc
RPF6	107.4 a	15.3 a	3.53 a	6.40 c	35.5 ab	4.33 abc
RPF7	95.6 a	13.0 f	3.17 b	6.57 bc	44.3 a	5.57 ab
RPF8	98.9 a	14.6 bc	2.86 c	6.60 abc	37.1 ab	6.17 a
F-test	*	**	**	*	*	*
CV (%)	10.99	0.94	4.05	4.66	24.05	21.81

ns, *, **are non-significantly difference, significantly difference at P<0.05 and P<0.01, respectively.

^{1/}Means within the same column followed by different letters are significantly difference by DMRT.

การทดลองย่อยที่ 4 ผลของพันธุ์และระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ด พันธุ์ Superfood type

จาก Table 5 ผลของพันธุ์ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับระยะเวลาเก็บเกี่ยว พบว่ามีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความงอกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าพันธุ์ RPF6 เก็บเกี่ยวในระยะที่เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 75% มีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงที่สุด 94.0% ในขณะที่พันธุ์ RPF8 เก็บเกี่ยวในระยะที่เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 50% มีเปอร์เซ็นต์

ความงอกต่ำที่สุด 32.0% ส่วนใหญ่ต้องเก็บเกี่ยวในระยะที่เปลือกหุ้มเมล็ดสุกแก่ 100% จึงได้เปอร์เซ็นต์การงอกที่ดีที่สุด ได้แก่ พันธุ์ RPF1, RPF2, RPF4, RPF5, และ RPF7 บางพันธุ์ต้องเก็บเกี่ยวที่ระยะเปลือกหุ้มเมล็ดสุกแก่ 75% ได้แก่ พันธุ์ RPF3, RPF6 และ RPF8 หากเก็บเกี่ยวสุกแก่เกินไปมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกลดลง ในขณะที่การเก็บเกี่ยวในเมล็ดอ่อนหรือเปลี่ยนสีเพียง 50% มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกต่ำ (32.0-70.0%) ดังนั้นจึงควรเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ระยะเก็บเกี่ยว 75% ขึ้นไป เพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด

Table 5 Effects of variety and harvesting stage on germination rate of eight superfood-type hemp

Variety	Harvesting stage (%)	Germination (%) ^{1/}
RPF1	50	62.0 cde
	75	65.5 bcde
	100	91.5 ab
RPF2	50	70.0 abcde
	75	82.5 abcd
	100	83.5 abcd
RPF3	50	62.5 cde
	75	82.5 abcd
	100	77.5 abcd
RPF4	50	58.0 de
	75	72.5 abcde
	100	86.5 abc
RPF5	50	46.5 ef
	75	80.0 abcd
	100	91.0 ab
RPF6	50	88.0 abc
	75	94.0 a
	100	86.5 abc
RPF7	50	69.0 abcde
	75	85.0 abcd
	100	88.5 abc
RPF8	50	32.0 f
	75	80.5 abcd
	100	76.0 abcd
F-test	Varieties	**
	Harvesting stage	**
	Varieties x Harvesting	**
	CV (%)	21.16

ns, *, ** are non-significantly difference, significantly difference at P<0.05 and P<0.01, respectively.

^{1/}Means within the same column followed by different letters are significantly difference by DMRT.

วิจารณ์ผลการวิจัย

ปัจจุบันรัฐบาลมีการสนับสนุนและผลักดันให้ กัญชงเป็นพืชเศรษฐกิจใหม่ โดยปลดล็อกกฎหมายทำให้ กัญชงไม่จัดเป็นยาเสพติด ประกอบกับจากมูลค่าจำหน่าย ต่อหน่วยสูง จึงสร้างแรงจูงใจให้เกษตรกรมีความสนใจ ปลูกกัญชงอย่างกว้างขวางมากขึ้นทั่วประเทศ ทั้งพันธุ์ CBD และ Superfood ปัจจุบันมีหลายบริษัทได้นำเข้า เมล็ดพันธุ์กัญชงเหล่านี้เข้ามาจำหน่าย อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เกษตรกรสามารถปลูกและจัดการผลผลิตได้อย่าง ถูกต้อง จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเทคโนโลยีในการปลูก และเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อแนะนำให้เกษตรกรปลูก ต่อไป โดยที่กัญชงทั้ง 2 ประเภท มีความแตกต่างกันใน ด้านการใช้ประโยชน์ คือ พันธุ์ CBD ใช้ช่อดอกเพื่อสกัด สารสำคัญสำหรับใช้ทางการแพทย์และอุตสาหกรรม ในขณะที่พันธุ์ Superfood ใช้เมล็ดเพื่อนำมาสกัดน้ำมัน หรือแปรรูปเป็นอาหาร ในด้านของพันธุ์กัญชงที่ใช้ศึกษา ในครั้งนี้เป็นพันธุ์กัญชงลูกผสม CBD ของสถาบันวิจัยและ พัฒนาบนพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่ยังไม่ได้ขึ้น ทะเบียนพันธุ์ จึงไม่มีจำหน่ายเพราะอยู่ในขั้นตอนการ ประเมินพันธุ์ลูกผสม มี 3 พันธุ์ ได้แก่ CD1, 1:20 และ CD2 purple และส่วนพันธุ์ Superfood ใช้พันธุ์กัญชง RPF1-8 ที่ได้ขึ้นทะเบียนกับกรมวิชาการเกษตร โดยพันธุ์ RPF1-4 ได้ขึ้นทะเบียนในปี พ.ศ. 2554 ส่วนพันธุ์ RPF5-8 ได้ขึ้น ทะเบียนพันธุ์ในปี พ.ศ. 2564 โดยปรับปรุงพันธุ์มาจาก RPF1-4 ให้มีเปอร์เซ็นต์เส้นใยและน้ำมันที่สูงขึ้น

การศึกษาเทคโนโลยีการปลูกและเก็บเกี่ยว กัญชงพันธุ์ CBD type โดยศึกษาลักษณะประจำพันธุ์ และผลของสูตรปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต กัญชง พันธุ์ CBD ผลปรากฏว่า พันธุ์ CD2 purple ที่ไม่ จัดทรงพุ่ม (ทรงต้นคริสต์มาส) และให้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 หลังปลูก 60 วัน มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงที่สุด สอดคล้องกับ Pinmanee and Yanaphan (2018a) ที่ แนะนำให้ใส่ปุ๋ย 3 ครั้งในช่วงออกดอก เพื่อเพิ่มคุณภาพ ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ โดยให้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 25

กก./ไร่ แต่ในกรณีนี้ได้นำมาใช้กับการผลิตช่อดอก เหมาะสมจะมีผลต่อน้ำหนัก พบว่าได้ผลดีเช่นกัน Atoloye *et al.* (2022) ได้รายงานว่าการให้ปุ๋ยไนโตรเจน มีผลต่อผลผลิตสด ผลผลิตแห้ง และสารสกัด CBD ในขณะที่ Wei *et al.* (2023) รายงานว่าปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมที่เหมาะสมมีอัตราส่วน 8:1:5 มิลลิโมล/ลิตร มีผลต่อน้ำหนักแห้งยอด ช่อดอก และปริมาณสาร CBD ในการปลูกกัญชงในระบบไฮโดรโป นิิกส์ สำหรับในด้านการจัดทรงพุ่มพบว่า Knight *et al.* (2010) ได้รายงานว่าการจัดทรงพุ่มแบบ ScrOG สามารถ เพิ่มผลผลิตช่อดอกและ THC ได้ในการปลูกด้วยวิธีไฮโดร โปนิิกส์ การจัดทรงพุ่มและตัดแต่งกิ่งมีผลต่อความ สม่ำเสมอของสารสกัดเมื่อปลูกในปริมาณมาก และการ ปลูกถี่มีผลทำให้ลดความสม่ำเสมอของสารสกัดแต่เพิ่ม ผลผลิตต่อพื้นที่ให้มากขึ้น (Danziger and Bernstein, 2021; 2022)

สำหรับการปลูกกัญชงเพื่อใช้ประโยชน์ทาง การแพทย์และอุตสาหกรรมในต่างประเทศนั้น จะจัดทรง พุ่มแบบ Screen of Green (ScrOG) (Knight *et al.*, 2010) และ Low stress training (LST) (Riley, 2016) เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพ จากการศึกษาเรื่องการ จัด ทรงพุ่มของพืชสกุลกัญชากัญชง ในประเทศไทยยังมี ค่อนข้างจำกัด เนื่องจากพืชนี้เพิ่งได้รับการถอดรายชื่อ ออกจากบัญชียาเสพติดให้โทษประเภทที่ 5 ตามประกาศ กระทรวงสาธารณสุข ลงวันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 มีผลให้ กัญชงไม่เป็นยาเสพติด นับตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน พ.ศ. 2565 เป็นต้นไป ซึ่งส่วนใหญ่การปลูกกัญชงในประเทศไทยเป็น การปลูกเพื่อผลิตเส้นใยและผลิตเมล็ดพันธุ์เป็นหลัก สำหรับการปลูกเพื่อใช้ประโยชน์ทางการแพทย์หรือ อุตสาหกรรม (Kanchanaprachot, 2007) มีวัตถุประสงค์ การปลูกเพื่อสกัดสาร CBD ที่มีมูลค่าสูง ดังนั้นจึงมีการ ผลิตและดูแลรักษาแบบประณีตภายใต้โรงเรือน ทั้ง โรงเรือนปกติและควบคุมอุณหภูมิ หรือโรงเรือนแบบปิด (Sunthompravit, 2021; Tiaamung *et al.*, 2021) ซึ่งพบว่ายังมีองค์ความรู้ในด้านการจัดทรงพุ่มเพื่อเพิ่มผลผลิตและ

คุณภาพค่อนข้างจำกัด เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ความรู้ ในด้านการจัดทรงพุ่มของไม้ผลชนิดต่าง ๆ ที่ปลูก ในประเทศไทย เช่น ลำไย (Khaosumeru *et al.*, 2016) มะม่วง (Chimthong, 2012) กาแฟ (Yamyim *et al.*, 1997) และทุเรียน (Phakdi *et al.*, 2020) เป็นต้น

ส่วนการศึกษาผลของพันธุ์และระยะเก็บเกี่ยวที่มี ต่อปริมาณสารสำคัญของกัญชง พันธุ์ CBD type จำนวน 3 พันธุ์ ผลปรากฏว่าพันธุ์ CD1 เก็บเกี่ยวที่ระยะช่อดอกแก่ 50% มีปริมาณสาร CBD มากที่สุด โดยมีปริมาณ CBD ต่อ น้ำหนักแห้งสูงที่สุด ที่ 11.46% w/w และมีปริมาณ CBD ต่อ น้ำหนักสารสกัดหยาบสูงที่สุด 62.00 %w/w ซึ่ง โดยทั่วไปการเก็บเกี่ยวช่อดอกพืชสกุลนี้แนะนำให้มีการ เก็บเกี่ยวโดยพิจารณาจากลักษณะของสีของ Trichomes เป็นหลัก ส่วนใหญ่เริ่มเก็บเกี่ยวเมื่อ Trichomes เปลี่ยน จากสีขาวขุ่นเป็นสีอำพัน (Department of Academic Affairs, 2021) แต่ไม่ได้แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณ สารสำคัญจากช่อดอกในแต่ละระยะเอาไว้ ซึ่งอาจแตกต่างกัน ไปในแต่ละสายพันธุ์และในแต่ละระยะเก็บเกี่ยว ทำให้ เสียโอกาสในการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ปริมาณสารสูงสุดได้ อย่างไรก็ตามในที่นี้เป็นการศึกษาสำหรับแนะนำให้ เกษตรกรปลูกผลิตช่อดอกจำหน่ายเพื่อใช้ประโยชน์ทาง การแพทย์และอุตสาหกรรม ซึ่งควรพิจารณาปริมาณ CBD ในน้ำหนักช่อดอกแห้งมากกว่าพิจารณาเฉพาะผลผลิต น้ำหนักหรือความยาวช่อดอก ซึ่งในที่นี้พบว่าพันธุ์ CD1 มีปริมาณ CBD มากที่สุด (9.09-11.46% w/w ของ น้ำหนักแห้ง) แต่ให้น้ำหนักช่อดอกรวมน้อย (1,479.8- 1.686 กรัม/ต้น) ในขณะที่พันธุ์ CD2 purple มีปริมาณ CBD น้อย (1.17-1.42% w/w ของน้ำหนักแห้ง) แต่ให้ น้ำหนักช่อดอกรวมมาก (5,683.7-8,066.7 กรัม/ต้น) ทั้งนี้ทางโรงงานสกัดสารสำคัญพิจารณาปริมาณ สารสำคัญเป็นเกณฑ์ในการกำหนดราคาด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงควรเลือกพันธุ์ที่มีปริมาณสาร CBD สูงที่สุดหรือ มีสาร CBD 9-11% ขึ้นไป ซึ่งนอกจากระยะเก็บเกี่ยวแล้ว Massuela *et al.* (2022) ได้รายงานวาระยะเวลาเก็บเกี่ยว และเทคนิคในการตัดแต่งช่อดอกมีผลต่อความเข้มข้น

และผลผลิตสาร CBD อีกด้วย ทั้งนี้ควรมีการปลูกทดสอบ พันธุ์ก่อน เพื่อคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับส่งเสริม ให้เกษตรกร เพื่อให้เกษตรกรเลือกใช้พันธุ์ได้อย่าง เหมาะสมเกิดความคุ้มค่าต่อการลงทุนและได้รับ ผลตอบแทนที่ดี (Darby, 2019a)

การศึกษาเทคโนโลยีการปลูกและเก็บเกี่ยวกัญชง พันธุ์ Superfood type โดยศึกษาผลของพันธุ์ที่มีต่อ การเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของกัญชง จำนวน 8 พันธุ์ ผลปรากฏว่าพันธุ์ RPF6 ให้ผลผลิตเมล็ดต่อต้นสูงที่สุด ที่ 107.4 กรัม เปอร์เซ็นต์ น้ำมันที่สกัดสูง 15.3% และ ขนาดเมล็ดกว้างที่สุด 3.53 มิลลิเมตร และมีเปอร์เซ็นต์ ต้นเพศเมียมากกว่าเพศผู้ จึงเหมาะสำหรับแนะนำให้ เกษตรกรผลิต เพื่อใช้เป็นเมล็ดบริโภคสำหรับผลิตอาหาร หรือสกัดน้ำมัน อย่างไรก็ตามพบว่าผลผลิตของพันธุ์ RPF6 มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้หลังตกตะกอน 15.3% มีปริมาณน้ำหนัก 100 เมล็ดเท่ากับ 6.40 กรัมที่น้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในขั้นการลดความชื้นให้เหลือ 10-12% พันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูงมีน้ำหนัก 100 เมล็ดน้อยกว่า พันธุ์ที่มีน้ำมันน้อยซึ่งเป็นไปตามองเดียวกับ พันธุ์ RPF5 ที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้สูงสุด 15.8% แต่มีน้ำหนัก 100 เมล็ด เท่ากับ 6.47 กรัม ซึ่งมากกว่าพันธุ์ RPF6 เล็กน้อย ในขณะที่พันธุ์ RPF3 มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัด ได้ 14.4% แต่มีน้ำหนัก 100 เมล็ดสูงที่สุด 7.20 กรัม ซึ่งเห็นได้ว่าการพิจารณาองค์ประกอบของผลผลิต บางลักษณะอาจสัมพันธ์กันบางอย่างอาจไม่สอดคล้องกัน ดังเช่นในกรณีของถั่วเหลืองพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีจำนวน ฝัก และจำนวนเมล็ด และน้ำหนัก 100 เมล็ดสูง (Liu *et al.*, 2005) ในขณะที่ในงานวิจัยนี้พบว่าพันธุ์ที่ให้ผล ผลิตสูง เป็นพันธุ์ที่มีน้ำหนักเมล็ดต่อต้น และขนาดเมล็ด กว้างที่สุด แต่มีน้ำหนัก 100 เมล็ดน้อย ในขณะที่จำนวน ช่อดอก/ต้นใกล้เคียงกับพันธุ์อื่น ๆ ยกเว้นพันธุ์ RPF4 ที่พบว่ามีความยาวช่อดอก/ต้นน้อยที่สุด การพิจารณา จำนวนช่อดอก/ต้น ต้องพิจารณาการติดช่อถี่หรือห่าง ประกอบด้วย ถ้าพิจารณาลักษณะที่เป็นองค์ประกอบ ผลผลิตสำคัญที่เหมาะสมที่สุดควรพิจารณาลักษณะที่มีผล

ต่อเชิงเศรษฐศาสตร์ที่สำคัญ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ต้นเพศเมีย น้ำหนักเมล็ดต่อต้น และเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้ หลังตกตะกอน โดยเฉพาะการพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้หลังตกตะกอนเป็นผลผลิตสุทธิสุดท้าย (Yield) ในขั้นตอนการสกัดน้ำมันเพื่อจำหน่าย ในด้านองค์ประกอบของผลผลิต Abdollahi *et al.* (2020) ได้รายงานว่ น้ำหนักเมล็ดจากกัญชงพันธุ์เดียวกันเมื่อนำไปปลูกต่างพื้นที่ พบว่าให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดแตกต่างกันออกไป ทั้งผลผลิตเมล็ดและองค์ประกอบน้ำมันจากการศึกษา กัญชง 4 พันธุ์ ใน 3 พื้นที่ปลูกในอิหร่าน พบว่าในแต่ละพันธุ์ที่ปลูกในแต่ละพื้นที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า พันธุ์เดียวกันแต่ปลูกต่างพื้นที่ให้ผลผลิตเมล็ดต่อต้น ปริมาณน้ำมัน และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดแตกต่างกันไป ตามแต่ละพื้นที่

การพิจารณาคัดเลือกพันธุ์ Superfoodtype นอกจากต้องพิจารณาในด้านผลผลิตเมล็ดต่อต้น ปริมาณน้ำมันแล้ว ควรพิจารณาในเรื่องขนาดเมล็ดและเปอร์เซ็นต์ต้นเพศเมียด้วย เนื่องจากขนาดเมล็ดที่ใหญ่ทำให้สามารถกะเพาะเมล็ดได้ง่าย ได้ปริมาณเมล็ดหลังกะเพาะ (Hemp heart) มาก เมล็ดหลังกะเพาะมีความสมบูรณ์ สวยงาม ไม่เป็นเศษหรือผง การเลือกพันธุ์ควรคัดเลือกพันธุ์ที่มีต้นเพศผู้น้อย (Darby, 2022) เนื่องจากกัญชงเป็นพืชที่มีสองเพศแยกต้น (Nanakhon, 2021) ต้นเพศเมียเท่านั้นที่จะให้ผลผลิตเมล็ด ดังนั้นในการผลิตของเกษตรกรจะใช้วิธีการปลูกทั้งสองเพศ จากนั้นจึงสาងต้นเพศผู้ออก (Pinmanee and Yanaphan, 2018b) การที่มีต้นเพศผู้น้อยจะทำให้ประหยัดแรงงานและเวลาในการสาងต้นออก ในขณะที่ปริมาณต้นเพศเมียมาก ทำให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง การปลูกกัญชงเพื่อผลิตเมล็ดบริโภค ในต่างประเทศจะปลูกพันธุ์ที่มีทั้งสองเพศแยกต้น (Dioecious) และมีสองเพศในต้นเดียว (Monoecious) (Drotelff, 2021) โดยปลูกในพื้นที่ขนาดใหญ่และเก็บเกี่ยวเหมือนพืชไร่ทั่วไป ซึ่งประเมินพันธุ์ใหม่จากหลายบริษัทเปรียบเทียบกับพันธุ์การค้าก่อนแนะนำหรือ

ส่งเสริมเกษตรกรในพื้นที่ต่อไป (Darby, 2017; 2019b; 2021; 2022)

ส่วนการศึกษาผลของพันธุ์และระยะเก็บเกี่ยว ต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด โดยศึกษาในกัญชงพันธุ์ Superfood type จำนวน 8 พันธุ์ และระยะเก็บเกี่ยว 3 ระยะ พบว่าพันธุ์ RPF6 เก็บเกี่ยวที่ระยะ 75% มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด ที่ 93.8% ดังนั้นจึงควรแนะนำให้เกษตรกรเก็บเกี่ยวเมล็ดกัญชงที่ระยะ 75% ขึ้นไป Pinmanee and Yanaphan (2018a) ได้ แนะนำให้เกษตรกรเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์เมื่อเปลือกเมล็ดเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลประมาณ 70% ของข้อหรือบับเมล็ดบนสุดของข้อ หากเมล็ดแข็งบับแล้วไม่แตกสามารถเก็บเกี่ยวได้ แต่ไม่ได้ศึกษาผลของระยะเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ในแต่ละพันธุ์ สำหรับระยะการเก็บเกี่ยวเมล็ด นอกจากนี้ กัญชงยังเป็นเมล็ดพันธุ์พืชควบคุมที่กรมวิชาการได้รับรองและกำหนดมาตรฐานความงอกของเมล็ดกัญชงการค้าอยู่ที่ 70% ขึ้นไป (Plant Control Group, Bureau of Plant and Agricultural Materials Control, Department of Academic Affairs, 2022) แต่ถ้าหากกำหนดมาตรฐานคุณภาพเมล็ดพันธุ์ไว้ต่ำ เมื่อนำไปเก็บรักษาเป็นระยะเวลาานานจะยิ่งทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกลดลง เมื่อเกษตรกรซื้อเมล็ดพันธุ์ดังกล่าวไปปลูกอาจได้รับความเสียหายจากการปลูกไม่งอกหรืองอกไม่สม่ำเสมอได้ ดังนั้นจึงควรเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ระยะเก็บเกี่ยว 75% ขึ้นไป เพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด โดยทยอยเก็บเกี่ยวข้อดอก เพราะแต่ละข้อดอกสุกแก่ไม่พร้อมกัน (Nanakhon, 2021) และไม่ควรรอจนหลุดร่วง เพราะทำให้สูญเสียเมล็ดที่จะเก็บเกี่ยวได้ ในที่นี้ได้ให้ความสำคัญกับเปอร์เซ็นต์ความงอก โดยตั้งสมมุติฐานว่าเมล็ดที่มีความสมบูรณ์ที่สุดต้องมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด เพื่อแก้ไขปัญหาเปอร์เซ็นต์การงอกของเกษตรกรโดยได้ตั้งสมมุติฐานว่าสาเหตุที่เปอร์เซ็นต์การงอกต่ำเกิดจากการเก็บเมล็ดระยะเก็บเกี่ยวปนกัน ผลการทดลองนี้ พบว่า

การเก็บเกี่ยวช่อดอกที่มีเมล็ดสุกแก่ 50% มีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดต่ำกว่า 70% จำนวน 6 พันธุ์ จากทั้งหมด 8 พันธุ์ ดังนั้นหากเก็บเกี่ยวเมล็ดในระยะไม่เหมาะสมหรือเก็บเกี่ยวเมล็ดอ่อนจะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกต่ำ ซึ่งแต่ละพันธุ์อาจมีระยะเก็บเกี่ยวเฉพาะที่แตกต่างกันระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวนอกจากมีผลในการงอกแล้ว (Suriyong *et al.*, 2015) พบว่าเกี่ยวข้องกับส่วนประกอบของกรดไขมันที่สกัดด้วย โดยเฉพาะปริมาณกรดโอเมก้า 3 และ 6 (Vogl *et al.*, 2004) ในที่นี้การศึกษานี้มุ่งเน้นศึกษาพันธุ์ Superfood ในกรณีนำมาสกัดน้ำมันเท่านั้น ไม่ได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ เพราะปริมาณเมล็ดที่ได้น้อยไม่เพียงพอที่จะศึกษาในด้านคุณค่าทางโภชนาการ เช่น พลังงาน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร กรดไขมัน หรือธาตุอาหาร และจากการตรวจสอบประวัติพันธุ์ RPF5-8 พบว่าพันธุ์เหล่านี้ถูกพัฒนามาจากพันธุ์เดิม (RPF 1-4) โดยคัดเลือกให้มีเปอร์เซ็นต์เส้นใยและน้ำมันเพิ่มขึ้น ไม่ได้คัดเลือกให้เป็นพันธุ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาเทคโนโลยีการปลูกและเก็บเกี่ยวพันธุ์ พันธุ์ CBD type โดยการศึกษาลักษณะประจำพันธุ์และผลของสูตรปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต ผลปรากฏว่าพันธุ์ CD2 purple ที่ไม่จัดทรงพุ่ม (ทรงต้นคริสต์มาส) และให้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 หลังปลูก 60 วัน มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงที่สุด ส่วนการศึกษาผลของพันธุ์และระยะเก็บเกี่ยวที่มีต่อปริมาณสารสำคัญของกัญชง พันธุ์ CBD type จำนวน 3 พันธุ์ ผลปรากฏว่าพันธุ์ CD1 เก็บเกี่ยวที่ระยะช่อดอกแก่ 50% มีปริมาณสาร CBD มากที่สุด โดยมีปริมาณ CBD ต่อน้ำหนักแห้งสูงที่สุด ที่ 11.46% w/w และมีปริมาณ CBD 62.00% w/w ต่อน้ำหนักสารสกัดหยาบ

การศึกษาเทคโนโลยีการปลูกและเก็บเกี่ยวพันธุ์กัญชง พันธุ์ Superfood type โดยศึกษาผลของพันธุ์ที่การเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของกัญชง จำนวน 8 พันธุ์ ผลปรากฏว่าพันธุ์ RPF6 ให้ผลผลิตเมล็ดต่อต้นสูงที่สุด ที่ 107.4 กรัม เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดสูง 15.3% และขนาดเมล็ดกว้าง 3.53 มิลลิเมตร จึงเหมาะสำหรับแนะนำให้เกษตรกรผลิตเพื่อใช้เป็นเมล็ดบริโภคสำหรับสกัดน้ำมัน ส่วนการศึกษาผลของพันธุ์และระยะเก็บเกี่ยวต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด โดยศึกษาในกัญชงจำนวน 8 พันธุ์ และระยะเก็บเกี่ยว 3 ระยะ พบว่าพันธุ์ RPF6 เก็บเกี่ยวที่ระยะ 75% มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด ที่ 94.0% ดังนั้นจึงควรเก็บเกี่ยวเมล็ดกัญชงที่ระยะ 75% ขึ้นไป สำหรับแนะนำให้เกษตรกรผลิตเมล็ดพันธุ์เพื่อจำหน่าย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมูลนิธิโครงการหลวงที่สนับสนุนงบประมาณทั้งหมดในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์และกิ่งพันธุ์กัญชงที่ใช้ในงานวิจัย และขอขอบพระคุณหัวหน้า และเจ้าหน้าที่ของสถานีเกษตรหลวงอินทนนท์ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ในการทดลอง ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการประสานงานในการเก็บข้อมูลเป็นอย่างดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ สารสกัดสมุนไพร อาคารเมล็ดพันธุ์และสมุนไพรแปรรูป ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรโครงการหลวงชนกาธิเบศรดำริ และเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 1 เชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์สารสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

- Abdollahi, M., F. Sefidkon, M. Calagari, A. Mousavic and M.F. Mahomoodally. 2020. A comparative study of seed yield and oil composition of four cultivars of Hemp (*Cannabis sativa* L.) grown from three regions in northern Iran. **Industrial Crop & Product** 152(112397): 1-8. [Online]. Available <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112397> (February 20, 2024).
- Adesina, I., A. Bhowmik, H. Sharma and A. Shahbazi. 2020. A review on the current state of knowledge of growing conditions, agronomic soil health practices and utilities of hemp in the United States. **Agriculture** 10(4): 129. [Online]. Available <http://doi.org/10.3390/agriculture10040129> (December 17, 2023).
- Amaducci, S., M. Colauzzi, A. Zatta and G. Venturi. 2008. Flowering dynamics in monoecious and dioecious hemp genotypes. **Journal of Industrial Hemp** 13(1): 5-19. [Online]. Available <http://doi.org/10.1080/15377880801898691> (December 17, 2023)
- Amaducci, S., D. Scordia, F.H. Liu, Q. Zhang, H. Guo, G. Testa and S.L. Cosentinob. 2015. Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. **Industrial Crops and Products**. 68: 2-16. [Online]. Available <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.041> (December 17, 2023).
- Atoloye, I.A., I. Adesina, A. Shahbazi and A. Bhowmik. 2022. Response of cannabidiol hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties grown in the southeastern United States to nitrogen fertilization. **De Gruyter**. 7: 373-381. [Online]. Available <http://doi.org/10.1515/opag-2022-0094> (February 2, 2024).
- Barsby, J.P., J.M. Cowley, S.Y. Leemaqz, J.A. Grieger, D.R. McKeating, A.V. Perkins, S.E.P. Bastian, R A. Burton and T. Bianco-Miotto. 2021. Nutritional properties of selected superfood extracts and their potential health benefits. **Peer J-Life and Environment** 2021:1-20. [Online]. Available <http://doi.org/10.7717/peerj.12525> (December 23, 2023).
- Cannabis Laboratory Testing Coordination Center. 2019. **Report on Medical Cannabis Operations**. Bangkok: Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health. 62 p. [in Thai]
- Chicago Cannabis Company. 2019. **Hemp CBD Planting Guide**. V.1 2019, Apr. 28. Chicago: Chicago Cannabis Company. 15 p.
- Chimthong, S. 2012. **Effects of Five Shapes of Pruning on Leaf Budding, Flowering, and Yield of Golden Nam Dok Mai Mango**. Annual Research Report 2011. Chiang Mai: Maejo University. 45 p. [in Thai]

- Danzinger, N. and N. Berstein. 2021. Shape matters: plant architecture affects chemical uniformity in large-size medical cannabis plants. **Plant** 10:(1834): 1-18. [Online]. Available <http://doi.org/10.3390/plants10091834> (February 3, 2024).
- _____. 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): 1-18. [Online]. Available <http://doi.org/10.3389/fpls.2022.713481> (February 3, 2024).
- Darby, H. 2017. **Industrial Grain Hemp Variety Trial**. Burlington: Northwest Crop & Soil Program, University of Vermont Extension. 9 p.
- _____. 2019a. **Industrial Grain Hemp Variety Trial**. Burlington: Northwest Crop & Soil Program, University of Vermont Extension. 6 p.
- _____. 2019b. **Hemp Flower Variety Trial**. University of Vermont Extension. Burlington: Northwest Crop & Soil Program. 19 p.
- _____. 2021. **Industrial Grain Hemp Variety Trial**. Burlington: Northwest Crop & Soil Program, University of Vermont Extension. 10 p.
- _____. 2022. **Industrial Grain Hemp Variety Trial**. Burlington: Northwest Crop & Soil Program, University of Vermont Extension. 9 p.
- Department of Academic Affairs. 2021. **Farmer's Guide: Production of the Genus Cannabis for Medical and Industrial Use**. Bangkok: Office of Experts, Department of Academic Affairs. 151 p. [in Thai]
- Drotleff, L. 2021. **Hemp Variety Yearbook**. 2nd Edition. Colorado: Hemp Industry Daily. 57 p.
- Food Institute, Textile Institute and Small and Medium Enterprise Development Institute. 2022. **Hemp as a New Cash Crop: Industrial Utilization**. Bangkok: Food Institute, Textile Institute and Small and Medium Enterprise Development Institute. 69 p. [in Thai]
- ISTA. 2018. **International Rules for Seed Testing**. Bassersdorf: International Seed Testing Association (ISTA). 46 p.
- Kanchanaprachot, A. 2007. **Hemp**. Chiang Mai: Tone Color. 90 p. [in Thai]
- Kaveeta L., Y. Paopun, K. Promratrak, M. Nanakorn, S. Suwanwong, R. Sengloung, W. Nanakorn and S. Thantivivat. 2006. Morphological and anatomical characteristics of hemp (*Cannabis sativa* L) in Thailand. **The Agricultural Science Journal** 37(4): 293-302. [Online]. Available https://www.thevespiary.org/library/Files_Uploaded_by_Users/llamabox/Morphological%20and%20anatomical%20characteristics%20of%20hemp.pdf (December 26, 2023). [in Thai]

- Khaosumeru, Y., C. Sritanathip, S. Changjaraja, P. Phetchabun and R. Hochairat. 2016. **Longan Orchard Management Manual**. Chiang Mai: Rajamangala University of Technology Lanna Printing House. 44 p. [in Thai]
- Knight, G., S. Hansen, M. Connor, H. Poulsen, C. McGovern and J. Stacey. 2010. The results of an experimental indoor hydroponic cannabis growing study, using the “Screen of Green” (ScrOG) method, Tetrahydrocannabinol (THC) and DNA analysis. **Forensic Sci Intl.** 202: 36-44. [Online]. Available <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.04.022> (December 27, 2023).
- Liu, X., J. Jin, S.J. Herbert, Q. Zhang and G. Wang. 2005. Yield components, dry matter, LAI and LAD of soybeans in Northeast China. **Field Crops Res.** 93: 85-93. [Online]. Available <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.005> (January 5, 2024).
- Massuela, D.C., J. Hartung, S. Munz, F. Erpenbach and S. Graeff-Hönniger. 2022. Impact of harvest time and pruning technique on total CBD concentration and yield of medicinal cannabis. **Plant** 11(140): 1-16. [Online]. Available <http://doi.org/10.3390/plants11010140> (January 15, 2024).
- Nanakhon. V. 2021. **Hemp (marijuana)**. Nonthaburi: Thammasarn. 198 p. [in Thai]
- Phakdi, N., P. Chaiprasat and P. Soipetkasem. 2020. **Knowledge Management and Technology Transfer for Producing Good Quality Durian Fruits cv. Long Lab-Lae and Monthong for Commercial at Lower Northern Part of Thailand. Research and Innovation Utilization for Community**. Report of Activities to Extend and Support Research by the National Research Council of Thailand (NRCT) for the Fiscal Year 2020. Bangkok: National Research Council of Thailand (NRCT). 109 p. [in Thai]
- Pinmanee, S. and R. Yanaphan 2018a. **Handbook for Hemp Seed Production under a Controlled System**. Highland Research and Development Institute (Public Organization). Chiang Mai: Wanida Printing. 62 p. [in Thai]
- _____. 2018b. **A Practical Guide to Growing Hemp under a Controlled System**. Highland Research and Development Institute (Public Organization). Chiang Mai: Wanida Printing. 78 p. [in Thai]
- Plant Control Group, Bureau of Plant and Agricultural Materials Control, Department of Academic Affairs. 2022. **Obtaining Permission under the Plant Variety Act 1975 for Cannabis Seeds (Hemp) as a Guideline After June 9, 2022**. 11 p. [Online]. Available <https://cannabis.fda.moph.go.th/manual-cannabis-2022/> (June 1, 2023). [in Thai]

- Riley, R. 2016. **Growing Elite Marijuana**.
Uttar Pradesh: Infinity Publishing. 516 p.
- Sunthornpravet, P. 2021. Development of
medical Marijuana in community
enterprises. **Thai Research and
Management Journal** 2(1): 86-102.
[in Thai]
- Suriyong, S., N. Krittigamas, S. Pinmanee,
A. Punyalue, and S. Vearasilp. 2015.
Influence of storage conditions on
change of hemp seed quality.
**Agriculture and Agricultural Science
Procedia** 5: 170-176. [Online]. Available
<http://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.026>
(January 22, 2024).
- Tiaamrung, N., N. Boonkerd and P. Tidtabutr.
2021. **Report on Research on the
Production and Utilization of
Cannabis (Marijuana)**. Research Report
on Research Grants from the Research
and Development Fund at Suranaree
University of Technology, Fiscal Year
2019-2020. Suranaree: Suranaree
University of Technology. 71 p. [in Thai]
- Vogl C.R., H. Molleken, G. Lissek-Wolf,
A. Surbock, J. Kobert. 2004. Hemp
(*Cannabis sativa L.*) as a resource for
green cosmetics: yield of seed and fatty
acid compositions of 20 varieties Under
the growing conditions of organic farming
in Austria. **Journal of Industrial Hemp**
9(1): 51-68. [Online]. Available
http://doi.org/10.1300/J237v09n01_06
(January 29, 2024).
- Wei, X., W. Zhou, S. Long, Y. Guo, C. Qiu,
X. Zhao and Y. Wang. 2023. Effects of
different N, P, and K rates on the Growth
and cannabinoid content of industrial
hemp. **Journal of Natural Fibers**
20(1, 2159605): 1-9. [Online]. Available
<http://doi.org/10.1080/15440478.2022.2159605> (January 27, 2024).
- Yamyim, N., T. Phromwong and P. Kham-on,
1997. **Study on Proper Arabica
Pruning Methods for Old Coffee
Plants**. Chiang Mai: Highland Coffee
Research and Development Center,
Faculty of Agriculture, Chiangmai University.
49 p.
- Yanaphan, R. 2019. **A Guide to Growing Hemp
for Fiber Production under Control**.
2nd Edition. Highland Research and
Development Institute (Public
Organization), Chiang Mai:
Wanida Printing. 24 p. [in Thai]

ผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของต้นใบพายอัลบิดา (*Cryptocoryne albida*)

ในระบบไฮโดรโปนิกส์

Effect of Different Substrates on Growth Performance of White Water Trumpet (*Cryptocoryne albida*) in Hydroponic System

เบญญากร หล่ำบรรเทา¹ ชนัตถราม โสธินบวรภฤต² วรางคณา กาซั่ม² และนงนุช เลาะห์วิสุทธิ์^{1*}

Benyakorn Labantao¹, Chanutdharm Sotinbowonkrit², Warangkana Kasam²

and Nongnuch Laohavisuti^{1*}

¹ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

²กองวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Animal Production Technology and Fisheries, Faculty of Agricultural Technology

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520

²Inland Fisheries Research and Development Division, Department of Fisheries, Bangkok, Thailand 10900

*Corresponding author: nongnuch.la@kmitl.ac.th

Received: January 06, 2024

Revised: July 01, 2024

Accepted: July 18, 2024

Abstract

Cryptocoryne albida (R. Parker) is an economically significant aquatic plant in Thailand. However, its natural population has been experiencing a considerable decline due to invasion and slow growth. Using a hydroponics system with deep flow techniques (DFT) is an alternative tool for propagation used for aquatic plants. This experiment aimed to examine the effect of different substrates (sponge, rockwool and pumice) on the growth performance of *C. albida*. The experimental set had four replicates, 10 plants per replicate. After 8 weeks, the result showed that sponge was the optimum substrate that could significantly ($P < 0.05$) increase average root length (16.98 ± 1.73 cm). Other growth performances in shoot height (12.01 ± 1.79 cm), leaf length (9.72 ± 1.42 cm), leaf width (0.65 ± 0.10 cm) and leaf number (4.25 ± 0.61 leaves) were not significantly different ($P > 0.05$) from other substrates. This study has shown that sponge has good qualities for being substrate in hydroponics system due to the fact that the pores are not tightly packed, resulting in the roots being able to penetrate easily and also promoting air exchange, which could promote the growth of *C. albida*.

Keywords: *Cryptocoryne albida*, substrates, hydroponics

บทคัดย่อ

ใบพายอัลบิตา *Cryptocoryne albida* (R. Parker) เป็นพรรณไม้น้ำสวยงามเฉพาะถิ่นของไทย ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ แต่สถานะภาพในธรรมชาติกลับมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการบุกรุกและการขยายพันธุ์ในธรรมชาติที่ค่อนข้างช้า การใช้เทคโนโลยีระบบปลูกพืชไร้ดินแบบ Deep Flow Technique (DFT) เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าจะใช้ในการเพาะขยายพันธุ์พรรณไม้น้ำ จึงทำการศึกษาผลของวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ต่อการเจริญเติบโตของใบพายอัลบิตาในระบบไฮโดรโปนิกส์ ได้แก่ ฟองน้ำสีดำ (Sponge) โยหิน (Rockwool) และหินภูเขาไฟ (Pumice) ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ การทดลองซ้ำละ 10 ต้น เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตทุก ๆ 2 สัปดาห์ ได้แก่ ความยาวราก ความสูงต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ และจำนวนใบ พบว่าใบพายอัลบิตาที่ปลูกด้วยฟองน้ำสีดำส่งผลให้มีความยาวรากเฉลี่ย (16.98 ± 1.73 ซม.) เพิ่มขึ้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนการเจริญเติบโตทางด้านความสูงต้น (12.01 ± 1.79 ซม.) ความยาวใบ (9.72 ± 1.42 ซม.) ความกว้างใบ (0.65 ± 0.10 ซม.) และจำนวนใบ (4.25 ± 0.61 ใบ) มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับวัสดุปลูกอื่น ๆ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าฟองน้ำสีดำมีคุณสมบัติที่ดีในการเป็นวัสดุปลูกพรรณไม้น้ำในระบบปลูกไร้ดิน เนื่องจากลักษณะที่มีรูพรุนไม่อัดแน่น ทำให้รากสามารถชอนไชได้ง่าย มีช่องว่างสำหรับการแลกเปลี่ยนอากาศกับรากพรรณไม้น้ำ จึงช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของใบพายอัลบิตาให้สมบูรณ์ แข็งแรง และมีผลผลิตที่มีคุณภาพ

คำสำคัญ: ใบพายอัลบิตา วัสดุปลูก ไฮโดรโปนิกส์

คำนำ

ใบพายอัลบิตา *Cryptocoryne albida* (R. Parker) เป็นพรรณไม้น้ำท้องถิ่นของไทยอยู่ในวงศ์ Araceae พบมากทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ และภาคใต้ ขึ้นตามพื้นดินปนทรายหรือก้อนหินริมน้ำ หรือลำธารในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำกระต้างเล็กน้อย ลักษณะของใบหยักเล็กน้อย ใบแตกรอบลำต้นขึ้นประคบเป็นกอ ขนาดของใบยาวประมาณ 20-30 ซม. กว้าง 1-2 ซม. ก้านใบยาว 10-15 ซม. แผ่นใบมีลักษณะรูปรี มีสีเขียวหรือสีน้ำตาลอมแดง ใบสามารถเปลี่ยนรูปร่างและสีขึ้นตามสภาพแวดล้อม (Rodloy *et al.*, 2004) (Figure 1) จึงนิยมนำมาใช้ในการจัดประดับตู้ปลา ทำให้เป็นพรรณไม้น้ำที่สำคัญทางเศรษฐกิจ (Rodloy, 2020) ใบพายอัลบิตามีการกระจายพันธุ์ที่ค่อนข้างจำกัดและในธรรมชาติขยายพันธุ์ได้ช้า (Pechkong *et al.*, 2010) จึงมีการนำมาขยายพันธุ์โดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เพื่อเพิ่มปริมาณต้นพันธุ์ในระยะเวลาที่สั้นลง แล้วจึงนำต้นอ่อนมาเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิกส์ ที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมและปัจจัยต่าง ๆ ได้ง่าย ทำให้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ต้นพันธุ์ที่สมบูรณ์และแข็งแรง

ไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) หรือการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เป็นการปลูกพืชโดยใช้วัสดุต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ดิน เช่น กรวดแม่น้ำ โยหิน ฟองน้ำ หินภูเขาไฟ เป็นต้น ซึ่งพืชจะได้รับน้ำและสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลาเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของชนิดพันธุ์พืช ส่งผลให้ผลผลิตมีคุณภาพที่สม่ำเสมอ ปราศจากศัตรูพืช และโรคแมลงที่เกิดจากการใช้ดินปลูก ซึ่งวัสดุที่ใช้ปลูกพืชนั้นมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตพืช คือ ช่วยคำนวณในส่วนของพืชที่อยู่เหนือวัสดุให้สามารถตั้งตรงอยู่ได้ เป็นที่อยู่ของราก สามารถกักเก็บน้ำและสำรองธาตุอาหารพืช มีพื้นที่

ช่องว่างที่สามารถแลกเปลี่ยนอากาศของรากพืชได้ คุณสมบัติของวัสดุปลูกที่ใช้ในระบบไฮโดรโปนิกส์ ควรสามารถรักษาอัตราส่วนของน้ำและอากาศให้เหมาะสม ตลอดระยะเวลาการปลูก ไม่มีสารที่เป็นพิษต่อพืชปนอยู่ ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายธาตุอาหาร เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุต่ำหรือไม่มีเลย เพื่อจะได้ไม่มีผลต่อองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหาร พืช รากพืชสามารถแพร่กระจายได้สะดวกทั่ววัสดุปลูก เป็นวัสดุที่ไม่เป็นแหล่งสะสมของโรคและแมลง สามารถนำวัสดุปลูกกลับมาใช้ใหม่ได้ และมีราคาถูก (Pongchawee *et al.*, 2015)

นอกเหนือจากต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุปลูกที่นำมาใช้ ยังมีปัจจัยต่าง ๆ ร่วมด้วย ได้แก่ ประเภทของวัสดุปลูก ลักษณะเฉพาะของพืช และระบบไฮโดรโปนิกส์ ที่เลือกใช้นำมาปลูกพืชควรมีความเหมาะสมกันพืชบางชนิดต้องการวัสดุปลูกที่มีการกักเก็บน้ำสูง ในขณะที่พืชบางชนิดต้องการวัสดุปลูกที่มีการระบายน้ำได้ดี มีการศึกษาของ Chhetri *et al.* (2022) ทำการศึกษาผลของวัสดุปลูก ได้แก่ ขุยมะพร้าว ฟองน้ำ และเพอร์ไลต์ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมและผักกวางตุ้งในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัสดุปลูกที่ใช้ ปลูกและชนิดของพืชทำให้พารามิเตอร์การเจริญเติบโตแต่ละวัสดุแตกต่างกัน การปลูกผักกาดหอมในวัสดุปลูกขุยมะพร้าวให้ผลผลิตต้นและรากสูงที่สุด ในขณะที่ปลูกผักกวางตุ้งในวัสดุปลูกฟองน้ำส่งผลให้มีความสูงของต้นและความกว้างใบของพืชสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกอื่น ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทราบถึงความต้องการเฉพาะของพืชที่เลือกปลูก เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุปลูกอย่างเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ปัจจุบันจึงมีการนำวัสดุที่ไม่ใช้ดินมา

ปลูกกับพรรณไม้น้ำ ได้แก่ กรวดแม่น้ำ โยหิน ฟองน้ำอัดแห้ง ขุยมะพร้าว เป็นต้น (Pongchawee *et al.*, 2015) มีการศึกษาวัสดุปลูกกับพรรณไม้น้ำของ Pradissan *et al.* (2008) ศึกษาวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อเมซอนแดงในระบบไฮโดรโปนิกส์ ได้แก่ โยหิน ฟองน้ำ เวอร์มิคูไลท์ เพอร์ไมค์ และเม็ดดินเผา พบว่าโยหินมีผลต่อการเจริญเติบโตของเมซอนแดง โดยมีความสูงและจำนวนรากที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้มีการศึกษาของ Laohavisuti and Ruangdej (2014) ทำการศึกษาเปรียบเทียบวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตพรรณไม้น้ำ 2 ชนิด ได้แก่ ต้นอนุเบียสบาร์เทอร์บรอดลีฟ (*Anubias barteri* var Broad Leaf) และต้นอนุเบียสมินิมา (*Anubias minima*) โดยใช้วัสดุปลูกที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ โยหิน สำลีเนื้อหนา โยสังเคราะห์ และ Bioaction ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่า Bioaction เป็นวัสดุปลูกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นอนุเบียสบาร์เทอร์บรอดลีฟ และต้นอนุเบียสมินิมามากที่สุด และมีการศึกษาของ Boonmee *et al.* (2024) เปรียบเทียบวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรอง เม็ดซี้ถ้าแกลบ และโยหิน กับต้นไวท์อนุเบียส (*Anubias* sp. 'White') พบว่าเม็ดซี้ถ้าแกลบส่งผลให้ต้นไวท์อนุเบียสเจริญเติบโตได้ดีเมื่อเทียบกับวัสดุปลูกชนิดอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าพืชแต่ละชนิดจะมีการเจริญเติบโตที่ดีแตกต่างกันไปในวัสดุปลูกแต่ละชนิด

ดังนั้นการศึกษาวัดวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของใบพายอัลบิดาในระบบปลูกไฮโดรโปนิกส์ เพื่อให้ได้วัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเลี้ยง และมีคุณสมบัติที่สามารถส่งเสริมให้ใบพายอัลบิดาสามารถเจริญเติบโตได้สูงสุด และมีผลผลิตที่มีคุณภาพ



Figure 1 *Cryptocoryne albida* (R. Parker) in natural habitat

วิธีดำเนินการวิจัย

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) เปรียบเทียบชนิดของวัสดุปลูก 3 ชนิด (Treatment) คือ ฟองน้ำสีดำ (Sponge) โยหิน (Rockwool) และหินภูเขาไฟ (Pumice) ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ (Replication) ซ้ำละ 10 ต้น

การเตรียมระบบปลูกไฮโดรโปนิกส์

จัดทำระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ Deep Flow Technique (DFT) ในระดับลึกแบบรางปลูก โดย

กำหนดระดับน้ำในรางประมาณ 3 ซม. เพื่อให้รากของพรรณไม้น้ำแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน ติดตั้งปั้มน้ำขนาด 9 วัตต์ต่อรางปลูก พร้อมติดตั้งระบบสเปรย์น้ำอัตโนมัติ โดยสเปรย์น้ำทุก ๆ 10 นาที เป็นเวลา 20-30 วินาที ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ และจัดเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL 2 (Table 1) ในระบบปลูกมีการควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดยใช้เครื่อง pH meter ในการวัดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 6.5-7 และควบคุมความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร โดยวัดจากค่าการนำไฟฟ้า (EC) ทุก ๆ สัปดาห์ ตั้งแต่ 0.5 จนถึง 1.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Table 1 Chemical components of hydroponics solution (KMITL 2)

Chemical components	Quantity used/20 L
<u>Solution A</u>	
1. Calcium nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) Zx	3.767 kg
2. Iron chelate (Fe-EDDHA)	0.303 kg
<u>Solution B</u>	
1. Potassium nitrate (KNO_3)	1.796 kg
2. Potassium dihydrogenphosphate (KH_2PO_4)	0.653 kg
3. Magnesium sulphate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	1.037 kg
4. Zinc sulphate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	4.756 g
5. Copper sulphate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	1.016 g
6. Manganese sulphate ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	14.194 g
7. Boric acid (H_3BO_3)	8.894 g
8. Ammonium molybdate ($(\text{NH}_4)_2 \text{MoO}_4$)	0.343 g

การเตรียมพรณไม้น้ำ

คัดเลือกต้นพันธุ์ใบพายอัลบิตาจากห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรณไม้น้ำของกลุ่มวิจัยและพัฒนาสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำจืด กองวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง โดยนำใบพายอัลบิตามาแยกออกเป็นต้นเดี่ยว ทำการตัดรากและใบออกบางส่วนให้มีจำนวนและขนาดเท่ากันทุกต้น แล้วห่อด้วยวัสดุปลูก 3 ชนิด ได้แก่ ฟองน้ำสีดำ โยหิน และหินภูเขาไฟ (Figure 2) แล้วนำไปใส่ในถ้วยปลูกไปอนุบาลในกระบะที่ไม่ใส่

สารละลายธาตุอาหาร คลุมด้วยฝาพลาสติกขุ่นเพื่อให้ใบพายอัลบิตาปรับสภาพและสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะความชื้นปกติเป็นเวลา 2 สัปดาห์ (Laohavisuti and Ruangdej, 2014) เมื่อรากเริ่มงอกและยึดติดกับวัสดุปลูก จึงทำการคัดเลือกใบพายอัลบิตาที่มีขนาดความสูงต้นและจำนวนใบใกล้เคียงกัน ขึ้นวางปลูกในระบบไม่ใช้ดิน แบบ DFT ที่เตรียมไว้ โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL 2 ซึ่งมีการควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ทุกๆ สัปดาห์

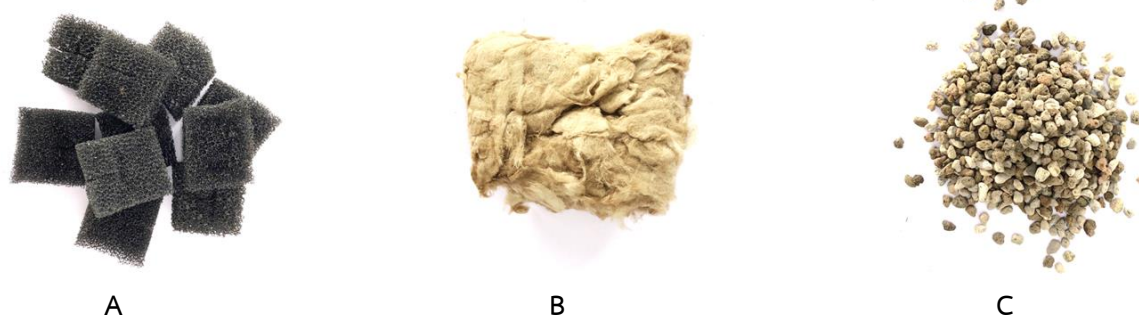


Figure 2 Different substrates (A) Sponge (B) Rockwool (C) Pumice

การบันทึกผล

บันทึกผลข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นใบพายอัลบิตา ได้แก่ ความยาวราก ความสูงต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ และจำนวนใบ ทุก 2 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของต้นใบพายอัลบิตาในระบบไม่ใช้ดิน 3 ชนิด ได้แก่ ฟองน้ำสีดำ ไยหิน และหินภูเขาไฟ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยมีผลการศึกษาดังนี้ (Table 2)

ผลของวัสดุปลูกต่อความยาวรากของต้นใบพายอัลบิตา พบว่าการใช้ฟองน้ำสีดำเป็นวัสดุปลูก ทำให้ต้นใบพายอัลบิตามีความยาวรากเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) รองลงมาคือ ไยหิน และหินภูเขาไฟ โดยมีความยาวรากเฉลี่ยเท่ากับ 16.98 ± 1.73 , 14.61 ± 1.03 และ 14.12 ± 1.51 ซม. ตามลำดับ

ขณะที่ผลของวัสดุปลูกต่อความสูงต้นของใบพายอัลบิตา พบว่าการใช้หินภูเขาไฟเป็นวัสดุปลูก ทำให้

ใบพายอัลบิตามีความสูงต้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ ฟองน้ำสีดำ และไยหิน โดยมีความสูงต้นเฉลี่ยเท่ากับ 12.12 ± 1.75 , 12.01 ± 1.79 และ 11.91 ± 1.02 ซม. ตามลำดับ

ส่วนผลของวัสดุปลูกต่อความยาวใบของต้นใบพายอัลบิตา พบว่าการใช้ไยหินเป็นวัสดุปลูก ทำให้ต้นใบพายอัลบิตามีความยาวใบเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ หินภูเขาไฟ และฟองน้ำสีดำ โดยมีความยาวใบเฉลี่ยเท่ากับ 9.91 ± 1.40 , 9.78 ± 1.43 และ 9.72 ± 1.42 ซม. ตามลำดับ

สำหรับผลของวัสดุปลูกต่อความกว้างใบของต้นใบพายอัลบิตา พบว่าการใช้ฟองน้ำสีดำเป็นวัสดุปลูก ทำให้ต้นใบพายอัลบิตามีความกว้างใบเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ หินภูเขาไฟ และไยหิน โดยมีความกว้างใบเฉลี่ยเท่ากับ 0.65 ± 0.10 , 0.63 ± 0.11 และ 0.61 ± 0.04 ซม. ตามลำดับ

และผลของวัสดุปลูกต่อจำนวนใบของต้นใบพายอัลบิตา พบว่าการใช้ไยหินและหินภูเขาไฟเป็นวัสดุปลูก ทำให้ต้นใบพายอัลบิตามีจำนวนใบเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ ฟองน้ำสีดำ โดยมีความยาวใบเฉลี่ยเท่ากับ 4.38 ± 0.88 , 4.38 ± 0.32 และ 4.25 ± 0.61 ใบ ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูงต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ และจำนวนใบที่เพิ่มขึ้น พบว่าต้นใบพายอัลบิตาที่ใช้วัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิด มีความสูงต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ และจำนวนใบเฉลี่ยเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

Table 2 Growth performance of *Cryptocoryne albida* (R. Parker) cultured the different substrates in hydroponics system with Deep Flow Technique (DFT) for 8 weeks

Substrates	Sponge	Rockwool	Pumice	P-value
Root length (cm)	16.98±1.73 ^a	14.61±1.03 ^b	14.12±1.51 ^b	0.046
Shoot height (cm)	12.01±1.79	11.91±1.02	12.12±1.75	0.982
Leaf length (cm)	9.72±1.42	9.91±1.40	9.78±1.43	0.981
Leaf width (cm)	0.65±0.10	0.61±0.04	0.63±0.11	0.794
Leaves number (no./plant)	4.25±0.61	4.38±0.88	4.38±0.32	0.951

Different letters in row are different significantly (P<0.05).



Figure 3 Growth performance comparison of *Cryptocoryne albida* (R. Parker) cultured the different substrates in hydroponics system with deep flow technique (DFT) for 8 weeks.

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นใบพาย อัลบิตา *Cryptocoryne albida* (R. Parker) ด้วยวัสดุที่แตกต่างกันในระบบปลูกไร้ดิน แบบ DFT พบว่าการใช้ฟองน้ำสีดำเป็นวัสดุปลูกทำให้ต้นใบพายอัลบิตามีความยาวรากเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ โยหิน และหินภูเขาไฟ เท่ากับ 16.98 ± 1.73 , 14.61 ± 1.03 และ 14.12 ± 1.51 ซม. ตามลำดับ ซึ่งฟองน้ำเป็นวัสดุปลูกที่มีช่องว่างและรูพรุนมากไม่อัดแน่นจนเกินไป ทำให้รากสามารถงอกขึ้นได้ง่าย มีช่องว่างสำหรับแลกเปลี่ยนอากาศกับรากพืช หากขนาดช่องว่างของวัสดุปลูกที่มีนั้นน้อยและขนาดเล็ก วัสดุปลูกจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำหรือดูดยึดความชื้นไว้มาก แต่ในขณะเดียวกันจะทำให้ช่องว่างของอากาศถูกแทนที่ด้วยน้ำ ส่งผลให้ได้รับปริมาณอากาศที่น้อยลง (Thagaeng, 2005; Isfendiyaroglu *et al.*, 2009) ขนาดของพื้นที่ช่องว่างวัสดุปลูกมีอิทธิพลอย่างมากต่อการกักเก็บน้ำ (Brown and Pokorny, 1975) ความสามารถในการกักเก็บน้ำของวัสดุปลูกเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่ง que ส่งผลต่อการเจริญเติบโต เนื่องจากเกี่ยวข้องกับสัดส่วนของอากาศและน้ำที่พืชจะได้รับ (Criley and Watanabe, 1974) โดยพืชต้องการออกซิเจนในการหายใจ เพื่อสร้างพลังงานที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของราก และการดูดซับไอออนซึ่งต้องใช้ ออกซิเจน หากไม่มีออกซิเจนที่เพียงพอจะส่งผลให้การการดูดซึมน้ำและไอออนหยุดทำงานและรากเน่าได้ (Jones, 2004) ใบพายอัลบิตา จัดเป็นพรรณไม้้ำชายน้ำ เจริญเติบโตบนดินชื้นบริเวณริมน้ำ ยอดและใบเจริญเติบโตเหนือระดับน้ำ รากของพรรณไม้้ำชายน้ำจะเจริญเติบโตได้ดีหากอยู่ในสภาพแวดล้อมที่บริเวณรากพืชขุดมด้วยออกซิเจน (Muhlberg, 1982) สอดคล้องกับรายงานการทดลองของ Bambaranda and Peiris (2016) ทำการศึกษาปลูกพรรณไม้้ำ *Cryptocoryne wendtii* โดยใช้ดิน ททราย แม่น้ำ และดินผสมทรายแม่น้ำในสัดส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าทรายแม่น้ำมีอัตราการรอดสูงสุด และวัสดุปลูกทราย

แม่น้ำช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากระบบรากพัฒนาได้ดีมากในตัวพืช วัสดุปลูกสามารถกักเก็บออกซิเจน ระบบรากที่ได้รับการพัฒนาอย่างดีเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับพรรณไม้้ำในการดูดซับสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ และส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งรากพืชจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อวัสดุปลูกมีการระบายอากาศที่ดี มีความความชื้นและธาตุอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการ (Pradissan *et al.*, 2008) แสดงให้เห็นว่าน้ำไม่ได้เป็นเพียงสิ่งที่จำเป็นสำหรับพืชเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีอากาศที่จำเป็นสำหรับรากพืชด้วย ดังนั้นขนาดและการกระจายตัวของช่องว่างวัสดุจึงมีความสำคัญเช่นกัน (Verdonck *et al.*, 1981) จึงควรให้รากพืชสามารถแพร่กระจายได้สะดวกทั่ววัสดุปลูก (Pongchawee *et al.*, 2015) ซึ่งวัสดุปลูกไม่จำเป็นต้องมีธาตุอาหารอยู่อย่างเพียงพอ เพราะปริมาณและสัดส่วนของธาตุอาหารพืชสามารถเสริมได้ด้วยการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีต่าง ๆ (Attanandana and Watcharotyan, 1988) จากการทดลองครั้งนี้ยังพบว่าการใช้หินภูเขาไฟเป็นวัสดุปลูกทำให้ต้นใบพายอัลบิตามีความสูงต้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 12.12 ± 1.75 ซม. ส่วนการใช้โยหินเป็นวัสดุปลูกส่งผลให้มีความยาวใบเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 9.91 ± 1.40 ซม. และการใช้ฟองน้ำสีดำเป็นวัสดุปลูกทำให้ต้นใบพายอัลบิตามีความกว้างใบเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.65 ± 0.10 ซม. ซึ่งโยหินและหินภูเขาไฟมีจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุดใกล้เคียงกันเท่ากับ 4.38 ± 0.88 และ 4.38 ± 0.32 ซม. ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าวัสดุปลูกแต่ละชนิดส่งผลต่อพารามิเตอร์การเจริญเติบโตของต้นใบพายอัลบิตาแตกต่างกันไปทั้งด้านความยาวราก ความสูงต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ และจำนวนใบ ดังนั้นวัสดุปลูกที่ดีต้องเหมาะสมกับชนิดพืช ค่าจุนต้นและรากพืชได้ สะดวกต่อการจัดการสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ มีความทนทานต่อการกัดกร่อน ไม่ก่อให้เกิดการทำปฏิกิริยากับสารเคมี และรักษาอุณหภูมิในระบบปลูกไม่ให้ผันแปรมาก จึงจะนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกได้ (Tiraumphon, 2005) ซึ่งฟองน้ำสีดำมีน้ำหนักเบาต่อการนำมาใช้ และมีรูพรุนที่สูง มี

คุณสมบัติที่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกสำหรับปลูกต้นใบพายอัลบิตา ซึ่งในธรรมชาติใบพายอัลบิตามีลำต้นที่แตกเป็นเหง้า (Wangwibulki *et al.*, 2005) ขอนไชไปตามพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นดินปนทราย (Rodloy *et al.*, 2004; Jacobsen, 1980) ซึ่งมีการระบายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับฟองน้ำสีดำที่ใช้ในระบบปลูกแบบไร้ดิน

สรุปผลการวิจัย

การเพาะขยายพันธุ์ต้นใบพายอัลบิตา *Cryptocoryne albid* ด้วยการใช้ฟองน้ำสีดำเป็นวัสดุปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DFT เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ สามารถทำให้ใบพายอัลบิตามีความยาวรากเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงถึง 16.98 ซม. และมีการเจริญเติบโตที่ดีทั้งด้าน ความสูง ความยาวใบ ความกว้างใบ และจำนวนใบ เนื่องจากฟองน้ำสีดำมีลักษณะคุณสมบัติที่คล้ายกับสภาพพื้นที่ของน้ำ (Nature of substratum) ในแหล่งที่อยู่ธรรมชาติของพรรณไม้น้ำ นอกจากนี้ฟองน้ำสีดำสามารถนำมากลับมาใช้ซ้ำได้ และสะดวกต่อการจัดการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์ที่ปรึกษาทุกท่าน สำหรับคำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ รวมไปถึงคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ทำวิจัย อีกทั้งกองวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง ที่สนับสนุนตัวอย่างพรรณไม้น้ำใบพายอัลบิตาในการทำวิจัยครั้งนี้ จนสำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- Attanandana, T. and S. Watcharotyan. 1988. Kan Pluk Phuet Doi Mai Chai Din. **Soil and Fertilizers** 10(1): 59-66. [in Thai]
- Bambaranda. B.V.A.S.M. and S.E. Peiris. 2016. *Cryptocoryne wendtii* can successfully be grown in river sand enriched with nutrients. **Sri Lanka Journal of Aquatic Sciences** 21(1): 67-71.
- Brown, E.F. and F.A. Pokorny. 1975. Physical and chemical properties of media composed of milled pine bark and sand. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 100(2): 119-121.
- Boonmee, W., N. Laohavisuti, A. Srisawang, B. Jongput, U. Ruangdej and S. Seesanong. 2024. Micropropagation of aquarium plant, *Anubias* SP. 'WHITE' using adenine sulfat and benzlyaminopurine. **Journal of Law and Sustainable Development** 12(5): 1-20.
- Chhetri, S., S. Dulal. S. Subba and K. Gurung. 2022. Effect of different growing media on growth and yield of leafy vegetables in nutrient film technique hydroponics system. **Archives of Agriculture and Environmental Science** 7(1): 12-19.
- Criley, R.A. and R.T. Watanabe. 1974. Response of chrysanthemum in four soilless media. **HortScience** 9(4): 385-387.

- Ifsendiyaroglu, M., E. Ozeker and S. Baser. 2009. Rooting of 'Ayvalik' olive cuttings in different media. **Spanish Journal of Agricultural Research** 7(1): 165-172.
- Jacobsen, N. 1980. The *Cryptocoryne albida* group of mainland asia (Araceae). **Researgate** 19: 183-204.
- Jones J.B. Jr. 2004. **Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower**. 2nd Edition. Florida: CRC. 440 p.
- Laohavisuti, N. and U. Ruangdej. 2014. **Comparison of Substrates on Production of Aquatic Plant, *Anubias* spp.** 27 p. *In* Research Report. Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. [in Thai]
- Muhlberg, H. 1982. **The Complete Guide to Water Plant**. Welwyn Garden City: E.P. Publishing, Ltd. 392 p.
- Pechkong, S., S. Sumanojitraporn and C. Makkasap. 2010. **Surface Sterilization Study and Growth Regulators Effect in Tissue Culture of Aquatic Plant *Cryptocoryne albida***. 21 p. *In* Research Report. Bangkok: Aquatic Animal Genetics Research and Development Institute. [in Thai]
- Pradissan, R., K. Pongchawee and W. Pipatcharoenchai. 2008. **The study on Optimum Materials for Growth of Swedish *Echinodorus Echinodorus osiris* Rataj in Soilless Culture System**. 27 p. *In* Research Report. Bangkok: Aquatic Plant and Ornamental Fish Research Institute. [in Thai]
- Pongchawee, K., R. Pradissan and N. Piwpong. (eds.). 2015. **Kan Pho Kha Yai Phan Phan Mai Nam**. 1stEdition. Bangkok: Department of Fisheries Press. 120 p. [in Thai]
- Pongchawee, K., R. Pradissan and W. Pipatcharoenchai. (eds.). 2015. **60 Cha Nit Phan Mai Nam Pra Dap Khong Thai**. Bangkok: Aquatic Plant and Ornamental Fish Research Institute press. 100 p. [in Thai]
- Rodloy, A., C. Koanantakul and W. Hemsiri. (eds.). 2004. **Phan Mai Nam Thai Thi Ni Yom Nam Ma Pra Dap Tu Pla**. 1st. Bangkok: Dokbia Press. 114 p. [in Thai]
- Rodloy, A. 2020. **Marketing and Production Management of Aquatic Plants in Thailand for Exported and Sustainable Use of Resources**. 102 p. *In* Research Report. Bangkok: Inland Aquaculture Research and Development Division. [in Thai]
- Thagaeng, A. 2005. Study on the effects of soilless media on the growth and yield of tomato in drip fertigation system. **Journal of Agricultural Research and Extension** 22(1): 46-57.
- Tiraumphon, A. 2005. **Optimization of Soilless Cultural System, Nutrient Solution Formula, Cultural Container and Cultural Substrate for Lettuce Production**. 53 p. *In* Research Report. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology. [in Thai]

Journal of Agri. Research & Extension 41(3): 21-31

Verdonck, O., D. De Vleeschauwer and
M. De Boodt. 1981. The influence
of the substrate to plant growth.
Acta Horticulture 126: 251-258.

Wangwibulkit, M., W. Hemsiri and R. Phalisak.
(eds.). 2005. **Khu Mue Chom Phan Mai
Nam Thai**. Bangkok: Inland Fisheries
Research and Development Division.
22 p. [in Thai]

การศึกษาชนิดดินปลูกและขนาดกระถางต่อการปลูกหน่อไม้้ำสำหรับการเกษตรในเมือง

Study of Planting Soils and Pot Sizes on Growing Water Bamboo for Urban Agriculture

อภิสิทธิ์ ชิตวานิช* และธนาวัฒน์ เยมอ

Apisit Chittawanij* and Tanawat Yemo

คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok Chonburi, Thailand 20110

*Corresponding author: apisit_ch@rmutto.ac.th

Received: January 03, 2024

Revised: June 19, 2024

Accepted: August 29, 2024

Abstract

The objective of this study is to investigate the planting soils and pot sizes on height and number of shoots of water bamboo (*Zizania latifolia*). The experiment was laidout in a completely randomized design (CRD). The first experiment studied different planting soils and the second experiment studied the size of pots. The results of the first experiment found that water bamboo grown in the commercial soil-2 showed the height and the number of shoots at 75 days after planting of 100.76 centimeters and 14.00 plants per pot, respectively. For the study on pot size for cultivation, it was found that when water bamboo reached 45, 60, and 75 days after planting, the number of shoots and their height in a 14-inch pot were higher compared to pots sized 9, 11, and 17 inches. This research indicated that planting soil-2 and a 14-inch pot size were suitable for cultivating water bamboo in urban agricultural systems.

Keywords: water bamboo, planting soil, pot size, growth, urban agriculture

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของดินปลูก และขนาดกระถางปลูกต่อความสูงและจำนวนต้นของหน่อไม้้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) การทดลองที่ 1 การศึกษาดินปลูกที่แตกต่างกัน จำนวน 5 กรรมวิธี

การทดลองที่ 2 ศึกษาขนาดกระถางปลูก จำนวน 4 กรรมวิธี ผลการศึกษาการทดลองที่ 1 พบว่าหน่อไม้้ำที่ปลูกในดินการค้า-2 ให้ความสูงของต้นและจำนวนหน่อสูงที่สุด ที่อายุ 75 วันหลังปลูก เท่ากับ 100.76 ซม. และ 14.00 ต้นต่อกระถาง ตามลำดับ สำหรับการศึกษขนาดกระถางปลูกพบว่า เมื่อหน่อไม้้ำอายุ 45, 60 และ 75 วันหลังปลูก จำนวนหน่อและความสูงในขนาด

กระถาง 14 นิ้ว สูงกว่าการปลูกในกระถางขนาด 9, 11 และ 17 นิ้ว จากผลการศึกษานี้ทำให้ทราบว่าชนิดดิน การค้า-2 และกระถางขนาด 14 นิ้ว มีความเหมาะสมต่อการใช้ปลูกหน่อไม้ในในระบบการเกษตรในเมือง

คำสำคัญ: หน่อไม้ น้ำ ดินปลูก ขนาดกระถาง การเจริญเติบโต เกษตรในเมือง

คำนำ

การขยายตัวของเมืองทั่วโลกเป็นปรากฏการณ์ที่เด่นชัด โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาที่มีความต้องการอาหารและโครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่เมืองเป็นอย่างมาก (Zhong *et al.*, 2020) ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความผันผวนทางเศรษฐกิจ และทรัพยากรมีอยู่อย่างจำกัด (Kim *et al.*, 2018; Soma *et al.*, 2018) ปัจจุบันประชากรประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ของโลกอาศัยอยู่ในเขตเมือง และ 80 เปอร์เซ็นต์ของอาหารทั้งหมดที่ผลิตทั่วโลกมีไว้เพื่อการบริโภคในพื้นที่เมือง (FAO, 2020) การสร้างความมั่นคงทางอาหารและความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมในระบบการผลิตอาหารจึงเป็นความท้าทาย (United Nations, 2019) โดยในปี ค.ศ. 2030 องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ พยายามที่จะขจัดความยากจนโดยการเพิ่มปริมาณอาหารให้เพียงพอต่อประชากรโลก หนึ่งในทางเลือกเพื่อแก้ปัญหานี้ คือ การส่งเสริมการทำเกษตรในเมืองมากขึ้น เพื่อให้ประชาชนในเมืองมีความยั่งยืนทางด้านอาหาร การเกษตรในเมืองประกอบด้วยกิจกรรมการผลิต การแปรรูป และการตลาดที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การเกษตรในแบบบริโภคในครัวเรือน และการเกษตรในเมืองเชิงพาณิชย์ (Nicholls *et al.*, 2020) การเกษตรในเมืองนอกจากจะมีประโยชน์ทางอาหารและเศรษฐกิจแล้ว ยังมีประโยชน์ต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม Slabinski (2013) ได้สรุปว่าการเกษตรในเมืองอาจเป็นการเกษตรที่ไม่เพียงแต่ทำให้พื้นที่ว่างมี

ประโยชน์ แต่ยังสามารถทำได้ง่ายและมีความยืดหยุ่นสำหรับผู้ที่อยู่ในเมือง ซึ่งได้พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการอาหารให้กับคนที่อยู่ในเขตเมือง สามารถสร้างรายได้จากการขายสินค้าหรือให้บริการต่าง ๆ จึงสร้างโอกาสและความท้าทายให้กับคนในเมือง

หน่อไม้ น้ำ (Water bamboo; *Zizania latifolia*) เป็นพืชน้ำยืนต้น โคนต้นพองออกคล้ายหัวตะไคร้ มีเนื้อสีขาว สามารถรับประทานสดหรือนำมาประกอบอาหาร จะมีความกรอบและมีรสหวาน (Cadzow and Binns, 2016) หน่อไม้ น้ำสามารถปลูกหน้าบ้านหรือบนดาดฟ้า และสามารถเก็บเกี่ยวได้ตลอดปี จึงเหมาะนำมาปลูกเป็นพืชอาหารสำหรับคนที่อยู่ในเมือง อย่างไรก็ตามการปลูกพืชสำหรับคนในเมืองยังมีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่เพาะปลูก การเลือกวัสดุปลูกและขนาดกระถางปลูกจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเกษตรในเมือง เพราะว่าวัสดุปลูกและขนาดภาชนะปลูกที่เหมาะสมจะช่วยให้สามารถปลูกพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และยังคงต้นทุนในการเพาะปลูกได้ (NeSmith and Duval, 1998; Jantaku *et al.*, 2016) ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบชนิดของดินและขนาดกระถางในการปลูกหน่อไม้ น้ำ

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้แบ่งเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของชนิดดินปลูกต่อความสูงและจำนวนต้นของหน่อไม้ น้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 4 กระถาง มี 5 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 ดินร่วน กรรมวิธีที่ 2 ดินเหนียว กรรมวิธีที่ 3 ดินทราย กรรมวิธีที่ 4 ดินการค้า-1 (ดินทรัพย์ทวี) และกรรมวิธีที่ 5 ดินการค้า-2 (ดินชีวภาพ) โดยเตรียมดินปลูกตามแต่ละกรรมวิธีลงในกระถางขนาด 9 นิ้ว และนำไปวางบนพื้นที่ปูแผ่นพลาสติก จากนั้นเติมน้ำลงไปใ้ในกระถางและขังน้ำไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ นำต้นกล้า

หน่อไม้ไ้ไปปลูกลงกระถาง กระถางละ 3 ต้น โดยมีระยะปลูก 10 ซม. คอยสังเกตระดับน้ำในกระถางไม่ให้แห้งตลอดการทดลอง และใส่ปุ๋ย สูตร 15-15-15 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ที่อายุ 25 วัน และ 50 วัน หลังปลูก และการทดลองที่ 2 การศึกษาผลขนาดกระถางปลูกต่อความสูงและจำนวนต้นของหน่อไม้ไ้ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 4 กระถาง มี 4 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1) กระถางขนาด 9 นิ้ว กรรมวิธีที่ 2) กระถางขนาด 11 นิ้ว กรรมวิธีที่ 3) กระถางขนาด 14 นิ้ว และกรรมวิธีที่ 4) กระถางขนาด 17 นิ้ว โดยเลือกดินปลูกจากการทดลองที่ 1 ที่ทำให้หน่อไม้ไ้มีความสูงและจำนวนต้นสูงสุด คือ ดินการค้า-2 มาบรรจุลงในกระถางตามแผนการทดลอง หลังจากนั้นนำกล้าหน่อไม้ไ้ไปปลูกลงกระถางที่เตรียมไว้

การบันทึกความสูงของหน่อไม้ไ้ (จากขอบกระถาง-ปลายใบที่ยาวที่สุด) ที่อายุ 30, 45, 60 และ 75 วัน หลังปลูก และนับจำนวนต้นหน่อไม้ไ้ ที่อายุ 75 วัน หลังปลูก นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัย

จากการศึกษาชนิดของดินปลูกต่อการเจริญเติบโตของหน่อไม้ไ้ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสูงต้นของหน่อไม้ไ้ที่อายุ 30 ถึง 75 วันหลังปลูก มีความสูงในแต่ละกรรมวิธีไปในทิศทางเดียวกันของดินปลูกชนิดเดียวกัน (Table 1) โดยหน่อไม้ไ้ที่อายุ 75 วัน หลังปลูก ที่ปลูกในดินการค้า-2 มีความสูงเท่ากับ 100.76 ซม. ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการปลูกในดินร่วน และดินการค้า-1 ที่มีความสูงเท่ากับ 73.33 และ 68.24 ซม. รองลงมาคือ ดินเหนียวและดินทราย มีความสูงเท่ากับ 40.70 และ 38.56 ซม. ตามลำดับ

จากการบันทึกจำนวนต้นหน่อไม้ไ้ 75 วัน หลังปลูก พบว่าจำนวนต้นต่อกระถางมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยหน่อไม้ไ้ที่ปลูกในดินการค้า-2 มีจำนวนต้นเท่ากับ 14.00 ต้นต่อกระถาง ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการปลูกในดินร่วน ที่มีจำนวนต้นเท่ากับ 10.41 ต้นต่อกระถาง รองลงมาคือ ดินการค้า-1 ดินเหนียว และดินทราย มีจำนวนต้นเท่ากับ 8.25, 5.25 และ 4.75 ต้นต่อกระถาง ตามลำดับ (Table 2) โดยจะสังเกตได้ว่าถ้ามีจำนวนต้นต่อกอมากจะทำให้มีความสูงมากขึ้น

Table 1 Height of water bamboo at 30, 45, 60, and 75 days after planting

Soil types	Height (cm)			
	30 day	45 day	60 day	75 day
Loamy soil	73.30ab	70.45ab	71.71ab	73.33ab
Sandy soil	37.75b	39.14b	38.36b	38.56b
Clay soil	43.98b	41.15b	40.96b	40.70b
Commercial soil-1	58.63ab	67.45ab	68.24ab	68.24ab
Commercial soil-2	91.21a	101.93a	99.89a	100.76a
F-test	*	*	*	*
C.V. (%)	16.50	18.29	17.34	17.85

*Significant at 0.05 probability levels

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level.

Table 2 Number of shoots per pot of water bamboo at 75 days after planting

Soil types	Number of shoots (shoots per pot)
Loamy soil	10.41ab
Sandy soil	4.75c
Clay soil	5.25bc
Commercial soil-1	8.25b
Commercial soil-2	14.00a
F-test	*
C.V. (%)	14.27

*Significant at 0.05 probability levels

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level

การศึกษาขนาดกระถางปลูกต่อการเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่ง พบว่าความสูงของหน่อไม้ฝรั่งที่อายุ 30 และ 45 วัน หลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความสูงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่ออายุ 60 และ 75 วันหลังปลูก (Table 3) โดยหน่อไม้ฝรั่งที่ปลูกในกระถางที่มีขนาดใหญ่

ขึ้นจะมีความสูงมากขึ้น หน่อไม้ฝรั่งที่ปลูกในกระถางขนาด 14 นิ้ว มีแนวโน้มให้ความสูงมากกว่าหน่อไม้ฝรั่งที่ปลูกในกระถางขนาดอื่น ๆ โดยมีความสูงที่อายุ 30, 45, 60 และ 75 วันหลังปลูก โดยมีความสูงเท่ากับ 20.31, 40.03, 43.82 และ 50.61 ซม. ตามลำดับ และหน่อไม้ฝรั่งที่ปลูกใน

กระถางขนาด 9 นิ้ว มีความสูงน้อยที่สุดในทุกช่วงอายุที่บันทึกผล

จากการศึกษาจำนวนหน่อไม้ที่อายุ 75 วัน หลังปลูก พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4) โดยจำนวนหน่อที่ปลูกในขนาดกระถางขนาด 14 นิ้ว มีแนวโน้มให้จำนวนหน่อมากกว่า

กรรมวิธีอื่น มีจำนวนหน่อต่อกระถางที่ 75 วันหลังปลูก เท่ากับ 17.31 หน่อต่อกระถาง แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับขนาดกระถาง 17 และ 11 นิ้ว ที่มีจำนวนหน่อเท่ากับ 15.42 และ 16.02 หน่อต่อกระถาง ตามลำดับ

Table 3 Height of water bamboo at 30, 45, 60, and 75 days after planting

Pot sizes	Height (cm)			
	30 days	45 days	60 days	75 days
9-inch pot	3.53c	24.75c	32.65	49.03
11-inch pot	9.10b	28.63b	34.51	41.62
14-inch pot	20.31a	40.03a	43.82	50.61
17-inch pot	11.34b	39.72a	41.71	50.31
F-test	*	*	ns	ns
C.V. (%)	22.61	24.42	21.81	11.22

ns=not significant; *significant at 0.05 probability levels

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level.

Table 4 Number of shoots per pot of water bamboo at 75 days after planting

Pot sizes	Number of shoots (shoots per pot)
9-inch	13.92b
11-inch	16.02ab
14-inch	17.31a
17-inch	15.42ab
F-test	*
C.V. (%)	19.12

*Significant at 0.05 probability levels

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level.

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการปลูกหน่อไม้ในดินและขนาดกระถางที่แตกต่างกัน พบว่าการปลูกหน่อไม้ในดินการค้ำ-2 และขนาดกระถางขนาด 14 นิ้ว ส่งผลต่อความสูงและจำนวนหน่อของหน่อไม้มากกว่าหน่อไม้ที่ปลูกในดินชนิดอื่น ๆ หน่อไม้จัดเป็นพรรณไม้และเป็นผักชนิดหนึ่ง มีลักษณะลำต้นคล้ายต้นข้าว ดังนั้นดินที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตจึงมีลักษณะเหมือนกับข้าว โดยดินที่เหมาะสมกับการเพาะปลูกข้าว คือ ดินเหนียวถึงดินร่วนเหนียว และสามารถอุ้มน้ำได้ดี (Tasane, 2007) จากการศึกษาคุณสมบัติของดินการค้ำ-2 มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวซึ่งเป็นดินที่มีความคล้ายกับดินที่ใช้ปลูกข้าว จึงส่งผลให้หน่อไม้มีการเจริญเติบโตได้ดี สำหรับภาชนะปลูกที่มีขนาดแตกต่างกันมีผลต่อการเกิดราก ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก ดังนั้นการหาขนาดภาชนะปลูกจึงมีความสำคัญ นอกจากนั้นขนาดของภาชนะปลูกยังส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของยอด (NeSmith and Duval, 1998) จากผลการทดลองพบว่า ขนาดของภาชนะปลูกที่แตกต่างกัน หน่อไม้มีความสูงที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งให้เห็นว่าขนาดภาชนะปลูกไม่มีผลต่อความสูงของหน่อไม้ อย่างไรก็ตามการตอบสนองของพืชต่อความแตกต่างของขนาดภาชนะปลูกนั้น อาจขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของพืช เนื่องจากพืชแต่ละชนิดและสายพันธุ์มีปริมาณรากที่ต่างกัน ดังนั้น การปลูกหน่อไม้ในพื้นที่เมืองจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อใช้ชนิดดินที่ดีและขนาดกระถางที่เหมาะสม เช่น ใช้ดินการค้ำ-2 และกระถางขนาด 14 นิ้ว ซึ่งสามารถเพิ่มความสูงและจำนวนหน่อของหน่อไม้ได้มากกว่าในกระถางขนาดเล็ก เช่น 9 และ 11 นิ้ว หรือใหญ่เกินไป เช่น ขนาด 17 นิ้ว ที่อาจทำให้หน่อไม้ไม่ได้รับประโยชน์จากพื้นที่ของกระถางที่มากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของดินปลูกและกระถางขนาดในการปลูกหน่อไม้ สามารถที่จะเลือกได้ใช้ดินการค้ำ-2 และกระถางขนาด 14 นิ้ว ในการปลูกหน่อไม้จะส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนหน่อและความสูงของต้นของหน่อไม้ ส่วนดินปลูกและขนาดกระถางอื่น ๆ จะให้ลักษณะสำคัญส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณรายได้ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่งานฟาร์มและนักศึกษาที่ทำงานวิจัยสำเร็จได้ตามแผนที่วางไว้

เอกสารอ้างอิง

- Cadzow, H. and T. Binns. 2016. Empowering freetown's women farmers. *Applied Geography* 74: 1-11.
- FAO. 2020. **COVID-19 and Smallholder Producers' Access to Markets**. Rome: FAO ISBN 978-92-5-132414-1. 9 p.
- Jantaku, N., T. Kaewsopha, P. Sirisawat, N. Damna, A. Nakmai and A. Tira-umphon. 2016. Size and shape of container-grown for affecting melon yield and fruit quality with substrate culture and soil culture. *Songklanakarin Journal of Plant and Soil Science* 3(3): M08/15-23. [in Thai]

- Kim, E., J. Jung, G. Hapsari, S. Kang, K. Kim, S. Yoon, M. Lee, M. Han, Y. Choi and J.K. Choe. 2018. Economic and environmental sustainability and public perceptions of rooftop farm versus extensive garden. **Building and Environment** 146: 206-215.
- NeSmith, D.S., and J.R. Duval. 1998. The effect of container size. **Horticultural Science and Technology** 8(4): 495-498.
- Nicholls, E., A. Ely, L. Birkin, P. Basu and D. Goulson. 2020. The contribution of small-scale food production in urban areas to the sustainable development goals: a review and case study. **Sustainability Science** 15: 1585-1599.
- Slabinski, J.M. 2013. From wasteland to oasis: How Pennsylvania can appropriate vacant urban land into functional space via urban farming. **Widener Law Journal** 22: 253-287.
- Soma, K., M.W.C. Dijkshoorn-Dekker and N.B.P. Polman. 2018. Stakeholder contributions through transitions towards urban sustainability. **Sustainable Cities and Society** 37: 438-450.
- Tasnee, A. 2007. **Paddy Soil Science**. 4th ed. Bangkok: Kasetsart University. 359 p. [in Thai]
- United Nations. 2019. **Global issues: population**. [Online]. Available <https://www.un.org/en/global-issues/population> (January 20, 2024).
- Zhong, C., R. Hu, M. Wang, W. Xue and L. He. 2020. The impact of urbanization on urban agriculture: evidence from China. **Journal of Cleaner Production** 276: 122686.

ผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้สภาพขาดน้ำ ที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน

Effect of Chitosan on Rice Growth under Drought Stress at Different Growth Stages

ธิดารัตน์ ศิริบุรณ์* กาญจนา จอมสังข์ สัมพันธ์ ตาติวังค์ และอัษฎาวุธ สุวรรณชาติ

Thidarat Siriboon*, Kanchana Chomsang, Samphan Tatiwong and Adsadawut Suwannachat

คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

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

*Corresponding author: c.thidarat@hotmail.com

Received: September 22, 2023

Revised: May 15, 2024

Accepted: June 10, 2024

Abstract

Chitosan can be applied to trigger the immune system in plant under drought stress. The objectives of this study were to study the effect of chitosan application on rice yield under drought conditions at different growth stages of rice. The experiment was arranged in a 2x5 factorial in completely randomized design (CRD) with four replications. Factor A was chitosan applications (with and without chitosan application), while Factor B were watering conditions, which included regular watering, and water withdrawal at seedling, tillering, panicle initiation and heading stages. The experiment was conducted at the greenhouse of the Agronomy Division, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, during September 2021 to January 2022. The results showed that chitosan application had significant effects on plant height, no. of tiller, no. of panicle, harvest index and yield. Chitosan application increased the yield by 58.1% compared to rice without chitosan. Moreover, chitosan application had significant effects on plant height and leaf greenness. Furthermore, severe yield loss caused by water deficit at heading stage could be diminished by chitosan application, which could help reducing yield loss by 56.06% compared to application without chitosan.

Keywords: chitosan, drought, growth stages of rice, yield

บทคัดย่อ

ไคโตซานสามารถใช้เพื่อกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันให้พืชที่อยู่ในสภาวะเครียด การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการฉีดพ่นไคโตซานต่อผลผลิตของข้าวภายใต้สภาพขาดน้ำที่ระยะการ

เจริญเติบโตที่แตกต่างกัน โดยวางแผนการทดลองแบบ 2x5 factorial in CRD ทำการทดลอง 4 ซ้ำ โดยปัจจัย A คือ การฉีดพ่นไคโตซาน 2 วิธีการ คือ มีการฉีดพ่นและไม่ฉีดพ่นไคโตซาน และปัจจัย B คือ ระยะการเจริญเติบโตของข้าวที่ขาดน้ำ 5 ระยะ คือ การให้น้ำปกติ การขาดน้ำที่ระยะต้นกล้า ระยะแตกกอ ระยะสร้างรวงอ่อน และ

ระยะออกรวง เริ่มดำเนินการ เดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 ณ โรงเรียนสาขาริชาพิชไร้ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ผลการทดลองพบว่า การฉีดพ่นไคโตซานมีผลทำให้ความสูง ความเขียวของใบ จำนวนหน่อตอกอ จำนวนรวงตอกอ ดัชนีการเก็บเกี่ยว และผลผลิตมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวที่มีการฉีดพ่นไคโตซานสามารถเพิ่มผลผลิตได้มากกว่าข้าวที่ไม่ได้ฉีดพ่นไคโตซาน 58.1% และการขาดน้ำของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกันมีผลทำให้ความสูงและความเขียวของใบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยิ่งไปกว่านั้นความเสียหายอย่างรุนแรงของผลผลิตที่เกิดจากการขาดน้ำที่ระยะออกรวงสามารถบรรเทาได้ด้วย การฉีดพ่นไคโตซาน ซึ่งสามารถช่วยบรรเทาการสูญเสียของผลผลิตได้ 56.06% เมื่อเทียบกับการไม่ฉีดพ่นไคโตซาน

คำสำคัญ: ไคโตซาน การขาดน้ำ ระยะการเจริญเติบโตของข้าว ผลผลิต

คำนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่เป็นอาหารหลักที่มีผลต่อความมั่นคงทางอาหาร ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกข้าวที่สำคัญของโลก โดยปี พ.ศ. 2563/2564 ไทยมีผลผลิตข้าวสูงเป็นอันดับ 6 ของโลก คิดเป็น 3.7% ของผลผลิตข้าวทั่วโลก รองจากจีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ และเวียดนาม และไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวอันดับ 3 ของโลก มีส่วนแบ่งตลาดคิดเป็น 11.9% รองจากอินเดียและเวียดนาม ซึ่งมีส่วนแบ่งตลาด 38.9 และ 12.9% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการผลิตข้าวในประเทศไทยยังประสบปัญหาต้นทุนการผลิตที่สูง และผลผลิตต่อไร่ต่ำ เนื่องจากปัจจุบันเกิดภาวะโลกร้อนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศทำให้ปริมาณฝนตกลงน้อยลง และทำให้เกิดปัญหาภัยแล้งในบางพื้นที่ ซึ่งส่งผล

กระทบกับปริมาณการใช้น้ำเพื่อการเกษตร จึงมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2565 ข้าวนาปรังลดลงประมาณ 2.7 ล้านตัน เพราะข้าวนาปรังเป็นพืชที่ปลูกในนาแล้งจึงพึ่งพาน้ำในเขื่อนที่มีการกักเก็บ ส่วนข้าวนาปีลดลง 1.2 ล้านตัน นอกจากนี้ภัยแล้งนั้นเป็นสาเหตุที่ทำให้พืชหยุดหรือชะงักการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ได้ไม่สมบูรณ์และลดน้อยลง (Prommacot *et al.*, 2020) ปัจจุบันมีการศึกษาการใช้ไคโตซานฉีดพ่นในข้าวเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของข้าวให้ทนต่อสภาพแล้งและไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการให้ผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าว ไคโตซานเป็นสารโพลีเมอร์จากธรรมชาติ จึงปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ปัจจุบันประเทศไทยมีศักยภาพการผลิตไคโตซานจากส่วนของหัวและเปลือกกุ้งกุลาดำที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์กุ้งกุลาดำ โดยไคโตซานมีคุณสมบัติเป็นตัวกระตุ้น เมื่อนำมาใช้กับพืชจะกระตุ้นให้พืชเกิดการสร้างภูมิคุ้มกันโดยการชักนำทำให้พืชนั้นเกิดความทนทานเมื่ออยู่ในสภาพวิกฤต (Boonlertnirun *et al.*, 2013) หนึ่งในสภาพวิกฤตที่สำคัญ คือความเครียดที่เกิดจากการขาดน้ำ นอกจากนี้มีรายงานเกี่ยวกับการใช้ไคโตซานเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรมากมาย เช่น Lu *et al.* (2002) รายงานว่า การปลูกข้าวและพ่นไคโตซาน อัตรา 0.4 กรัมต่อน้ำ 50 ซีซี มีผลทำให้ความยาวราก จำนวนราก ความยาวใบ และความสูงของต้นกล้าข้าวเพิ่มขึ้น จากรายงานของ Senaphan *et al.* (2016) รายงานว่า ในระหว่างการปลูกข้าวที่มีการฉีดพ่นไคโตซานทุก 7 วัน สามารถส่งเสริมการให้ผลผลิตข้าวเพิ่มมากขึ้น โดยทำให้อัตราการแตกกอ เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนักเมล็ดดี จำนวนเมล็ดดี สูงกว่าการฉีดพ่นสารละลายที่ไม่มีส่วนผสมของไคโตซาน ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลของไคโตซานต่อการให้ผลผลิตของข้าวภายใต้สภาพขาดน้ำ และศึกษาระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าวต่อสภาพขาดน้ำที่ส่งผลต่อผลผลิตของข้าวพันธุ์ กช 83

อุปกรณ์และวิธีการ

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 2x5 Factorial in CRD ทำ 4 ซ้ำ ประกอบด้วย

ปัจจัย A คือ วิธีการฉีดพ่นไคโตซาน 2 วิธี คือ

1. มีการฉีดพ่นไคโตซาน
2. ไม่มีการฉีดพ่นไคโตซาน

ปัจจัย B คือ ระยะการเจริญเติบโตของข้าวที่ขาดน้ำ 5 ระยะ คือ

1. ไม่มีการขาดน้ำ
2. ระยะต้นกล้า (seedling stage, 25-30 วัน)
3. ระยะแตกกอ (tillering stage, 45-50 วัน)
4. ระยะสร้างรวงอ่อน (panicle initiation stage, 55-60 วัน)
5. ระยะออกรวง (heading stage, 70-75 วัน)

วิธีการทดลอง

ปลูกข้าวพันธุ์ กข 83 ในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง โดยทำการปลูกทั้งหมด 10 หน่วยทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 5 กระถาง จำนวนหน่วยทดลองทั้งหมด 200 กระถาง ทำการทดลองเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 ณ โรงเรือนสาขาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อต้นกล้าข้าวมีอายุ 14 วัน เริ่มฉีดพ่นไคโตซานครั้งแรกความเข้มข้น 40 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร และครั้งต่อไปเมื่อเข้าสู่ระยะต้นกล้า ระยะแตกกอ ระยะสร้างรวงอ่อน และระยะออกรวง รวมทั้งหมด 5 ครั้ง จึงหยุดฉีดพ่น โดยการฉีดพ่นไคโตซานนั้นจะฉีดพ่น 2 วัน ก่อนทำให้เกิดการขาดน้ำในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าว และการทำให้เกิดสภาพการขาดน้ำในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ตามรายละเอียดของปัจจัย B) โดยการระบายน้ำออกจากกระถาง จนกระทั่งใบข้าวแสดงอาการใบม้วน (ขอบใบโค้งเข้าหากันเป็นรูปครึ่งวงกลม) ตามหลักเกณฑ์ของ O'Toole and Moya (Larkunthod *et al.*, 2015) จึง

เริ่มเติมน้ำเข้ากระถางตามปกติ การปฏิบัติดูแลข้าว โดยการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 และ 46-0-0 อัตรา 50 กก. ต่อไร่ (5 กรัมต่อกระถาง) ทำตามคำแนะนำการปลูกข้าว จนกระทั่งเก็บเกี่ยว

การบันทึกข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ความชื้นใบ ความสูงต้น จำนวนหน่อต่อต้น จำนวนรวงต่อต้น ดัชนีการเก็บเกี่ยวผลผลิต และผลผลิต นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ LSD (Least Significant Difference)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ความชื้นใบ

การฉีดพ่นและการไม่ฉีดพ่นไคโตซานทำให้ความชื้นของใบข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (Table 1) โดยข้าวที่มีการฉีดพ่นไคโตซานมีความชื้นของใบเฉลี่ยมากกว่าการไม่ฉีดพ่นไคโตซาน ซึ่งมีความชื้นของใบเฉลี่ยเท่ากับ 39.35 คลอโรฟิลล์เมตร และการทำให้ข้าวขาดน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ความชื้นของใบข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยข้าวที่มีความชื้นของใบมากที่สุด คือ การขาดน้ำระยะออกรวง เท่ากับ 49.93 คลอโรฟิลล์เมตร รองลงมาคือ การขาดน้ำระยะแตกกอและสร้างรวงอ่อน เท่ากับ 38.22 และ 37.77 คลอโรฟิลล์เมตร ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการฉีดพ่นไคโตซานกับระยะการเจริญเติบโตของข้าวที่ขาดน้ำ โดยข้าวที่มีการฉีดพ่นไคโตซานและการขาดน้ำที่ระยะออกรวง มีความชื้นของใบมากที่สุด เท่ากับ 50.89 คลอโรฟิลล์เมตร รองลงมาคือ ไม่มีการฉีดพ่นไคโตซาน และการขาดน้ำที่ระยะออกรวง 48.98 คลอโรฟิลล์เมตร ซึ่งสอดคล้องกับ Boonlertnirun *et al.* (2013) ที่พบว่าการฉีดพ่นไคโตซานมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความชื้นของใบข้าวสูงกว่าไม่มีการฉีดพ่นไคโตซานอย่างเด่นชัด และยังมีรายงานการใช้ไคโตซาน

กับต้นกล้าแตกกอในสภาพขาดน้ำมีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น 6.7% (Li Qiang *et al.*, 2010) คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ซึ่งสอดคล้องกับ Salachna and

Zawadzinska (2014) ที่รายงานว่า การใช้ไคโตซานชนิด Medium-molecular-weight และ High-molecular-weight มีผลทำให้ค่าความเขียวของใบ (SPAD) ของต้น Potted freesia เพิ่มขึ้น

Table 1 Effect of various chitosan application methods on leaf greenness at different growth stage of rice

Treatments	Growth stage of rice					Mean	F-test
	Control	Seedling	Tillering	Panicle initiation	Heading		
Without Chitosan	31.74 ^f	37.35 ^e	37.40 ^{de}	36.81 ^e	48.98 ^b	38.46 ^B	**
Chitosan	30.57 ^f	37.52 ^{de}	39.05 ^c	38.73 ^{cd}	50.89 ^a	39.35 ^A	
Mean	31.15 ^C	37.43 ^B	38.22 ^B	37.77 ^B	49.94 ^A	38.90	
F-test				**			*
C.V. (%)				2.49			

ns, * and ** is non-significant difference, significant difference at $p < 0.05$ and $p < 0.01$ as determined by LSD, respectively.

ความสูง

การศึกษามลของสารไคโตซานต่อความสูงของข้าวพันธุ์ กข 83 โดยการฉีดพ่นและการไม่ฉีดพ่นไคโตซาน ทำให้ความสูงของต้นข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (Table 2) โดยข้าวที่มีการฉีดพ่นไคโตซานมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 121.32 ซม. และข้าวที่ไม่ได้ฉีดพ่นไคโตซานมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 117.82 ซม. นอกจากนี้การทำให้ข้าวขาดน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ความสูงของข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยข้าวที่ไม่มีการขาดน้ำให้ความสูงของต้นข้าวมากที่สุด เท่ากับ 125.58 ซม. รองลงมาคือ การขาดน้ำที่ระยะแตกกอและระยะต้นกล้า เท่ากับ 121.49 และ 119.50 ซม. ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม

ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการฉีดพ่นไคโตซานต่อการขาดน้ำของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Prasertsongskun (2012) ที่รายงานว่า ไคโตซานสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ ในขณะที่การขาดน้ำของข้าวในระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ความสูงของข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับงานทดลองของ Sarvestani *et al.* (2008) รายงานว่า การเจริญเติบโตด้านความสูงของข้าวจะชะงัก ถ้าข้าวขาดน้ำ โดยเฉพาะในช่วงระยะ Vegetative แต่อย่างไรก็ตามไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการฉีดพ่นไคโตซานกับระยะการขาดน้ำของข้าวในระยะที่แตกต่างกัน

Table 2 Effect of various chitosan application methods on rice height at different growth stage of rice

Treatments	Growth stage of rice					Mean	F-test
	Control	Seedling	Tillering	Panicle initiation	Heading		
Without Chitosan	124.92	117.75	119.00	112.67	114.92	117.85^B	**
Chitosan	126.42	121.25	123.75	117.33	117.83	121.32^A	
Mean	125.67^A	119.50^{BC}	121.37^B	115.00^C	116.38^C	119.58	
F-test							**
C.V. (%)							2.68

ns and ** is non-significant difference, significant difference at $p < 0.01$ as determined by LSD, respectively.

จำนวนหน่อตอก

จำนวนหน่อตอกของข้าวที่มีการฉีดพ่นและการไม่ฉีดพ่นไคโตซานทำให้จำนวนหน่อตอกของข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (Table 3) โดยพบว่า ข้าวที่มีการฉีดพ่นไคโตซานสามารถเพิ่มจำนวนหน่อตอก 37.23 หน่อตอก เฉลี่ยได้มากกว่าการไม่ฉีดพ่น 29.27 หน่อตอก การฉีดพ่นไคโตซานทำให้จำนวนหน่อตอกของข้าวเพิ่มขึ้น 27.2% เมื่อเปรียบเทียบกับ

การไม่ฉีดพ่น สอดคล้องกับ Boonlertnirun *et al.* (2005) ที่รายงานว่าการใช้ไคโตซานชนิด Polymer แช่เมล็ดก่อนปลูกแล้วฉีดพ่นอีก 4 ครั้ง หลังข้าวอายุ 25 วันขึ้นไป มีผลทำให้จำนวนหน่อตอกของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แต่การทำให้ข้าวขาดน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อจำนวนหน่อตอกและไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการฉีดพ่นไคโตซานต่อการขาดน้ำของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน

Table 3 Effect of various chitosan application methods on number of tillers (plant⁻¹) at different growth stage of rice

Treatments	Growth stage of rice					Mean	F-test
	Control	Seedling	Tillering	Panicle initiation	Heading		
Without Chitosan	30.67	27.59	28.58	31.25	28.25	29.27^B	**
Chitosan	36.67	33.92	38.00	38.00	39.58	37.23^A	
Mean	33.67	30.75	33.29	34.63	33.92	33.25	
F-test							ns
C.V. (%)							11.42

ns and ** is non-significant difference, significant difference at $p < 0.01$ as determined by LSD, respectively.

จำนวนรวงตอก

การฉีดพ่นและการไม่ฉีดพ่นไคโตซานทำให้จำนวนรวงตอกของข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (Table 4) โดยข้าวที่มีการฉีดพ่นไคโตซานให้จำนวนรวงตอกเฉลี่ย 33.50 รวงตอก สูงกว่าการไม่ฉีดพ่นไคโตซาน 25.05 รวงตอก การฉีดพ่นไคโตซานทำให้จำนวนรวงตอกของข้าวเพิ่มขึ้น 33.7% เมื่อเทียบกับการไม่ฉีดพ่นไคโตซาน และพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการฉีดพ่นไคโตซานต่อระยะการเจริญเติบโตของข้าวที่ขาดน้ำ โดยข้าวที่ฉีดพ่นไคโตซานในการขาดน้ำที่ระยะออกรวงส่งผลให้มีจำนวนรวงตอกมากที่สุดเท่ากับ 36.50 รวงตอก รองลงมาคือ ฉีดพ่นไคโตซานในการขาดน้ำที่ระยะสร้างรวงอ่อนและระยะแตกกอ เท่ากับ

33.92 และ 33.83 รวงตอก ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามระยะการขาดน้ำในข้าวไม่มีผลต่อจำนวนรวงตอกของข้าว ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Boonlertnirun *et al.* (2013) รายงานว่า การขาดน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อจำนวนรวงตอกของข้าว แต่ Bouman and Tounng (2001) รายงานว่า การขาดน้ำที่ระยะก่อนและระหว่างแตกกอของข้าวมีผลทำให้จำนวนรวงตอกลดลงมากที่สุด โดยข้าวที่มีการฉีดพ่นไคโตซานกับการขาดน้ำระยะออกรวงจะมีจำนวนรวงตอกมากที่สุด ซึ่งแปรผันตามจำนวนหน่อตอก ทั้งนี้จำนวนหน่อตอกที่มากทำให้รวงมากขึ้นตาม โดยจำนวนรวงและจำนวนหน่อตอกถือเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งที่สำคัญของการให้ผลผลิตที่สูงขึ้น

Table 4 Effect of various chitosan application methods on number of panicles (plant⁻¹) at different growth stage of rice

Treatments	Growth stage of rice					F-test	
	Control	Seedling	Tillering	Panicle initiation	Heading		Mean
Without Chitosan	27.67 ^c	25.25 ^{cd}	24.75 ^{cd}	27.83 ^{bc}	19.75 ^{cd}	25.05 ^B	**
Chitosan	32.00 ^{ab}	31.25 ^{ab}	33.83 ^a	33.92 ^a	36.50 ^a	33.50 ^A	
Mean	29.83	28.25	29.29	30.87	28.13	29.27	
F-test	ns						*
C.V. (%)	12.75						

ns, * and ** is non-significant difference, significant difference at $p < 0.05$ and $p < 0.01$ as determined by LSD, respectively.

ดัชนีการเก็บเกี่ยว

การฉีดพ่นไคโตซานสามารถเพิ่มค่าดัชนีเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการฉีดพ่นไคโตซานต่อการขาดน้ำของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน (Table 1) โดยการฉีดพ่นไคโตซานในการขาดน้ำที่ระยะออกรวงทำให้ดัชนีเก็บเกี่ยวเพิ่มมากที่สุด เท่ากับ 0.55 แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติต่อดัชนีเก็บเกี่ยวเมื่อมีการขาดน้ำในระยะการ

เจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ทั้งนี้การขาดน้ำที่ระยะต่าง ๆ แต่ไม่มีการฉีดพ่นไคโตซานมีแนวโน้มให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวต่ำ โดยเฉพาะในระยะออกรวงซึ่งสอดคล้องกับ Rahman *et al.* (2002) และ Boonlertnirun *et al.* (2013) ที่รายงานว่าการขาดน้ำที่ระยะตั้งท้องและออกดอกมีผลให้ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวต่ำ เนื่องจากการถ่ายเท (เคลื่อนย้าย) สารอาหารมาที่ผลผลิตไม่สมบูรณ์ส่งผลให้เพิ่มการเกิดเมล็ดลีบ (Unfilled grain) (Wopereis *et al.*, 1996)

Table 5 Effect of various chitosan application methods on harvest index (HI) at different growth stage of rice

Treatments	Growth stage of rice					Mean	F-test
	Control	Seedling	Tillering	Panicle initiation	Heading		
Chitosan	0.33 ^{cd}	0.35 ^c	0.31 ^{cd}	0.31 ^{cd}	0.25 ^d	0.31 ^B	**
Chitosan	0.47 ^{ab}	0.50 ^{ab}	0.50 ^{ab}	0.46 ^b	0.55 ^a	0.50 ^A	
Mean	0.40	0.42	0.40	0.39	0.40	0.40	
F-test	ns						**
C.V. (%)	9.89						

ns and ** is non-significant difference, significant difference at $p < 0.01$ as determined by LSD, respectively.

ผลผลิตข้าว

การฉีดพ่นและการไม่ฉีดพ่นไคโตซานทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 6) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของผลผลิตเมื่อทำให้ข้าวขาดน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการฉีดพ่นไคโตซานต่อการขาดน้ำของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโต

ที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การฉีดพ่นไคโตซานสามารถทำให้ผลผลิต 64.87 กรัมต่อกอ เฉลี่ยเพิ่มขึ้นถึง 58.1% เนื่องจากการฉีดพ่นไคโตซานกับต้นข้าวในระหว่างการปลูกส่งเสริมการแตกกอ น้ำหนักเมล็ดจำนวนเมล็ดและทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มมากขึ้น (Senaphan *et al.*, 2016; Boonlertnirun *et al.*, 2018)

Table 6 Effect of various chitosan application methods on grain yield (g/pot) at different growth stage of rice

Treatments	Growth stage of rice					Mean	F-test
	Control	Seedling	Tillering	Panicle initiation	Heading		
Without Chitosan	47.06	44.11	43.66	41.92	28.36	41.02 ^B	**
Chitosan	65.33	64.48	68.05	61.96	64.53	64.87 ^A	
Mean	56.20	54.29	55.85	51.94	46.45	52.94	
F-test	ns						ns
C.V. (%)	13.93						

ns and ** is non-significant difference, significant difference at $p < 0.01$ as determined by LSD, respectively.

สรุปผลการทดลอง

การขาดน้ำในระยะสร้างรวงมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว เนื่องจากข้าวที่ขาดน้ำระยะนี้จะทำให้การผสมเกสรข้าวลดลง ส่งผลให้การติดเมล็ดไม่สมบูรณ์ ทำให้ผลผลิตลดลง ในขณะที่การฉีดพ่นไคโตซานก่อนการขาดน้ำในระยะแตกกอนั้น ทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตที่ดีมาก สามารถทนแล้งได้ และข้าวมีการผสมเกสรได้ดี ส่งผลให้ผลผลิตของข้าวสูง โดยมีน้ำหนักผลผลิต 68.05 กรัมต่อกอ นอกจากนี้ข้าวที่มีการฉีดพ่นไคโตซานสามารถเพิ่มผลผลิตได้มากกว่าข้าวที่ไม่ได้ฉีดพ่นไคโตซาน 58.1% ดังนั้นควรทำการฉีดพ่นไคโตซานเมื่อระยะแตกกอ เพื่อให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลองและเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

Boonlertnirun, S., K. Boonlertnirun and

I. Sooksathan. 2005. Effect of chitosan application on growth and yield of rice (*Oryza sativa*) var. Suphunburi 1 pp. 37-43. In **Proceedings of 43rd Kasetsart University Annual Conference: Plants, 1-4 February 2005.** Bangkok: Kasetsart University.

Boonlertnirun, S., L. Sirikesorn and

K. Boonlertnirun. 2018. Effect of chitosan on yield of rice plants subjected to high temperature at different growth stages. **King Mongkut's Agricultural Journal** 36(2): 73-84.

Boonlertnirun, S., R. Suvannasara and

K. Boonlertnirun. 2013. Effects of chitosan application before being subjected to drought on physiological changes and yield potential of rice (*Oryza sativa*). **Journal of Applied Sciences Research** 9(1): 6140-6145.

Bouman, B.A.M. and T.P. Toung. 2001. Field

water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. **Agricultural Water Management** 49(1): 11-30.

Larkunthod, P., P. Theerakulpisut, J. Sanitchon

and J.L. Siangliw. 2015. Effects of water stress on leaf water status of chromosome segment substitution lines (CSSL) of KDML 105 Rice. **KKU Research Journal** 15(3): 46-55.

Li Qiang, G., L. ChunXiang, Q. YongXu, G. FengJu

and L. Hong. 2010. Effects of exogenous chitosan on physiological characteristics of cucumber seedlings under drought stress. **Southwest China Journal of Agricultural Sciences** 23(1): 70-73.

- Lu, J., C. Zhang, G. Hou, J. Zhang, C. Wan, G. Shen, J. Zhang, H. Zhou, Y. Zhu, and T. Hou. 2002. The biological effects of chitosan on rice growth. **Acta Agriculture Shanghai** 18(4): 31-34.
- Prommacot, K., K. Kuntiyawichai, C. Pawattana and C. Jothityangkoon. 2020. Assessment of drought severity in the upper phong river basin. **UBU Engineering Journal** 14(3): 47-62.
- Rahman, M.T. and M.T. Islam. 2002. Effect of water stress at different growth stages on yield and yield contributing characters of transplanted aman rice. **Pakistan Journal of Biological Sciences** 5(1): 169-172.
- Salachna, P. and A. Zawadzinska. 2014. Effect of chitosan on plant growth, flowering and corms yield of potted freesia. **Journal of Ecological Engineering** 15(3): 97-102.
- Sarvestani, Z.T., H. Pirdashti, S.A.M. Modarres Sanavy and H. Balouchi. 2008. Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa*) cultivars. **Pakistan Journal of Biological Sciences** 11(1): 1303-1309.
- Senaphan, C., S. Amkha and P. Rungcharoenthong. 2016. Effect of chitosan on seed germination and yield in rice. **Agricultural Science Journal** 47(Suppl. 2): 553-556.
- Wattanakorn, K. and P. Rungcharoenthong. 2016. Effect of chitosan on yield in Homnin rice two seasons. **Khon Kaen Agriculture Journal** 4(Suppl.1): 291-294.
- Wopereis, M.C.S., M.J. Kropff, A.R Maligaya and T.P. Tuong. 1996. Drought-stress responses of two lowland rice cultivars to soil water status. **Journal Field Crops Research** 46(1): 21-39.

ถ่านชีวภาพดัดแปลงเสริมด้วยจุลินทรีย์บำรุงจากฟางข้าวสำหรับการส่งเสริมการเจริญ
ของพืชและปรับปรุงดิน

Microbe-assisted Modified Biochar from Rice Straw for Plant Growth Promotion
and Soil Amendment

มุจลินทร์ ผลจันทร์^{1*} ทิพปภา พิสิษฐ์กุล² ปิยะนุช เนียมทรัพย์² ศรีกาญจนา คล้ายเรือง² นงคราญ พงศ์ตระกูล²
สุรศักดิ์ กุยมาลี³ และจักรพงษ์ ไชยวงศ์⁴

Mujalin Pholchan^{1*}, Tippapha Pisitkul², Piyanuch Niumsap², Srikanjana Klayraung²
Nongkran Pongtrakul², Surasak Kuimalee³ and Chackapong Chaiwong⁴

¹หลักสูตรเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

³หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

⁴หลักสูตรปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Program in Environmental Technology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

²Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

³Program in Nanoscience and Nanotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

⁴Program in Soil Science, Faculty of Agricultural production, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: mujalin@mju.ac.th

Received: September 22, 2023

Revised: March 13, 2024

Accepted: April 10, 2024

Abstract

From the environmental problems caused by the disposal of agricultural residues through burning and soil quality deterioration. Biochar has become increasingly popular in recent years for its ability to store and release nutrients as well as enhance crop productivity. In practical application, limitations and varied outcomes have been encountered in the field, prompting an interest in further developing more efficient biochar models. The aim of this research was to develop microbe-assisted modified biochar from rice straw for soil amendment and plant growth promotion. In this study, the effect of microbe-assisted modified biochar application on enhancing soil properties and on the growth of Kor-Khor 105 was investigated. Five treatments with the variation of modified biochar dosages (1, 2 and 3% (w/w)) in pot experiments were carried out with triplicates. The obtained optimum ratio of modified biochar application was used in three cement pot experiments. Plant growth promotion after treatments was evaluated, and soil samples were collected before and after 3 months for the analysis of physical and chemical properties. Moreover, the expression of genes involved in the induced systemic response (ISR) was investigated. Results obtained from the rice plantation showed that the

application of microbe-assisted modified biochar at a dosage of 1% (w/w) gave the highest growth promotion. Soil properties such as organic matters, total nitrogen, available phosphorus, extractable potassium and soil fertilities were also increased. The result of the expression of genes involved in the induced systemic response (ISR) indicates the immune and health status of the plants. It was found that modified biochar could moderately increase the ISR and exhibit synergistic effects.

Keywords: microbe-assisted modified biochar, paddy field, rice straw, soil amendment
plant growth promotion

บทคัดย่อ

จากปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดซากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรด้วยการเผาและคุณภาพดินที่เสื่อมโทรม การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพในภาคการเกษตรกลายเป็นที่นิยมมากเนื่องจากความสามารถในการเก็บกักและปลดปล่อยธาตุอาหารรวมถึงการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งการใช้งานจริงในพื้นที่กลับพบข้อจำกัดและผลลัพธ์ที่แตกต่างกันรวมถึงความสนใจที่จะพัฒนารูปแบบของถ่านให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพดัดแปลงเสริมด้วยจุลินทรีย์บำรุงจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากนาข้าวเพื่อใช้ปรับปรุงดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในการศึกษาจะทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานถ่านชีวภาพในระดับโรงเรียนสำหรับการปลูกข้าวหอมมะลิสายพันธุ์ กข 105 โดยจะทำการศึกษาหาสัดส่วนการใส่ถ่านชีวภาพที่เหมาะสมที่ความเข้มข้นของถ่านชีวภาพที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการปลูกเพื่อวิเคราะห์หาคุณภาพทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ และเก็บตัวอย่างพืชเพื่อวัดความสูงของต้น ความยาวของราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง จำนวนใบ จำนวนต้นตอกอ จำนวนรวงและเมล็ด และปริมาณคลอโรฟิลล์ และทดสอบการตอบสนองในระดับการแสดงออกของยีนพืชที่ได้รับถ่านชีวภาพดัดแปลง ผลการศึกษาพบว่า การเติมถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ช่วยส่งเสริมให้ข้าวเจริญเติบโตดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในขณะที่ถ่านชีวภาพดัดแปลงสามารถปรับปรุงคุณภาพของดินให้ดีขึ้น โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินหลังการปลูกมีค่าสูงขึ้น จากการประเมินการแสดงออกของยีนพบว่าถ่านชีวภาพดัดแปลงสามารถเหนี่ยวนำการแสดงออกของยีน ISR ที่ช่วยเสริมฤทธิ์ในการกระตุ้น ISR และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพดัดแปลง นาข้าว ฟางข้าว การปรับปรุงคุณภาพดิน ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

คำนำ

พื้นที่การเกษตรในประเทศไทยในหลายพื้นที่กำลังประสบกับปัญหาดินเสื่อมโทรมทั้งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและกิจกรรมของมนุษย์ ทั้งนี้ยังไม่รวมถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดซากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ประเทศไทยมีการปลูกข้าวทั้งนาปีและนาปรังประมาณ 66 ล้านไร่ โดยในแต่ละปีประเทศไทยมีฟางข้าวเฉลี่ยประมาณปีละ 25.45 ล้านตัน และมีปริมาณต่อชั่งข้าวที่ตกค้างอยู่ในนาข้าว 16.9 ล้านตัน ซึ่งมีฟางข้าวที่ยังเหลือทิ้งและไม่ได้ใช้ประโยชน์

อยู่ถึง 53 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณฟางข้าวที่เหลืออยู่นับว่ามีปริมาณมากพอที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่ง อินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินให้ดีขึ้นและสร้างมูลค่าเพิ่มนอกเหนือจากการนำไปอัดเป็นฟางก้อน ดังนั้นการนำเอาซากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรกลับมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อทดแทนการเผาที่สร้างมลพิษทางอากาศและก่อปัญหาโลกร้อนและปัญหาสุขภาพหรือทดแทนการหมักปุ๋ยซึ่งใช้ระยะเวลาอันนานจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพถูกนำมาประยุกต์ใช้กับวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็น แกลบ ฟางข้าว ชังข้าวโพด เศษไม้ไผ่ และเศษไม้ เป็นต้น โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนจำกัด ซึ่งทำให้ได้ถ่านชีวภาพที่มีฤทธิ์เป็นต่าง มีความพรุนสูง จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพดิน การปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดินทั้งในแง่ของการระบายอากาศ การซึมน้ำ การอุ้มน้ำ ดูดึงธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชและความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Hussain *et al.*, 2017) เป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดิน สามารถลดความเป็นกรดของดิน และสามารถกักเก็บคาร์บอนลงในดินเพื่อลดการปล่อยเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก จึงนับว่าเป็นเทคโนโลยีที่ใช้เวลาไม่นานและสามารถพัฒนาได้ตั้งแต่ระดับเกษตรกร คริวเรือน ชุมชนและองค์กรส่วนท้องถิ่น (Hemwong and Cadisch, 2012; Wang and Wang, 2019)

อย่างไรก็ตามพบว่ามีงานวิจัยหลายชิ้นได้ศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่พบว่ามีความไม่สอดคล้องในผลลัพธ์ที่รายงานไว้ (Dong *et al.*, 2019; Munda *et al.*, 2018; Pandey *et al.*, 2014) บางงานวิจัยรายงานว่าการใช้ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวได้มากขึ้น (Ma *et al.*, 2019) ในขณะที่มีอีกหลายงานวิจัยที่ระบุว่าการใช้ถ่านชีวภาพไม่สามารถทำให้ผลผลิตพืชดีขึ้นและยังมีผลกระทบทางลบ (Hussain *et al.*, 2017) ซึ่งความแตกต่างในผลกระทบเหล่านี้เกิด

จากหลายปัจจัย เช่น คุณสมบัติของดิน เงื่อนไขการทดลอง และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ (Hussain *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2018) ดังนั้นเพื่อให้เกษตรกรสามารถนำถ่านชีวภาพไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาปริมาณการใส่ถ่านชีวภาพที่เหมาะสมและผลกระทบของการใช้ถ่านชีวภาพจึงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาและให้ความสำคัญ นอกจากนี้การใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เกษตรยังมีบางแง่มุมที่ ยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพและการใช้งานในพื้นที่เกษตร ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาเชิงลึกเพื่ออธิบายกลไกการทำงานของถ่านชีวภาพที่เชื่อมโยงกับการทำงานของจุลินทรีย์ในดิน และผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและการเจริญเติบโตของพืช ตลอดจนศักยภาพในการช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วยการจัดเก็บคาร์บอนในดินในระยะยาวและผลกระทบในระยะสั้นของการใช้ถ่านชีวภาพในดินต่อการอุ้มน้ำ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และผลผลิตของพืช

ปัจจุบันมีการดัดแปลงถ่านชีวภาพในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการเคลือบด้วยโพลีเมอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปล่อยธาตุอาหาร (Rubin *et al.*, 2020) การหมักถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ย (Ekebafe *et al.*, 2015; Cruz-Méndez *et al.*, 2021) นอกจากนี้ยังพบว่าการผสมผสานเชื้อจุลินทรีย์กับวัสดุอื่นที่ไม่ใช่จุลินทรีย์ เช่น ถ่านชีวภาพ สามารถสร้างผลกระทบที่สัมพันธ์และมีประสิทธิผลต่อกัน (Adesemoye and Kloepper, 2009) งานของ Hu *et al.* (2014) ได้พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับเชื้อ *Trichoderma* spp. ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของประชากร *Trichoderma* spp. ถึง 14.5% เช่นเดียวกับ Muter *et al.* (2017) ที่รายงานว่า การเพิ่ม *Trichoderma* ร่วมกับถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มการงอกของข้าวโพด (*Zea mays* L.) และต้นพืชที่สูงขึ้น นอกจากนี้จุลินทรีย์จำพวก Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) ที่สามารถอาศัยอยู่กับรากพืชนอกจากจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการเจริญเติบโตแล้วยังช่วยควบคุมโรคพืชและ

เหนี่ยวนำความต้านทานในพืชด้วยการกระตุ้นให้พืชสร้างภูมิคุ้มกันประเภท Induced Systemic Resistance (ISR) ซึ่งถูกกระตุ้นโดยฮอร์โมน jasmonic acid (JA) และ Ethylene (ET) (Pieterse *et al.*, 1996) ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าการตอบสนองในระดับยีนที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน Induced Systemic Resistance (ISR) ของข้าวหลังจากที่มีการเติมถ่านชีวภาพนั้นน่ามีความน่าสนใจและเป็นเรื่องใหม่ที่มีการศึกษาน้อยมาก ดังนั้นงานชิ้นนี้จึงต้องการที่จะศึกษาถ่านชีวภาพดัดแปลงเสริมด้วยจุลินทรีย์บำรุง (Microbe-assisted modified biochar) จากฟางข้าวเพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน ส่งเสริมการเจริญเติบโตและกระตุ้นภูมิคุ้มกันของข้าว โดยทำการศึกษาสัดส่วนในการใช้งานที่เหมาะสม ประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพดัดแปลงในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว และการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันของข้าว เพื่อจะเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดการประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพไปยังพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การผลิตถ่านชีวภาพ

เตรียมถ่านชีวภาพจากฟางข้าว โดยควบคุมอุณหภูมิในการเผาอยู่ที่ 500 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการเผาถ่าน 1 ชั่วโมง ถ่านชีวภาพที่ได้จะพักให้เย็นก่อนจะนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ การอุ้มน้ำ พื้นที่ผิวและรูพรุน ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) ด้วยวิธี Walkley and Black (1934) ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ด้วยเครื่อง EC meter ความจุประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ (Cation Exchange Capacity: CEC) ด้วยวิธี Distillation ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) ด้วยวิธี Kjeldahl (Multi EA 4000) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) ด้วยวิธี Bray II Extraction ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ด้วย AAS ปริมาณ

แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ด้วยวิธี AAS ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) ด้วย AAS และจากนั้นทำการเก็บรักษาในที่แห้งและปิดสนิทเพื่อใช้สำหรับการตรึงเซลล์ในขั้นตอนต่อไป

การเตรียมถ่านชีวภาพดัดแปลงเสริมจุลินทรีย์ด้วยการตรึงเซลล์

นำถ่านชีวภาพที่เก็บไว้มาบดก่อนที่จะมีการตรึงเซลล์จุลินทรีย์ โดยจะทำการวัดความชื้นและปริมาณเชื้อเริ่มต้น ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Bacillus pumilus* โดยนำหัวเชื้อ *Bacillus pumilus* มาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว Trypticase soy broth ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน จากนั้นดูดหัวเชื้อ จำนวน 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ถาลงในอาหารเหลว Trypticase soy broth ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่า เป็นเวลา 8 ชั่วโมง โดยให้มีปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 1.77×10^8 cfu/มิลลิลิตร หรือ $9.25 \log$ cfu/มิลลิลิตร จากนั้นทำการตรึงเซลล์โดยใช้กลไกการตรึงเซลล์แบบยึด (Binding to a support) ซึ่งจะเป็นวิธีการดูดติดกับวัสดุ (Adsorption) ทางกายภาพโดยใช้ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุรองรับ โดยใช้ถ่านชีวภาพ 5 กรัม ต่อสารละลายเชื้อ 24 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป นอกจากนี้หัวเชื้อ *Bacillus pumilus* ที่ใช้ในการทดลองได้ถูกส่งไปวิเคราะห์ความสามารถในการผลิตฮอร์โมน Idole-3-acetic acid (IAA) ที่ห้องปฏิบัติการดินและปุ๋ยชั้นสูง ภาควิชาดินและปุ๋ย คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาอัตราส่วนการใช้ถ่านชีวภาพดัดแปลงเสริมจุลินทรีย์ในการปลูกข้าว

ในการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้ถ่านชีวภาพดัดแปลงเสริมจุลินทรีย์สำหรับการปลูกข้าวหอมมะลิ พันธุ์ กข 105 จะแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 5 การทดลอง และทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ดังแสดงดังใน

Table 1 แต่ละการทดลองจะใช้กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นิ้ว โดยแต่ละกระถางจะใช้ดินนาจากอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นกลุ่มชุดดินลำปาง/สันทราย ปริมาณ 3.5 กิโลกรัม ใส่ถ่านในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ (Mananok *et al.*, 2017) ในแต่ละชุดการทดลองจะใส่ถ่านชีวภาพตัดแปลงเสริมจุลินทรีย์ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Treatment 2) 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Treatment 3) และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Treatment 4) โดยมีชุดควบคุม ได้แก่ ดินที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (Control) และดินผสมถ่านชีวภาพ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ (Treatment 1) ทำการเตรียมต้นกล้าข้าวเป็นเวลา 20 วัน ก่อนลงปลูกโดยจะนำเมล็ดข้าวมาแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และบ่มไว้ 24 ชั่วโมง ก่อนลงปลูกในถาดเพาะกล้า ปลูกต้นข้าวจำนวน 5 ต้น ต่อ 1 กระถาง ก่อนปลูกข้าวในทุกกรรมวิธีจะใส่ปุ๋ย 20-20-0 ในอัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อผ่านไป 2 เดือน ใส่ปุ๋ย 46-0-0 ในปริมาณ 5 กิโลกรัม/ไร่ ทำการเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังปลูกที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ตากดินให้แห้ง บดและร่อนด้วย

ตะแกรงขนาด 80 mesh เพื่อส่งไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) ด้วยวิธี Walkley and Black (1934) ความจุประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ (Cation Exchange Capacity, CEC) ด้วยวิธี distillation ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) ด้วยวิธี Kjeldahl (Multi EA 4000) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) ด้วยวิธี Bray II Extraction ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ด้วย AAS ที่ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หลังจากการปลูกข้าวทำการวัดการเจริญเติบโตของข้าวทุกสัปดาห์ นับจำนวนใบ ความสูง จำนวนเมล็ด เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองจะทำการวัดความยาวรากและลำต้น วิเคราะห์น้ำหนักแห้งโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักคงที่ นับปริมาณใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยวิธี Spectrophotometric (Strickland and Parsons, 1972)

Table 1 Experimental design for modified biochar applications on rice plantation

Treatment	Condition
Control	Soil without biochar
Treatment 1	Soil with 1% w/w biochar
Treatment 2	Soil with 1% w/w modified biochar
Treatment 3	Soil with 2% w/w modified biochar
Treatment 4	Soil with 3% w/w modified biochar

การศึกษาผลของการใส่ถ่านชีวภาพตัดแปลงต่อการเจริญเติบโตของข้าว

ในขั้นตอนนี้จะนำถ่านชีวภาพตัดแปลงเสริมจุลินทรีย์มาทดสอบการปลูกข้าวในท่อวงซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร โดยจะแบ่งชุดการ

ทดลองออกเป็น 3 การทดลอง และทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ แต่ละถังจะใช้ดินนา จากอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นกลุ่มชุดดินลำปาง/สันทราย ปริมาณ 100 กิโลกรัม ใส่ถ่านชีวภาพตัดแปลงในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ โดยจะใส่ถ่านชีวภาพตัดแปลงเสริมจุลินทรีย์ที่ 1

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ผลจากการศึกษาก่อนหน้า) และจะมีชุดควบคุมที่ใช้ดินที่ไม่ใส่ถ่านและดินผสมถ่านชีวภาพที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ ทำการเตรียมต้นกล้าข้าวเป็นเวลา 20 วัน ก่อนลงปลูกโดยจะนำเมล็ดข้าวมาแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และบ่มไว้ 24 ชั่วโมง ก่อนลงปลูกในถาดเพาะกล้า จะใช้ต้นข้าวจำนวน 5 ต้น ต่อ 1 กระถาง ก่อนปลูกข้าวในทุกกรรมวิธี ใส่ปุ๋ย 20-20-0 ในอัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อผ่านไป 2 เดือน ใส่ปุ๋ย 46-0-0 ในปริมาณ 5 กิโลกรัม/ไร่ ทำการเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังปลูกที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ตากดินให้แห้ง บดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 mesh เพื่อส่งวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) ความจุประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ (Cation Exchange Capacity, CEC) ด้วยวิธี Distillation ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) ด้วยวิธี Kjeldahl (Multi EA 4000) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) ด้วยวิธี Bray II Extraction ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ด้วย AAS ที่ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากนั้นทำการวัดการเจริญเติบโตของข้าวทุกสัปดาห์ นับจำนวนใบ ความสูง จำนวนเมล็ด เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองจะทำการวัดความยาวรากและลำต้น วิเคราะห์น้ำหนักแห้งโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ นับปริมาณใบ และ Spectrophotometric (Strickland and Parsons, 1972)

การศึกษาการตอบสนองในระดับการแสดงออกของยีนข้าวที่ได้รับถ่านชีวภาพดัดแปลง

ในการศึกษาการตอบสนองเบื้องต้นในระดับการแสดงออกของยีนพีซีทีที่ได้รับถ่านชีวภาพดัดแปลง จะแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ต้นกล้าข้าวที่เติมน้ำเปล่า (ชุดควบคุม) ต้นกล้าข้าวที่เติมถ่านชีวภาพ ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และต้นกล้าข้าวที่เติมถ่านชีวภาพดัดแปลง (มีเชื้อจุลินทรีย์) ความเข้มข้น

1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิเฉลี่ย 26.9 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 74 เปอร์เซ็นต์ ในแต่ละกลุ่มการทดลอง ผู้วิจัยใช้ข้าวที่ทำการทดลองมีอายุ 1 สัปดาห์หลังจากการงอก และได้เก็บตัวอย่างรากและใบข้าวที่เวลา 1, 24 และ 48 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ ตัวอย่างพีซีทีที่เก็บมาแล้วถูกนำมาชั่งประมาณ 0.5 กรัม เติมนิโตรเจนเหลว แล้วบดละเอียดก่อนนำไปสกัดอาร์เอ็นเอ (RNA) ด้วย TRIzol (Invitrogen) โดยใช้วิธีการตามข้อมูลที่ผลิตภัณฑ์แนะนำ RNA ที่ได้ถูกนำไปเก็บใน RNA stabilizing solution (QIAGEN) ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์ โดย RNA ดังกล่าวจะถูกใช้เพื่อเป็น Template ในการวิเคราะห์การแสดงออกของยีนด้วยวิธี Reverse-transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) โดยใช้ น้ำยาแบบ 1-step reaction (SensiFAST™ SYBR® No-ROX One-Step Kit, Bioline Reagents Ltd., UK) ในการศึกษาจะใช้ Actin เป็น Housekeeping gene เป็นตัวเปรียบเทียบ และมีอีก 5 ยีน ที่ใช้ศึกษาในระดับการแสดงออกได้แก่ NPR1, IAA9, GH3-8, Rab21 และ PR10b เมื่อเตรียมตัวอย่างแล้วจะทดสอบโดยใช้เครื่อง RT-PCT (QIAquant 96 5 plex, QIAGEN, USA) เพื่อทำปฏิกิริยาแบบ 1-step โดยใช้ RT-PCR cycling ดังนี้ ขั้นแรก Reverse transcription ที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จำนวน 1 รอบ ขั้นที่ 2 Polymerase activation ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที จำนวน 1 รอบ และ ขั้นที่ 3 Denaturation ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที และ Annealing /extension ที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที จำนวน 40 รอบ

การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของส่วนการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ถ่านชีวภาพดัดแปลงสำหรับการปลูกข้าวจะใช้การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี

ANOVA และการเปรียบเทียบนัยสำคัญทางสถิติ ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) และ Duncan's Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ IBM SPSS statistics

ผลการวิจัย

อัตราส่วนของถ่านชีวภาพตัดแปลงเสริมจุลินทรีย์ที่เหมาะสม

ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าพีเอช 8.92 ± 0.09 ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 7.34 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 3.54% ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 1.32 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.34 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 5.43 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 0.28 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแมกนีเซียมเท่ากับ 0.50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโซเดียมเท่ากับ 0.16 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และปริมาณเถ้าเท่ากับ 43.48 เปอร์เซ็นต์ โดยมีพื้นที่ผิว 45.1040 ตารางเมตร/กรัม และมีปริมาณรูพรุน 0.015218 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม นอกจากนี้จากการทดสอบการอุ้มน้ำของถ่านชีวภาพ พบว่ามีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงถึง 90 ± 0.4 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการศึกษาหาอัตราส่วนของการผสมถ่านชีวภาพตัดแปลงสำหรับการปลูกข้าวหอมมะลิสายพันธุ์ กข 105 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการผสมดินกับถ่านชีวภาพจำนวน 3 ค่า คือ การใส่ถ่านชีวภาพตัดแปลงในสัดส่วน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Treatment 2) สัดส่วน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Treatment 3) และ สัดส่วน 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Treatment 4) โดยเทียบผลการศึกษากับการปลูกในดิน (Control) และดินผสม 1% โดยน้ำหนัก ถ่านชีวภาพที่ไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์ (Treatment 1) โดยวิเคราะห์คุณภาพดินก่อนและหลังการทดลองเมื่อเติมถ่านชีวภาพ จากผลการทดลองใน Table 2 พบว่าดินที่ใช้ในการศึกษามีลักษณะเนื้อดินร่วนปนทราย ประกอบด้วยทราย 35.7

เปอร์เซ็นต์ ทรายแป้ง 59.5 เปอร์เซ็นต์ และดินเหนียว 4.8 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพีเอช 8.33 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เท่ากับ 0.96 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนทั้งหมด 0.15 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 6.75 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โพแทสเซียม 101.10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (CEC) เท่ากับ 24.86 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และเมื่อนำมาทดสอบการปลูกข้าวเป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่าดินหลังปลูกจะมีค่าพีเอชลดลงในทุกๆ การทดลอง ซึ่งการปลูกในดิน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ใช้ดินผสมถ่านชีวภาพ (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์) (Treatment 1) และชุดการทดลองที่ใช้ดินผสมถ่านชีวภาพตัดแปลงในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Treatment 2) จะมีค่าพีเอชที่เป็นกลางมากขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 7.02, 7.06 และ 7.51 ตามลำดับ และมีค่าลดลงมากกว่าชุดการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพตัดแปลงที่ปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Treatment 3) และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Treatment 4) ซึ่งมีค่า 8.06 และ 8.32 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของข้าว (Figure 1 ถึง Figure 3) ในภาพรวมจะพบว่าการใส่ถ่านชีวภาพ (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์) และถ่านชีวภาพตัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะเพิ่มการเจริญเติบโต เพิ่มการแตกกอ เพิ่มความยาวราก การออกรวง และจำนวนเมล็ด น้ำหนักส่วนของต้นเหนือดิน และปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยจะมีค่ามากกว่าการปลูกข้าวโดยใช้ดิน (ชุดควบคุม) เพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการเติมถ่านชีวภาพตัดแปลงในปริมาณที่สูงขึ้นกลับให้ผลของการเจริญเติบโตของข้าวลดลง จากผลการศึกษาจะเห็นได้ชัดเจนว่าการใส่ถ่านชีวภาพ (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์) และถ่านชีวภาพตัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งเสริมให้ข้าวมีความสูงของต้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กว่าการปลูกด้วยดินเพียงอย่างเดียวและการปลูกข้าวที่มีการเติมถ่านชีวภาพตัดแปลงที่ 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก โดยความสูงของข้าวเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากับ 37.7 ± 0.91 เซนติเมตร และหลังจาก 90 วัน ความสูงของ

ข้าวเพิ่มขึ้นเป็น 99.5 ± 0.76 เซนติเมตร ในขณะที่การทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์) และถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีความสูงของข้าวเท่ากับ 126.0 ± 4.04 และ 111.0 ± 6.08 เซนติเมตรตามลำดับ

ความยาวรากของการทดลองที่เติมถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ก็พบว่ามีความยาวมากกว่าการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์) โดยมีค่า 17.5 ± 3.50 เซนติเมตร ในขณะที่ความยาวรากของที่ใส่ถ่านชีวภาพ (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์) มีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุม โดยมีค่า 13.0 ± 0.00 เซนติเมตร (Figure 1)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการแตกกอ พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีการแตกกอของข้าวที่ดีกว่าการใช้ถ่านชีวภาพ (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์) เล็กน้อย โดยมีค่า 8 ± 1.53 กอต่อต้น และ 7 ± 0.58 กอต่อต้นสำหรับถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และถ่านชีวภาพที่ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจำนวนรวงข้าวและเมล็ดข้าว พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งเสริมให้ข้าวออกรวงและมีจำนวนเมล็ดมากที่สุด คิดเป็นเมล็ดทั้งหมด 274 ± 40 และ 224 ± 19 เมล็ด ตามลำดับ (Figure 2)

Table 2 Effect of different rates of modified biochar application (1, 2 and 3% (w/w)) on soil properties at the end of the experiment

Sample **	pH*	OM (%)	TN (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	CEC (cmol(+)/kg)
Initial soil	8.33	0.96	0.15	6.75	101.10	24.86
Control	7.02	1.05	0.19	259.81	80.70	23.04
Treatment 1	7.06	1.53	0.21	269.08	394.25	23.65
Treatment 2	7.51	1.53	0.24	272.27	474.25	20.02
Treatment 3	8.06	2.04	0.24	236.92	984.13	21.58
Treatment 4	8.32	2.16	0.23	284.51	1465.0	21.58

*1:1 soil/water solution is used for pH measurement.

** Soil without biochar (control), soil with 1% biochar (w/w) (treatment 1), soil with 1% (w/w) modified biochar (treatment 2), soil with 2% (w/w) modified biochar (treatment 3) and soil with 3% (w/w) modified biochar (treatment 4)

นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้ข้าวตั้งท้องเร็วขึ้นกว่าชุดการทดลองอื่น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินจากการทดลองที่เติมถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าน้ำหนักแห้งมากกว่าการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์) โดยมีค่า 4.80 ± 0.91 กรัม (Figure 3) และยังมีน้ำหนักสดมากกว่า โดยมีค่า 16.55 ± 1.31 กรัม

แสดงให้เห็นว่าในการใส่ถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถเพิ่มปริมาณชีวมวลของข้าวได้ดีกว่าการใช้ถ่านชีวภาพ (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์) (Treatment 1) และการปลูกโดยใช้ดินที่ไม่มีการเติมถ่านชีวภาพ (Control) นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพ (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์) มีลำต้นที่สูงและหักงอได้ง่าย ในขณะที่การใช้ถ่านชีวภาพดัดแปลงในปริมาณที่สูงเกินไปทำให้ลำต้นมีขนาดเล็กกลง โดยมีน้ำหนักสด

ไม่แตกต่างจากข้าวที่ปลูกด้วยดินและน้ำหนักรากที่สูงกว่าข้าวที่ปลูกด้วยดินเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาปริมาณคลอโรฟิลล์จากส่วนของใบข้าวจะพบแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน คือ การใช้ถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ใบมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่าการทดลองอื่น แสดงให้เห็นถึงความอุดมสมบูรณ์ของต้นข้าว ในขณะที่การใช้ถ่านชีวภาพ

ดัดแปลงในปริมาณที่สูงขึ้นใบข้าวจะมีสีเหลืองเกิดขึ้น นอกจากนี้การเติมถ่านชีวภาพดัดแปลงในปริมาณที่แตกต่างกันจะมีผลต่อความสูงของส่วนเหนือราก น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือราก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ และมีผลต่อจำนวนเมล็ดและน้ำหนักแห้งของส่วนราก และน้ำหนักสดของส่วนเหนือรากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.01$

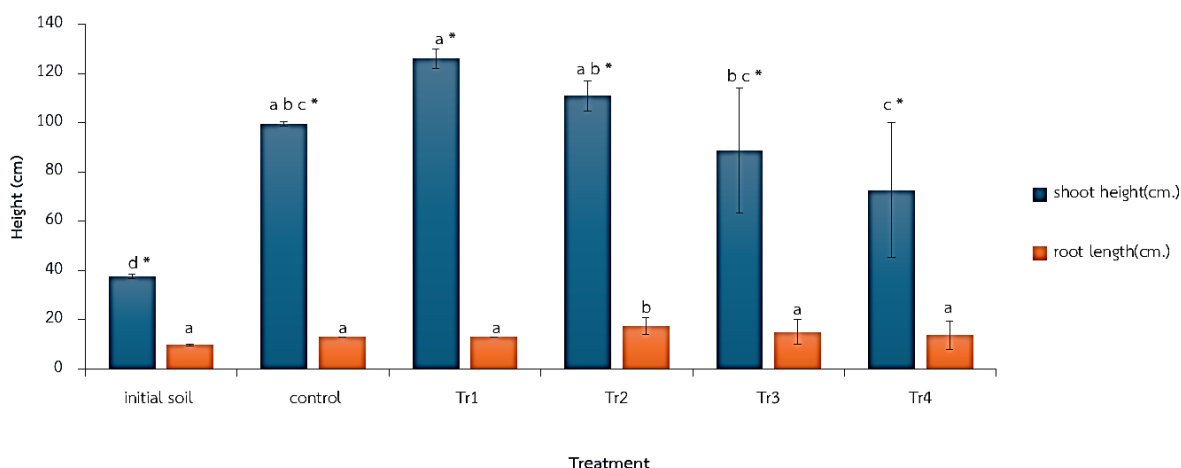


Figure 1 Effect of different modified biochar applications on rice growth: soil without biochar (control), soil with 1% biochar (w/w) (Tr 1), soil with 1% (w/w) modified biochar (Tr 2), soil with 2% (w/w) modified biochar (Tr 3), soil with 3% (w/w) modified biochar (Tr 4); Different letters and * indicate significant difference at $p < 0.05$, Duncan's Multiple Range Test and one-way ANOVA, respectively.

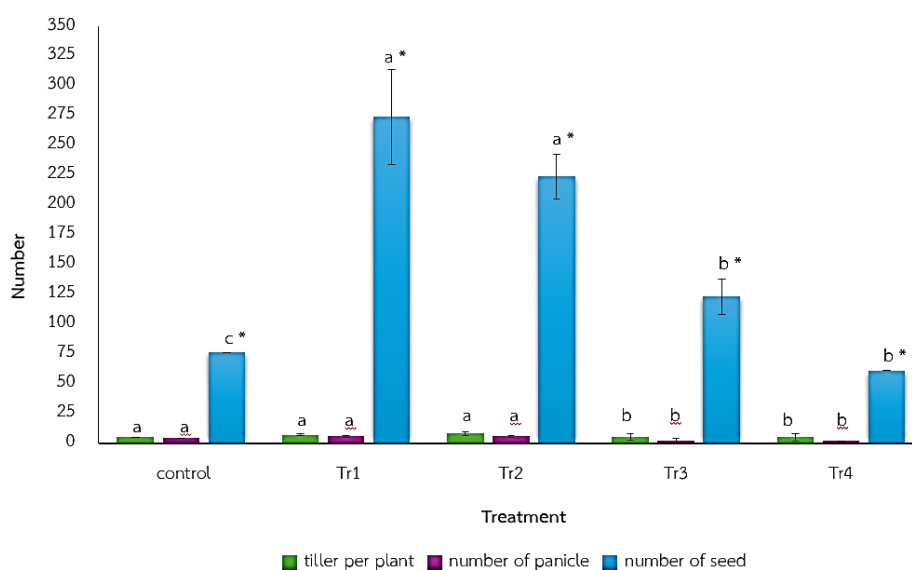


Figure 2 Effect of different modified biochar applications on rice tillers, panicles, and seed: soil without biochar (control), soil with 1% biochar (w/w) (Tr 1), soil with 1% (w/w) modified biochar (Tr 2), soil with 2% (w/w) modified biochar (Tr 3), soil with 3% (w/w) modified biochar (Tr 4); Different letters and * indicate significant difference at $p < 0.05$, Duncan's Multiple Range Test and one-way ANOVA, respectively.

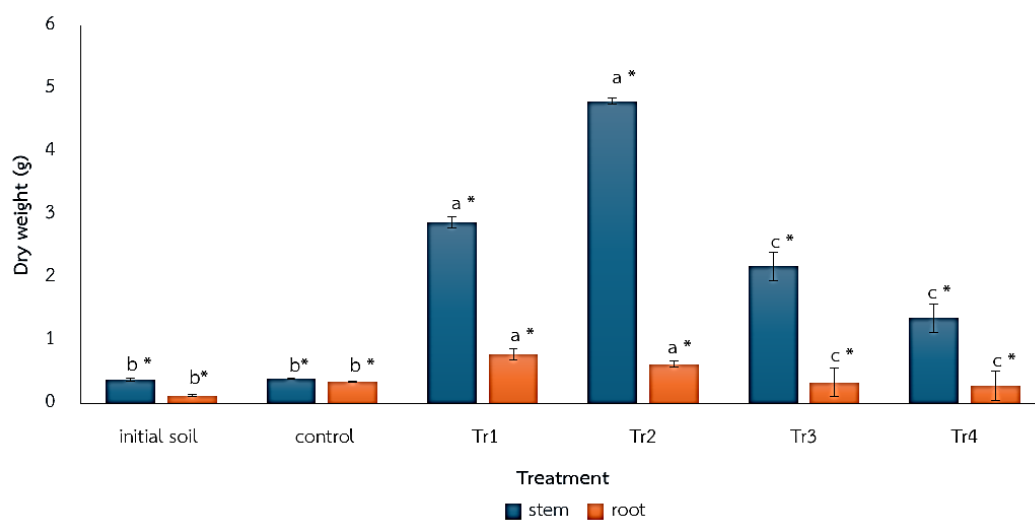


Figure 3 Effect of different modified biochar applications on rice dry weight: soil without biochar (control), soil with 1% biochar (w/w) (Tr 1), soil with 1% (w/w) modified biochar (Tr 2), soil with 2% (w/w) modified biochar (Tr 3), soil with 3% (w/w) modified biochar (Tr 4); Different letters and * indicate significant difference at $p < 0.05$ Duncan's Multiple Range Test and one-way ANOVA, respectively.

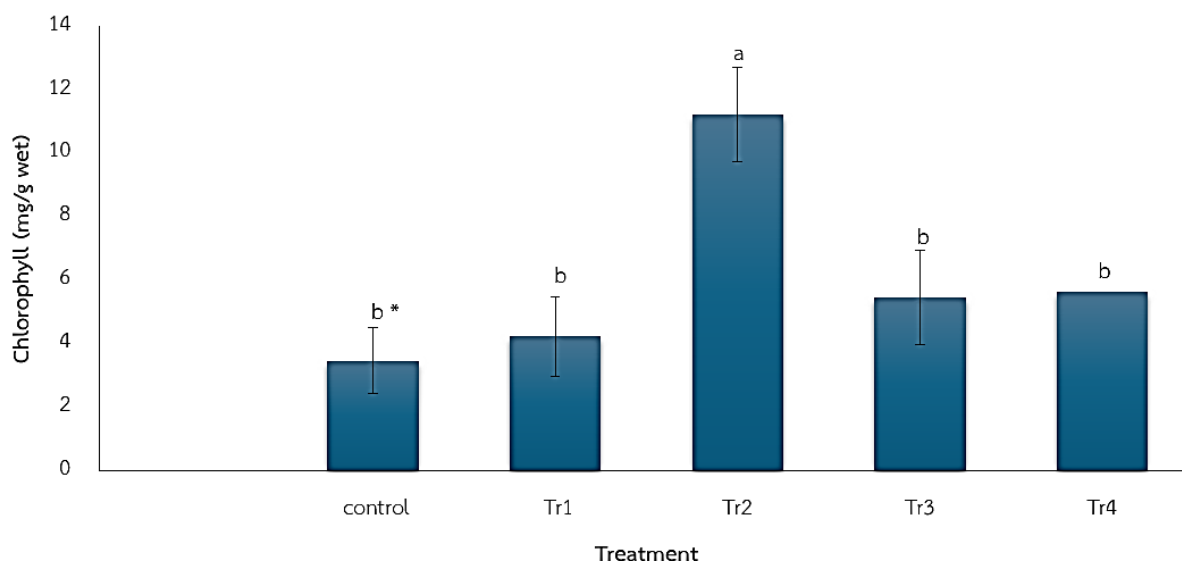


Figure 4 Effect of different modified biochar applications on chlorophyll contents: soil without biochar (control), soil with 1% biochar (w/w) (Tr 1), soil with 1% (w/w) modified biochar (Tr 2), soil with 2% (w/w) modified biochar (Tr 3), soil with 3% (w/w) modified biochar (Tr 4); Different letters and * indicate significant difference at $p < 0.05$, 05 Duncan's Multiple Range Test and one-way ANOVA, respectively.

ประสิทธิภาพการใช้ถ่านชีวภาพดัดแปลงเสริมจุลินทรีย์ในการปลูกข้าว

จากการทดสอบประสิทธิภาพการใช้ถ่านชีวภาพดัดแปลงเสริมจุลินทรีย์ในการปลูกข้าวหอมมะลิ กข 105 ในอัตราส่วนของถ่านชีวภาพดัดแปลง 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผลการเปรียบเทียบคุณภาพดินก่อนและหลังการปลูก (Table 3) และการเจริญเติบโตของข้าว (Figure 5 และ 6) ระหว่าง 3 ชุดการทดลอง (ดินที่ไม่ผสมถ่าน (Control) ดินผสมถ่านชีวภาพ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Treatment 1) และดินผสมถ่านชีวภาพดัดแปลง 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Treatment 2) พบว่าคุณภาพดินชุด Control หลังจากทำการปลูกข้าวเป็นระยะเวลา 90 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนการทดลอง มีค่าพีเอช ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ไนโตรเจนทั้งหมด และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน มีค่าไม่แตกต่างจากดินก่อนการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 7.64, 1.11 เปอร์เซ็นต์ 0.16 เปอร์เซ็นต์ และ 25.26 เซนติโมลต่อ

กิโลกรัม ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามกับพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมในดินหลังการทดลองมีค่าสูงขึ้นกว่าตอนเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า 108.03 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 116.90 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพดินจาก Treatment 1 และ Treatment 2 พบว่าดินหลังปลูกข้าวจากทั้งสองกรรมวิธีการทดลองมีค่าพีเอชลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก โดยมีค่า 7.06 และ 7.40 สำหรับถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพดัดแปลงตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมในดินหลังการปลูกมีค่าสูงกว่าดินก่อนการทดลอง โดยมีค่า เท่ากับ 1.96 เปอร์เซ็นต์ 0.18 เปอร์เซ็นต์ 262.13 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 434.25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับ Treatment 1 และ 1.81 เปอร์เซ็นต์ 0.19 เปอร์เซ็นต์ 261.55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 481.75 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

สำหรับ Treatment 2 อย่างไรก็ตามกลับพบว่า ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินในการทดลองทั้งสองชุด มีค่าลดลงจากดินก่อนการทดลองเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของข้าว (Figure 5 ถึง 7) พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Treatment 2) จะเพิ่มการเจริญเติบโตทั้งในส่วนของคุณภาพของต้น ความยาวของราก การออกรวง

และจำนวนเมล็ด น้ำหนักส่วนของต้นเหนือดินและราก และปริมาณคลอโรฟิลล์ มีค่ามากกว่าข้าวที่ปลูกด้วยการใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Treatment 1) และมากกว่าการปลูกข้าวโดยใช้ดิน (Control) โดยมีความสูงของต้นเท่ากับ 92.80 ± 10.64 เซนติเมตร ความยาวรากเท่ากับ 14.10 ± 1.14 เซนติเมตร จำนวน 9.4 ± 1.14 กอต่อต้น จำนวนรวงเท่ากับ 7.8 ± 1.30 รวง (Figure 5 และ 6)

Table 3 Effect of soil amendments after the application of modified biochar at the end of experiment

Samples	pH	OM (%)	TN (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	CEC (cmol (+)/kg)
Initial soil	7.95	0.78	0.14	7.33	57.05	25.46
control	7.64	1.11	0.16	108.03	116.90	25.26
Treatment 1*	7.06	1.96	0.18	262.13	434.25	20.42
Treatment 2**	7.40	1.81	0.19	261.55	481.75	20.82

*Treatment 1 is soil with 1% (w/w) biochar application

**Treatment 2 is soil with 1% (w/w) modified biochar application

เป็นที่น่าสังเกตจากผลการศึกษาว่าข้าวที่ปลูกในชุดควบคุมไม่มีการเกิดรวงข้าว ในขณะที่การเติมถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพดัดแปลงทำให้ข้าวสร้างรวง โดยมีจำนวนเมล็ดในชุด Treatment 2 เท่ากับ 388 ± 80 เมล็ด ซึ่งมากกว่า Treatment 1 ที่มีจำนวนเมล็ดน้อยกว่าถึง 3 เท่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 130 ± 49 เมล็ด นอกจากนี้ข้าวที่ได้จากชุดการทดลอง Treatment 2 จะมีน้ำหนักสดในส่วนเหนือรากสูงกว่าข้าวที่ได้จากชุดควบคุมถึง 6 เท่า และสูงกว่าชุดที่ใช้ถ่านชีวภาพประมาณ 3 เท่า ในขณะที่น้ำหนักแห้งในส่วนเหนือรากของข้าวที่ปลูกด้วย

ถ่านชีวภาพดัดแปลง (Treatment 2) สูงกว่าข้าวที่ได้จากชุดควบคุมถึง 13 เท่า และสูงกว่าชุดที่ใช้ถ่านชีวภาพ (Treatment 1) ประมาณ 2 เท่า แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของชีวมวลของข้าวหลังจากที่มีการเติมถ่านชีวภาพดัดแปลง สำหรับน้ำหนักส่วนของรากก็ให้ผลเช่นเดียวกัน จากผลการศึกษาจะเห็นได้ชัดเจนว่าการใส่ถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะช่วยส่งเสริมให้ข้าวเจริญเติบโตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และต้นข้าวที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีความสมบูรณ์ของต้นที่มากกว่า

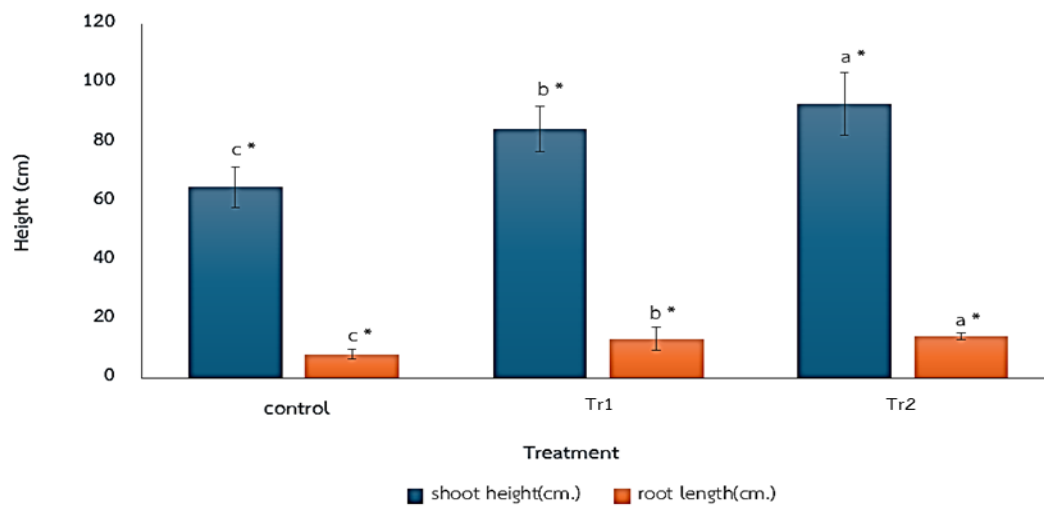


Figure 5 Effect of rice growth promotion after the application of modified biochar: soil without biochar (control), soil with 1% biochar (w/w) (Tr 1), soil with 1% (w/w) modified biochar (Tr 2); Different letters and * indicate significant difference at $p < 0.05$, Duncan's Multiple Range Test and one-way ANOVA, respectively.

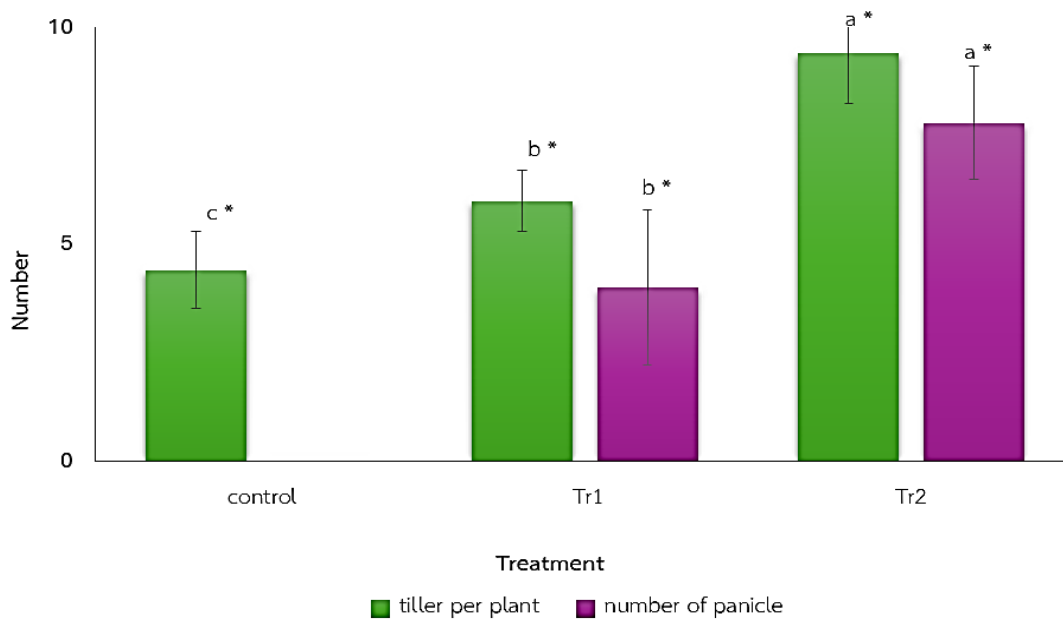


Figure 6 Comparison of tiller and panicles after the application of modified biochar; soil without biochar (control), soil with 1% biochar (w/w) (Tr 1), Soil with 1% (w/w) modified biochar (Tr 2). Different letters and * indicate significant difference at $p < 0.05$, Duncan's Multiple Range Test and one-way ANOVA, respectively.

การตอบสนองในระดับการแสดงออกของยีนพืชที่ได้รับถ่านชีวภาพดัดแปลง

จากการทดสอบไพรมเมอร์เพื่อศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 48 ชั่วโมง พบว่าทั้งรากและใบของข้าวมีการแสดงออกของยีนทั้ง 6 ยีน (*Actin*, *NPR1*, *IAA9*, *GH3-8*, *Rab21* และ *PR10b*) ในระดับที่ตรวจวัดได้ด้วยวิธีการ 1-step RT-PCR และผลจากการทดลองสรุปได้ว่า *NPR1* และ *PR10b* มีการแสดงออกสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวในกลุ่มที่เดิมถ่านชีวภาพทั้งแบบดั้งเดิมและแบบดัดแปลง (Figure 7) สำหรับ *NPR1* จัดว่าเป็นยีนที่ควบคุมการกระตุ้นภูมิคุ้มกันพืชแบบ Systemic Acquired Resistance (SAR) ซึ่งช่วยป้องกันพืชจาก

เชื้อโรคทั่วไป (Broad spectrum of pathogens) (Fu and Dong, 2013) ส่วนยีน *PR10b* นั้น ถูกเรียกว่าแปลดรหัสเป็น Pathogenesis-related protein PR-10b มีงานวิจัยพบว่าเมื่อแสดงออกยีน *PR10b* ปริมาณมาก (Overexpression) ในข้าวญี่ปุ่น ส่งเสริมให้ข้าวมีรากและลำต้นที่เจริญเติบโตมากขึ้น แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต นอกจากนี้ยังทำให้ข้าวทนต่อรา Rice blast fungus ทนเกลือ และทนแล้งได้มากกว่าพันธุ์ดั้งเดิม (Wildtype) อีกด้วย (Wu *et al.*, 2016) นอกจากนี้ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่าเมื่อใช้ถ่านชีวภาพดัดแปลง (Modified biochar) แม้ในปริมาณต่ำ สามารถทำให้เกิดการตอบสนองระยะสั้นได้ดีกว่าถ่านชีวภาพดั้งเดิมที่ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ (Figure 7)

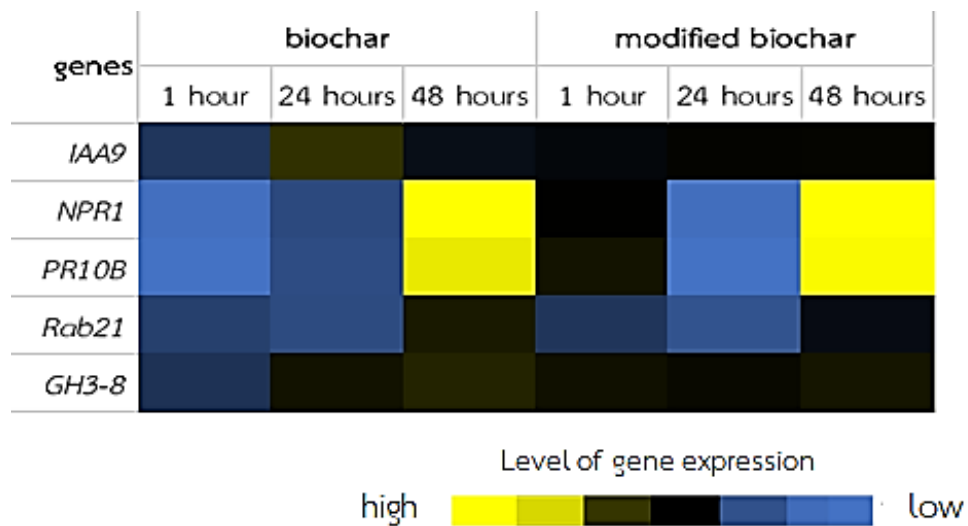


Figure 7 Heatmap for level of gene expression of Systemic Acquired Resistance (SAR); fold change calculated by $2^{-\Delta\Delta Ct}$; $\Delta\Delta Ct = \Delta Ct$ (treated sample) – ΔCt (untreated sample); $\Delta Ct = Ct$ (gene of interest) – Ct (housekeeping gene) and yellow color showed high level of gene expression and blue color indicated low level of gene expression.

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษาจะเห็นได้ชัดว่าคุณสมบัติของดิน เช่น พีเอช ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (CEC) เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากที่มีการเติมถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพดัดแปลงโดยปริมาณของการเติมถ่านชีวภาพนั้น พบว่ามีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินและการเจริญเติบโตของพืช เมื่อเปรียบเทียบกับดินเริ่มต้นจะเห็นได้ว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมในดิน ที่มีการเติมถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพดัดแปลงเสริมจุลินทรีย์จะมีค่าสูงขึ้นกว่าดินที่ไม่มีการเติมถ่านชีวภาพ ซึ่งคาดว่าผลของถ่านชีวภาพที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนและมีรูพรุนสูงสามารถเก็บกักน้ำและเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ในดิน ดังนั้นการเติมถ่านชีวภาพลงไปบนดินจึงสามารถช่วยลดความหนาแน่นของดิน เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ เพิ่มคาร์บอนในดิน ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและการปลดปล่อยธาตุอาหาร และการปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดินจากการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งมีผลต่อความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ และกิจกรรมการย่อยสลายทางชีวภาพและการหมุนเวียนธาตุอาหารที่เกิดขึ้นในดิน Prayogo *et al.* (2013) ได้พบว่าการเติมถ่านชีวภาพในดินช่วยให้การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในดินดีขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน นอกจากนี้ผลการศึกษา ยังสอดคล้องกับรายงานวิจัยอื่น ๆ ที่พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Hemwong and Cadisch, 2012; Wang and Wang, 2019)

อย่างไรก็ตามสำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในดินพบว่าขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างของดินและองค์ประกอบในดิน เช่น ปริมาณ OM และปริมาณ Clay ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติในการเป็น Buffer ของดิน (Cruz-Méndez *et al.*, 2021) รวมไปถึงชนิดและ

รูปแบบการปลูกพืช (Zhang *et al.*, 2015; Streubel *et al.*, 2011; Gaskin *et al.*, 2010) นอกจากนี้ค่าพีเอชของถ่านยังขึ้นกับปริมาณเถ้าในถ่านชีวภาพ ซึ่งเป็นผลมาจากสถานะในการเผาและคุณสมบัติของชีวมวล ดังนั้นยังมีการเติมถ่านที่มีปริมาณเถ้าสูง ค่าพีเอชของถ่านจะมีค่าสูง มีผลทำให้ค่าพีเอชในดินมีค่าสูงขึ้นด้วย

นอกจากนี้ผลการศึกษา ยังพบว่า การเติมถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพดัดแปลงมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวได้ดีขึ้น จากการเปรียบเทียบปริมาณการใส่ถ่านชีวภาพที่แตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่าการเติมถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และการเติมถ่านชีวภาพ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวได้ดีกว่าดินที่ไม่มีการเติมถ่านชีวภาพและดินที่มีการเติมถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ทั้งในแง่ของความสูงของส่วนเหนือราก น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือรากที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ และมีผลต่อจำนวนเมล็ดและน้ำหนักแห้งของส่วนราก และน้ำหนักสดของส่วนเหนือรากที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.01$ นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพดัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งผลทำให้ข้าวตั้งท้องเร็วขึ้นกว่าชุดการทดลองอื่น ทั้งนี้เนื่องจากถ่านชีวภาพมีโครงสร้างที่มีรูพรุนสามารถเก็บกักน้ำธาตุอาหาร และเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ในดินและการปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวโดยเฉพาะไนโตรเจน (Prayogo *et al.*, 2013) นอกจากนี้อาจเป็นผลของเชื้อจุลินทรีย์ที่เติมเข้าไปพร้อมกับถ่านชีวภาพดัดแปลง เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ชนิดนี้มีความสามารถในการสร้าง IAA ซึ่งมีกลไกเหมือนกับ PGRs ดังนั้นจึงมีกลไกที่สามารถเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในดินโดยการตรึงไนโตรเจนจากอากาศหรือเพิ่มการละลายของธาตุอาหาร เช่น ฟอสฟอรัส หรือ โพแทสเซียมในดิน เพื่อให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Lopes *et al.*, 2021;

Martinez-Viveros *et al.*, 2010) โดยเชื้อจุลินทรีย์ *B. pumilus* ที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถสร้าง Indole-3-Acetic Acid (IAA) ได้สูงถึง 153.7 ± 1.55 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร อีกทั้งยังมีรายงานวิจัยที่สนับสนุนว่าการผสมผสานเชื้อจุลินทรีย์กับวัสดุอื่นที่ไม่ใช่จุลินทรีย์ เช่น ถ่านชีวภาพ สามารถสร้างผลกระทบเชิงบวกช่วยส่งเสริมการทำงานร่วมกันระหว่างเชื้อจุลินทรีย์และถ่านชีวภาพได้มากกว่าการเติมเชื้อจุลินทรีย์หรือการใช้ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว (Adesemoye and Kloepper, 2009)

อย่างไรก็ตามผลการศึกษายังพบว่า การใช้ถ่านชีวภาพตัดแปลงในปริมาณที่สูงขึ้น (2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำให้ความสูงของข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเติมถ่านชีวภาพที่มากเกินไปจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดินลดลง เนื่องจากถ่านชีวภาพทำให้ค่า pH ของดินสูงขึ้นจนทำให้เกิดการตกตะกอนของธาตุบางชนิด เช่น ฟอสฟอรัส และจุลธาตุ และยังทำให้เกิดการแข่งขันระหว่างธาตุอาหารที่เป็นไอออนประจุบวก เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งอาจจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์ของพืช (Butnan *et al.*, 2015) เมื่อพิจารณาปริมาณคลอโรฟิลล์จากส่วนของใบข้าว พบแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน คือ การใช้ถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพตัดแปลงที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ใบมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่าการทดลองอื่น แสดงให้เห็นถึงความอุดมสมบูรณ์ของต้นข้าว ในขณะที่การใช้ถ่านชีวภาพตัดแปลงในปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้ใบข้าวมีสีเหลืองเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากถ่านชีวภาพมีกลไกที่ช่วยส่งเสริมการทำงานของระบบแสง 2 ของพืชเพื่อให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในระบบรับแสงมายังระบบแสง 1 ได้ (Thussagunpanit *et al.*, 2012)

นอกจากนี้ผลของการทดสอบการตอบสนองในระดับการแสดงออกของยีนพืชที่ได้รับถ่านชีวภาพตัดแปลงในระดับห้องปฏิบัติการ ยังสนับสนุนผลของการ

เจริญเติบโตของข้าวหลังจากที่มีการเติมถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพตัดแปลง โดยพบว่าการแสดงออกของยีนส์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันของพืชสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวในกลุ่มที่เติมถ่านชีวภาพทั้งแบบดั้งเดิมและแบบตัดแปลง นอกจากนี้ผลที่ได้ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่าถ่านชีวภาพและเซลล์แบคทีเรีย PGPR ที่เติมนั้นสามารถเสริมฤทธิ์ (Synergize) กันได้ ถ่านชีวภาพตัดแปลงสามารถกระตุ้นปริมาณการแสดงออกของ GH3-8 สูงขึ้นถึงกว่า 8 เท่า โดยถ่านชีวภาพและบาซิลลัสจะเหนี่ยวนำการแสดงออกของยีนที่ทดสอบผ่านกลไกที่แตกต่างกัน ผลดังกล่าวทำให้เห็นว่าการเลือกการส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของพืชจากการใช้ถ่านชีวภาพน่าจะมีผลต่อความแข็งแรงของข้าวและส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว จากผลการศึกษายีน PR-10b นั้นตอบสนองต่อความเครียดจากการรุกรานของเชื้อก่อโรค เช่น *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Xoo) (Thomas *et al.*, 2016) สำหรับยีน Rab21 จะตอบสนองต่อ Abscisic acid (Mundy and Chua, 1988) และยีน GH3-8 ตอบสนองต่อออกซิน (Westfall *et al.*, 2010) ส่วนยีน NPR1 นั้น ทำงานร่วมกับกรดซาลิไซลิก (Salicylic acid; SA) ในการตอบสนอง/ต้านความเครียดและเพิ่มความต้านทานต่อโรคให้แก่พืช (Backer *et al.*, 2019)

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพที่ได้จากการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากนาข้าว สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งการใช้ถ่านชีวภาพตัดแปลงเสริมจุลินทรีย์จากฟางข้าวที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิสายพันธุ์ กข 105 เพิ่มประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณคลอโรฟิลล์ ตลอดจนส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของข้าวให้สูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย และนวัตกรรม สัญญาเลขที่ วช.อว.(อ)(ภส)/197/2563 จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563 และทุนสนับสนุนงานมูลฐาน ประจำปีงบประมาณ 2566 รหัสโครงการวิจัย มจ.1-66-08-005.1

เอกสารอ้างอิง

- Adesemoye, A.O. and J.W. Kloepper. 2009. Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer use efficiency. **Applied Microbiology and Biotechnology** 85(1): 1-12.
- Backer, R., S. Naid and N. Van Den Berg. 2019. The nonexpressor of pathogenesis-related genes 1 (NPR1) and related family: mechanistic insights in plant disease resistance. **Frontiers in Plant Science** 10: 00102.
- Butnan, S., J.L. Deenik, B. Toomsan, M.J. Antal, and P. Vityakon. 2015. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. **Geoderma** 237-238: 105-116.
- Cruz-Méndez AS, E. Ortega-Ramírez, C.A. Lucho-Constantino, O. Arce-Cervantes, G.A. Vázquez-Rodríguez, C. Coronel-Olivares and R.I. Beltrán-Hernández. 2021. Bamboo biochar and a nopal-based Biofertilizer as improvers of alkaline soils with low buffer capacity. **Applied Sciences** 11(14): 6502.
- Ekebafé, M.O., L.O. Ekebafé and S.O. Ugbesia. 2015. Biochar composts and composites. **Science Progress** 98(2): 169-176.
- Dong, Y., Z. Wu, X. Zhang, L. Feng, and Z. Xiong. 2019. Dynamic responses of ammonia volatilization to different rates of fresh and field-aged biochar in a rice-wheat rotation system. **Field Crops Research** 241: 107568.
- Fu, Z.Q. and X. Dong. 2013. Systemic acquired resistance: turning local infection into global defense. **Annual Review of Plant Biology** 64: 839-863.
- Gaskin, J.W., R.A. Speir, K. Harris, K.C. Das, R.D. Lee, L.A. Morris and D.S. Fisherr. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. **Agronomy Journal** 102: 623-633.
- Hemwong, S. and G. Cadisch. 2012. **Effect of Biochar Amendment on Soil Fertility and Lowland Rice Yield in Nakhon Phanom Province.** pp. 45-48. *In* Nakhon Phanom University Journal 8th Nation Agricultural System Conference. Nakhon Phanom: Nakorn Phanom University.
- Hu, L., L. Cao and R. Zhang. 2014. Bacterial and fungal taxon changes in soil microbial community composition induced by short-term biochar amendment in redoxidized loam soil. **World Journal of Microbiology Biotechnology** 30: 1085-1092.

- Hussain, M., F. Muhammad, N. Ahmad, A.S. Abdullah, S. Zakaria, A. Salem, J. Ammara, O.Y. Sik and S. Kadambot. 2017. Biochar for crop production: potential benefits and risks. **Journal of Soils and Sediments** 17: 685-716.
- Liu, Y., Z. Q. Zhu, X.S. He, C. Yang, Y.Q. Du, Y.D. Huang, P. Su, S. Wang, X.X. Zheng, and Y.J. Xue. 2018. Mechanisms of rice straw biochar effects on phosphorus sorption characteristics of acid upland red soils. **Chemosphere** 207: 267-277.
- Lopes M.J.S., M.B. Dias-Filho, E.S.C. Gurgel. 2021. Successful plant growth-promoting microbes: inoculation methods and abiotic factors. **Frontiers in Sustainable Food Systems** 5: 606454.
- Ma, Y., D.L. Liu, G. Schwenke and B. Yang. 2019. The global warming potential of straw-return can be reduced by application of straw-decomposing microbial inoculants and biochar in rice-wheat production systems. **Environmental Pollution** 252: 835-845.
- Manaonok, J., S. Gonkhamdee, K. Dejbhimon, W.K. Polpinit and D. Jothityangkoon. 2017. Biochar: Its effect on soil properties and growth of wet-direct seeded rice (a pot trial). **Khon Kaen Agriculture Journal** 45(2): 209-220. [in Thai]
- Martínez-Viveros, O., M.A., Jorquera, D.E., Crowley, G. Gajardo and M.L. Mora.. 2010. Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. **The Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 10: 293-319.
- Munda, S., A.K. Nayak, M. Shahid, D. Bhaduri, D. Chatterjee, S. Mohanty. and N. Jambhulkar. 2023. Soil quality assessment of lowland rice soil of Eastern India: implications of rice husk biochar application. **Heliyon** 9(7): 1-9.
- Mundy, J., and N.-H. Chua. 1988. Abscisic acid and water-stress induce the expression of a novel rice gene. **The EMBO Journal** 7(8): 2279-2286.
- Muter, O., L. Grantina-levina, G. Makarenkova, D. Vecstaudza, S. Strikauska, T. Selga and C. Steiner. 2017. Effect of biochar and Trichoderma application on fungal diversity and growth of *Zea mays* in a sandy loam soil. **Environmental Experimental and Biology** 15: 289-296.
- Pandey, A., D.Q. Vu, T.P.L. Bui, T.L.A. Mai, L.S. Jensen and A. de Neergaard. 2014. Organic matter and water management strategies to reduce methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in vietnam. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 196: 137-146.
- Pieterse, C.M., S.C. Van Wees, E. Hoffland, J.A. Van Pelt and L.C. Van Loon. 1996. Systemic resistance in Arabidopsis induced by biocontrol bacteria is independent of salicylic acid accumulation and pathogenesis-related gene expression. **The Plant Cell** 8(8): 1225-1237.

- Prayogo, C., Jones, J.E., Baeyens and G.D. Bending. 2013. Impact of biochar on mineralisation of C and N from soil and willow litter and its relationship with microbial community biomass and structure. **Biology and Fertility of Soils** 50: 695-702.
- Rubin, R.L., T.R. Anderson and K.A. Ballantine, 2020. Biochar simultaneously reduces nutrient leaching and greenhouse gas emissions in restored wetland soils. **Wetlands** 40: 1981-1991
- Streubel, J.D., H.P. Collins, M. Garcia-Perez, J. Tarara, D. Granatstein and C.E. Kruger. 2011. Influence of contrasting biochar types on five soils at increasing rates of application. **Soil Science Society of America Journal** 75: 1402-1413.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. 1972. **A Practical Hand Book of Seawater Strick land Analysis**. 2 nd Edition. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada Bulletin. 310 p.
- Thomas, N.C., B. Schwessinger, F. Liu, H. Chen, T. Wei, Y.P. Nguyen. and P.C Ronald. 2016. XA21-specific induction of stress-related genes following *Xanthomonas* infection of detached rice leaves. **PeerJ** 4: e2446.
- Thussagunpanit, J., K. jutamee, W. Chai-arree, and L. Kaveeta. 2012. Increasing photosynthetic efficiency and pollen germination with 24-epibrassinolide in rice (*Oryza sativa* L.) under heat stress. **The Journal of Botany** 4(Special Issue): 135-143.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareft method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Sci.** 37: 29-38.
- Wang, J. and S. Wang. 2019. Preparation, modification and environmental application of biochar: a review. **Journal of Cleaner Production** 227: 1002-1022.
- Westfall, C.S., J. Herrmann, Q. Chen, S. Wang and J.M. Jez. 2010. Modulating plant hormones by enzyme action: the GH3 family of acyl acid amido synthetases. **Plant Signaling and Behavior** 5(12): 1607-1612.
- Wu, J., S.G. Kim, K.Y. Kang, J.G. Kim, S.R. Park, R. Gupta and S.T. Kim. 2016. Overexpression of a pathogenesis-related protein 10 enhances biotic and abiotic stress tolerance in rice. **The Plant Pathology Journal** 32(6): 552.
- Xiaoyu, L., J. Zhou, Z. Chi, J. Zheng, L. Li, X. Zhang, J. Zheng, K. Cheng, R. Bian, G. Pan. 2019. Biochar provided limited benefits for rice yield and greenhouse gas mitigation six years following an amendment in a fertile rice paddy. **CATENA** 179: 20-28.
- Zhang, H., R. Voroney and G. Price. 2015. Effects of temperature and processing conditions on biochar chemical properties and their influence on soil C and N transformations. **Soil Biology and Biochemistry** 83: 19-28.

ความหลากหลายชนิดและอัตราการเพิ่มพูนของไม้ไผ่ในพื้นที่ป่าชุมชน จังหวัดแพร่
Species Diversity and Increment Rate of Bamboos in Community Forest Areas
in Phrae Province

กฤษดา พงษ์การณยภาส^{1*} แหลมไทย อาษานอก¹ พิทยาธร อินแก้ว¹ และวรรณอุบล สิงห์อยู่เจริญ²
Kritsada Phongkaranyaphat^{1*}, Lamthai Asanok¹, Pittayatorn Inkaew¹
and Wannaubon Singyoocharoen²

¹สาขาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

²สาขาวิชารัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

¹Program in Agroforestry, Maejo University Phrae Campus, Phrae, Thailand 54140

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

*Corresponding author: k.phongkaranyaphat@gmail.com

Received: September 14, 2023

Revised: March 13, 2024

Accepted: April 10, 2024

Abstract

The aims of this research were to study the species diversity and increment rate of bamboos in community forest areas in Phrae province. Three community forests, namely Ban Pong, Bang Na San and Ban Hua Fai, were chosen as the representative community forest areas of Long district in Phrae province. A systematic sampling method was used to establish 75 sample plots of 20x20 m². There were 25 sample plots in each community forest. The number data of clumps and culms were collected for each plot. Then three culms per clump were randomly selected for culms diameter and height measurements. The species diversity index was analyzed by using the Shannon–Wiener (H') index. In addition, numbers of fresh bamboo stumps and shoots were also recorded. All parameter data were measured and recorded on selected 30 clumps in each bamboo specie to calculate the increment rate.

The results enumerated 4 genera and 5 species of bamboos from this study as follow, *Dendrocalamus membranaceus*, *Cephalostachyum pergracile*, *Gigantochloa albociliata*, *Gigantochloa nigrociliata* and *Bambusa tulda*. There were 5 bamboo species found in Ban Pong and Ban Na San and 4 species in Hua Fai community forests. However, *Bambusa tulda* was not found. The bamboo species diversity indices (H') were 1.00, 1.32 and 1.27, respectively from Ban Pong, Ban Na San and Hua Fai community forests. The basal areas of bamboo stems in each area were 0.54, 0.49 and 0.63 m²/ hectare, respectively. The total frequencies of bamboo occurrence were 152, 196 and 213%, respectively. The increment rate of *Dendrocalamus membranaceus* in Ban Pong community forest was 758 stems/year,

following by Ban Hua Fai and Ban Na San community forest with 608 stems/year and 368 stems/year, respectively.

Keywords: bamboo, species diversity, community forest, Phrae province

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายของชนิด และอัตราการเพิ่มพูนของไม้ไผ่ในพื้นที่ป่าชุมชน อำเภอคลอง จังหวัดแพร่ โดยทำการคัดเลือกพื้นที่ป่าชุมชน 3 แห่ง เป็นกลุ่มตัวอย่างของป่าชุมชนในอำเภอคลอง ได้แก่ ป่าชุมชนบ้านปง ป่าชุมชนบ้านนาสาร และป่าชุมชนบ้านหัวฝาย ทำการวางแผนตัวอย่างแบบเป็นระบบขนาด 20x20 ตารางเมตร ในพื้นที่ป่าชุมชนละ 25 แปลง รวมทั้งหมด 75 แปลง ทำการเก็บข้อมูล ด้านจำนวนกอไม้ไผ่ นับจำนวนลำ พร้อมทำการสุ่มจำนวน 3 ลำต่อกอ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง วัดความสูงทั้งหมด ความกว้างของกอ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดจากสมการของ Shannon-Wiener Index (H') และนับจำนวนต่อไม้ไผ่สดที่ถูกตัด นับจำนวนหน่อไม้ใหม่จากแปลงตัวอย่างชนิดละ 30 กอ เพื่อคำนวณอัตราการเพิ่มพูนของไม้ไผ่แต่ละชนิด

ผลการศึกษาพบไม้ไผ่ จำนวน 5 ชนิด 4 สกุล ได้แก่ ไม้ชางนวล (*Dendrocalamus membranaceus*) ไม้ข้าวหลาม (*Cephalostachyum pergracile*) ไม้ไร่ (*Gigantochloa albociliata*) ไม้ไผ่ล่อ (*Gigantochloa nigrociliata*) และไม้บงดำ (*Bambusa tulda*) โดยในป่าชุมชนบ้านปง มี 5 ชนิด บ้านนาสาร มี 5 ชนิด และบ้านหัวฝาย มี 4 ชนิด ซึ่งไม่พบไม้บงดำ โดยมีค่าดัชนีความหลากหลาย (H') ของไม้ไผ่ในพื้นที่บ้านปง เท่ากับ 1.00 บ้านนาสาร เท่ากับ 1.32 และบ้านหัวฝาย เท่ากับ 1.27 ขนาดของพื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร/เฮกแตร์) บ้านปง เท่ากับ 0.54 บ้านนาสาร เท่ากับ 0.49 และบ้านหัวฝาย เท่ากับ 0.63 และด้านความถี่โดยรวม (ร้อยละ) บ้านปง

เท่ากับ 152 บ้านนาสาร เท่ากับ 196 และบ้านหัวฝาย เท่ากับ 212 ตามลำดับ อัตราการเพิ่มพูนของไม้ไผ่ชางนวลในป่าชุมชนบ้านปงมากที่สุด 758 ลำ/ปี รองลงมา บ้านหัวฝาย จำนวน 608 ลำ/ปี และบ้านนาสาร จำนวน 368 ลำ/ปี ตามลำดับ

คำสำคัญ: ไม้ไผ่ ความหลากหลายชนิด ป่าชุมชน จังหวัดแพร่

คำนำ

ไม้ไผ่มีความสำคัญต่อมนุษย์ ทั้งทางด้านนิเวศวิทยา เศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม ด้วยความหลากหลายของไม้ที่มีมากถึง 80-90 สกุล ประมาณ 1,500 ชนิด สำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อน และมีไม้เจริญเติบโตได้ดี มีรายงานพบไม้จำนวน 15-20 สกุล ประมาณ 80-100 ชนิด เนื่องจากมีการกระจายพันธุ์ที่กว้างขวาง ง่าย เติบโตเร็ว และเป็นพืชชอบแสง จึงทำให้ไม้เข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของคนเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในทวีปเอเชีย อเมริกา และแอฟริกา ซึ่งไม้เป็นไม้พุ่มหลายชนิด และหลายสกุลในวงศ์หญ้า นักพฤกษศาสตร์ได้จัดไม้ให้อยู่ในวงศ์ย่อยไม้ (Subfamily Bambusoideae) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของพืชวงศ์หญ้า (Family Poaceae) มีถิ่นกำเนิดและการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณเขตร้อนและเขตอบอุ่นบางส่วน เราสามารถพบไม้เกือบทุกภูมิภาคของโลก ยกเว้นทวีปยุโรป ขั้วโลกเหนือ และขั้วโลกใต้รวมแล้วทั่วโลกมีไม้ทั้งสิ้น 80-90 สกุล ประมาณ 1,500 ชนิด สำหรับในประเทศไทยพบไม้ 15-20 สกุล ประมาณ

80-100 ชนิด โดยพบขึ้นกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาค ส่วนใหญ่ตามป่าเบญจพรรณ หรือป่าผสมผลัดใบ และป่าดิบชื้น (Sangkaew *et al.*, 2011)

ป่าชุมชนเป็นพื้นที่ป่าไม้ตามธรรมชาติ ซึ่งให้ประโยชน์แก่ราษฎรทั้งทางตรงและทางอ้อม ไม่ว่าจะเป็นประโยชน์จากเนื้อไม้และผลิตผลของป่า ป่าชุมชนอาจมีพื้นที่ป่าไม้ชัดเจน หรืออาจเป็นแนวเป็นแนวตามริมถนนหรือคลองส่งน้ำก็ได้ (Limchuwong, 1997) ในปัจจุบันป่าชุมชนเป็นพื้นที่ป่าไม้ที่ชุมชนหันมาให้ความสำคัญ เพราะความรักและหวงแหนป่าเหมือนบ้านหลังที่สอง โดยมีชุมชนหลายแห่งทั่วประเทศที่อาศัยอยู่ในป่า หรืออาศัยติดกับป่าไม้จนสามารถเรียกป่านั้นว่า “ป่าชุมชน” ได้พยายามดำเนินกิจกรรมมากมายเพื่ออนุรักษ์และรักษาป่าไว้ให้คงอยู่ อย่างไรก็ตาม จากรายงานของ Bulunpruek 2000 พบว่าการบริหารจัดการป่าชุมชนจะประสบความสำเร็จ และสามารถดำเนินการต่อเนื่องอย่างมีประสิทธิภาพได้นั้น จำเป็นจะต้องอาศัยความร่วมมือจากทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และประชาชน ทั้งนี้แต่ละท้องถิ่นจะมีรูปแบบและวิธีดำเนินการเรื่องป่าชุมชนแตกต่างกันออกไป และมักจะไม่ค่อยประสบผลสำเร็จในการดำเนินการเท่าที่ควร เพราะเป็นการดำเนินการในภาคประชาชนเพียงส่วนเดียว โดยไม่มีการประสานความร่วมมือจากภาครัฐบาลหรือเอกชนเท่าที่ควร

ชนิดไม้สำคัญที่ป่าชุมชนส่วนใหญ่ได้นำมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวางนั้น โดยเฉพาะไม้ไผ่ นับได้ว่า เป็นชนิดไม้ในอันดับแรก ๆ ที่มีการใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นไม้ใช้สอย ก่อสร้าง เครื่องจักสาน และบริโภคหน่อไม้เป็นอาหาร รวมไปถึงการใช้ไม้ไผ่เพื่อป้องกันตลิ่ง ป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน และป้องกันลมพายุ ทำให้ไม้ไผ่มีประโยชน์ทั้งทางด้าน

เศรษฐกิจและครัวเรือน ซึ่งปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากป่าของประชาชนมีความหลากหลายด้านวิธีการและนับวันจะเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนประชากรในชุมชน มีการบุรุกพื้นที่ป่าชุมชนเพื่อทำการเกษตร ส่งผลให้ความหลากหลายของทรัพยากรป่าไม้ลดลง ดังนั้นจึงควรศึกษาชนิดและปริมาณของไม้ไผ่ ในพื้นที่ป่าชุมชน ซึ่งมีการใช้ประโยชน์จากไม้ไผ่ในครัวเรือนและด้านเศรษฐกิจ เพื่อให้ทราบความสัมพันธ์ของปริมาณที่มีกับการนำไปใช้ประโยชน์จะส่งผลต่อการจัดการอนุรักษ์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

ทำการคัดเลือกพื้นที่ป่าชุมชนในอำเภอทองจังหวัดแพร่ ตามขนาดพื้นที่และมีการใช้ประโยชน์จากไม้ไผ่จำนวน 3 พื้นที่ ซึ่งมีการบริหารจัดการป่าชุมชนแตกต่างกัน ได้แก่

1. ป่าชุมชนบ้านบง มีพื้นที่ 3,330 ไร่ มีการบริหารจัดการแบ่งโซนการใช้ประโยชน์จากไม้ไผ่
2. ป่าชุมชนบ้านนาสาร มีพื้นที่ 1,770 ไร่ ไม่มีการบริหารจัดการแบ่งโซนการใช้ประโยชน์ไม้ไผ่
3. ป่าชุมชนบ้านหัวฝาย มีพื้นที่ 916 ไร่ ไม่มีการบริหารจัดการแบ่งโซนการใช้ประโยชน์ไม้ไผ่

การวางแผนตัวอย่าง

การวางแผนตัวอย่างขนาด 20×20 เมตร แบบเป็นระบบ (Systematic sampling) พื้นที่ละ 25 แปลง (1 เฮกตาร์) แต่ละแปลงมีระยะห่างกัน 100 เมตร รวมทั้งหมด 75 แปลงตัวอย่าง พร้อมระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ บริเวณกลางแปลงทุกแปลงตัวอย่าง (Figure 1)

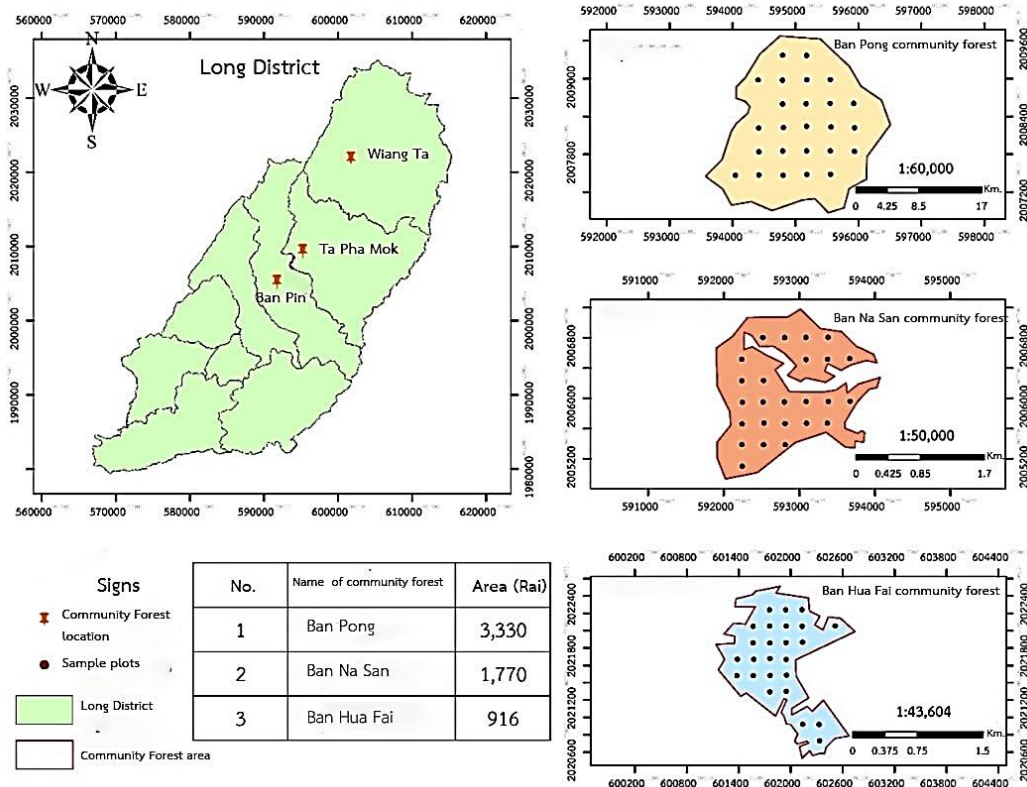


Figure 1 The position of sample plots in community forest areas

การเก็บข้อมูลภาคสนาม

1. ระบุชนิดไม้ที่พบ และนับจำนวนกอของไม้แต่ละชนิดในแปลงตัวอย่าง โดยในแต่ละกอนับจำนวนลำไม้ทั้งหมด และสุ่มลำไม้ในกอจำนวน 3 ลำต่อกอ เพื่อวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก โดยใช้เทปวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter tape) และวัดความสูงของไม้โดยใช้เครื่องมือวัดความสูงของต้นไม้ (Range finder) แล้วทำการวัดขนาดความกว้างของกอในแนวทิศเหนือ-ใต้ และ ตะวันออก-ตะวันตก เพื่อหาค่าเฉลี่ยของขนาดกอไม้ และจับพิกัดทางภูมิศาสตร์ Global Positioning System (GPS)

2. นับจำนวนตอไม้ที่สดที่ถูกตัดไปใช้ประโยชน์ และนับจำนวนหน่อไม้ใหม่ทุกชนิด ชนิดละ 30 กอที่พบในแปลงเดียวกัน เพื่อนำมาคำนวณอัตราการเพิ่มพูนของไม้แต่ละชนิด ดังนี้

$$\text{อัตราการเพิ่มพูนของไม้} = (\text{ลำไม้ใหม่ในกอทั้งหมด} + \text{จำนวนหน่อไม้ใหม่}) - \text{จำนวนตอไม้ที่ถูกตัด}$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลองค์ประกอบชนิดไม้ ทำการศึกษาจำนวนลำ กอ และหน่อไม้ ค่าความหนาแน่น (Density, D) ความเด่นด้านพื้นที่หน้าตัด (Dominance, Do) และความถี่ (Frequency, F) พร้อมกับหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density, RD) ความเด่นสัมพัทธ์ (Relative Dominance, RDo) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative Frequency, RF) ค่าดัชนีความหลากหลายชนิด (Species diversity index) หาค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดจากสมการของ Shannon and Wiener (1949) ดังนี้

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

เมื่อ H' = ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของ Shannon-Wiener

S = จำนวนชนิดพืชพรรณ

P_i = สัดส่วนของจำนวนลำชนิดที่ i ต่อผลรวมของจำนวนลำทั้งหมดของไม้ไผ่ทุกชนิดในสังคม

ผลการวิจัย

ชนิดของไม้ไผ่ในป่าชุมชน

ชนิดไม้ไผ่ที่พบในพื้นที่ป่าชุมชน อำเภอลอง จังหวัดแพร่ พบจำนวนทั้งหมด 5 ชนิด 4 สกุล ได้แก่ ไผ่ชางนวล (*Dendrocalamus membranaceus* Munro) ไผ่ข้าวหลาม (*Cephalostachyum pergracile* Munro) ไผ่ไร่ (*Gigantochloa albociliata* Munro) ไผ่ไล่ล่อ (*Gigantochloa nigrociliata* Kurz) และไผ่บังคำ (*Bambusa tulda* Roxb.)

ลักษณะเชิงปริมาณของไม้ไผ่ในแต่ละป่าชุมชน

พื้นที่ป่าชุมชนบ้านปาง พบว่าไม้ไผ่ที่มีความสูงมากที่สุด ได้แก่ ไผ่ชางนวล มีความสูงเฉลี่ยต่อกอ เท่ากับ 20.61 เมตร เป็นชนิดที่พบมากที่สุด ในส่วนของความหนาแน่นสูงที่สุด 3 ชนิดแรก ได้แก่ ไผ่ชางนวลมีความหนาแน่น เท่ากับ 106 กอต่อเฮกเตอร์ รองลงมาคือ ไผ่บังคำ มีความหนาแน่น เท่ากับ 14 กอต่อเฮกเตอร์ และไผ่ไล่ล่อ มีความหนาแน่น เท่ากับ 12 กอต่อเฮกเตอร์ ตามลำดับ ชนิดไม้ไผ่ที่พบความถี่สูงที่สุด 3 ชนิดแรก ได้แก่ ไผ่ชางนวลมีความถี่ เท่ากับร้อยละ 88 รองลงมาคือ ไผ่ไล่ล่อ มีความถี่ เท่ากับร้อยละ 24 และไผ่บังคำมีความถี่ เท่ากับร้อยละ 12 ตามลำดับ ด้วยในแปลงสำรวจเดียวกันมีไผ่

มากกว่า 1 ชนิด จึงทำให้ผลรวมของค่าความถี่ในป่าชุมชนเดียวกันเกิน 100 ไปเป็น 152 (Table 1)

พื้นที่ป่าชุมชนบ้านนาสาร พบว่าไม้ไผ่ที่มีความสูงมากที่สุด ได้แก่ ไผ่ชางนวล ส่วนไม้ไผ่ที่พบมากที่สุด ได้แก่ ไผ่ชางนวล มีความสูงเฉลี่ยต่อกอ เท่ากับ 20.26 เมตร ไม้ไผ่ที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด 3 ชนิดแรก ได้แก่ ไผ่ชางนวลมีความหนาแน่น เท่ากับ 103 กอต่อเฮกเตอร์ รองลงมาคือ ไผ่ไล่ล่อ มีความหนาแน่น เท่ากับ 58 กอต่อเฮกเตอร์ และไผ่บังคำ มีความหนาแน่น เท่ากับ 49 กอต่อเฮกเตอร์ ตามลำดับ ชนิดไม้ไผ่ที่พบความถี่สูงที่สุด 3 ชนิดแรก ได้แก่ ไผ่ชางนวล มีความถี่เท่ากับร้อยละ 92 รองลงมาคือ ไผ่ไล่ล่อ มีความถี่เท่ากับร้อยละ 56 และไผ่บังคำมีความถี่เท่ากับร้อยละ 32 ตามลำดับ ด้วยในแปลงสำรวจเดียวกันมีไผ่มากกว่า 1 ชนิด จึงทำให้ผลรวมของค่าความถี่ในป่าชุมชนเดียวกันเกิน 100 ไปเป็น 196 (Table 1)

พื้นที่ป่าชุมชนบ้านหัวฝาย พบว่าไม้ไผ่ที่มีความสูงมากที่สุด ได้แก่ ไผ่ชางนวล มีความสูงเฉลี่ยต่อกอ เท่ากับ 20.01 เมตร ส่วนไม้ไผ่ที่พบมากที่สุด ได้แก่ ไผ่ชางนวล ไม้ไผ่ที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด 3 ชนิดแรก ได้แก่ ไผ่ชางนวล มีความหนาแน่นเท่ากับ 133 กอต่อเฮกเตอร์ รองลงมาคือ ไผ่ไร่ มีความหนาแน่นเท่ากับ 72 กอต่อเฮกเตอร์ และไผ่ไล่ล่อมีความหนาแน่นเท่ากับ 33 กอต่อเฮกเตอร์ ตามลำดับ ชนิดไม้ไผ่ที่พบความถี่สูงที่สุด 3 ชนิดแรก ได้แก่ ไผ่ชางนวล มีความถี่ของการพบเท่ากับร้อยละ 96 รองลงมาคือ ไผ่ไร่ มีความถี่ของการพบเท่ากับร้อยละ 52 และไผ่ไล่ล่อ มีความถี่ของการพบเท่ากับร้อยละ 36 ตามลำดับ ด้วยในแปลงสำรวจเดียวกันมีไผ่มากกว่า 1 ชนิด จึงทำให้ผลรวมของค่าความถี่ในป่าชุมชนเดียวกันเกิน 100 ไปเป็น 212 (Table 1)

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะเชิงปริมาณของไม้ไผ่ เช่น ความสูง ความหนาแน่น ความถี่ ที่แตกต่างกันในไม้ไผ่แต่ละชนิด และแต่ละป่าชุมชน ทั้งนี้ป่าชุมชนบ้านปาง มีการตั้งกฎระเบียบเพื่อการบริหารจัดการ โดยแบ่งเขต

พื้นที่ในการอนุญาตให้ใช้ประโยชน์เป็น 3 เขต และมีการหมุนเวียนการตัดไม้ไผ่ทุก ๆ 2 ปี ส่วนป่าชุมชนบ้านนาสารและบ้านหัวฝาย ไม่มีการบริหารจัดการลักษณะดังกล่าว ทางด้านลักษณะภูมิประเทศ ในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านปง และบ้านนาสาร มีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ส่วนพื้นที่ป่าชุมชนบ้านหัวฝาย ไม่มีอ่างเก็บน้ำ ซึ่งความชื้นอาจมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของไม้ไผ่ ประกอบกับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่แตกต่างกัน ในขณะเดียวกันการจัดการด้านการใช้ประโยชน์ไม้ไผ่ในป่าชุมชนบ้านปง

ไม่อนุญาตให้ชาวบ้านตัดไม้ เพื่อขายให้โรงงานตะเกียบ แต่อนุญาตให้มีการตัดไม้ไผ่ทำไม้ซี่ สำหรับทำรั้ว แคร่ไม้ไผ่ เตียงไม้ไผ่ ค้างผัก เป็นต้น เพื่อสร้างรายได้ให้แก่ครัวเรือน ส่วนป่าชุมชนบ้านนาสารและบ้านหัวฝาย มีการอนุญาตให้ชาวบ้านตัดไม้ไผ่ส่งขายให้โรงงานตะเกียบได้ตลอดทั้งปี ซึ่งรายได้จากการขออนุญาตตัดไม้ไผ่ในป่าชุมชนจะเข้าสู่กองทุนของหมู่บ้านเพื่อใช้ในการบริหารจัดการชุมชนต่อไป

Table 1 Species and structure compositions of bamboos in each community forests

Community forest	Species	Basal area (m ² /ha)	Average height clump of bamboo (m)	Density (Clump/ha)	Frequency (%)
Ban Pong	<i>Dendrocalamus</i>	0.45	20.61	106	88
	<i>membrannaceus</i>				
	<i>Gigantochloa</i>	0.03	16.37	12	24
	<i>nigrociliata</i>				
	<i>Bambusa tulda</i>	0.04	15.31	14	12
	<i>Gigantochloa albociliata</i>	0.01	13.16	11	16
	<i>Cephalostachyum</i>	0.01	21.03	7	12
	<i>pergracile</i>				
	Total	0.54	86.48	150	152
Bang Na San	<i>Dendrocalamus</i>	0.27	20.26	103	92
	<i>membrannaceus</i>				
	<i>Gigantochloa</i>	0.13	16.6	58	56
	<i>nigrociliata</i>				
	<i>Bambusa tulda</i>	0.07	9.3	49	32
	<i>Gigantochloa albociliata</i>	0.02	7.5	14	8
	<i>Cephalostachyum</i>	0.01	14.10	8	8
	<i>pergracile</i>				
	Total	0.49	67.76	232	196

Table 1 (Continued)

Community forest	Species	Basal area (m ² /ha)	Average height clump of bamboo (m)	Density (Clump/ha)	Frequency (%)
Ban Hua Fai	<i>Dendrocalamus membrannaceus</i>	0.42	20.01	133	96
	<i>Gigantochloa albociliata</i>	0.06	7.64	72	52
	<i>Gigantochloa nigrociliata</i>	0.08	11.62	33	36
	<i>Cephalostachyum pergracile</i>	0.08	9.85	57	28
	Total	0.63	49.12	295	212

เมื่อประเมินค่าความเด่นของชนิดไม้ไผ่ในพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านปางโดยใช้ค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) พบว่าชนิดที่มีความสำคัญสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ไผ่ชางนวล มีค่าดัชนีความสำคัญ เท่ากับร้อยละ 201.14 รองลงมา ได้แก่ ไผ่ไล่ล่อ มีค่าดัชนีความสำคัญ เท่ากับร้อยละ 42.27 และ ไผ่บงดำ มีค่าดัชนีความสำคัญ เท่ากับร้อยละ 21.87 ตามลำดับ ส่วนชนิดที่มีพบน้อยที่สุดในป่าชุมชนบ้านปาง คือ ไผ่ข้าวหลาม พบว่ามีค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) น้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 13.83 และมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของไม้ไผ่ เท่ากัน 1.00 (Table 2)

เมื่อประเมินค่าความเด่นของชนิดไม้ไผ่ในพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านนาสารโดยใช้ค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) พบว่า ชนิดที่มีความสำคัญสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ไผ่ชางนวล มีค่าดัชนีความสำคัญ เท่ากับร้อยละ 146.50 รองลงมา ได้แก่ ไผ่ไร่ล่อ มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับร้อยละ 77.71 และ ไผ่บงดำ มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับร้อยละ 54.89 ตามลำดับ ส่วนชนิดที่มีพบน้อยที่สุดในป่าชุมชนบ้านนาสาร คือ ไผ่ข้าวหลาม พบว่ามีค่าดัชนีความสำคัญ

(IVI) น้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 8.07 และมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของไม้ไผ่ เท่ากับ 1.32 (Table 2)

เมื่อประเมินค่าความเด่นของชนิดไม้ไผ่ในพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านหัวฝาย โดยใช้ค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) พบว่าชนิดที่มีความสำคัญสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ไผ่ชางนวล มีค่าดัชนีความสำคัญ เท่ากับร้อยละ 157.96 รองลงมา ได้แก่ ไผ่ไร่ มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับร้อยละ 61.88 และไผ่ไล่ล่อ มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับร้อยละ 41.25 ตามลำดับ ส่วนชนิดที่มีพบน้อยที่สุดในป่าชุมชนบ้านหัวฝาย คือ ไผ่ข้าวหลาม พบว่ามีค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) น้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 38.90 และมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของไม้ไผ่ เท่ากับ 1.27 (Table 2)

จากผลการศึกษาพบว่าไผ่ชางนวลมีค่าดัชนีความสำคัญสูงที่สุดในป่าชุมชนทั้ง 3 พื้นที่ ซึ่งไม้ไผ่ที่ขึ้นอยู่ในสังคมป่าเบญจพรรณ มีการแปรผันที่เด่น ชัดเจนในชนิดเดียวกัน มักออกดอกพร้อม ๆ กัน และตายเกือบทั้งป่าภายในเวลาสองถึงสามปี เมล็ดที่โรยไว้จะงอกขึ้นมาใหม่ ส่วนต้นเก่าตายลงและมักจะถูกกำจัดด้วยไฟป่า

ในช่วงนี้พื้นที่มีกโปรงกว่าปกติ ส่งผลให้เกิดการทดแทนของพรรณพืชหลายชนิดทำให้พื้นที่ป่ารกทึบขึ้นมาใหม่กล้าไผ่ต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่าสิบปีในการตั้งกอให้ใหญ่ได้ดั้งเดิม และใช้เวลาหลายสิบปีในการจะออกดอก ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดไม้ไผ่ และเมื่อไผ่สามารถเข้ายึดครองพื้นที่ ไม้ต้นที่

ขึ้นอยู่ในป่าไผ่จะมีความหนาแน่นต่ำลง ส่วนหนึ่งอาจเกิดจากผลกระทบของการเจริญเติบโต ภายใต้ร่มเงาหนาทึบของกอไผ่ ที่คอยยับยั้งการเจริญเติบโตของกล้าไม้และไม้วัยรุ่น จึงทำให้แนวโน้มของเรือนยอดป่าเป็นรูปแบบที่ไม่ต่อเนื่อง หรือเรือนยอดเปิดมากขึ้น (Marod *et al.*, 2005)

Table 2 Characteristics of bamboo community structure in community forests

Community forest	Species	D (m ² /ha)	F (%)	Do (m ² /ha)	RD (%)	RDo (%)	RF (%)	IVI (%)
Ban Pong	<i>Dendrocalamus membranaceus</i>	106	88	112.15	70.67	72.58	57.89	201.14
	<i>Gigantochloa nigrociliata</i>	12	24	28.56	8	18.48	15.79	42.27
	<i>Bambusa tulda</i>	14	12	7.18	9.33	4.64	7.89	21.87
	<i>Gigantochloa albociliata</i>	11	16	4.67	7.33	3.02	10.53	20.88
	<i>Cephalostachyum pergracile</i>	7	12	1.96	4.67	1.27	7.89	13.83
	Total	150	152	154.52	100	100	100	300
	Ban Na San	<i>Dendrocalamus membranaceus</i>	103	92	127.59	44.40	55.16	46.94
<i>Gigantochloa nigrociliata</i>		58	56	55.82	25.00	24.13	28.57	77.71
<i>Bambusa tulda</i>		49	32	40.35	21.12	17.44	16.33	54.89
<i>Gigantochloa albociliata</i>		14	8	6.28	6.03	2.72	4.08	12.83
<i>Cephalostachyum pergracile</i>		8	8	1.26	3.45	0.54	4.08	8.07
Total		232	196	231.30	100	100	100	300

Table 2 (Continued)

Community forest	Species	D (m ² /ha)	F (%)	Do (m ² /ha)	RD (%)	RDo (%)	RF (%)	IVI (%)
Ban Hua Fai	<i>Dendrocalamus membranaceus</i>	133	96	155.93	45.08	67.60	45.28	157.96
	<i>Gigantochloa albociliata</i>	72	52	29.87	24.41	12.95	24.53	61.88
	<i>Gigantochloa nigrociliata</i>	33	36	30.19	11.19	13.09	16.98	41.25
	<i>Cephalostachyum pergracile</i>	57	28	14.69	19.32	6.37	13.21	38.90
	Total		295	212	230.67	100	100	100

D=Density, F=Frequency, Do=Dominance, RD=Relative Density, RDo= Relative Dominance

RF=Relative Frequency, IVI=Importance Value Index

อัตราการเพิ่มพูนของไม้ไผ่ในป่าชุมชน

ไผ่ชางนวล ในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านปง มีจำนวนของลำไม้ไผ่มากที่สุด เท่ากับ 2,519 ลำ รองลงมา บ้านหัวฝาย จำนวน 2,180 ลำ และบ้านนาสาร จำนวน 1,813 ลำ ตามลำดับ ส่วนลำที่มีการถูกตัด พบว่าในป่าชุมชนบ้านปง ถูกตัดมากที่สุด จำนวน 1,761 ลำ รองลงมา บ้านหัวฝาย จำนวน 1,572 ลำ และบ้านนาสาร จำนวน 1,572 ลำ ตามลำดับ ส่วนอัตราการเพิ่มพูนของไม้ไผ่ชางนวลในป่าชุมชนบ้านปง มากที่สุด 758 ลำ/ปี รองลงมาบ้านหัวฝาย จำนวน 608 ลำ/ปี และบ้านนาสาร จำนวน 368 ลำ/ปี ตามลำดับ (Table 3)

ไผ่ไล่ล่อ ในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านนาสาร มีจำนวนของลำไม้ไผ่มากที่สุด เท่ากับ 1,172 ลำ รองลงมา ป่าชุมชนบ้านหัวฝาย จำนวน 508 ลำ และป่าชุมชนบ้านปง จำนวน 174 ลำ ตามลำดับ ส่วนลำที่มีการถูกตัด พบว่าในป่าชุมชนบ้านนาสาร มากที่สุด จำนวน 930 ลำ รองลงมาป่าชุมชนบ้านหัวฝาย จำนวน 434 ลำ และป่า

ชุมชนบ้านปง จำนวน 132 ลำ ส่วนอัตราการเพิ่มพูนของไม้ไผ่ไล่ล่อ ในป่าชุมชนบ้านนาสาร มากที่สุด 242 ลำ/ปี รองลงมา ป่าชุมชนบ้านหัวฝาย จำนวน 74 ลำ/ปี และป่าชุมชนบ้านปง จำนวน 42 ลำ/ปี ตามลำดับ (Table 3)

ไผ่ไร่ ในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านหัวฝาย มีจำนวนลำไม้ไผ่มากที่สุด เท่ากับ 1,177 ลำ รองลงมาป่าชุมชนบ้านนาสาร จำนวน 325 ลำ และป่าชุมชนบ้านปง จำนวน 244 ลำ ตามลำดับ ส่วนลำที่มีการถูกตัด พบว่าในป่าชุมชนบ้านหัวฝายมากที่สุด จำนวน 673 ลำ รองลงมา จำนวน 241 ลำ และป่าชุมชนบ้านปง จำนวน 145 ลำ ตามลำดับ ส่วนอัตราการเพิ่มพูนของไม้ไผ่ไร่ ในป่าชุมชนบ้านหัวฝาย มากที่สุด จำนวน 504 ลำ/ปี รองลงมาป่าชุมชนบ้านปง จำนวน 99 ลำ/ปี และป่าชุมชนบ้านนาสาร จำนวน 84 ลำ/ปี ตามลำดับ (Table 3)

ไผ่ข้าวหลาม ในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านหัวฝายมากที่สุด จำนวน 609 ลำ รองลงมาป่าชุมชนบ้านปง จำนวน 123 ลำ และป่าชุมชนบ้านนาสาร จำนวน 100 ลำ

ตามลำดับ ส่วนลำที่มีการถูกตัด พบว่าในป่าชุมชนบ้านหัวฝาย มากที่สุด จำนวน 420 ลำ รองลงมาป่าชุมชนบ้านปง จำนวน 113 ลำ และป่าชุมชนบ้านนาสาร จำนวน 78 ลำ ตามลำดับ ส่วนอัตราการเพิ่มพูนของไม้ไผ่ข้าว

หลาม ในป่าชุมชนบ้านหัวฝาย มากที่สุด จำนวน 189 ลำ/ปี รองลงมาป่าชุมชนบ้านนาสาร จำนวน 22 ลำ/ปี และป่าชุมชนปง จำนวน 10 ลำ/ปี ตามลำดับ (Table 3)

Table 3 Increment rate of bamboo

Species	Bamboo culm mixed with bamboo shoot			Bamboo culm mixed with bamboo stump			Increment Rate		
	Ban Pong	Ban Na San	Ban Hua Fai	Ban Pong	Ban Na San	Ban Hua Fai	Ban Pong	Ban Na San	Ban Hua Fai
<i>Dendrocalamus membranaceus</i>	2,519	1,813	2,180	1,761	1,445	1,572	758	368	608
<i>Gigantochloa nigrociliata</i>	174	1,172	508	132	930	434	42	242	74
<i>Gigantochloa albociliata</i>	244	325	1,177	145	241	673	99	84	504
<i>Cephalostachyum pergracile</i>	123	100	609	113	78	420	10	22	189
<i>Bambusa tulda</i>	316	1,172	-	261	930	-	55	152	-

วิจารณ์ผลการวิจัย

ไม้ไผ่ที่พบในพื้นที่ป่าชุมชนอำเภอคลอง จังหวัดแพร่ จำนวน 5 ชนิด 4 สกุล 1 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเชิงปริมาณขององค์ประกอบชนิดพันธุ์ไม้ไผ่ ทั้ง 3 แห่ง พบว่าในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านปง และป่าชุมชนบ้านนาสาร มีจำนวนชนิดไม้ไผ่ 5 ชนิดเท่ากัน ส่วนในพื้นที่ป่าหัวฝาย มีจำนวนชนิดไม้ไผ่ 4 ชนิด ดัชนีความหลากหลายชนิด (H') ป่าชุมชนบ้านนาสาร มากที่สุด เท่ากับ 1.32 รองลงมา ป่าชุมชนบ้านหัวฝาย เท่ากับ 1.27 และป่าชุมชนบ้านปง เท่ากับ 1.00 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ของค่าดัชนีความหลากหลายชนิดแล้ว ถือได้ว่าอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากปัจจัยด้านสภาพภูมิประเทศ ลักษณะดิน และการใช้ประโยชน์ของชาวบ้านในแต่ละชุมชนส่งต่อความ

หลากหลายและการกระจายของชนิดไม้ไผ่ค่อนข้างสูง ซึ่งลักษณะภูมิประเทศของไม้ไผ่แต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับที่มีอุณหภูมิต่างกัน ชนิดไม้ไผ่ที่มีลำใหญ่จะมีจำนวนขึ้นปะปนกับไม้ใหญ่ ส่วนชนิดไม้ไผ่ลำเล็กอาจขึ้นกลางแจ้งได้ดี การกระจายของไม้ไผ่ชนิดต่าง ๆ จึงมักถูกจำกัดโดยความชื้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพความชื้นในดินและในอากาศไม้ไผ่บางชนิดจะเจริญเติบโตได้ดีในท้องที่ที่มีความชื้นอยู่เสมอเหมาะสมตามบริเวณลำธารลำน้ำ ขนาดพื้นที่หน้าตัดรวมของไม้ไผ่ ในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านนาสาร เท่ากับ 231.30 ตารางเมตร/เฮกแตร์ รองลงมาป่าชุมชนบ้านหัวฝาย เท่ากับ 230.67 ตารางเมตร/เฮกแตร์ และป่าชุมชนบ้านปง เท่ากับ 154.52 ตารางเมตร/เฮกแตร์ ตามลำดับ ส่วนผลรวมด้านความถี่ของไม้ไผ่ พบว่าในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านหัวฝาย มากที่สุด

เท่ากับร้อยละ 212 รองลงมาในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านนาสาร เท่ากับร้อยละ 196 และป่าชุมชนบ้านปาง เท่ากับร้อยละ 152 ตามลำดับ ด้วยในแปลงสำรวจเดียวกันมีไม้มากกว่า 1 ชนิด จึงทำให้ผลรวมของค่าความถี่ในป่าชุมชนเดียวกันเกิน 100 สอดคล้องกับป่าชุมชนบ้านห้วยแม่หิน จังหวัดลำปาง (Asanok *et al.*, 2015) พบไม้ไฟจำนวน 4 ชนิด ซึ่งการเจริญเติบโตของชนิดไม้ไฟจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศและสภาพอากาศของแต่ละภูมิภาค เช่น ไม้ชางนวล มักพบขึ้นอยู่ในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิประเทศเป็นแบบราบและเนินเขา มีสภาพอากาศเป็นแบบร้อนชื้น เมื่อปริมาณความเด่นของชนิดไม้ไฟในพื้นที่โดยใช้ค่าดัชนีความสำคัญ พบว่าไม้ชางนวลมีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุด แสดงให้เห็นว่าไม้ไฟเป็นพืชที่โตเร็วสามารถปรับตัวได้ดีในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ และมีความสามารถในการกระจายพันธุ์สูง จึงสามารถเป็นพืชเบิกนำที่สามารถบุกกรุกและครอบครองพื้นที่ว่างเปล่าได้อย่างรวดเร็ว (Congalton and Green, 2019) เมื่อไม้ไฟออกดอกหรือตายชุก เมล็ดไม้ไฟจะกระจายไปทั่วบริเวณรอบ ๆ ทำให้บริเวณนั้นมีกล้าไฟขึ้นอย่างหนาแน่น ซึ่งต้องใช้เวลามากกว่าปีกว่าไม้ไฟจะเจริญเติบโตได้เต็มที่ (Marchesini *et al.*, 2009) และการกระจายของชนิดไม้ไฟมีผลต่อการเข้าถึงหรือการใช้ประโยชน์ ในขณะที่จำนวนลำในแต่ละกอส่งผลถึงการพิจารณาเลือกจำนวนลำที่จะนำมาใช้ประโยชน์ ส่วนความหนาแน่นของกอก็แสดงให้เห็นถึงความชุกชุมของไฟชนิดนั้น ๆ ในพื้นที่

จากผลการศึกษาพบว่า ส่วนมากอัตราการเพิ่มพูนของลำไม้ไฟทุกชนิด จะมีจำนวนน้อยกว่าการตัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการใช้ประโยชน์ของไม้ไฟเป็นปริมาณมากในชุมชน ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้ไม้ไฟในปีถัดไป สำหรับอัตราการเพิ่มพูนของไม้ไฟในป่าชุมชน พบว่าไม้ชางนวลในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านปาง มีจำนวนของลำไม้ไฟมากที่สุด เท่ากับ 2,519 ลำ รองลงมาคือ ป่าชุมชนบ้านห้วยฝาย จำนวน 2,180 ลำ และป่าชุมชนบ้านนาสาร จำนวน 1,813 ลำ ตามลำดับ สะท้อนให้เห็นถึงการบริหารจัดการป่าชุมชนที่แตกต่างกัน เนื่องจากป่าชุมชนบ้านปางมี

การตั้งกฎระเบียบในการตัดไม้ไฟ โดยแบ่งโซนในการตัดไม้ไฟเป็น 3 โซน และเว้นระยะการตัดของแต่ละโซน 3 ปี ต่างจากป่าชุมชนบ้านห้วยฝายและบ้านนาสาร ที่ไม่มีการตั้งกฎระเบียบการตัดไม้ไฟแบ่งโซน นอกจากนี้การใช้ประโยชน์จากไม้ไฟ โดยเฉพาะไม้ชางนวลที่มีการใช้ประโยชน์มากที่สุด ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณของไม้ไฟที่สามารถตัดได้ในปีถัดไป ดังจะเห็นได้จากผลการศึกษาที่พบว่าส่วนมากอัตราการเพิ่มพูนของลำไม้ไฟทุกชนิด จะมีจำนวนน้อยกว่าการตัด ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเข้าไปใช้ประโยชน์จากไฟในพื้นที่ทุกปี ได้แก่ การเก็บหน่อ การตัดลำเพื่อนำไปใช้ในครัวเรือน หรือแม้แต่การตัดไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนั้นป่าชุมชนแต่ละแห่ง จึงควรให้มีการถ่ายทอดความรู้ในเรื่องการเลือกตัดลำไม้ไฟให้ถูกต้อง เช่น ควรตัดในลักษณะของรูปเกือกม้า ซึ่งเป็นการตัดจากภายในกอออกมาเพื่อเป็นการเปิดพื้นที่ให้หน่อใหม่เกิดขึ้นได้ดีในปีถัดไป และควรเลือกตัดลำไม้ไฟที่มีอายุอย่างน้อย 2-3 ปี ขึ้นไป ไม่ควรตัดลำไม้ไฟที่มีอายุน้อย 1-2 ปี เนื่องจากลำไม้ไฟช่วงอายุ 2-3 ปีนั้น ไม้ไฟจะมีลักษณะที่เริ่มแก่ลำใหญ่ เหมาะกับการนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด นอกจากนี้ ถ้าเป็นไปได้ควรตัดลำไม้ไฟให้ชิดดินหรือต่ำมากที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงการขาดแคลนไฟในอนาคต แต่ในทางปฏิบัติพบว่า การตัดลำไม้ไฟมาใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน มักจะตัดเหลือต่อไว้สูงมาก 1-2 เมตร ทำให้สูญเสียเนื้อไม้ไปไม่คุ้มค่า และควรนำต่อส่วนที่เหลือไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น การประดิษฐ์เป็นงานฝีมือ หรือถวัลย์ใส่กาแพ หรือทำเป็นแก้วนํ้าดื่ม เพื่อช่วยลดการใช้แก๊วพลาสติกได้อีกทางหนึ่ง

แม้ว่าจากการศึกษาในป่าชุมชนแต่ละแห่งจะมีความหลากหลายของชนิดไม้ไฟอยู่ 4-5 ชนิด แต่ส่วนมากมีการใช้ประโยชน์จากไม้ชางนวลเพียงชนิดเดียวในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นจึงควรมีการบริหารจัดการในการตัดไม้ไฟให้เกิดความยั่งยืน ได้แก่ การกำหนดจำนวนผู้เข้าตัดไม้ไฟ การกำหนดขอบเขตในการตัด และเว้นระยะในการตัดครั้งต่อไป อย่างน้อย 3 ปี เป็นต้น เพื่อให้ต้นไฟได้เจริญเติบโตฟื้นฟู และมีความเพิ่มพูนมากขึ้น ส่งผลให้ชุมชนได้ใช้

ประโยชน์อย่างยั่งยืน นอกจากนี้ยังควรมีการปลูกไม้ทดแทน เพื่อไม่ให้ไฟในพื้นที่ขาดแคลน ฉะนั้นทุกหน่วยงานจึงควรร่วมมือ ประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนช่วยกันส่งเสริมการปลูกไม้ จะได้ช่วยกันอนุรักษ์ทรัพยากรให้คงอยู่ เพื่อตอบสนองความต้องการของประชาชนทั้งในปัจจุบันและอนาคตต่อไป

สรุปผลการวิจัย

ความหลากหลายชนิดของไม้ไฟในป่าชุมชนจังหวัดแพร่ พบไม้ไฟในพื้นที่ทั้งหมด 5 ชนิด 4 สกุล โดยในป่าชุมชนบ้านปาง มี 5 ชนิด บ้านนาสาร มี 5 ชนิด และบ้านหัวฝาย มี 4 ชนิด ค่าดัชนีความหลากหลายชนิด (H') ของไม้ไฟในพื้นที่บ้านปาง เท่ากับ 1.00 บ้านนาสาร เท่ากับ 1.32 และบ้านหัวฝาย เท่ากับ 1.27 ซึ่งถือว่ามีความหลากหลายชนิดอยู่ในระดับต่ำมาก ส่วนอัตราการเพิ่มพูนของไม้ไฟชางนวล ในป่าชุมชนบ้านปาง มีมากที่สุด 758 ลำ/ปี รองลงมาได้แก่ ป่าชุมชนบ้านหัวฝาย จำนวน 608 ลำ/ปี และป่าชุมชนบ้านนาสาร จำนวน 368 ลำ/ปี ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้นำชุมชนคณะกรรมการป่าชุมชนบ้านปาง บ้านนาสาร และบ้านหัวฝาย อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ที่ร่วมเก็บข้อมูลการวิจัย สำนักงานป่าชุมชนจังหวัดแพร่ ผู้อนุเคราะห์ข้อมูล และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ผู้สนับสนุนงบประมาณการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Asanok, L., N. Papukjan, J. Punsata and S. Maiman. 2015. The preliminary study on stocking and utilization of bamboo in mixed deciduous forest with bamboo after disturbance at Huai Mae Hin community forest, Ngao district Lumpang province. **Thailand Forest Ecological Journal** 4: 175-181.
- Bulunpruek, W. 2000. **Implementation of the Community Forest Establishment Project of Ban Mae Han, Mae Hong Son Province.** Chiang Mai: Maejo University. 100 p. [in Thai]
- Congalton, R.G. and K. Green. 2019. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices.** Florida: CRC press. 348 p.
- Limchuwong, S. 1997. **Preparation of Government Officials.** Speech in Training, 18-22 March 1997 at Wiang Inn Hotel, Chiang Rai Province. Chiang Rai: Forest Resource Management Office No.2. [in Thai]
- Marchesini, V.A., O.E. Sala and A.T. Austin. 2009. Ecological consequences of a massive flowering event of bamboo (*Chusquea culeou*) in a temperate forest of Patagonia, Argentina. **Journal of Vegetation Science** 20(3): 424-432.

Marod, D., V. Neumrat, S. Panuthai, T. Hiroshi and P. Sahunalu. 2005. The Dynamics of Mixed Deciduous Forest after Agregarious Flowering of Bamboo (*Cephalostachyum pergracile*) at Mae Klong Watershed Resaearch Station, Kanchanaburi. **Agriculture and Natural Resources** 39(4): 588-593.

Sangkaew, S., A. Teerawatananon and K. Jindawong. 2011. **Bamboo of Thailand**. Bangkok: Company Amarin Printing and Publishing Public Company Limited. 263 p. [in Thai]

Shannon, C.E. and W. Wiener. 1949. **The Mathematical Theory of Communication**. Urbana: Illinois Press-University. 131 p.

การจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวไทยด้วยลำดับนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างของยีนซึ่งเกี่ยวข้องกับความทนแล้ง
Classification of Thai Rice Varieties using DNA Variation
in Drought Tolerance-Related Genes

กนกวรรณ จันท์เพ็ญ ช่อทิพา สกกุลสิงหาโรจน์ ยूपเยาว์ คบพิมาย และแสงทอง พงษ์เจริญกิต*

Kanokwan Janphen, Chotipa Sakulsingharoj, Yuppayao Kophimai
and Saengtong Pongjaroenkit*

สาขาวิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Program of Genetics, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand, 50290

*Corresponding author: saengtong@mju.ac.th

Received: September 27, 2023

Revised: February 29, 2024

Accepted: March 22, 2024

Abstract

The study aimed to classify Thai rice varieties together with drought tolerant rice varieties previously reported in the 3,000 Rice Genomes Project by using variation within nucleotide sequences of drought tolerance-related genes. The comparison results of four drought tolerant genes which were soil surface rooting 1 (*OsSor1*), deeper rooting 1 (*OsDro1*), NAC domain-containing protein 5 (*OsNAC5*) and NAC domain-containing protein 6 (*OsNAC6*) genes from twenty-three rice varieties revealed 147 nucleotide sequence variations. Then, these rice varieties were classified into 2 major groups. Group I consists of 12 varieties which were Indica and Japonica rice. This group revealed the association with rice ecosystem, root characteristics and drought tolerance. Group II comprises 11 rice varieties, including landrace, upland, and lowland rice. However, there is no clear association with rice ecosystems for this group. Moreover, Jow Haw and Khao Pong Krai varieties were in the same group with deep roots and drought tolerant upland rice which will be used for the development of the drought tolerant DNA markers in rice breeding program.

Keywords: Thai rice varieties, classification, nucleotide sequence variation, drought tolerance-related genes, root

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวไทย ร่วมกับพันธุ์ข้าวที่มีรายงานความทนแล้งจากโครงการ 3,000 Rice Genomes Project ด้วยการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างของยีนซึ่งเกี่ยวข้องกับความทนแล้งจำนวน 4 ยีน ได้แก่ ยีน Soil surface rooting 1 (*OsSor1*) ยีน Deeper rooting 1 (*OsDro1*) ยีน NAC domain-containing protein 5 (*OsNAC5*) และยีน NAC domain-containing protein 6 (*OsNAC6*) ผลการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนทั้ง 4 ยีน จากข้าว 23 พันธุ์ พบลำดับนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างจำนวน 147 ตำแหน่ง เมื่อนำมาจัดกลุ่มข้าวแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่ม I จำนวน 12 พันธุ์ เป็นกลุ่มอินดิกาและจาโปนิกา ที่การจัดกลุ่มสัมพันธ์กับระบบนิเวศการปลูก ลักษณะรากและความทนแล้ง กลุ่ม II จำนวน 11 พันธุ์ เป็นข้าวอินดิกาที่เป็นพันธุ์พื้นเมืองข้าวไร่ และข้าวนาสวน ซึ่งไม่พบสัมพันธ์กับระบบนิเวศการปลูกอย่างชัดเจน นอกจากนี้ข้าวไทยพันธุ์เจ้าหอและขาวโป่งไคร้ อยู่กลุ่มเดียวกับข้าวไร่ที่มีลักษณะรากลึกทนแล้ง ซึ่งสามารถคัดเลือกไปใช้ในการพัฒนาเครื่องหมายดีเอ็นเอที่สัมพันธ์กับความทนแล้งต่อไป

คำสำคัญ: ข้าวไทย การจัดกลุ่ม ความแตกต่างของลำดับนิวคลีโอไทด์ ยีนที่เกี่ยวข้องกับความทนแล้ง ราก

คำนำ

ภัยแล้งเป็นปัญหาที่สำคัญ หากต้นข้าวขาดน้ำในระยะตั้งท้องจะทำให้ขนาดและจำนวนเมล็ดลดลง ส่งผลให้ผลผลิตลดลง ซึ่งลักษณะทางสัณฐานวิทยา เช่น ลักษณะของราก ใบ จำนวนต้นต่อกอ ความสูงต้น หรือลักษณะทางสรีรวิทยา เช่น การสังเคราะห์แสง รวมไปถึงการสะสมของสารชีวมวล จะลดลงในสภาวะแล้ง (Arun

et al., 2023) โดยลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่มีการศึกษาอย่างแพร่หลายกับความทนแล้ง คือ ลักษณะระบบราก เนื่องจากเป็นระบบที่สำคัญในการหาน้ำและอาหารของพืช (Kim *et al.*, 2020)

การค้นหายีนที่สัมพันธ์กับความทนแล้งและระบบรากของข้าว พบยีน Deeper rooting 1 (*OsDro1*) เป็นยีนควบคุมระบบรากลึก ในสภาวะแล้งยีน *OsDro1* จะมีการกระตุ้นให้รากยาวขึ้น สามารถเข้าถึงน้ำจากชั้นดินที่ลึกขึ้น จึงอยู่รอดในสภาวะแล้งได้ (Kumari *et al.*, 2021; Yusaku *et al.*, 2013) ยีน Soil surface rooting 1 (*OsSor1*) เป็นรหัสของโปรตีนในกลุ่ม LAZY2 ควบคุมระบบรากต้นหรือระบบรากที่ผิวดินเพื่อรักษาสมดุลต่อแรงโน้มถ่วง ซึ่งจะดูดสารอาหารจากดินชั้นบนเป็นหลัก (Eiko *et al.*, 2013) นอกจากนี้ยังมีรายงานโปรตีนควบคุมการถอดรหัส (Transcription factors; TFs) ที่เกี่ยวข้องกับความทนแล้ง พบยีนในกลุ่ม NAC (NAM, ATAF and CUC) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต การพัฒนา และการตอบสนองต่อความเครียดของพืช (Xi *et al.*, 2019) ในสภาวะแล้งยีน NAC domain-containing protein 5 (*OsNAC5*) จะกระตุ้นการทำงานของยีน Cinnamoyl-CoA reductase 10 (*OsCCR10*) ทำให้สะสมลิกนินเพิ่มขึ้น จึงทนต่อสภาวะแล้ง (Woon *et al.*, 2022) และยีน NAC domain-containing protein 6 (*OsNAC6*) ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน พบว่าตอบสนองต่อความเย็น เกลือ ความแล้ง และกรดแอบไซซิก โดยยีน *OsNAC6* จะมีความไวต่อการกระตุ้นมากกว่ายีนอื่น ๆ ในกลุ่มเดียวกัน (Takayuki *et al.*, 2005)

พันธุ์ข้าวที่มีระบบรากแบบรากตื้น (Shallow rooting) จะมีความไวต่อสภาวะแล้งมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ข้าวที่มีระบบรากแบบรากลึก (Deep rooting) เนื่องจากระบบรากลึกจะสามารถเข้าถึงน้ำจากชั้นดินที่ลึกกว่า (Arun *et al.*, 2023) นอกจากนี้ยังพบว่า พันธุ์ข้าวในที่สูงหรือข้าวไร่ (Upland) ซึ่งเจริญเติบโตในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำจำกัดจะมีคุณสมบัติทนแล้ง เนื่องจากระบบรากเป็นรากลึกเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวนาสวน (Lowland)

ที่มีความต้องการน้ำมาก (Myint *et al.*, 2022) จึงมีการใช้ข้าวไร่หรือพันธุ์ที่มีระบบรากลึกเป็นตัวแทนในการศึกษาความทนแล้ง เช่น การสร้างแผนที่ยีน *OsDro1* จากประชากร BC₂F₃ ที่ได้จากการผสมระหว่างข้าวพันธุ์ IR64 ซึ่งเป็นข้าวนาสวนที่มีลักษณะรากตื้น (Farhan *et al.*, 2022; Yusaku *et al.*, 2011) กับข้าวพันธุ์ Kinandang Patong เป็นข้าวอินดิกา ที่เป็นข้าวไร่มีลักษณะรากลึกพบว่ายีน *OsDro1* ตั้งอยู่บนโครโมโซมที่ 9 (Yusaku *et al.*, 2011)

นอกจากนี้ผลการศึกษากายภาพแสดงออกของยีนในสถานะแล้งระหว่างข้าวไร่พันธุ์ Handao297, Haogelao และ IRAT109 ที่มีความทนแล้ง กับข้าวนาสวนพันธุ์ Zhongzuo93, Yuefu และ Nipponbare ที่มีความไวต่อความแล้ง ด้วยเทคนิค cDNA-AFLP พบว่า 90% ของยีนที่แสดงในข้าวทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน มี 8% ที่แสดงออกเมื่อกระตุ้นด้วยสถานะแล้ง และมี 1% ที่แสดงออกแตกต่างกันระหว่างข้าวไร่กับข้าวนาสวน ส่วนใหญ่เป็นยีนในกลุ่มโปรตีนทนร้อน (Heat-shock protein) (FengHua *et al.*, 2009) สำหรับข้าวไทยมีรายงานการจัดกลุ่มด้วยการวิเคราะห์ Principal Component Analysis (PCA) ของลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการจัดกลุ่มด้วยลายพิมพ์ ดีเอ็นเอจากเครื่องหมาย Simple Sequence Repeat (SSR) ของข้าวจำนวน 6 พันธุ์ แบ่งกลุ่มพันธุ์ข้าวได้ 4 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือ พันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวนาสวน กลุ่มที่ 2 คือ พันธุ์ดอกมะขาม กลุ่มที่ 3 คือ พันธุ์กู่เมืองหลวง โดยทั้งสองกลุ่มเป็นข้าวพื้นเมือง และกลุ่มที่ 4 คือ พันธุ์เจ้าฮ่อ น้ำรู่ และชาวโป่งไคร้ เป็นข้าวไร่ (Janphen *et al.*, 2023)

ปัจจุบันการจัดกลุ่มข้าวไทยทนแล้งเป็นการจัดกลุ่มด้วยผลกระทบของการขาดน้ำต่อการเจริญเติบโตหรือการให้ผลผลิต และยังไม่มียีนข้อมูลยีนที่เกี่ยวข้องกับความทนแล้ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดกลุ่มข้าวไทยด้วยการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างของยีน *OsDro1*, *OsSor1*, *OsNAC5* และ *OsNAC6* ที่มีรายงานว่าเกี่ยวข้องกับความทนแล้ง ร่วมกับพันธุ์ข้าวที่มีรายงาน

ความทนแล้งจากฐานข้อมูล ซึ่งผลการจัดกลุ่มข้าวจะเป็นส่วนหนึ่งของการคัดเลือกพันธุ์ข้าวทนแล้งในการพัฒนาเครื่องหมายดีเอ็นเอที่สัมพันธ์กับความทนแล้งต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พันธุ์ข้าวและการสกัดจีโนมิกดีเอ็นเอ

พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการวิเคราะห์ลำดับเบสของจีโนมจำนวน 13 พันธุ์ (Table 1) เป็นข้าวนาสวน 7 พันธุ์ ได้แก่ ปทุมธานี 1 (Pathum Thani 1) กข-แม่โจ้ 2 (RD-Maejo 2) กข43 (RD43) มะลิดำ (Mali Dam) เจ้าเหลือง (Jow Leuang) ชีตมแดง (Khe Tom Daeng) และไรซ์เบอร์รี่ (Riceberry) ข้าวพื้นเมือง (landrace) 3 พันธุ์ ได้แก่ ดอกมะขาม (Dok Ma Kham) กำน้อย (Kum Noi) และกำใหญ่ (Kum Yai) และข้าวไร่ 3 พันธุ์ ได้แก่ กู่เมืองหลวง (Goo Meuang Luang) เจ้าฮ่อ (Jow Haw) และชาวโป่งไคร้ (Khao Pong Krai) เพาะเมล็ดนาน 2 สัปดาห์ จากนั้นนำไปอ่อนมาสกัดจีโนมิกดีเอ็นเอด้วยวิธี mCTAB (Li *et al.*, 2013) ละลายตะกอนดีเอ็นเอด้วยสารละลาย 10 mM Tris-HCl, pH 8.0 เก็บดีเอ็นเอที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์ผลการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของจีโนม

ตัวอย่างจีโนมิกดีเอ็นเอที่สกัดได้จะอ่านลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยเทคนิค Whole Genome Sequencing (WGS) (NovogeneAIT, China) แบบ Resequencing โดยผลการอ่านและวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์จะรายงานเป็นตำแหน่งของการเปลี่ยนแปลงลำดับนิวคลีโอไทด์ชนิด Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs) หรือ Insertion-deletion variations (InDels) ของข้าว 13 พันธุ์ บนโครโมโซมทั้ง 12 แห่ง ซึ่งเลือกลำดับนิวคลีโอไทด์จากข้าวพันธุ์ Nipponbare (*O. sativa* L. ssp japonica) เป็นจีโนมอ้างอิง (Reference genome) เพื่อระบุตำแหน่งและผลกระทบของลำดับนิวคลีโอไทด์ที่เปลี่ยนแปลงไป

การค้นหายีนที่สนใจและลำดับนิวคลีโอไทด์จากข้าว ในฐานข้อมูล

ยีนที่สนใจ คือ *OsSor1*, *OsDro1*, *OsNAC5* และ *OsNAC6* เริ่มจากค้นหาตำแหน่งที่ตั้งของยีนบนโครโมโซมจากฐานข้อมูล The Rice Annotation Project (RAP) (Hiroaki *et al.*, 2013) นำตำแหน่งที่ได้มาค้นหาบริเวณยีนจากผลการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยเทคนิค WGS ของข้าว 13 พันธุ์

นอกจากนี้ยังค้นหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนที่สนใจจากข้าวพันธุ์อื่น ๆ จากฐานข้อมูล Rice SNP-

Seek Database (Locedie *et al.*, 2017) ที่เป็นผลการศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ของข้าวจากโครงการ 3,000 Rice Genomes Project โดยเป็นข้าวอินดิกา 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Kinandang Patong พันธุ์ IR64 รายงานเป็น IR64-HL กับ IR64A และพันธุ์ Chenghui727 และข้าวจาโปนิกา 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Yuefu, Nipponbare, Haogelao และ IRAT109 และเลือกข้าวไทยที่มีรายงานในฐานข้อมูลจำนวน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105) และน้ำรู่ (Nam Roo) รวมทั้งสิ้น 10 พันธุ์ (Table 1)

Table 1 Characteristics of rice accession used in this study include their ecologies, root character and response to drought stress

No.	Rice accessions	Ecologies / Root character / Response to drought stress	Reference
Whole genome sequencing			
<i>Indica</i>			
1	PATHUM THANI 1	Lowland	Sriprapai <i>et al.</i> (2012)
2	RD-MAEJO 2	Lowland	
3	RD43	Lowland	
4	MALI DAM	Lowland	
5	JOW LEUANG	Lowland	
6	RICEBERRY	Lowland	
7	KHE TOM DAENG	Lowland	
8	DOK MA KHAM	Landrace	
9	KUM NOI	Landrace	
10	KUM YAI	Landrace	
11	GOO MEUANG LUANG	Upland, Drought tolerant	Sriprapai <i>et al.</i> (2012)
<i>Japonica</i>			
12	JOW HAW	Upland	Sriprapai <i>et al.</i> (2012)
13	KHAO PONG KRAI	Upland	

Table 1 (Continued)

No.	Rice accessions	Ecologies / Root character / Response to drought stress	Reference
Rice SNP-Seek Database			
<i>Indica</i>			
14	KINANDANG PATONG	Upland, Deep root	Yusaku <i>et al.</i> (2011)
15	IR64-IL	Lowland, Shallow root, Drought sensitive	Yusaku <i>et al.</i> (2011); Farhan <i>et al.</i> (2022)
16	IR64A	Lowland, Shallow root, Drought sensitive	Farhan <i>et al.</i> (2022)
17	CHENGHUI 727	Shallow root	Farhan <i>et al.</i> (2022)
18	KHAO DAWK MALI 105	Lowland, Shallow root, Drought tolerant	Sriprapai <i>et al.</i> (2012)
<i>Japonica</i>			
19	YUEFU	Lowland, Drought sensitive	FengHua <i>et al.</i> (2009)
20	NIPPONBARE	Lowland, Drought sensitive	FengHua <i>et al.</i> (2009)
21	HAOGELAO	Upland, Drought tolerant	FengHua <i>et al.</i> (2009)
22	IRAT109	Upland, Drought tolerant	FengHua <i>et al.</i> (2009)
23	NAM ROO	Upland	Sriprapai <i>et al.</i> (2012)

การจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวด้วยข้อมูล SNPs และ InDels ของยีนที่สนใจ

นำลำดับนิวคลีโอไทด์ที่เปลี่ยนแปลงของแต่ละยีนจากข้าว 23 พันธุ์ ที่ได้จากการวิเคราะห์ WGS จำนวน 13 พันธุ์ และจากฐานข้อมูล Rice SNP-Seek จำนวน 10 พันธุ์ มาจัดเรียงแล้วเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ (Alignment) ด้วยโปรแกรม ClustalW แล้วนำผลการเปรียบเทียบมาจัดกลุ่มโดยการสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (Phylogeny) ด้วยโปรแกรม MEGA11 (Molecular Evolutionary Genetics Analysis) วิธี Neighbor-Joining/UPGMA (Koichiro *et al.*, 2021)

ผลการวิจัย

การเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์และผลกระทบของลำดับที่แตกต่าง

ผลการค้นหาและเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์แตกต่างของแต่ละยีนในข้าวจำนวน 23 พันธุ์ ได้ผลดังนี้ (Table 2)

ยีน *OsSor1* (*Os07g0614400*) ตั้งอยู่บนโครโมโซมที่ 7 ตำแหน่ง 25,309,034 ถึง 25,311,637 มีทิศทางยีนแบบเส้นบวก (+ strand) มีขนาด 2,604 คู่เบส ประกอบด้วย 6 เอกซอน บริเวณที่สามารถแปลรหัส

ออกมาเป็นโปรตีน (Coding region) ยาว 888 คู่เบส แสดงออกเป็นโปรตีนขนาด 295 กรดอะมิโน พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์จำนวน 21 ตำแหน่ง แบ่งเป็น SNPs 20 ตำแหน่ง และ InDels 1 ตำแหน่ง เมื่อตรวจสอบผลกระทบพบว่า SNPs เป็นการเปลี่ยนแปลงในบริเวณอินทรอน (Intron variant) 13 ตำแหน่ง การเปลี่ยนแปลงชนิดของกรดอะมิโน (Missense variant) 4 ตำแหน่ง การเปลี่ยนแปลงที่กรดอะมิโนชนิดเดิม (Silent variant) 1 ตำแหน่ง และการเปลี่ยนแปลงที่ปลาย 3' ซึ่งไม่แปลรหัส (3' UTR variant) 2 ตำแหน่ง ส่วน InDels เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ปลาย 3' ซึ่งไม่แปลรหัส 1 ตำแหน่ง

ยีน *OsDro1* (*Os09g0439800*) ตั้งอยู่บนโครโมโซมที่ 9 ตำแหน่ง 16,307,169 ถึง 16,311,448 มีทิศทางยีนแบบเส้นลบ (- strand) มีขนาด 4,280 คู่เบส ประกอบด้วย 6 เอกซอน บริเวณที่สามารถแปลรหัส ออกมาเป็นโปรตีน ยาว 756 คู่เบส แสดงออกเป็นโปรตีนขนาด 251 กรดอะมิโน พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์จำนวน 19 ตำแหน่ง แบ่งเป็น SNPs 17 ตำแหน่ง และ InDels 2 ตำแหน่ง เมื่อตรวจสอบผลกระทบพบว่า SNPs เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ปลาย 5' ซึ่งไม่แปลรหัส (5' UTR variant) 2 ตำแหน่ง การเปลี่ยนแปลงในบริเวณอินทรอน 12 ตำแหน่ง การเปลี่ยนแปลงชนิดของกรดอะมิโน 2 ตำแหน่ง และการเปลี่ยนแปลงที่กรดอะมิโนชนิดเดิม 1 ตำแหน่ง ส่วน InDels เป็นการเปลี่ยนแปลงในบริเวณอินทรอน 1 ตำแหน่ง และการเปลี่ยนแปลงที่ปลาย 3' ซึ่งไม่แปลรหัส 1 ตำแหน่ง

นอกจากนี้ยังพบว่ายีน *OsDro1* ที่รายงานในฐานข้อมูลนั้นครอบคลุมส่วนด้านหน้าของยีน (Upstream) และด้านหลังของยีน (Downstream) ที่ไม่ใช่บริเวณที่สามารถแปลรหัสออกมาเป็นโปรตีน จึงไม่มีผลกระทบกับกรดอะมิโนของโปรตีน พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์จำนวน 17 ตำแหน่ง เป็นบริเวณ SNPs จำนวน 13 ตำแหน่ง ในบริเวณ

ด้านหน้าของยีน 6 ตำแหน่ง และด้านหลังของยีน 7 ตำแหน่ง บริเวณ InDels จำนวน 4 ตำแหน่ง ในบริเวณด้านหน้าของยีน 3 ตำแหน่ง และด้านหลังของยีน 1 ตำแหน่ง

ยีน *OsNAC5* (*Os11g0184900*) ตั้งอยู่บนโครโมโซมที่ 11 ตำแหน่ง 4,299,277 ถึง 4,301,783 มีทิศทางยีนแบบเส้นลบ (- strand) มีขนาด 1,870 คู่เบส ประกอบด้วย 3 เอกซอน บริเวณที่สามารถแปลรหัส ออกมาเป็นโปรตีน ยาว 990 คู่เบส แสดงออกเป็นโปรตีนขนาด 329 กรดอะมิโน พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์จำนวน 75 ตำแหน่ง แบ่งเป็น SNPs 51 ตำแหน่ง และ InDels 24 ตำแหน่ง เมื่อตรวจสอบผลกระทบพบว่า SNPs เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ปลาย 5' ซึ่งไม่แปลรหัส 2 ตำแหน่ง การเปลี่ยนแปลงที่บริเวณอินทรอน 19 ตำแหน่ง การเปลี่ยนแปลงชนิดของกรดอะมิโน 7 ตำแหน่ง การเปลี่ยนแปลงที่กรดอะมิโนชนิดเดิม 7 ตำแหน่ง และการเปลี่ยนแปลงที่ปลาย 3' ซึ่งไม่แปลรหัส 16 ตำแหน่ง ส่วน InDels เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ปลาย 5' ซึ่งไม่แปลรหัส 1 ตำแหน่ง การเปลี่ยนแปลงที่บริเวณอินทรอน 10 ตำแหน่ง การลบที่การแปลรหัสคงกรอบเดิม (Inframe deletion) 2 ตำแหน่ง การเพิ่มที่การแปลรหัสคงกรอบเดิม (Inframe insertion) 2 ตำแหน่ง การเปลี่ยนแปลงที่จุดตัดอาร์เอ็นเอ (Splice region variant) 1 ตำแหน่ง และการเปลี่ยนแปลงที่ปลาย 3' ซึ่งไม่แปลรหัส 8 ตำแหน่ง

ยีน *OsNAC6* (*Os01g0884300*) ตั้งอยู่บนโครโมโซมที่ 1 ตำแหน่ง 38,398,996 ถึง 38,401,481 มีทิศทางยีนแบบเส้นลบ (- strand) มีขนาด 3,480 คู่เบส ประกอบด้วย 3 เอกซอน บริเวณที่สามารถแปลรหัส ออกมาเป็นโปรตีน ยาว 912 คู่เบส แสดงออกเป็นโปรตีนขนาด 303 กรดอะมิโน พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์จำนวน 15 ตำแหน่ง แบ่งเป็น SNPs 10 ตำแหน่ง และ InDels 5 ตำแหน่ง เมื่อตรวจสอบผลกระทบพบว่า SNPs เป็นการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณ

อินทรอน 5 ตำแหน่ง การเปลี่ยนแปลงชนิดของกรดอะมิโน 2 ตำแหน่ง และการเปลี่ยนแปลงที่ปลาย 3' ซึ่งไม่แปลรหัส 3 ตำแหน่ง ส่วน InDels เป็นการเปลี่ยนแปลง

ที่บริเวณอินทรอน 3 ตำแหน่ง และการเปลี่ยนแปลงที่ปลาย 3' ซึ่งไม่แปลรหัส 2 ตำแหน่ง

Table 2 Summary of consequence effects from SNP and InDel variations that be found in 4 genes

Gene names		<i>OsSor1</i>	<i>OsDro1</i>	<i>OsNAC5</i>	<i>OsNAC6</i>
Location		chr07:25,309,034-25,311,637	chr09:16,307,169-16,311,448	chr11:4,299,277-4,301,783	chr01: 38,398,996-38,401,481
Classes	Effects	(+ strand)	(- strand)	(- strand)	(-strand)
SNPs	- 5' UTR variant	-	2	2	-
	- Intron variant	13	12	19	5
	- Missense variant	4	2	7	2
	- Silent variant	1	1	7	-
	- 3' UTR variant	2	-	16	3
	- Upstream of gene	-	6	-	-
	- Downstream of gene	-	7	-	-
InDels	- 5' UTR variant	-	-	1	-
	- Intron variant	-	1	10	3
	- Inframe deletion	-	-	2	-
	- Inframe insertion	-	-	2	-
	- Splice region variant	-	-	1	-
	- 3' UTR variant	1	1	8	2
	- Upstream of gene	-	3	-	-
	- Downstream of gene	-	1	-	-

โดยผลเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างกันของยีน 4 ยีน จากข้าวทั้งหมด 23 พันธุ์ แสดงความแตกต่างของลำดับนิวคลีโอไทด์จำนวน 147 ตำแหน่ง แบ่งเป็น SNPs 111 ตำแหน่ง และ InDels 36 ตำแหน่ง

การจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวด้วยข้อมูล SNPs และ InDels ของยีนที่สนใจ

การจัดกลุ่มด้วยลำดับนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างกันของแต่ละยีน พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน *OsSor1* สามารถแบ่งกลุ่มข้าวได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่

คือ กลุ่ม I เป็นกลุ่มอินดิกา 13 พันธุ์ คือ ไรซ์เบอร์รี่ กู้เมืองหลวง ปทุมธานี 1 กข-แม่โจ้ 2 เจ้าเหลือง กำน้อย ชั้ตมแดง ก่ำใหญ่ มะลิตำ ขาวดอกมะลิ 105, IR64-IL, IR64A และ Chenghui727 กลุ่ม II เป็นกลุ่มจาโปนิกา 7 พันธุ์ คือ น้ำรู่ เจ้าฮ่อ ขาวโป่งไคร้ Haogelao, Nipponbare, Yuefu, IRAT109 กับกลุ่มอินดิกา 3 พันธุ์ คือ Kinandang Patong, กข43 และดอกมะขาม (Figure 1A)

ยีน *OsDro1* แบ่งกลุ่มข้าวได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่ม I เป็นกลุ่มอินดิกา 14 พันธุ์ คือ ไรซ์เบอร์รี่ กข43 กู้เมืองหลวง ปทุมธานี 1 กข-แม่โจ้ 2 เจ้าเหลือง กำน้อย ดอกมะขาม ชั้ตมแดง ก่ำใหญ่ มะลิตำ IR64-IL, IR64A และ Chenghui727 กลุ่ม II เป็นกลุ่มจาโปนิกา 7 พันธุ์ คือ น้ำรู่ เจ้าฮ่อ ขาวโป่งไคร้ Haogelao, Nipponbare Yuefu, IRAT109 กับอินดิกา 2 พันธุ์ คือ Kinandang Patong และขาวดอกมะลิ 105 (Figure 1B)

ยีน *OsNAC5* แบ่งกลุ่มข้าวได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่ม I เป็นกลุ่มอินดิกาและจาโปนิกา 20 พันธุ์ คือ ไรซ์เบอร์รี่ กู้เมืองหลวง ปทุมธานี 1 กข-แม่โจ้ 2 เจ้าเหลือง มะลิตำ ขาวดอกมะลิ 105 กข43 ดอกมะขาม IR64-IL, IR64A, Chenghui727, น้ำรู่ เจ้าฮ่อ ขาวโป่งไคร้ Haogelao, Nipponbare, Yuefu, Kinandang Patong และ IRAT109 กลุ่ม II เป็นข้าวพื้นเมืองที่เยื่อหุ้มเมล็ดมีสี 3 พันธุ์ คือ กำน้อย ชั้ตมแดง และก่ำใหญ่ (Figure 1C)

ยีน *OsNAC6* แบ่งกลุ่มข้าวได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่ม I เป็นกลุ่มอินดิกา 15 พันธุ์ คือ ไรซ์เบอร์รี่ กู้เมืองหลวง ปทุมธานี 1 กข-แม่โจ้ 2 เจ้าเหลือง กำน้อย ชั้ตมแดง ก่ำใหญ่ มะลิตำ ขาวดอกมะลิ 105 กข43

ดอกมะขาม IR64-IL, IR64A และ Chenghui727 กลุ่ม II เป็นกลุ่มจาโปนิกา 7 พันธุ์ คือ น้ำรู่ เจ้าฮ่อ ขาวโป่งไคร้ Haogelao, Nipponbare, Yuefu และ IRAT109 กับ Kinandang Patong ที่เป็นอินดิกา ตามลำดับ (Figure 1D)

จากแผนภาพการจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวด้วยข้อมูลของแต่ละยีน (Figure 1) เห็นได้ว่าการจัดกลุ่มด้วยลำดับนิวคลีโอไทด์ที่เปลี่ยนแปลงของยีน *OsSor1*, *OsDro1* และ *OsNAC6* แสดงผลการจัดกลุ่มใกล้เคียงกัน คือ กลุ่มแรกส่วนใหญ่จะเป็นข้าวอินดิกา และกลุ่มที่สองส่วนใหญ่จะเป็นข้าวจาโปนิกา ยกเว้นยีน *OsNAC5* ที่แตกต่างจากทั้ง 3 ยีน คือ กลุ่มแรกเป็นข้าวกลุ่มใหญ่ ซึ่งแบ่งกลุ่มได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ ข้าวอินดิกากับข้าวจาโปนิกา และกลุ่มที่สองเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่เยื่อหุ้มเมล็ดมีสีทั้ง 3 พันธุ์ โดยการจัดกลุ่มที่ได้จากข้อมูลยีน 1 ยีน ไม่พบแนวโน้มการจัดกลุ่มที่สัมพันธ์กับความทนแล้ง จึงได้ทำการจัดกลุ่มข้าวด้วยข้อมูลของทั้ง 4 ยีน รวมกัน

ผลการจัดกลุ่มใหม่ แบ่งข้าวเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่ม I แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่ม IA เป็นข้าวจาโปนิกา 7 พันธุ์ ได้แก่ น้ำรู่ เจ้าฮ่อ ขาวโป่งไคร้ Haogelao, Nipponbare, Yuefu, IRAT109 กับ Kinandang Patong ที่เป็นข้าวอินดิกา กลุ่ม IB เป็นข้าวอินดิกา 4 พันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105, IR64-IL, IR64A และ Chenghui727 สำหรับกลุ่ม II เป็นข้าวอินดิกาที่เป็นพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ของประเทศไทย 11 พันธุ์ คือ ไรซ์เบอร์รี่ กข-แม่โจ้ 2 เจ้าเหลือง ปทุมธานี 1 กข43 กู้เมืองหลวง ดอกมะขาม มะลิตำ กำน้อย ก่ำใหญ่ และ ชั้ตมแดง ตามลำดับ (Figure 2)

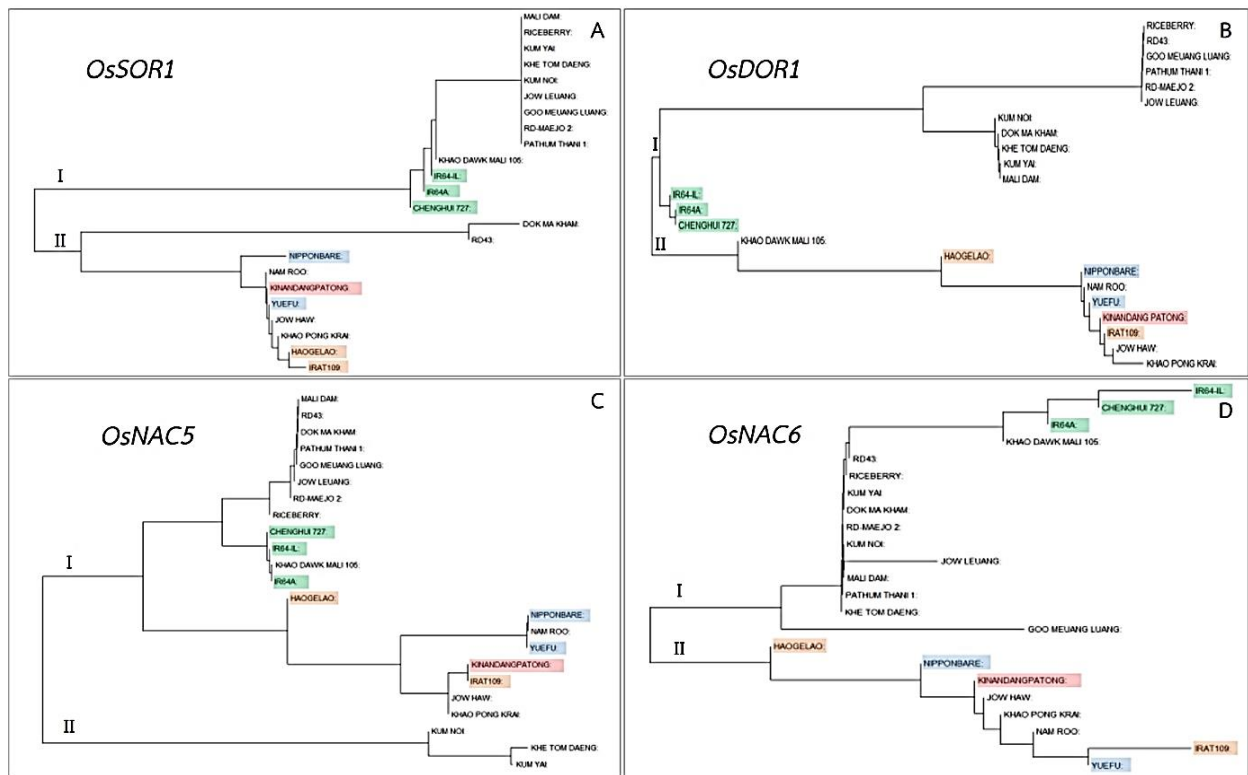


Figure 1 Cluster diagram based on the Neighbor-Joining/UPGMA method by MEGA11 program from SNP and InDel variations in 23 rice varieties; (A) *OsSor1*, (B) *OsDro1*, (C) *OsNAC5* and (D) *OSNAC6*; Red box showed upland rice and deep root, orange box showed upland rice and drought tolerant, blue box showed lowland and drought sensitive and green box showed lowland and shallow root.

เมื่อพิจารณาลักษณะรากหรือลักษณะนิเวศน์ การปลูกพบว่าในกลุ่ม I สามารถแยกย่อยเป็น IA ที่ประกอบด้วยกลุ่มจาโปนิกาเป็นข้าวนาสวนที่มีความไว ต่อความแล้ง (พันธุ์ Nipponbare และ Yuefu) โดยมีข้าว ไทยอยู่ในกลุ่มนี้ 1 พันธุ์ คือ พันธุ์น้ำรู กับกลุ่มของข้าวไร่ ที่มีลักษณะรากลึก (พันธุ์ Kinandang Patong) และข้าว ทนแล้ง (พันธุ์ IRAT109) โดยมีข้าวไทยพันธุ์เจ้าฮ่อและ ชาวโป่งไคร้จัดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย ส่วนข้าวพันธุ์ Haogelao และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ได้แยกออกมาก่อนข้าวทั้ง สองกลุ่มย่อย และกลุ่ม IB เป็นกลุ่มข้าวนาสวนที่รากเป็น แบบรากตื้น (พันธุ์ IR64-IL, IR64A และ Chenghui727)

สำหรับข้าวในกลุ่ม II เป็นข้าวไทยกลุ่มอินดิกาที่เป็นข้าวไร่ ข้าวพื้นเมือง และข้าวนาสวนที่รวมกัน 11 พันธุ์ สามารถ แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ IIA เป็นกลุ่มข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ด มีสีทั้ง 4 พันธุ์ ประกอบด้วยข้าวพื้นเมือง พันธุ์ก้าน้อย และก้าใหญ่ ซึ่งปลูกในสภาพไร่ และข้าวนาสวน พันธุ์ ชีตมแดง และมะลิดำ สำหรับกลุ่ม IIB เป็นข้าวกลุ่มนา สวนที่ปลูกในนาน้ำขัง ได้แก่ กข43 ปทุมธานี 1 กข-แม่โจ้ 2 เจ้าเหลียง และไรซ์เบอร์รี่ ยกเว้นพันธุ์กุ่มเมืองหลวงและ ดอกมะขามที่เป็นกลุ่มข้าวไร่ ซึ่งในกลุ่ม II ยังไม่พบการจัด กลุ่มที่สัมพันธ์กับระบบนิเวศน์การปลูกอย่างชัดเจน

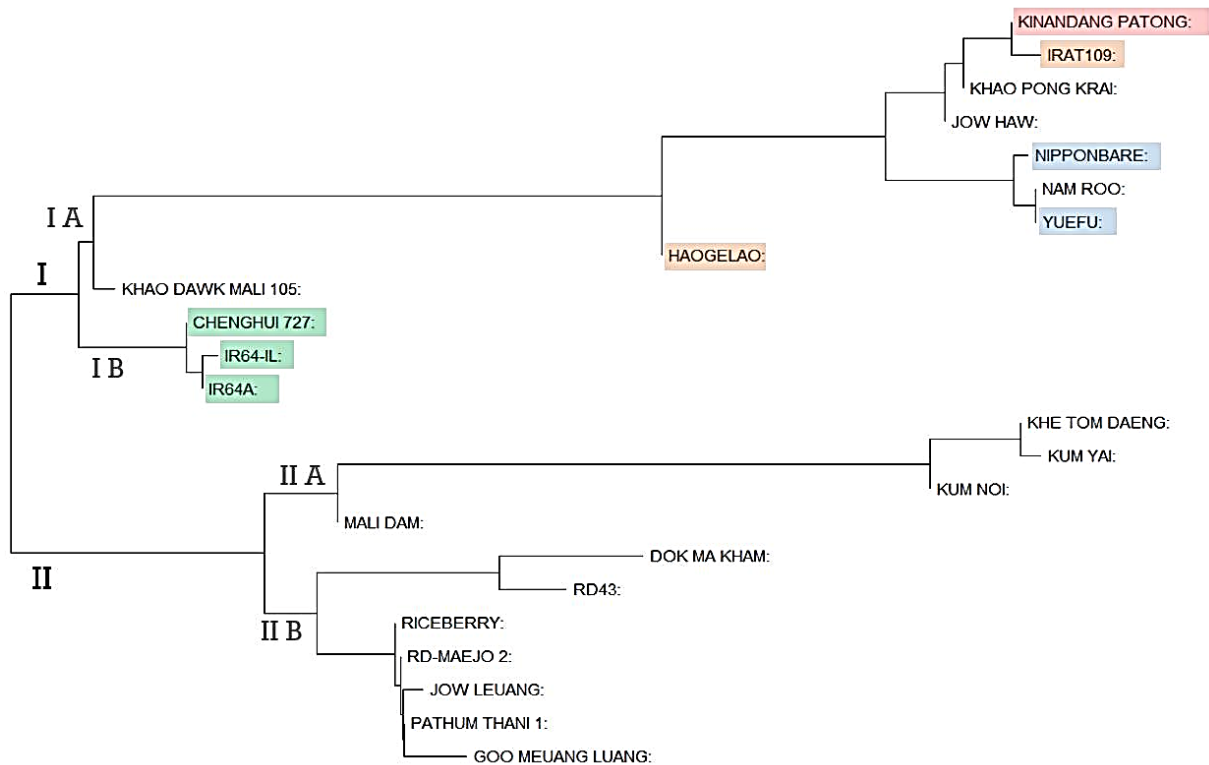


Figure 2 Cluster diagram based on the Neighbor-Joining/UPGMA method by MEGA11 program from SNP and InDel variations in 4 genes. The red box showed upland rice and deep root, the orange box showed upland rice and drought tolerant, the blue box showed lowland and drought sensitive and the green box showed lowland and shallow root.

วิจารณ์ผลการวิจัย

การค้นหาคำความแตกต่างของลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *OsSor1*, *OsDro1*, *OsNAC5* และ *OsNAC6* จากข้าวจำนวน 23 พันธุ์ พบการเปลี่ยนแปลงลำดับนิวคลีโอไทด์ที่เปลี่ยนชนิดของกรดอะมิโน (Missense) และบริเวณจุดตัดอาร์เอ็นเอ ซึ่งจะส่งผลให้ได้โปรตีนที่ต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ ที่อาจจะส่งผลต่อความทนแล้งที่ต่างกันไป และพบการเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์ที่บริเวณอินทรอนมากที่สุด ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อโปรตีนที่พบเช่นเดียวกับลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ต่างกันของยีนในวิธีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ที่ในข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวและสีดำ (Janphen *et al.*, 2022) ซึ่งลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ต่างเหล่านี้สามารถนำไป

ออกแบบเป็นเครื่องหมายดีเอ็นเอที่ใช้ในการแยกพันธุ์ข้าวที่สนใจได้ โดยพบการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่ยีน *OsNAC5* อาจเนื่องจากเป็นยีนในกลุ่ม TFs ใหญ่ที่สุดของพืช ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต การพัฒนา และการตอบสนองต่อความเครียดของพืช (Xi *et al.*, 2019)

โดยการจัดกลุ่มด้วยข้อมูลของ 4 ยีนรวมกัน จะจำแนกกลุ่มได้มากกว่าการจัดกลุ่มด้วยข้อมูลเพียงยีนเดียว สอดคล้องกับการจัดจำแนกกล้วยไม้สกุลหวายที่ใช้ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน Beta-subunit RNA polymerase (*rpoC1*) และยีน MuturaseK (*matK*) รวมกัน มีประสิทธิภาพในการจัดจำแนกกล้วยไม้สูงกว่าลำดับนิวคลีโอไทด์ของ *rpoC1* หรือยีน *matK* เพียง 1 ยีน (Thanananta *et al.*, 2018)

ผลจัดกลุ่มด้วยลำดับนิวคลีโอไทด์ที่เปลี่ยนแปลงของทั้ง 4 ยีนรวมกัน พบในข้าวกลุ่ม I แบ่งเป็น IB เป็นกลุ่มอินดิกา คือ พันธุ์ IR64-IL, IR64A และ Chenghui727 ที่เป็นข้าวนาสวนมีลักษณะรากตื้น (Farhan *et al.*, 2022; Yusaku *et al.*, 2011) ส่วนกลุ่ม IA เป็นพันธุ์ Haogelao พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่เป็นข้าวทนแล้ง (Sriprapai *et al.*, 2012; FengHua *et al.*, 2009) แยกออกมาก่อน ตามด้วยกลุ่มจาโปนิกา 2 ที่มีกลุ่มย่อย คือ ข้าวนาสวนที่มีความไวต่อความแล้ง พันธุ์ Nipponbare และ Yuefu (FengHua *et al.*, 2009) และพันธุ์น้ำรู่ และข้าวไร่มีลักษณะรากลึก พันธุ์ Kinandang Patong ข้าวทนแล้งพันธุ์ IRAT109 (FengHua *et al.*, 2009) เจ้าหอและข้าวโป่งไคร้ ดังนั้นพันธุ์เจ้าหอและข้าวโป่งไคร้จึงน่าจะเป็นพันธุ์ระบบรากลึกและทนแล้งเช่นเดียวกับพันธุ์ Kinandang Patong และพันธุ์ IRAT109 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษายาวของรากในระยะต้นกล้าพันธุ์ข้าวโป่งไคร้ ที่มีความยาวรากมากกว่าพันธุ์ปทุมธานี 1 และกุ่มเมืองหลวง (Janphen *et al.*, 2023) อีกทั้งข้าวไทย 3 พันธุ์ คือน้ำรู่ เจ้าหอ และข้าวโป่งไคร้จัดอยู่ในกลุ่มข้าวจาโปนิกา เช่นเดียวกับรายงานวิจัยก่อนหน้า (Damrongkiat, 2012; Sriprapai *et al.*, 2012)

สรุปผลการวิจัย

การค้นหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน 4 ยีน (*OsSor1*, *OsDro1*, *OsNAC5* และ *OsNAC6*) จากข้าว 23 พันธุ์ พบลำดับนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างจำนวน 147 ตำแหน่ง ซึ่งสามารถนำไปใช้ออกแบบเครื่องหมายดีเอ็นเอที่จำเพาะกับข้าวแต่ละพันธุ์ต่อไป ส่วนผลการจัดกลุ่มด้วยลำดับนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างของยีนทั้ง 4 รวมกันแบ่งข้าวได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่ม I จำนวน 12 พันธุ์ เป็นกลุ่มอินดิกาและจาโปนิกา ที่การจัดกลุ่มสัมพันธ์กับระบบนิเวศการปลูก ลักษณะรากและความทนแล้งสำหรับกลุ่ม II จำนวน 11 พันธุ์ เป็นข้าวอินดิกาที่เป็นพันธุ์พื้นเมือง ข้าวไร่ และข้าวนาสวน ซึ่งไม่พบสัมพันธ์กับ

ระบบนิเวศการปลูกอย่างชัดเจน โดยจากข้าวไทยจำนวน 15 พันธุ์ พบพันธุ์เจ้าหอและข้าวโป่งไคร้ อยู่กลุ่มเดียวกับข้าวไร่ที่มีลักษณะรากลึกและทนแล้ง ซึ่งสามารถนำข้าว 2 พันธุ์นี้ ไปใช้ในการพัฒนาเครื่องหมายดีเอ็นเอที่สัมพันธ์กับความทนแล้ง เพื่อการปรับปรุงพันธุ์ข้าวไทยให้ทนแล้งต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ผ่านมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2566 และขอขอบคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Arun, K., S. RS, P.R. Kumar and S.A. Kumar. 2023. Integrated approaches to develop drought-tolerant rice: demand of era for global food security. *Journal of Plant Growth Regulation* 42(1): 96-120.
- Damrongkiat, C. 2012. Upland Rice and Food Security. pp. 110-120. *In Proceedings of the 2nd National Rice Conference under the Theme "New Dimensions in Thai Rice Research" for the Year 2555.* Bangkok: Department of Rice. [in Thai]
- Eiko, H., S. Kazuhiro, N. Shinsei, O. Mitsuhiro, F. Yoshimichi, U. Yusaku, M. Akio, H. Hirohiko, H. Atsushi and M. Masahiko. 2013. Isolation of a novel mutant gene for soil-surface rooting in rice (*Oryza sativa* L.). *Rice* 6(1): 1-11.

- Farhan, N., S. Sumbal, Y. Guotao, K.A. Rasheed, Z. Yating, Q. Jian, W. Xuechun, J. Kaifeng, P. Youlin, and H. Yungao. 2022. The adenine at the 4th exon of the *DRO1* gene provides drought-tolerance capacity to hybrid rice Deyou4727 and its maintainer line Dexiang074B. **Agronomy** 12(3): 752.
- FengHua, G., Z. HongLiang, W. HaiGuang, G. Hong, and L. ZiChao. 2009. Comparative transcriptional profiling under drought stress between upland and lowland rice (*Oryza sativa* L.) using cDNA-AFLP. **Chinese Science Bulletin** 54(19): 3555-3571.
- Hiroaki, S., L.S. Shin, T. Tsuyoshi, N. Hisataka, K. Jungsok, K. Yoshihiro, W. Hironobu, Y. Ching-chia, I. Masao, and A. Takashi. 2013. Rice annotation project database (RAP-DB): an integrative and interactive database for rice genomics. **Plant and Cell Physiology** 54(2): e6.
- Janphen, K., K. Lanumteang, V. Sangtong, C. Sakulsingharoj and S. Pongjaroenkit. 2023. Microsatellite Markers Associated with Drought Tolerance in Six Rice Varieties. pp 38-47. **In Proceedings of The 4th Science Technology and Innovation Conference 2023**. Chiang Mai: Faculty of Science, Maejo University. [in Thai]
- Janphen, K., V. Sangtong, C. Sakulsingharoj, S. Leethanatudom, A. Poeaim, and S. Pongjaroenkit. 2022. Gene sequence variations of carotenoid biosynthesis pathway in Thai rice varieties (*Oryza sativa* L.) from transcriptome and whole genome sequencing analysis. **Burapha Science Journal** 27(2): 900-920. [in Thai]
- Kim, Y., Y.S. Chung, E. Lee, P. Tripathi, S. Heo and K.-H. Kim. 2020. Root response to drought stress in rice (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Molecular Sciences** 21(4): 1513.
- Koichiro, T., S. Glen and K. Sudhir. 2021. MEGA11: molecular evolutionary genetics analysis version 11. **Molecular Biology and Evolution** 38(7): 3022-3027.
- Kumari, S.B., M.K. Ramkumar, M. Dalal, A Singh A.U. Solanke, N.K. Singh and A.M. Sevanthi 2021. Allele mining for a drought responsive gene *DRO1* determining root growth angle in donors of drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). **Physiology and Molecular Biology of Plants** 27: 523-534.
- Li, J., S. Wang, J. Yu, L. Wang and S. Zhou. 2013. A modified CTAB protocol for plant DNA extraction. **Chinese Bulletin of Botany** 48(1): 72.

- Locedie, M., F.R. Rommel, B.F. Nikki, D. Jeffery, A.-S.J. Miguel, C. Dmytro, S. Millicent, P. Kevin, C. Dario and P. Alexandre. 2017. Rice SNP-seek database update: new SNPs, indels, and queries. **Nucleic Acids Research** 45(D1): D1075-D1081.
- Myint, S.M., R. Mathurada, C. Cattleya, A. Anuruck, T. Theerayut and J.L. Siangliw. 2022. Root characterization of Myanmar upland and lowland rice in relation to agronomic and physiological traits under drought stress condition. **Agronomy** 12(5): 1230.
- Sriprapai, C., P. Keasinee, S. Wachira, U. Kittipat, and M. Amorntip. 2012. Genetic structure of Thai rice and rice accessions obtained from the International Rice Research Institute. **Rice** 5: 1-13.
- Takayuki, O., S. Seishi, Y. Toshiko, K. Kazuhiro, Y. Yoshu, H. Hiro-Yuki and T. Nobuhiro. 2005. *OsNAC6*, a member of the NAC gene family, is induced by various stresses in rice. **Genes & Genetic Systems** 80(2): 135-139.
- Thanananta, N., T. Maneenet, P. Khumphai and T. Thanananta. 2018. Assessment of genetic relationship and identification of *Dendrobium* section callista using nucleotide sequences of *rpoC1* and *matK* genes. **Thai Journal of Science and Technology** 7(1): 81-88. [in Thai]
- Woon, B.S., C. Seowon, J. Xuanjun, J.S. Eun, C.J. Weon, S.J. Sung, and K. Ju-Kon. 2022. Transcriptional activation of rice *CINNAMOYL-CoA REDUCTASE 10* by *OsNAC5*, contributes to drought tolerance by modulating lignin accumulation in roots. **Plant Biotechnology Journal** 20(4): 736-747.
- Xi, Y., W. Hui, C. Jiating, L. Dayong and S. Fengming. 2019. NAC transcription factors in plant immunity. **Phytopathology Research** 1(1): 1-13.
- Yusaku, U., O. Kazutoshi and Y. Masahiro. 2011. *Dro1*, a major QTL involved in deep rooting of rice under upland field conditions. **Journal of Experimental Botany** 62(8): 2485-2494.
- Yusaku, U., S. Kazuhiko, O. Satoshi, R. Jagadish, I. Manabu, H. Naho, K. Yuka, I. Yoshiaki, O. Kazuko and K. Noriko. 2013. Control of root system architecture by *DEEPER ROOTING 1* increases rice yield under drought conditions. **Nature Genetics** 45(9): 1097-1102.

การคัดเลือกสายพันธุ์บริสุทธิ์เห็ดถั่งเช่าทิเบต (*Ophiocordyceps sinensis*)

จากดอกเห็ดถั่งเช่าทิเบตแห้งที่มาจากประเทศจีน

Selection of Pure Strain of *Ophiocordyceps sinensis* from Dried Fruiting Bodies Sourced from China

สุวรรณโณม ชาทินรินทร์¹ วิจิตรา แดงปรก² ภาวิณี อารีศรีสม³ และมงคล ธิรบุนยานนท์^{1*}

Suwannachom Chatnarin¹, Wichitra Daengprok², Pawinee Areesrisom³

and Mongkol Thirabunyanon^{1*}

¹สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

³สาขาวิทยาการสมุนไพร คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

²Program in Food Science and Technology, Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University
Chiang Mai, Thailand 50290

³Program in Medicinal Plant Science, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: mthirabun@yahoo.co.th

Received: September 08, 2023

Revised: January 22, 2024

Accepted: May 09, 2024

Abstract

Ophiocordyceps sinensis is a medicinal mushroom that has been used in traditional Chinese medicine for a long time. Its main bioactive constituents are polysaccharides, cordycepin, and adenosine, which contribute to body nourishment and outstanding pharmacological effects. That is, it can fight cancer and stimulate the immune system by reducing antioxidants and hypoglycemia. The aforementioned mushrooms are in demand and have a high market value, causing a crisis of insufficient natural raw materials. The cultivation of mycelium to replace mushrooms was used to supply market demand.

This study was conducted to obtain the correct pure strain of the *O. sinensis* fungus. Fungal morphological, nucleotide sequencing, and phylogenetic analyses were used. Naturally dried *O. sinensis* mushrooms were collected from various sources in China by using both the part of the fungus growing from the worm's head (Stroma) and the part of the worm's body (Sclerotium). The results of this research showed that one isolate had colony characteristics and morphology similar to the *O. sinensis* fungus. Using molecular biology techniques by comparing the nucleotide sequence of nuclear ribosomal RNA gene amplified with primers ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTTGATATGC-3') and ITS5 (5'-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3'), it was confirmed that

the fungus was *O. sinensis*. When comparing the phylogeny of the phylogenetic tree, it was found that *O. sinensis* was in the family Ophiocordycipitaceae.

Cultivation of pure strains of fungus could be cultured in an agar formula of 10 g of peptone, 40 g of dextrose, 20 g of yeast extract, 15 g of agar powder, and 1 L of distilled water at a temperature of 16°C in the dark for 14 days. Morphological characteristics of the pure fungus that was found could be explained as a round colony with white to light cream at the center with white hyphae and densely stacked feathers, branches, fluffy aerial mycelium, and rod-shaped spores of 5-10 µm in size. As a result, the pure fungal strain that is produced can be utilized as an inoculum for the identification of biological components and as material for additional research on their pharmacological effects.

Keywords: Strain selection, Identification, Morphology, *Ophiocordyceps sinensis*

บทคัดย่อ

เห็ดถั่งเช่าทิเบต (*Ophiocordyceps sinensis*) เป็นเห็ดทางการแพทย์ที่มีการใช้ในยาแผนโบราณของจีนมายาวนาน ด้วยองค์ประกอบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลัก คือ โพลีแซ็กคาไรด์ คอร์โดเซปิน และอะดีโนซีน ซึ่งมีส่วนช่วยในการบำรุงร่างกายและมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่โดดเด่น กล่าวคือ สามารถต้านมะเร็ง กระตุ้นภูมิคุ้มกัน ต้านอนุมูลอิสระ และลดน้ำตาลในเลือด ซึ่งดอกเห็ดดังกล่าวเป็นที่ต้องการและมีมูลค่าทางการตลาดสูง ทำให้เกิดวิกฤตวัตถุดิบจากธรรมชาติไม่เพียงพอ การเพาะเลี้ยงเส้นใยเพื่อทดแทนดอกเห็ดจึงถูกนำมาใช้ตอบสนองความต้องการของตลาด

การศึกษาครั้งนี้เพื่อให้ได้สายพันธุ์ราเห็ดถั่งเช่าทิเบตบริสุทธิ์ที่ถูกต้อง โดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา การวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ และการวิเคราะห์สายวิวัฒนาการ จากการรวบรวมดอกเห็ดถั่งเช่าทิเบตแห่งในธรรมชาติหลากหลายแหล่งที่มาจากประเทศจีน โดยใช้ทั้งส่วนของราที่งอกออกจากหัวหนอน (Stroma) และส่วนที่เป็นตัวหนอน (Sclerotium) ผลการวิจัยดังกล่าวพบว่ามีเพียง 1 ไอโซเลท ที่มีลักษณะโคโลนีและรูปร่างสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกับราเห็ด

ถั่งเช่าทิเบต และทำการยืนยันด้วยเทคนิคทางชีววิทยาโมเลกุลโดยเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของไรโบโซม นิวเคลียสด้วยไพรเมอร์ ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTTGATATGC-3') และ ITS5 (5'-GGAAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3') พบว่าราดังกล่าว คือ *Ophiocordyceps sinensis* เมื่อทำการเทียบสายวิวัฒนาการ (Phylogenetic tree) พบว่า *O. sinensis* ดังกล่าวอยู่ในวงศ์ Ophiocordycipitaceae

การเลี้ยงราสายพันธุ์บริสุทธิ์ดังกล่าว สามารถเลี้ยงในอาหารวุ้นสูตร เพปโตเน 10 กรัม เด็กซ์โทรส 40 กรัม ยีสต์สกัด 20 กรัม ผงวุ้น 15 กรัม และน้ำกลั่น 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส ในที่มืด เป็นเวลา 14 วัน โดยมีลักษณะโคโลนีที่ตรงกลางมีสีขาวถึงสีครีมอ่อน และรูปร่างกลม มีลักษณะของเส้นใยที่มีสีขาวขนนกซ้อนกันอย่างหนาแน่น เส้นใยแตกเป็นข้อแขนง มีเส้นใยอากาศพuffy และมีสปอร์รูปร่างยาว 5-10 ไมโครเมตร ดังนั้นสายพันธุ์ราบริสุทธิ์ที่ได้จะสามารถใช้เป็นหัวเชื้อสำหรับการตรวจสอบหาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและทดสอบการออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาต่อไป

คำสำคัญ: การคัดแยกสายพันธุ์ การระบุสายพันธุ์ ลักษณะสัณฐานวิทยา เห็ดถั่งเช่าทิเบต

คำนำ

เห็ดถั่งเช่าทิเบต (*Ophiocordyceps sinensis*) เป็นเชื้อราในกลุ่ม Ascomycetes ที่เติบโตบนที่สูง 3,000-5,000 เมตร อุณหภูมิค่าประมาณ 16 องศาเซลเซียส บนที่ราบสูงอันหนาวเย็นของเทือกเขาทิมาลัยและที่ราบสูงชิงไห่-ทิเบต โดยราดังกล่าวนี้เป็นราที่สามารถปล่อยสปอร์เข้าสู่ตัวอ่อนของหนอนผีเสื้อ Hepialidae ในดิน เกิดเส้นใยและค้อย ๆ กัดกินอวัยวะภายในของหนอน จากนั้นในฤดูร้อนเส้นใยจะก่อตัวเป็นผลเห็ดยื่นออกมาจากหัวของแมลงที่ตายแล้วและเติบโตเหนือพื้นดินเพื่อการกระจายสปอร์ปล่อยเข้าสู่ตัวหนอนอีกครั้งเป็นวงจรชีวิต (Wei *et al.*, 2021)

เห็ดถั่งเช่าทิเบตจัดเป็นเห็ดสมุนไพรเพราะมีการใช้มาอย่างยาวนานในการแพทย์แผนจีนและการแพทย์แผนทิเบต (Bhetwal *et al.*, 2021) สารสกัดจากราชนิดนี้ทั้งดอกเห็ดแห้งและเส้นใยที่เพาะเลี้ยงมีคุณสมบัติทางเภสัชวิทยาหลายประการ ได้แก่ ด้านการอักเสบ ด้านเนื้องอก ด้านมะเร็ง กระตุ้นภูมิคุ้มกัน ด้านอนุมูลอิสระ คลายกล้ามเนื้อเรียบ ลดน้ำตาลในเลือด ลดคอเลสเตอรอล ด้านเชื้อแบคทีเรีย และคุณสมบัติต้านไวรัส (Pang *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2015) โพลีแซ็กคาไรด์ โปรตีน กรดอะมิโน แมนนิทอล เออร์โกสเตอรอล ไซคลิกเปปไทด์ และนิวคลีโอไซด์ เช่น อะดีโนซีน และคอร์โดซิปีน เป็นต้น เป็นองค์ประกอบหลักที่ระบุในเห็ดถั่งเช่าทิเบต (Bhardwaj *et al.*, 2023)

เห็ดถั่งเช่าทิเบตมีความต้องการทางการตลาดสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศจีนและแถบทวีปเอเชีย แต่เนื่องจากผลผลิตต่อปีต่ำและมีระยะเวลาเก็บเกี่ยวมากจนเกินไป ทำให้เห็ดถั่งเช่าทิเบตในธรรมชาติไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ราคาตลาดเพิ่มสูงขึ้น อย่างเช่น ดอกเห็ดถั่งเช่าทิเบตแห้ง คุณภาพสูง ราคา 60,000 ดอลลาร์/กิโลกรัม (Shreedevasena *et al.*, 2022) ดังนั้นเห็ดถั่งเช่าทิเบตจึงถูกระบุว่าเป็นเห็ดใกล้สูญพันธุ์ในประเทศจีน (Dong

et al., 2015; Zhang *et al.*, 2012) ด้วยเหตุผลนี้ นักวิจัยจึงทุ่มเทความพยายามอย่างมากในการเพาะเลี้ยงภายใต้เงื่อนไขของห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมเพื่อเพิ่มผลผลิตและคงประสิทธิภาพทางเภสัชวิทยาที่ดีเอาไว้

โดยทั่วไปแล้วพบว่ามีราหลายชนิดถูกแยกออกจากเห็ดถั่งเช่าทิเบตที่เก็บในธรรมชาติ (Xia *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2010) ปรากฏการณ์นี้นำไปสู่การผลิตและจำหน่ายสายพันธุ์ที่ไม่ถูกต้องหลายสายพันธุ์ในตลาด ตัวอย่างเช่น สายพันธุ์ CS-4 ที่จำหน่ายในประเทศจีนที่ผลการระบุว่าเป็นราสายพันธุ์ *Paecilomyces hepiali* ในขณะที่ราอื่น ๆ เช่น *Cordyceps militaris* หรือเห็ดถั่งเช่าสีทอง ถูกนำมาใช้เป็นทางเลือกในการเพาะเลี้ยงเนื่องจากเพาะเลี้ยงได้ง่ายกว่า (Dong *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2012) แต่ทั้งนี้จะมีลักษณะเด่นทางเภสัชวิทยาแตกต่างกันออกไป

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ราเห็ดถั่งเช่าทิเบตบริสุทธิ์ที่ถูกต้อง โดยการใช้การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา การวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ และการวิเคราะห์สายวิวัฒนาการจากราเห็ดถั่งเช่าทิเบตธรรมชาติที่ได้รับมาจากประเทศจีนที่เก็บเกี่ยวในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562 และทำการเพาะเลี้ยงเส้นใยราดังกล่าวด้วยอาหารสังเคราะห์ โดยราสายพันธุ์บริสุทธิ์ที่คัดเลือกได้จะสามารถใช้เป็นหัวเชื้อสำหรับการตรวจสอบการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและทดสอบการออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การรวบรวมและการคัดแยกจากตัวอย่าง

โดยรวบรวมตัวอย่างดอกเห็ดถั่งเช่าทิเบตแห้งที่มีแหล่งที่มาจากราประเทศจีน จำนวน 40 ตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างดอกเห็ดแห้งล้างด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ และแช่ในโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 1 เปอร์เซ็นต์ (Merck, Germany) เป็นเวลา 1 นาที การเลือกใช้ตัวอย่างดอกเห็ดจะใช้ทั้งส่วนของราที่งอกออกจากหัวหนอน (Stroma)

และส่วนที่เป็นตัวหนอน (Sclerotium) โดยตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ยาว 2-5 มิลลิเมตร แล้ววางลงบนอาหารรุ้น Sabouraud Dextrose Agar (SDA) สูตรเพปโตเนอ 10 กรัม เด็กซ์โทรส 40 กรัม ยีสต์สกัด 2 กรัม ผงรุ้น 15 กรัม แล้วผสมในน้ำกลั่น 1 ลิตร การเพาะเลี้ยงราทำการเลี้ยงในสภาวะปลอดเชื้อที่อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ในที่มืด จากนั้นทำการสังเกตและคัดเลือกโคโลนีเดี่ยวสีขาวเท่านั้น และทำการเพาะเลี้ยงซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จนได้โคโลนีสีขาวบริสุทธิ์ปราศจากแบคทีเรียปนเปื้อนอย่างสมบูรณ์ จากนั้นทำการเก็บรักษาสายพันธุ์บริสุทธิ์ดังกล่าวไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส ในกลีเซอรอล 10 เปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์

การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของราจะทำการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยทำการศึกษาจากสไลด์ตัวอย่างที่ย้อมด้วย Lactophenol cotton blue ร่วมกับอาหารรุ้น SDA ที่เพาะเลี้ยงมาแล้วเป็นเวลา 7-14 วัน โดยสังเกตลักษณะของสปorangium และขนาดของเส้นใยของราลักษณะต่าง ๆ ที่คัดแยกออกมาได้

การระบุสายพันธุ์ราด้วยเทคนิคทางชีววิทยาโมเลกุล

เพื่อยืนยันว่าราที่แยกได้นั้นเป็นสายพันธุ์ใด โดยดำเนินการวิจัยตามวิธีของ Cao *et al.* (2015) พอสังเขป ดังนี้ ทำการสกัดดีเอ็นเอจากเส้นใยราโดยใช้ Tianamp genomic DNA kit (Tiangen, Taiwan) แล้วทำการถอดรหัสไรโบโซมนิวเคลียร์ (ITS; ITS1-5.8S-ITS2) ผ่านไพรเมอร์ ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTTGATATGC-3') และ ITS5 (5'-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3') โดยใช้ DreamTaq DNA polymerase (Thermo Fisher Scientific, USA) โดยส่วนผสม Polymerase Chain Reaction (PCR) ประกอบด้วย DreamTaq Green PCR Master Mix (2X) ปริมาตร 25 ไมโครลิตร Forward primer (ITS 4) ปริมาตร 5 ไมโครลิตร Reverse primer (ITS 5) ปริมาตร 5 ไมโครลิตร Genomic DNA ปริมาตร

5 ไมโครลิตร และ Nuclease-free H₂O ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ปริมาตรรวม 50 ไมโครลิตร ทำการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ ด้วยเครื่อง DNA thermal cycler machine ที่ตั้งโปรแกรมไว้ดังนี้ ให้ความร้อนเป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส และให้ทำงานอย่างต่อเนื่องจนครบ 35 รอบ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วินาที ที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วินาที และที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาที และที่อุณหภูมิสุดท้าย คือ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ PCR โดยใช้ Agarose gel electrophoresis และทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ MinElute PCR purification kit (Qiagen, Germany) ผลิตภัณฑ์ PCR บริสุทธิ์จะถูกนำไปหาลำดับนิวคลีโอไทด์ และในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ ที่ได้กับฐานข้อมูลของ GenBank (National Center for Biotechnology Information (NCBI)) โดยใช้โปรแกรม Basic Local Alignment Search Tool (BLASTN)

การจัดลำดับและการวิเคราะห์สายวิวัฒนาการ

โดยการใช้โปรแกรม BLAST เพื่อระบุลำดับของความคล้ายคลึงกันสูงสุด และการวิเคราะห์ต้นไม้สายวิวัฒนาการตามยีนเดี่ยว ด้วยซอฟต์แวร์การวิเคราะห์พันธุศาสตร์วิวัฒนาการระดับโมเลกุล (MEGA, version 11) จะถูกนำมาใช้เพื่อทำการวิเคราะห์สายวิวัฒนาการของรา ประวัติวิวัฒนาการถูกอนุมานโดยใช้วิธีความน่าจะเป็นแบบ Maximum Composite Likelihood (MCL) (Tamura *et al.*, 2004) ประวัติวิวัฒนาการถูกสรุปโดยใช้วิธี Neighbor-Joining (Kandee *et al.*, 2022) และอนุมานจากการจำลองแบบบูตสเตรป (Bootstrap) 1,000 ครั้ง (Sharma and Kumar, 2021) สำหรับการวิเคราะห์สายวิวัฒนาการตามยีนเดี่ยว และแสดงเปอร์เซ็นต์ผลความสอดคล้องถัดจากกิ่งก้านของต้นไม้สายวิวัฒนาการ

ผลการวิจัย

การคัดแยก การระบุสายพันธุ์ และลักษณะสัณฐานวิทยาของราที่คัดแยกได้

ราบริสุทธิ์ที่คัดแยกได้ในการวิจัยครั้งนี้ พบว่าเป็นสายพันธุ์ *Ophiocordyceps sinensis* ตามที่ผู้วิจัยคาดหวังไว้ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นราเห็ดทางการแพทย์ที่ถูกใช้กันมายาวนานในยาแผนโบราณของจีน ซึ่งราดังกล่าวมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากการที่เลี้ยงราบนอาหารวุ้น SDA ที่อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

14 วัน โดยราบริสุทธิ์นี้มีเส้นใยที่เป็นแขนงละเอียดมากทำให้มีลักษณะเหมือนขนนก (Plumose and downy) และหนาแน่น (Dense) นอกจากนี้ยังมีเส้นใยที่เจริญขึ้นในอากาศซึ่งสามารถสร้างสปอร์และขยายพันธุ์ได้ (Aerial mycelium) ส่วนขอบของโคโลนีมีขนฟู (Margin plumose) และมีสีครีมเล็กน้อย มีสปอร์รูปแท่งยาว 5-10 μm โดยลักษณะสัณฐานวิทยาของราสายพันธุ์ *O. sinensis* แสดงดังใน Figure 1

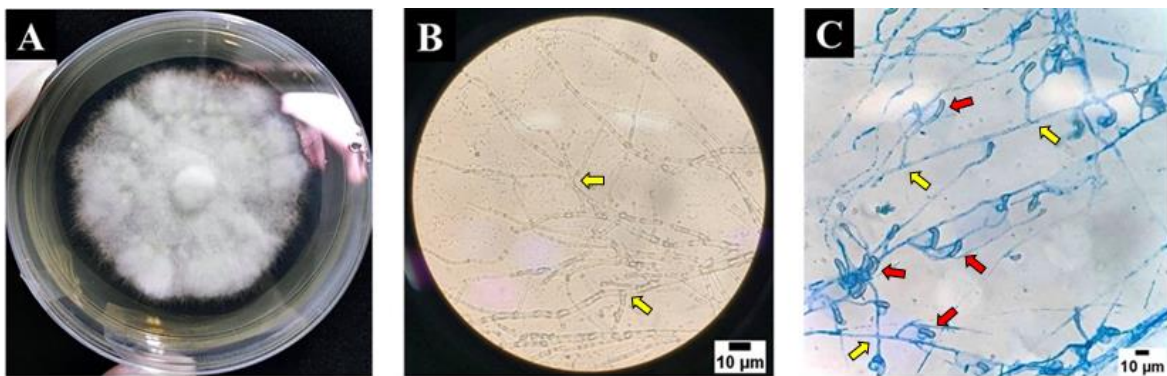


Figure 1 Colony morphology and microstructure of fungal mycelium and ascospores of *O. sinensis* strains; (A) colonies grown on agar media for 14 days; (B) mycelium grown on SDA agar media observed under a microscope at 400x magnification; and (C) fungal mycelium and ascospores grown on agar media for 14 days stained with Lactophenol cotton blue observed under a microscope at 400x magnification. Yellow arrows indicate branched hyphae and red arrows indicate rod-shaped ascospores with a length of 5-10 μm

ลำดับต้นไม้วิวัฒนาการ

จากการวิเคราะห์ต้นไม้สายวิวัฒนาการ 5.8S-ITS rDNA ของสายพันธุ์ *Ophiocordyceps spp.* ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของยีน *Ophiocordyceps* 5.8S-ITS rDNA ถูกกำหนดโดยใช้วิธี Neighbor-joining (Kandee *et al.*, 2022) ประวัติวิวัฒนาการได้รับการ

ประเมินโดยใช้วิธีความน่าจะเป็นสูงสุด (MCL) ต้นไม้สายวิวัฒนาการที่สอดคล้องกันของ Bootstrap ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของแท่งที่วิเคราะห์นั้น อนุมานจากการทำซ้ำ 1,000 ครั้ง (Shama and Kumar, 2021) ถูกแสดงดัง Figure 2 พบว่า ราสายพันธุ์ *O. sinensis* ที่แยกได้จากดอกเห็ดแห้งของเห็ดถึงเข้าที่เบตธรรมชาติ

อยู่ในวงศ์ Ophiocordycipitaceae และมีความคล้ายคลึงสูงสุดกับสายพันธุ์ *O. sinensis* หมายเลขภาคยานุวัติ KX237742.1 จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถสรุปได้ว่า

O. sinensis เป็นตัวแทนราสายพันธุ์บริสุทธิ์ของเห็ดถังเช่าทิเบตธรรมชาติ

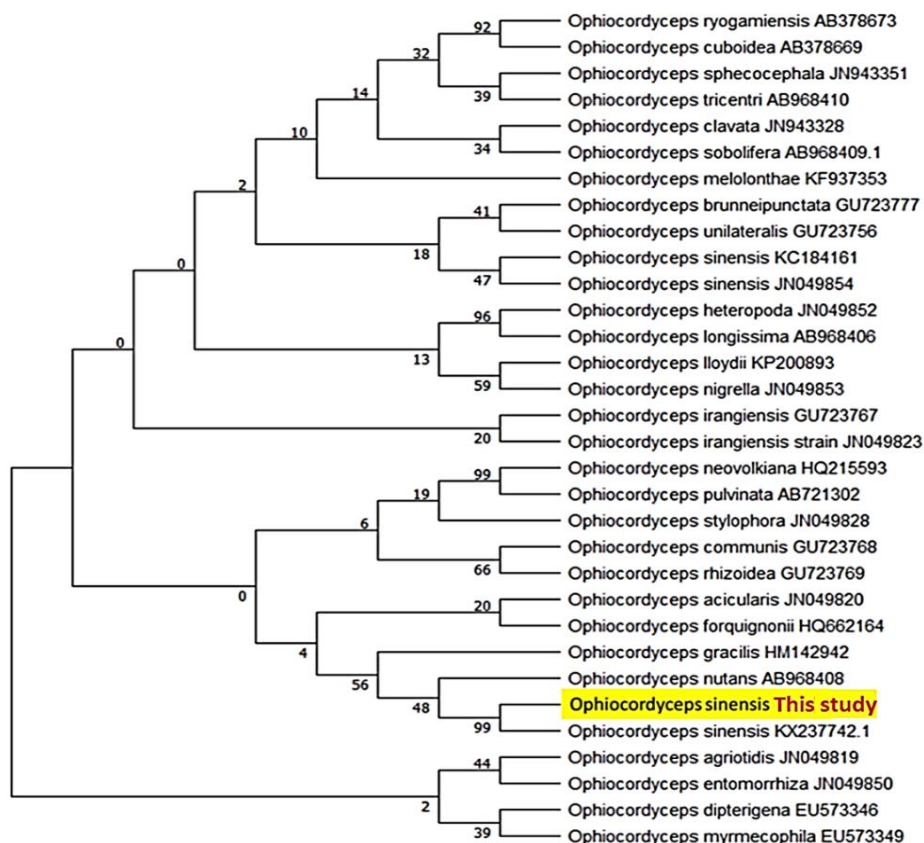


Figure 2 Phylogenetic tree in the family Ophiocordycipitaceae. The evolutionary relationships of the *Ophiocordyceps* 5.8S-ITS rDNA gene were determined using the neighbor-joining method

วิจารณ์ผลการวิจัย

การคัดแยกราบริสุทธิ์ออกจากดอกเห็ดถึงเช่าทิเบตแห่งจำนวน 40 ตัวอย่าง ผลที่ได้พบว่ามีสายพันธุ์รา *O. sinensis* สายพันธุ์บริสุทธิ์จำนวน 1 ไอโซเลท เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้การถอดรหัสไรโบโซมนิวเคลียส (ITS; ITS1–5.8S–ITS2) ผ่านไพรเมอร์ ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTTGATATGC-3') และ ITS5 (5'-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3') ซึ่งเป็นเทคนิคการระบุสายพันธุ์ที่จำเพาะกับการระบุชนิดโฮสต์ของ *O. sinensis* เท่านั้น ดังนั้นเทคนิคที่ใช้ในการระบุสายพันธุ์ยังคงไม่ครอบคลุมถึงความหลากหลายทางชีวภาพของราหรือชุมชนราที่คาดว่าจะเป็นตัวแทนของเห็ดถึงเช่าทิเบตธรรมชาติสายพันธุ์ย่อยอื่น ๆ และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโคโลนีรา คือ มีลักษณะของโคโลนีที่เป็นสีขาวและมีสีเหลืองอ่อนเล็กน้อย ลักษณะของเส้นใยที่ซ้อนกันและฟูฟูคล้ายสำลี (Ko *et al.*, 2017) ซึ่งลักษณะดังกล่าวถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์เบื้องต้นในการคัดแยกโคโลนีราที่คาดว่าจะเป็ *O. sinensis* ออกจากการปนเปื้อนของราสายพันธุ์อื่น ๆ เท่านั้น และในการคัดแยกพบว่าดอกเห็ดถึงเช่าบางตัวอย่างไม่เกิดโคโลนีราขึ้นเลย ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าราบางตัวอย่างอาจไม่มีชีวิตหรือเสื่อมความสามารถในการเจริญ ในการระบุสายพันธุ์ราพบว่าหนึ่งในนั้นเป็นสายพันธุ์ *O. sinensis* ซึ่งจัดว่าเป็นเห็ดถึงเช่าทิเบตสายพันธุ์แท้หรือที่เรียกว่าเป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์

เมื่อเทียบกับสายพันธุ์อื่น ๆ ที่มีรายงานก่อนหน้านี้ ตัวอย่างเช่น *Hirsutella sinensis* (Li *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2015; Wu *et al.*, 2019), *Paecilomyces sinensis* หรือ *Paecilomyces hepiali* (Chioza and Ohga, 2014; Yu *et al.*, 2016) และ *Tolyptocladium sp.* (Leung *et al.*, 2006; Yan *et al.*, 2010) เป็นต้น ซึ่งราสายพันธุ์เหล่านี้มีการแสดงถึงศักยภาพในการเป็นสารต้านมะเร็ง สารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน เป็นสารต้านอนุมูล

อิสระเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามราเหล่านี้ยังคงไม่มีการยอมรับในเชิงพาณิชย์ และได้ถูกคัดทิ้งในฐานะที่จะได้เป็นราตัวแทนของเห็ดถึงเช่าทิเบตธรรมชาติเท่านั้น (Chioza and Ohga, 2014) ดังนั้น สายพันธุ์ *O. sinensis* ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้จึงเป็นหนึ่งในราสายพันธุ์แท้ของเห็ดถึงเช่าทิเบตธรรมชาติ

สรุปผลการวิจัย

การใช้เทคนิคทางชีววิทยาโมเลกุลและการวิเคราะห์สายวิวัฒนาการในครั้งนี้ สามารถคัดเลือกสายพันธุ์แท้หรือสายพันธุ์บริสุทธิ์ *O. sinensis* ซึ่งถือเป็นตัวแทนของเห็ดถึงเช่าทิเบตธรรมชาติ โดยราสายพันธุ์บริสุทธิ์ที่ได้นี้จะสามารถใช้เป็นหัวเชื้อสำหรับการตรวจสอบการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและทดสอบการออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาต่อไป ซึ่งในท้ายที่สุดจะสามารถประยุกต์ใช้เพื่อการผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรมอาหารฟังก์ชัน และยารักษาโรคในเชิงพาณิชย์ในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Bhardwaj, N., S. Rajaura, P. Chauhan and A. Singh. 2023. Metabolomics and Therapeutic Potential of *Ophiocordyceps sinensis*. pp. 319-342. *In Phytochemical Genomics: Plant Metabolomics and Medicinal Plant Genomics*. Singapore: Springer.

- Bhetwal, S., S. Chatterjee, R.R. Samrat, M. Rana and S. Srivastava. 2021. *Cordyceps sinensis*: Peculiar caterpillar mushroom, salutary in its medicinal and restorative capabilities. **The Pharma Innovation Journal** 10(4): 1045-1054.
- Cao, L., Y. Ye and R. Han. 2015. Fruiting body production of the medicinal Chinese caterpillar mushroom, *Ophiocordyceps sinensis* (Ascomycetes), in artificial medium. **International Journal of Medicinal Mushrooms** 17(11): 1521-9437.
- Chioza, A. and S. Ohga. 2014. A review on fungal isolates reported as anamorphs of *Ophiocordyceps sinensis*. **Journal of Mycology** 913917. [Online]. Available <https://doi.org/10.1155/2014/913917>.
- Dong, C., S. Guo, W. Wang and X. Liu. 2015. Cordyceps industry in China. **Mycology**. 6(2): 121-129.
- Kandeel, M., M.E. Mohamed, H. M. Abd El-Lateef, K.N. Venugopala and H.S. El-Beltagi. 2022. Omicron variant genome evolution and phylogenetics. **Journal of Medical Virology** 94(4): 1627-1632.
- Ko, Y.-F., J.-C. Liau, C.-S. Lee, C.-Y. Chiu, J. Martel, C.-S. Lin, S.-F. Tseng, D.M. Ojcius, C.-C. Lu and H.-C. Lai. 2017. Isolation, culture and characterization of *Hirsutella sinensis* mycelium from caterpillar fungus fruiting body. **PloS One** 12(1): e0168734.
- Leung, P., Q. Zhang and J. Wu. 2006. Mycelium cultivation, chemical composition and antitumour activity of a *Tolypocladium sp.* fungus isolated from wild *Cordyceps sinensis*. **Journal of Applied microbiology** 101(2): 275-283.
- Li, C., Z. Li, M. Fan, W. Cheng, Y. Long, T. Ding and L. Ming. 2006. The composition of *Hirsutella sinensis*, anamorph of *Cordyceps sinensis*. **Journal of Food Composition and Analysis** 19(8): 800-805.
- Liu, Y., J. Wang, W. Wang, H. Zhang, X. Zhang and C. Han. 2015. The chemical constituents and pharmacological actions of *Cordyceps sinensis*. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine** 575063. DOI:10.1155/2015/575063 (April 16, 2015).
- Liu, Z.-Q., S. Lin, P.J. Baker, L.-F. Wu, X.-R. Wang, H. Wu, F. Xu, H.-Y. Wang, M.E. Brathwaite and Y.-G. Zheng. 2015. Transcriptome sequencing and analysis of the entomopathogenic fungus *Hirsutella sinensis* isolated from *Ophiocordyceps sinensis*. **Bmc Genomics** 16:106. DOI: 10.1186/s12864-015-1269-y (February 21, 2015).

- Pang, L.-Y., S.-M. Then, K.-H. Lim, K.-N. Ting and S.-Y. Fung. 2023. Biopharmaceutical Potential of *Ophiocordyceps sinensis* for Human Health. pp. 189-219. **In Mushrooms with Therapeutic Potentials: Recent Advances in Research and Development.** Singapore: Springer.
- Sharma, S. and S. Kumar. 2021. Fast and accurate bootstrap confidence limits on genome-scale phylogenies using little bootstraps. **Nature Computational Science** 1(9): 573-577.
- Shreedeevasena, S., L. Karthiba, R. Raveena, S. Ramyabharathi, E.A. Salama, J. Mohanraj, S. Vanitha, P. Anantha Raju, A. Kamalakannan and P. Jeyakumar. 2022. Mass Production and Marketing of Compost Caterpillar Fungus *Cordyceps sinensis*. pp. 239-263. **In Industrial Microbiology Based Entrepreneurship: Making Money from Microbes.** Berlin: Springer Nature.
- Tamura, K., M. Nei and S. Kumar. 2004. Prospects for inferring very large phylogenies by using the neighbor-joining method. **PNAS** 101(30) 11030-11035.
- Wei, Y., L. Zhang, J. Wang, W. Wang, N. Niyati, Y. Guo and X. Wang. 2021. Chinese caterpillar fungus (*Ophiocordyceps sinensis*) in China: current distribution, trading, and futures under climate change and overexploitation. **Science of The Total Environment** 755(2021): 142548. DOI:10.1016/ j.scitotenv.2020.142548.
- Wu, T.-R., C.-S. Lin, C.-J. Chang, T.-L. Lin, J. Martel, Y.-F. Ko, D. M. Ojcius, C.-C. Lu, J.D. Young and H.-C. Lai. 2019. Gut commensal *Parabacteroides goldsteinii* plays a predominant role in the anti-obesity effects of polysaccharides isolated from *Hirsutella sinensis*. **Gut** 68(2): 248-262.
- Xia, F., X. Chen, M.-Y. Guo, X.-H. Bai, Y. Liu, G.-R. Shen, Y.-L. Li, J. Lin and X.-W. Zhou. 2016. High-throughput sequencing-based analysis of endogenetic fungal communities inhabiting the *Chinese cordyceps* reveals unexpectedly high fungal diversity. **Scientific Reports** 6(1): 33437.
- Yan, J.-K., L. Li, Z.-M. Wang and J.-Y. Wu. 2010. Structural elucidation of an exopolysaccharide from mycelial fermentation of a *Tolyposcladium* sp. fungus isolated from wild *Cordyceps sinensis*. **Carbohydrate Polymers** 79(1): 125-130.
- Yu, Y., W. Wang, L. Wang, F. Pang, L. Guo, L. Song, G. Liu and C. Feng. 2016. Draft genome sequence of *Paecilomyces hepiali*, isolated from *Cordyceps sinensis*. **Genome Announcements** 4(4): e00606-00616.

Zhang, Y., E. Li, C. Wang, Y. Li and X. Liu. 2012. *Ophiocordyceps sinensis*, the flagship fungus of China: terminology, life strategy and ecology. **Mycology** 3(1): 2-10.

Zhang, Y., S. Zhang, M. Wang, F. Bai and X. Liu. 2010. High diversity of the fungal community structure in naturally-occurring *Ophiocordyceps sinensis*. **PLoS One** 5(12): e15570.

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากดอกเอื้องคำสด
ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี/แมสสเปกโตรเมตรี ทริปเปิ้ลควอดรูโพล
Study on Chemical Compositions of Essential Oil
from *Dendrobium chrysotoxum* Lindl. Fresh Flowers by GC-MS/MS TQ

รุ่งทิพย์ กาวารี* นลิน วงศ์ขัตติยะ และทิพย์สุตา ตั้งตระกูล

Rungthip Kawaree*, Nalin Wongkattiya and Tipsuda Tangtragoon

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

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

*Corresponding author: rungthip-k@maejo.mju.ac.th

Received: September 23, 2023

Revised: May 14, 2024

Accepted: June 10, 2024

Abstract

The aim of this research was to analyze the chemical compositions of the essential oil derived from the fresh flowers of *Dendrobium chrysotoxum* Lindl. using Gas Chromatography-Mass Spectrometry/Mass Spectrometry triple quadrupole (GC-MS/MS TQ). The essential oil from *D. chrysotoxum* was extracted via hydro distillation. The fresh flowers yielded an essential oil content of 0.09%w/w. Several compounds were identified and categorized into five groups: saturated hydrocarbons, alcohols, oxygenated terpenes, terpenes, and alkanes. The predominant components of the *D. chrysotoxum* essential oil were n-eicosane (40.71%), n-heneicosane (25.71%), n-pentacosane (7.11%), α -phellandren-8-ol (5.42%), and n-docosane (4.23%).

Keywords: *Dendrobium chrysotoxum* Lindl., chemical components, essential oil, hydro-distillation, GC-MS/MS

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากดอกกล้วยไม้เอื้องคำสด โดยนำดอกกล้วยไม้เอื้องคำสดมาล้างด้วยน้ำเพื่อแยกน้ำมันหอมระเหยออกมา แล้ววิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี/แมสสเปกโตรเมตรี ทริปเปิ้ลควอดรูโพล ผลการศึกษาพบว่า หาร้อยละน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้เท่ากับ 0.09

(น้ำหนัก/น้ำหนักดอกสด) องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยพบสารที่เป็นองค์ประกอบหลักจำนวน 5 กลุ่ม ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว แอลกอฮอล์ เทอร์ปีนที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เทอร์ปีน และกลุ่มของอัลเคน โดยน้ำมันหอมระเหยจากดอกกล้วยไม้เอื้องคำสดพบสารที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ n-eicosane (40.71%), n-heneicosane (25.71%), n-pentacosane (7.11%), α -phellandren-8-ol (5.42%) และ n-docosane (4.23%) ตามลำดับ

คำสำคัญ: เอื้องคำ องค์ประกอบทางเคมี น้ำมันหอมระเหย การกลั่นด้วยน้ำ แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี/แมสสเปกโทรเมตรี

คำนำ

กล้วยไม้เอื้องคำ เป็นกล้วยไม้สกุลหวาย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Dendrobium chrysotoxum* Lindl. ลักษณะกลีบดอกมีสีเหลืองสด ปากมีสีเหลือง ตรงกลางมีแต้มสีเหลืองเข้มปนน้ำตาลเรื่อ ๆ ขอบปากหยักเป็นครุย ออกดอกเป็นช่อ ช่อดอกเกิดจากตาตอกบริเวณส่วนปลายลำลูกกล้วย ก้านดอกแข็ง ช่อดอกห้อยโค้งลง หรือชี้ไปทางด้านข้าง ช่อดอกยาวประมาณ 20-30 เซนติเมตร ขนาดดอกประมาณ 3-4 เซนติเมตร จำนวนดอกประมาณ 20 ดอกต่อช่อ ดอกมีกลิ่นหอมอ่อน ๆ ดอกบานในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน นาน 2-3 สัปดาห์ ลำลูกกล้วยมีสีออกเหลือง ลำยาว 10-30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของลำประมาณ 3 เซนติเมตร (Orchid tropical, 2010) กล้วยไม้เอื้องคำอยู่ในกลุ่ม Callista ซึ่งกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศไทยและประเทศใกล้เคียง เจริญเติบโตในที่ลุ่มของเขตร้อน พบในประเทศไทย พม่า และจีนตอนใต้ ขึ้นในป่าผลัดใบ ที่ระดับความสูง 400-1,600 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล

ปัจจุบันมีการนำกล้วยไม้มาใช้ประโยชน์ทางด้านสมุนไพรมากขึ้น เนื่องจากมีสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาต่าง ๆ คือ ฤทธิ์ต้านการเจริญของเนื้องอกหรือมะเร็ง (Antitumor) ฤทธิ์ต้านการเจริญของหลอดเลือด (Anti-angiogenic) ฤทธิ์ต้านการอักเสบ (Anti-inflammation) ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ (Antioxidant) (Sapkaew and Wongchaowchan, 2018) (Pingyot, 2017) ส่วนกล้วยไม้เอื้องคำ นอกจากจะมีความสำคัญด้านไม้ดอกไม้ประดับแล้ว ในแต่ละปีมีความต้องการผลผลิตจากเอื้องคำเป็นจำนวนมากเพื่อเป็นวัตถุดิบทางสมุนไพรจีน โดยดอกและลำลูกกล้วยแห้งของเอื้องคำใช้ชงเป็นชาดื่มเพื่อให้ร่างกายเกิดความสมดุลของหยินและหยาง (Thai Orchid

Foundation, 2016) ถ้าเป็นยาจีน คือ มีสรรพคุณทางด้านเซ็กซ์ ทำให้อ่อนหลับสบาย ช่วยลดความดันโลหิต (rose1000, 2012)

Robustelli della Cuna (Cuna *et al.*, 2021) ได้รายงานองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam distillation) ของดอกกล้วยไม้สดในสกุล *Dendrobium* 5 ชนิด ในประเทศอิตาลีด้วยเครื่อง GC/FID และ GC/MS โดยใช้เทคนิค Solid Phase Micro Extraction (SPME) ดูดซับกลิ่นมาวิเคราะห์ ซึ่งกล้วยไม้หนึ่งชนิดในนั้นระบุว่าทำการศึกษาค้นคว้า *Dendrobium chrysotoxum* Lindl. มีปริมาณน้ำมันร้อยละ 0.33 (น้ำหนัก/น้ำหนักแห้ง) พบองค์ประกอบหลัก กลุ่มเอสเทอร์ (46.59%) ได้แก่ Ethyl linolenate (26.98%), Methyl linoleate (7.48%), Ethyl oleate (5.39%), Ethyl palmitate (3.05%) และ 9-oxo-nonanoic acid, Ethyl ester (9.28%) กลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว (22.84%) ได้แก่ Heneicosane (10.01%), Tricosane (9.33%) และ Docosane (1.66%) กลุ่มเทอร์ปีนที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (8.31%) ได้แก่ Trans-verbenol (4.60%), Terpinen-4-ol (1.53%) และ Cis-verbenol (0.92%) กลุ่มแอลกอฮอล์ (7.97%) ได้แก่ 1-octanol (2.80%), 2-phenylethanol (2.36%) และ α -phellandren-8-ol (2.15%) กลุ่มอัลดีไฮด์ (3.15%) ได้แก่ Phenylacetaldehyde (0.84%), Hexanal (0.73%), (E,Z)-2,4-decadienal (0.48%) และ (E,E)-2,4-decadienal (0.40%) กลุ่มเทอร์ปีน (2.04%) ได้แก่ γ -terpinene (0.76%) และ Neocembrene (0.52%) กลุ่มกรด คูมาริน คีโตน ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว และอื่น ๆ อีก ที่ 0.45, 0.71, 0.62, 0.69, 6.61% ตามลำดับ ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีที่พบในน้ำมันหอมระเหยมีความแตกต่างกันไปทั้งชนิดและปริมาณ ตามแต่ละชนิดของกล้วยไม้ รวมทั้งความแตกต่างทางด้านสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันระเหยจากดอกเอื้องคำจากประเทศไทย ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดน้ำมันหอมระเหย

จากดอกกล้วยไม้เอื้องคำสดด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้เพื่อเป็นฐานข้อมูลแสดงปริมาณและชนิดของสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบที่อยู่ในน้ำมันหอมระเหยดอกเอื้องคำที่มาจากประเทศไทย ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในการควบคุมมาตรฐานการนำกลิ่นหอมจากกล้วยไม้ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องหอม ได้แก่ น้ำหอมจากเอื้องคำหรือ เครื่องสำอางต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่างดอกกล้วยไม้เอื้องคำ

เก็บตัวอย่างดอกกล้วยไม้เอื้องคำสดจากหมู่บ้านปางไคร้ อำเภอมะริม จังหวัดเชียงใหม่ ที่เพาะปลูกในโรงเรือน จำแนกชนิดของกล้วยไม้ด้วยการสังเกตลักษณะต้นและดอก และเก็บตัวอย่างต้นพันธุ์ไม้เพื่อใช้ในการอ้างอิงสายพันธุ์ (Herbarium) ไว้ ณ โรงเรือนอนุบาลกล้วยไม้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชฯ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตัวอย่างดอกที่นำมาวิจัยเก็บในระยะ Flowering stage (บานครบ 5 วัน) ซึ่งเป็นระยะที่มีปริมาณและชนิดขององค์ประกอบของสารหอมระเหยมากที่สุด (Huang *et al.*, 2018) นำมาสกัดน้ำมันหอมระเหยทันทีหลังจากตัดจากต้น

การสกัดน้ำมันหอมระเหย (Essential oil)

นำดอกกล้วยไม้เอื้องคำสด (*Dendrobium chrysotoxum* Lindl.) จำนวน 50 ดอก หนักประมาณ 25 กรัม สกัดแยกน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ (Hydro-distillation) โดยเติมน้ำปราศจากไอออน (RCI Labscan, Ireland) ปริมาตร 450 มิลลิลิตร ต่อขวดเข้ากับชุดเก็บน้ำมันหอมระเหย (Clevenger apparatus) ให้ความร้อนด้วยเตาหลุม (Gerhardt รุ่น KI2) ที่ความ

ร้อนระดับ 2 ทำการกลั่น 2 ชั่วโมง จากนั้นรอให้เย็น ทำการสกัดน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ที่ปนอยู่กับน้ำในชุดเก็บน้ำมันหอมระเหยด้วยไดคลอโรมีเทน (Merck, Darmstadt, Germany) 3 ครั้ง ๆ ละ 300 มิลลิลิตร แล้วเก็บชั้นไดคลอโรมีเทนผ่านกระดาษกรองที่มีโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส (Merck, Darmstadt, Germany) เพื่อดูดน้ำออก จากนั้นระเหยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนออกด้วยแก๊สไนโตรเจน 99.995% เก็บน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย GC-MS/MS TQ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ด้วยเทคนิค GC-MS/MS TQ ใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์/แมสสเปกโตรมิเตอร์ ชนิด Triple Quadrupole (Agilent Technologies รุ่น 8890 GC/7000D TQ 9000 GC/MS) ใช้คาพิลารีคอลัมน์เคลือบด้วย 5% Phenyl methylpolysiloxane (HP5-MS UI, Agilent Technologies; Catalog number 19091S-433UI; 0321562H) ขนาด 30 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพาที่อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตร ต่อนาที อุณหภูมิของ Injector, mass transfer line, detector คือ 150, 280 และ 280 องศาเซลเซียสตามลำดับ ฉีดตัวอย่างเข้าเครื่องแบบอัตโนมัติ ปริมาตรที่ฉีด คือ 1 ไมโครลิตร Split mode 40:1 ศึกษาในโหมด Full scan mode 30–550 amu ตั้งอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของตู้อบคอลัมน์ ดังนี้ โปรแกรมอุณหภูมิเริ่ม 50 องศาเซลเซียส คงที่ 3 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 188 องศาเซลเซียส (5 องศาเซลเซียสต่อนาที) และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 260 องศาเซลเซียส (10 องศาเซลเซียสต่อนาที) และคงที่เป็นเวลา 10 นาที (Solvent delay 3 นาที)

การแปลผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย

การบ่งชี้ชนิดขององค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยใช้การเปรียบเทียบ Retention Indices (RI) และแมสสเปกตรัม และเปรียบเทียบแมสสเปกตรัมกับฐานข้อมูล NIST database mass spectra library การคำนวณค่า Retention indices หาได้จากการใช้ n-alkane series C7-C40 Catalog number 49452-U (Supelco, Saint Louis, US) ภายใต้สภาวะการวิเคราะห์เดียวกันกับตัวอย่าง และหาปริมาณขององค์ประกอบด้วย Internal standard method (Rouessac and Rouessac, 2007) เติม Octyl octanoate, Purity (GC) 98% CAS number 2306-88-9 (Merck, Darmstadt, Germany) ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็น Internal Standard (IS) และแสดงปริมาณสัมพัทธ์ขององค์ประกอบของแต่ละองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยด้วยร้อยละพื้นที่ใต้พีคเทียบกับปริมาณพื้นที่ใต้พีคทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค GC-MS/MS TQ

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ดอกกล้วยไม้เอื้องคำเก็บจากหมู่บ้านปางไคร้ อำเภอมะริม จังหวัดเชียงใหม่ ที่เพาะปลูกในโรงเรือน เมื่อเดือนเมษายน พ.ศ. 2566 ในขณะที่ดอกบานได้ 5 วัน ดอกบานมีลักษณะกลีบดอกมีสีเหลืองสด มี 6 กลีบ กลีบเลี้ยงรูปไข่แกมขอบขนาน กลีบดอกรูปไข่กลับ กลีบปากแผ่เป็นแผ่นเกือบกลม มีขนนุ่มปกคลุม กลางกลีบสีเหลืองเข้ม ขอบกลีบหยักเป็นฝอยละเอียด และบิดเป็นคลื่นเล็กน้อย ก้านดอกแข็ง ช่อดอกห้อยโค้งลง หรือชี้ไปทางด้านข้าง ช่อดอกยาวประมาณ 20-30 เซนติเมตร ดอกบนก้านประมาณ 3-4 เซนติเมตร จำนวนดอกประมาณ 20 ดอกต่อช่อ ดอกมีกลิ่นหอมอ่อน ๆ (Figure 1A-D) ตัวอย่างต้นพันธุ์ได้เก็บไว้เพื่ออ้างอิง โรงเรือนอนุบาลกล้วยไม้ โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชฯ มหาวิทยาลัยแม่โจ้



(A)

(B)

(C)

(D)

Figure 1 Characteristics of the beginning of blooming of the orchid flower

(A) no blooming flower yet, will start to bloom the next day

(B) started blooming on the first day, there are still some buds.

(C) the second day of blooming

(D) 5th day of blooming

ดอกกล้วยไม้เอื้องคำมีจำนวนดอกเฉลี่ย 14.37 ± 4.89 ดอกต่อช่อ มีน้ำหนักดอกสดเท่ากับ 0.69 ± 0.04 กรัม/ดอก เมื่อกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากดอกสด สกัดน้ำมัน และกำจัดน้ำออกไปแล้ว ได้ร้อยละน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้เท่ากับ 0.09 (น้ำหนัก/น้ำหนักดอกสด) น้ำมันหอมระเหยที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวใส

ไม่มีสี มีกลิ่นหอม (Figure 2A-B) จากรายงานของ Robustelli della Cuna (Cuna *et al.*, 2021) พบว่ามีปริมาณร้อยละการผลิตน้ำมันเท่ากับ 0.33 (น้ำหนัก/น้ำหนักแห้ง) ซึ่งเป็นปริมาณที่มากกว่าเนื่องจากใช้เป็นน้ำหนักแห้งในการคำนวณ ส่วนงานวิจัยชิ้นนี้ใช้น้ำหนักของดอกสดในการคำนวณ



(A)



(B)

Figure 2 *Dendrobium chrysotoxum* Lindl. fresh flowers (A) and essential oil (B)

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากดอกเอื้องคำสดที่สกัดได้ ด้วยเทคนิค GC-MS/MS TQ ได้ total-ion chromatogram (TIC) พบสารที่เป็นองค์ประกอบทั้งหมด จำนวน 16 ชนิด ได้แก่ n-Eicosane (1.23%), α -Methyl-Benzenemethanol (0.42%), trans-Verbenol (2.61%), p-Mentha-1,5-dien-8-ol (2.16%), 2-Methylene cyclopentanol (0.47%), α -Phellandren-8-ol (5.42%), Terpinen-4-ol (1.68%), Cyclopropane, Trimethyl (2-methyl-1-propenylidene)- (0.43%), 2,4-Di-tert-butylphenol (2.91%), n-Heneicosane (25.71%), n-Docosane (4.23%), Unidentified (1.55%),

n-Eicosane (40.71%), n-Tetracosane (2.04%), n-Pentacosane (7.11%) และ n-Heptacosane (1.33%) โดยพบ n-Eicosane (40.71%) ในปริมาณที่มากที่สุด โดยที่ Internal Standard (IS) Octyl octanoate มีค่า RT เท่ากับ 29.614 และมีค่า RI เท่ากับ 1779 ดังแสดงใน Figure 3 และ Table 1 เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Robustelli della Cuna (Cuna *et al.*, 2021) ที่ได้รายงานว่า องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจาก *Dendrobium chrysotoxum* นั้น มีองค์ประกอบทางเคมีทั้งสิ้น 63 ชนิด

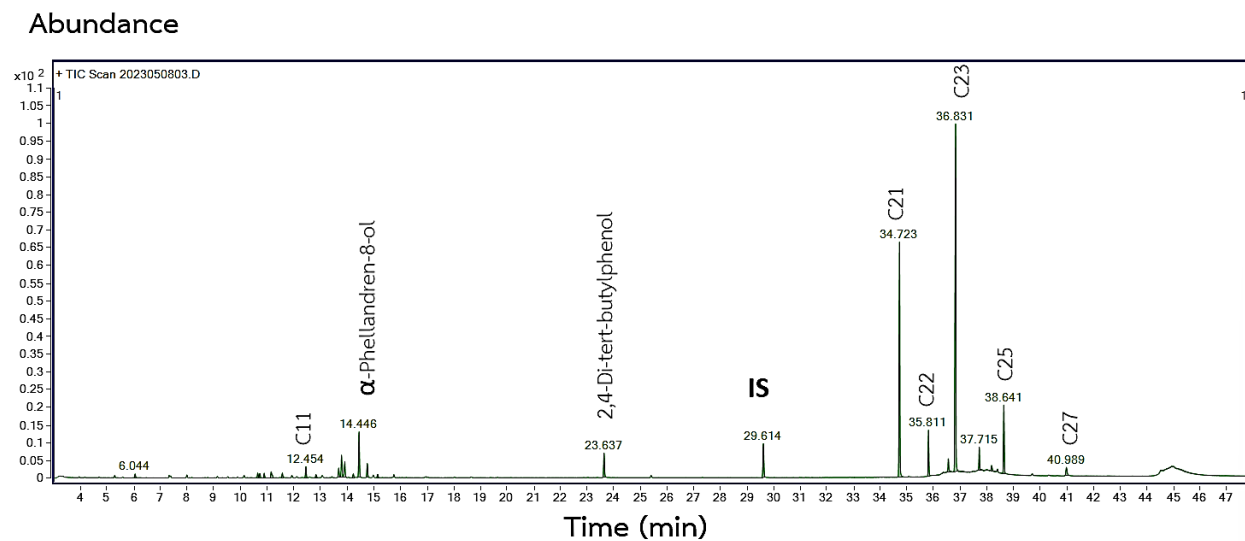


Figure 3 GC Chromatogram of essential oil form *Dendrobium chrysotoxum* Lindl. fresh flowers

Table 1 The main chemical components of essential oil from *Dendrobium chrysotoxum* Lindl. fresh flowers

No.	RT	RI ^a	RI ^b	Components	Group	%
1	12.454	1100	1100	n-Eicosane; C11	Saturated hydrocarbons	1.23
2	12.828	1113	-	Benzenemethanol, α -Methyl-	Alcohol	0.42
3	13.787	1145	1145	trans-Verbenol	Oxygenated terpenes	2.61
4	13.914	1149	1150	p-Mentha-1,5-dien-8-ol // Camphor	Alcohol	2.16
5	14.231	1160	1162	2-Methylene cyclopentanol	Alcohol	0.47
6	14.446	1167	1170	α -Phellandren-8-ol	Alcohol	5.42
7	14.750	1178	1177	Terpinen-4-ol	Oxygenated terpenes	1.68
8	15.148	1191	-	Cyclopropane, trimethyl (2-Methyl-1-propenylidene)-	Alkane	0.43
9	23.637	1513	1502	2,4-Di-tert-butylphenol	Alcohol	2.91
10	34.723	2100	2100	n-Heneicosane; C21	Saturated hydrocarbons	25.71
11	35.811	2199	2200	n-Docosane; C22	Saturated hydrocarbons	4.23
12	36.557	2274	2279	9-Triacosene	Terpenes	1.55

Table 1 (Continued)

No.	RT	RI ^a	RI ^b	Components	Group	%
13	36.831	2302	2300	n-Eicosane; C23	Saturated hydrocarbons	40.71
14	37.715	2398	2400	n-Tetracosane; C24	Saturated hydrocarbons	2.04
15	38.641	2499	2500	n-Pentacosane; C25	Saturated hydrocarbons	7.11
16	40.989	2698	2700	n-Heptacosane; C27	Saturated hydrocarbons	1.33

a) Retention Indices according to experiment b) Retention Indices according to Adams (2007)

% = Percent composition

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยพบสารที่เป็นองค์ประกอบหลักจำนวน 5 กลุ่ม (Table 2) ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว แอลกอฮอล์ เทอร์ปีนที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เทอร์ปีน และกลุ่มของอัลเคน เมื่อเทียบกับน้ำมันหอมระเหยจาก *D. Chrysotoxum* ที่รายงานจากประเทศอิตาลีพบว่า กลุ่มของสารเคมีที่พบมี 12 กลุ่ม ซึ่งมีความแตกต่างกันมาก โดยในการวิจัยครั้งนี้พบสารเคมีในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวเป็นปริมาณ 82.36% แต่ข้อมูลจาก Robustelli della Cuna (Cuna *et al.*, 2021) นั้น พบว่าสารในกลุ่มเอสเทอร์มีปริมาณมากที่สุดถึง 46.59% จากความแตกต่างเหล่านี้ อาจมี

สาเหตุได้หลายประเด็น ได้แก่ อาจเนื่องมาจากเทคนิคและเครื่องมือการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน หรือดอกเอื้องคำที่มีหลาย Variety เช่น เอื้องคำ หรือเอื้องคำตาดำที่มีลักษณะดอกแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ในการวิจัยนี้ได้ระบุชัดเจนแล้วว่า *D. Chrysotoxum* ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นดอกเอื้องคำ มิใช่เอื้องคำตาดำ หรือองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันหอมระเหยที่มีความแตกต่างกันนี้อาจเนื่องมาจาก กล้วยไม้ที่ปลูกในที่ที่มีความแตกต่างกันทั้งทางด้านภูมิประเทศและภูมิอากาศก็เป็นได้ (Agostini *et al.*, 2022)

Table 2 The percentage chemical groups found in *D. Chrysotoxum* essential oil from this study and Robustelli della Cuna (Cuna *et al.*, 2021)

Group	<i>D. Chrysotoxum</i> (This study)	<i>D. Chrysotoxum</i> (Cuna <i>et al.</i> , 2021)
Aldehydes	-	3.15
Alcohols	11.38	7.97
Alkane	0.43	-
Acids	-	0.45
Coumarin	-	0.71

Table 2 (Continued)

Group	<i>D. Chrysotoxum</i> (This study)	<i>D. Chrysotoxum</i> (Cuna <i>et al.</i> , 2021)
Esters	-	46.59
Ketones	-	0.62
Saturated hydrocarbon	82.36	22.84
Unsaturated hydrocarbon	-	0.69
Terpenes	1.55	2.04
Oxygenated terpenes	4.29	8.31
Miscellanea	-	0.48
Unidentified	-	6.13

มีงานวิจัยของ Huang *et al.* (2018) ได้ศึกษาองค์ประกอบสารหอมในดอกเอื้องคำโดยใช้ Solid-phase microextraction (SPME) และ GC-MS พบสารหอม 33 ชนิด ประกอบด้วย เทอร์ปีน 15 ชนิด เอสเทอร์ 7 ชนิด แอลกอฮอล์ 6 ชนิด สารอะโรมาติก 2 ชนิด คีโตน 2 ชนิด และอัลดีไฮด์ 1 ชนิด โดยเอสเทอร์และเทอร์ปีนอยด์เป็น

องค์ประกอบหลักที่ให้สารหอมมีมากถึง 80% ขององค์ประกอบทั้งหมด ระยะการบานของดอกที่แตกต่างกัน มีปริมาณขององค์ประกอบเพิ่มขึ้น และลดลง โดยมีปริมาณสูงที่สุดเมื่อระยะบานเต็มที่ (Full opening stage) (Figure 4)

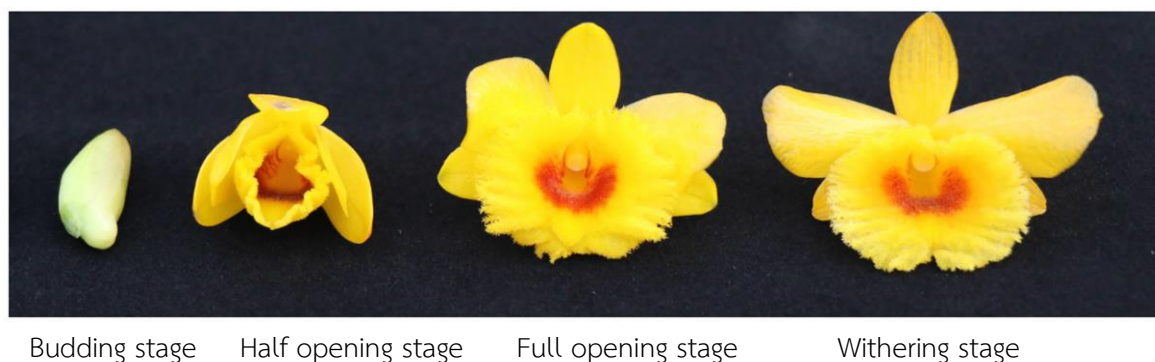


Figure 4 The morphological characteristics of *D. Chrysotoxum* flower at different blooming stages

การสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ จะทำให้ตัวอย่างดอกกล้วยไม้เอื้องคำสดได้รับความร้อนโดยตรงจากน้ำร้อน อาจทำให้สารหอมบางชนิดถูกทำลายหรือมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อถูกความร้อน หรืออาจทำให้มีองค์ประกอบของสารอื่นเกิดขึ้นมา จึงทำให้น้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้มีกลิ่นที่ผิดเพี้ยนไปจากดอกสดในธรรมชาติ หากมีการเปรียบเทียบของค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดด้วยกระบวนการอื่น ๆ ข้อมูลที่ได้จะมีประโยชน์ต่อผู้ประกอบการด้านเครื่องสำอาง หรือสปาได้

สรุปผลการวิจัย

น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากดอกกล้วยไม้เอื้องคำสดด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ มีร้อยละน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้เท่ากับ 0.09 (น้ำหนัก/น้ำหนักดอกสด) น้ำมันหอมระเหยมีลักษณะเป็นของเหลว สี ไม่มีสี มีกลิ่นหอม เมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง GC-MS/MS TQ พบองค์ประกอบหลัก 16 ชนิด แบ่งเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว แอลกอฮอล์ เทอร์ปีน ที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เทอร์ปีน และกลุ่มของอัลเคน โดยพบ n-Eicosane ในปริมาณที่มากที่สุด (40.71%) รองลงมาคือ n-Heneicosane (25.71%), n-Pentacosane (7.11%), α -Phellandren-8-ol (5.42 %) และ n-Docosane (4.23%) ตามลำดับ จากองค์ประกอบที่พบเป็นสารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว มีปริมาณ 82.36%

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างและมีการเปรียบเทียบกระบวนการสกัดน้ำมันหอมให้มีความเหมาะสมกับน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้สูงและมีคุณภาพ
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับกระบวนการที่ใช้ในการทำให้น้ำมันหอมระเหยมีความคงตัวของกลิ่นและองค์ประกอบทางเคมี

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (อพ.สธ-มจ.) ประจำปีงบประมาณ 2566 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- Adams, R.P. 2007. **Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry.** 4th. Carol Stream, IL: Allured Publishing Corporation. 804 p.
- Agostini, D.A., F.S.R.D. Cuna, P. Cortis, A. Cogoni, C. Sottani, F. Soddu and C. Sanna. 2022. Volatile Organic Compounds (VOCs) diversity in the orchid *Himantoglossum robertianum* (Loisel.) P. *delforge* from Sardinia (Italy). **Diversity** 14(12): 1125.
- Cuna, F.S.R.D., J. Calevo, M. Bazzicalupo, C. Sottani, E. Grignani and S. Preda. 2021. Chemical composition of essential oil from flowers of five fragrant *Dendrobium* (Orchidaceae). **Plants** 10(8): 17-18.
- Huang, X.L., B.Q. Zheng and W. Yan. 2018. Study of aroma compounds in flowers of *Dendrobium. chrysotoxum* in different florescence stages and Diurnal variation of full blooming stage. **Forest Research** 31(4): 142-149.

- Orchidropical. 2010. **Ueang Kham**
Dendrobium Chrysotoxum. [Online].
Available [https://www.orchidropical.com/
dendrobium-chrysotoxum.php](https://www.orchidropical.com/dendrobium-chrysotoxum.php)
(June 19, 2023). [in Thai]
- Pingyot, T. 2017. **Herbal orchids are used as
medicine**. [Online]. Available
[https://deqp.belib.app/book-
detail/1398#.XkXf8ygzYgw](https://deqp.belib.app/book-detail/1398#.XkXf8ygzYgw)
(November 10, 2023). [in Thai]
- rose1000. 2012. **Orchid medicine. Baan Suan
sufficiency - sufficiency economy
village on the internet: share, create,
be sufficiency**. [Online]. Available
[https://www.bansuanporpeang.com/nod
e/20172](https://www.bansuanporpeang.com/node/20172) (November 15, 2023). [in Thai]
- Rouessac, F. and A. Rouessac. 2007. **Chemical
Analysis: Modern Instrumentation
Methods and Techniques**. 2nd.
Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 574 p.
- Sapkaew, U. and C. Wongchaowchan. 2018.
Analysis of molecular markers specific
to some *Dendrobium* orchids in Thailand
that has group of derivatives Bibenzyl
Technically Inter-Simple Sequence
Repeat (ISSR). **Agricultural Journal**
34(3): 331-340. [in Thai]
- Thai Orchid Foundation. (Editor). 2016.
Beautiful Life, Thai Orchids.
Chiang Mai: Chiang Mai Saeng Sin Printing
House Chiang Mai Province. 244 p.
[in Thai]

การพัฒนาชุดผลิตภัณฑ์สปาบำรุงเส้นผมสูตรอ่อนโยนจากสารสกัดสมุนไพรไทย Development of gentle hair spa treatment products from Thai herbal extracts

ศนิพร จันทร์บุรี และธนพล กิจพจน์*

Sanipon Chanburee and Thanapon Kitpot*

สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและเครื่องสำอาง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

Division of Health and Cosmetic Product Development, Faculty of Food and Agricultural Technology

Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author: thanapon.ki@psru.ac.th

Received: January 04, 2024

Revised: July 02, 2024

Accepted: July 18, 2024

Abstract

Nowadays, consumers are increasingly interested in herbal products for treating disease and maintaining beauty, especially hair care products. Hence, the idea of developing herbal products for hair care was developed. The aim of this study was to develop hair spa treatment products containing *Tiliacora triandra*, *Litsea glutinosa*, *Ecliptae prostratae*, *Carthamus tinctorius*, and *Rhinacanthus nasutus* extracts as active ingredients. The results showed that total phenolic and flavonoid contents of *T. triandra* leaf extract was significantly higher than those of the others ($p < 0.05$). The anti-hair loss shampoo and conditioner were developed with 1.0, 1.0, 2.5, 2.5 and 5.0 percent of *T. triandra*, *L. glutinosa*, *E. prostratae*, *C. tinctorius*, and *R. nasutus* leaf extracts, respectively. The developed anti-hair loss herbal shampoo and conditioner products for sensitive skin were formulated to be Sodium Lauryl Ether Sulfate (SLES), paraben, silicone and colorant free. Herbal shampoo and conditioner products had satisfied appearance, green color, pH scale ranges from 4 to 6 and also natural aroma scent. From sensory evaluation result (9-point hedonic scale) of herbal shampoo and conditioner products, the overall acceptance scores were 7.0 ± 0.6 and 7.0 ± 0.3 , respectively. In addition, the stability of products was investigated by heat-cool cycles method. The results showed that phase separation was not observed in all products.

Keywords: herbal extracts, herbal shampoo, herbal conditioner, total phenolic, total flavonoid

บทคัดย่อ

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจในผลิตภัณฑ์จากสมุนไพรในด้านการรักษาโรคและความงามเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการดูแลเส้นผม จึงเกิดแนวความคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์สมุนไพรในการดูแลเส้นผม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดผลิตภัณฑ์สปาบำรุงเส้นผมที่มีส่วนผสมของสารสกัดสมุนไพรใบย่านาง ใบหมี กะเม็ง ดอกคำฝอย และทองพันชั่ง จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดของพืชแต่ละชนิด พบว่าสารสกัดใบย่านางมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลิตภัณฑ์แชมพูและครีมนวดได้ถูกพัฒนาพร้อมคุณสมบัติชะลอผมร่วงโดยมีสารสกัดใบย่านาง ใบหมี กะเม็ง ดอกคำฝอย และทองพันชั่ง ที่ร้อยละ 1.0, 1.0, 2.5, 2.5 และ 5.0 ตามลำดับ สูตรแชมพูและครีมนวดชะลอผมร่วงสำหรับผมที่บอบบางถูกพัฒนาจนได้สูตรที่เหมาะสม มีคุณสมบัติที่ดี ไม่มีส่วนประกอบของโซเดียมลอริลอีเทอร์ซัลเฟต (เอสแอลเอส) ไม่มีพาราเบน ไม่มีซิลิโคน และใช้สีธรรมชาติจากสมุนไพร ผลิตภัณฑ์แชมพูและครีมนวดสมุนไพรมีเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นสีเขียว ค่าความเป็นกรดต่างอยู่ระหว่าง 4 ถึง 6 และมีกลิ่นหอมโรมาตามธรรมชาติ จากการประเมินความพึงพอใจทางประสาทสัมผัส (คะแนน 9 ระดับ) พบว่าผลิตภัณฑ์แชมพูและครีมนวดผมสมุนไพรมีค่าคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.0 ± 0.6 และ 7.0 ± 0.3 คะแนน ตามลำดับ จากการศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์แชมพูและครีมนวดผมสมุนไพรที่สภาวะเร่ง พบว่าผลิตภัณฑ์แชมพูและครีมนวดสมุนไพรมีความคงตัว ไม่เกิดการแยกชั้น

คำสำคัญ: สารสกัดสมุนไพร แชมพูสมุนไพร
ครีมนวดผมสมุนไพร สารประกอบฟีนอลิก
สารประกอบฟลาโวนอยด์

คำนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคมีแนวโน้มให้ความสำคัญต่อสุขภาพมากขึ้น (Aunkaew *et al.*, 2022) โดยมีการใช้ประโยชน์จากสมุนไพรเพิ่มขึ้นทั้งในด้านการรักษาโรคและความงาม โดยผลิตภัณฑ์จากสมุนไพรได้รับความสนใจมากขึ้นในธุรกิจสปาที่เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมสุขภาพระดับโลก มีอัตราการเติบโตอย่างรวดเร็วหลังวิกฤติโควิด-19 ธุรกิจสปาไทยเป็นธุรกิจที่มีเอกลักษณ์โดดเด่น มีอัตลักษณ์ท้องถิ่นและมีความแตกต่างที่น่าสนใจโดยนำทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาผสมผสานเพื่อสร้างความแปลกใหม่ให้แก่ธุรกิจ ซึ่งประเทศไทยมีความหลากหลายทางด้านสมุนไพรไทย สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับธุรกิจ สปาและให้บริการด้านความงามได้ (Limprana *et al.*, 2023) นอกจากนี้ผู้บริโภคเริ่มมีการให้ความสำคัญในเรื่องของการดูแลเส้นผมเพิ่มขึ้นเนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่มีภาวะผมร่วงภายหลังการติดเชื้อโควิด-19 (Czech *et al.*, 2022; Triwongwaranat *et al.*, 2023) ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผมเพื่อช่วยชะลอผมร่วงได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น สมุนไพรที่มีคุณสมบัติช่วยชะลอผมร่วงส่วนใหญ่จะมีสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ โดยสมุนไพรที่น่าสนใจ ได้แก่

ใบย่านาง (*Tiliacora triandra*) มีสารสำคัญคือ ฟีนอลิกประกอบด้วย กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก วานิลลิก ไชรินจิก และคูมาริก ซึ่งมีรายงานว่าสามารถยับยั้งเอนไซม์ 5 แอลฟา-รีดักเทส ที่เป็นสาเหตุให้ผมร่วงและช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระในกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเส้นผม (Samankul *et al.*, 2022; Sun *et al.*, 2022) ใบหมี (*Litsea glutinosa*) มีสารสำคัญกลุ่มอัลคาลอยด์ ไกลโคไซด์ ลิกแนน แทนนิน เทอพินอยด์ และฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีรายงานว่าสารสกัดใบหมีในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียและเชื้อราบนหนังศีรษะที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผมร่วงได้ กะเม็ง (*Eclipta Prostrata*) เป็นสมุนไพรที่มีสารซาโปนิน ซาโปนิน แทนนิน นิโคติน และคูมารินเป็นส่วนประกอบซึ่งมีผลทดสอบพบว่าสามารถเพิ่มจำนวน

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดสมุนไพร

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดสมุนไพรดัดแปลงจากวิธีการของ Borrás-Linares *et al.* (2015) สารสกัดหยาบของสมุนไพรดอกคำฝอย ใบย่านาง ใบหมี กะเม็ง และทองพันชั่ง ปริมาณ 0.1 มล. นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น 4 มล. จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไนไตรท์ร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร (RCI Labscan, AR grade) 0.3 มล. ผสมให้เข้ากัน บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที แล้วเติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร (Merck, AR grade) 0.3 มล. บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาที และเติมสารละลาย 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Merck, AR grade) 2 มล. และน้ำกลั่น 3.3 มล. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Evolution 201, Thermo Scientific, USA) ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคาเทชิน ในช่วงความเป็นเส้นตรงซึ่งอยู่ในช่วงความเข้มข้น 0-5,000 มก./มล. คำนวณหาปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์เส้นตรงระหว่างแกน X คือ ความเข้มข้นของสารมาตรฐานคาเทชิน (มก./ลิตร) และแกน Y คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น ($Y=0.0003X + 0.0210$, $R^2=0.9990$) ที่สร้างขึ้น รายงานปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเป็น มิลลิกรัมสมมูลของคาเทชินต่อกรัมสารสกัด

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แชมพูสมุนไพรสูตรอ่อนโยน

การพัฒนากระบวนการผลิตแชมพูสมุนไพรเริ่มจากการพัฒนาสูตรตำรับพื้นฐานโดยมีการการแปรผันชนิดของสารให้ความหนืด เนื่องจากความหนืดของแชมพูมีผลต่อการไหลออกจากบรรจุภัณฑ์และมีผลต่อการกระจายบนเส้นผมในขณะสระผม ชนิดของสารให้ความหนืด (Thickening agent) ที่ศึกษา ได้แก่ แซนแทนกัม (สารธรรมชาติ) ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส (สารกึ่ง

สังเคราะห์) และอะโครเลสโคโพลีเมอร์ (สารสังเคราะห์) โดยผันแปรที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.25, และ 0.50 โดยแชมพูที่ได้ต้องมีคุณสมบัติไม่มีส่วนประกอบของโซเดียมลอริลอีเทอร์ซัลเฟต (SLES) พาราเบน ซิลิโคน และสีสังเคราะห์ และมีการตรวจสอบค่าคุณภาพต่าง ๆ คือ ประเมินลักษณะปรากฏด้วยสายตา ค่าสี $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่องวัดค่าสี (NH310, 3nh, China) ค่าความหนืดด้วยเครื่องวิสโคมิเตอร์ (ROTAVISC hi-vi II, IKA, Germany) และความเป็นกรดต่างด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ (ORION STAR A111, Thermo Scientific, USA) โดยมีการพัฒนาจนได้สูตรพื้นฐานที่เหมาะสมแล้วจึงมีการเติมสมุนไพรลงในสูตรที่เหมาะสม

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมขนาดผสมสมุนไพรสูตรอ่อนโยน

การพัฒนากระบวนการผลิตครีมขนาดผสมสมุนไพรจะมีการให้ความสำคัญกับเนื้อครีมเพื่อให้ความรู้สึกนุ่มลื่นกับเส้นผมระหว่างการนวดผม จึงมีการผันแปรปริมาณสารเพิ่มเนื้อ (Stiffening agent) ได้แก่ ดีไฮควาท ซี4046 (Dehyquart C4046) และดีไฮควาท เอฟ75 (Dehyquart F75) โดยผันแปรสารเพิ่มเนื้อที่ระดับความเข้มข้นที่ร้อยละ 4.0, 6.0 และ 8.0 และครีมขนาดผสมที่ได้ต้องมีคุณสมบัติไม่มีส่วนประกอบของโซเดียมลอริลอีเทอร์ซัลเฟต (SLES) พาราเบน ซิลิโคน และสีสังเคราะห์ และมีการตรวจสอบค่าคุณภาพต่าง ๆ เช่นเดียวกับแชมพู โดยมีการพัฒนาจนได้สูตรพื้นฐานที่เหมาะสม แล้วจึงมีการเติมสมุนไพรลงในสูตรที่เหมาะสม

การประเมินความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์แชมพูและครีมขนาดผสมสมุนไพรสูตรที่เหมาะสมจะนำประเมินความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการประเมินให้คะแนน 9 ระดับ (9-point Hedonic scale) โดย 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือ ชอบมากที่สุด (Chompreeda, 2007) ใช้กลุ่มผู้ทดสอบจำนวน 30 คน (ช่วงอายุ 30-60 ปี) โดยนำผลิตภัณฑ์ประมาณ 2 กรัม เทลงบนมือที่เปียก ถูมือไปมาแล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาด

แล้วประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส คือ ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความหนืด ความสามารถในการล้างออก และความชอบโดยรวม

การศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์

ทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะเร่ง (Heat-cool cycles) จำนวน 6 รอบ โดยทำการเก็บผลิตภัณฑ์ในภาชนะปิดสนิทและพันแสงที่อุณหภูมิ 45±2°C. นาน 48 ชม. และเก็บที่ 4±2°C. นาน 48 ชม. นับเป็น 1 รอบ ทำการตรวจวิเคราะห์ความคงตัวของผลิตภัณฑ์จากค่าคุณภาพ คือ ประเมินลักษณะปรากฏด้วยสายตา ค่าสี L* a* b* ด้วยเครื่องวัดค่าสี (NH310, 3nh, China) ค่าความหนืดด้วยเครื่องวิสโคมิเตอร์ (ROTAVISC hi-vi II, IKA, Germany) และความเป็นกรดต่างด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ (ORION STAR A111, Thermo Scientific, USA)

การวิเคราะห์ข้อมูล

รายงานผลการทดลองเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วน

เบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) จากข้อมูล 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 16 (Minitab Inc., USA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ผลการวิจัย

การสกัดสารจากสำคัญสมุนไพร

สมุนไพรไย่ยานาง (*Tiliacora triandra*) ใบหมี่ (*Litsea glutinosa*) กะเม็ง (*Eclipta Prostrata*) ดอกคำฝอย (*Carthamus tinctorius* L.) และทองพันชั่ง (*Rhinacanthus nasutus*) ที่ผ่านการอบแห้งแล้วสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 70 โดยปริมาตร สารสกัดหยาบที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวข้นและมีค่าคุณภาพต่าง ๆ แสดงดัง Table 1

Table 1 Properties of herbal extracts by 70 percent (v/v) ethanol

Properties	Herbal extracts				
	<i>Tiliacora triandra</i>	<i>Litsea glutinosa</i>	<i>Eclipta Prostrata</i>	<i>Carthamus tinctorius</i> L.	<i>Rhinacanthus nasutus</i>
Appearance	Dark green liquid	Green liquid	Green liquid	Dark yellow liquid	Dark green liquid
%Extraction yield	20.15±3.14	25.04±2.48	15.14±1.20	18.09±1.20	16.02±2.40
pH	5.03±0.23	6.58±0.02	5.29±0.02	6.00±0.05	5.33±0.03
L*	17.12±0.02	17.17±0.02	16.54±0.04	18.97±0.02	16.06±0.08
a*	2.31±0.35	2.26±0.07	3.70±0.08	2.39±0.02	2.98±0.06
b*	0.35±0.01	0.33±0.01	0.51±0.01	-0.06±0.01	0.82±0.04

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในสารสกัดสมุนไพร

ในปัจจุบันพบว่าอนุมูลอิสระซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นปฏิกิริยาถูกโซ่ ได้ส่งผลเสียต่าง ๆ มากมายต่อร่างกาย โดยในส่วนของโครงสร้างผมส่งผลให้เกิดความบกพร่องของดีเอ็นเอของเซลล์เมลาโนไซต์ของผมในรูขุมขน ส่งผลให้เซลล์สร้างเม็ดสีเมลานินได้ลดลงและยังเกิดความบกพร่องในการส่งสัญญาณระดับเซลล์ส่งผลให้เซลล์เมลาโนไซต์ไม่เคลื่อนที่ไปยังบริเวณโคนผมในระยะการเจริญเติบโตของเส้นผม (Anagen phase) ซึ่งก่อให้เกิดภาวะผมร่วงก่อนวัย นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดภาวะผมร่วง (Alopecia) เช่น การเกิดผมร่วงเป็นหย่อม ๆ จากระบบภูมิคุ้มกันร่างกายบกพร่อง (Alopecia areata, AA) หรือภาวะผมบางที่เป็นผลมาจากฮอร์โมนแอนโดรเจน (Androgenetic alopecia: AGA) ซึ่งพบว่าอนุมูลอิสระเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดภาวะดังกล่าวเร็วขึ้น เช่น เร่งการทำงานของเอนไซม์ 5 แอลฟา-รีดักเทส (Trüeb, 2009; Trüeb, 2015)

ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจึงมีความสำคัญในการช่วยชะลอภาวะชราของผมก่อนวัยได้ จากรายงานพบว่าสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ 5 แอลฟา-รีดักเทสได้และช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของเส้นผมโดยการเพิ่มจำนวนของเซลล์เดอร์มอลพาพิลลา (Dermal papilla) เพื่อให้มีการสังเคราะห์เม็ดสีจากเซลล์เมลาโนไซต์มากขึ้น และยังพบว่าสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์สามารถควบคุมการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้อง

ของกับการกระตุ้นเซลล์ต้นกำเนิดของรูขุมขนทำให้มีผลต่อการกระตุ้นการงอกใหม่ของเส้นผมได้อีกด้วย (Sun *et al.*, 2022) ในการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในสารสกัดสมุนไพร 5 ชนิด (Table 2) พบว่าสารสกัดใบย่านางมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 12.22 ± 0.19 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด และ 2.94 ± 0.01 มิลลิกรัมสมมูลของคาเทชินต่อกรัมสารสกัด ตามลำดับ

เมื่อนำผลที่ได้ไปคำนวณประสิทธิภาพของสารสกัดในการต้านอนุมูลอิสระ (%Free radical scavenging) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าสารสกัดใบย่านาง ใบหมี่ กะเม็ง ดอกคำฝอย และทองพันชั่งที่ความเข้มข้น 2, 2, 5, 5 และ 10 มก./มล. ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าร้อยละ 80 จึงได้เลือกความเข้มข้นของสารสกัดดังกล่าวมาใช้ในการพัฒนาสูตรแชมพูและครีมนวดผม โดยสูตรพื้นฐาน 100 กรัม จะเติมสารสกัดใบย่านาง ใบหมี่ กะเม็ง ดอกคำฝอย และทองพันชั่ง 0.2, 0.2, 0.5, 0.5 และ 1.0 กรัม ตามลำดับ แต่การใช้สารสกัดจากธรรมชาติจะมีการคำนึงถึงการเสื่อมสลายฤทธิ์ของสารสกัดจึงควรใส่ปริมาณสารสกัดเพิ่มจากที่คำนวณได้ประมาณ 5-10 เท่า (Manosroi and Manosroi, 2013) ดังนั้นในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์แชมพูและครีมนวดผม จึงมีการใส่สารสกัด ใบย่านาง ใบหมี่ กะเม็ง ดอกคำฝอย และทองพันชั่ง ปริมาณ 1.0, 1.0, 2.5, 2.5 และ 5.0 กรัมตามลำดับ ต่อสูตรพื้นฐาน 100 กรัม

Table 2 Total phenolic and flavonoid contents of herbal extracts

Herbal extracts	Total phenolic content (mg GAE/ g extract)	Total flavonoid content (mg CE/ g extract)
<i>Tiliacora triandra</i>	12.22±0.19 ^a	2.94±0.01 ^a
<i>Litsea glutinosa</i>	2.89±0.09 ^b	1.45±0.02 ^b
<i>Eclipta Prostrata</i>	1.22±0.02 ^d	0.72±0.02 ^c
<i>Carthamus tinctorius</i> L.	2.74±0.10 ^c	0.67±0.01 ^d
<i>Rhinacanthus nasutus</i>	1.21±0.02 ^d	0.72±0.02 ^c

Values are means of three replications ± standard deviation.

Values in the same column with the different letters are significantly different at $p < 0.05$.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แชมพูสมุนไพรสูตรอ่อนโยน

การพัฒนาสูตรตำรับพื้นฐานแชมพูโดยมีการแปรผันชนิดของสารให้ความหนืด 3 ชนิด คือ แชนแทนกัม ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส และอะโครเลสโคโพลิเมอร์ โดยมีจำนวนสูตรพื้นฐาน 5 สูตร (S1-S5) แสดงดัง Table 3 จากการประเมินคุณภาพหลังการผลิต 24 ชั่วโมงพบว่าสูตร S4 เกิดความขุ่นและสูตร S5 เกิดการแยกชั้น จึงเป็นสูตรที่ไม่เหมาะสม สำหรับสูตรที่ S1, S2 และ S3 ได้มีการศึกษาค่าความหนืดพบว่าสูตร S2 มีค่าความหนืดที่เหมาะสม สามารถไหลออกจากบรรจุภัณฑ์ได้ดี และสามารถคงอยู่ในอุ้งมือได้ เมื่อนำไปทดลองใช้สระผมพบว่าสามารถกระจายบนเส้นผมได้ง่าย มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 4.88 ± 0.02 ซึ่งเหมาะสมต่อหนังศีรษะตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแชมพูผสมสมุนไพร (ค่าที่

เหมาะสม คือ 4.5-8.0) (Thai Industrial Standards Institute, 2019) ดังนั้นจึงนำแชมพูสูตรพื้นฐานสูตร S2 มาผสมสมุนไพรที่มีคุณสมบัติชะลอผมร่วงประกอบด้วย สกัดไฝย่านางร้อยละ 1.0 ไฝหมีร้อยละ 1.0 กะเม็งร้อยละ 2.5 ดอกคำฝอยร้อยละ 2.5 และทองพันชั่งร้อยละ 5 (สูตร S6) ผลิตภัณฑ์แชมพูสมุนไพรที่พัฒนาได้มีสีเขียวน้ำขุ่น มีค่าคุณภาพดัง Table 5 และจากการที่มีกลิ่นสมุนไพรค่อนข้างแรงจึงเพิ่มน้ำหอมกลิ่นโรมาที่ร้อยละ 0.5 เพื่อให้ความรู้สึกผ่อนคลายขณะสระผมและแชมพูสมุนไพรที่พัฒนาได้เป็นสูตรที่ไม่มีส่วนผสมโซเดียมลอริลอีเทอร์ซัลเฟต (SLES) พาราเบน ซิลิโคน และสีสังเคราะห์ และเป็นสูตรอ่อนโยน สามารถใช้ได้กับหนังศีรษะของผู้บริโภคกลุ่มผู้สูงอายุ

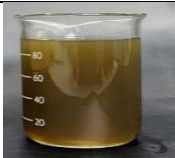

Table 3 Formula of shampoo bases (S1-S5) and herbal shampoo (S6)

Parts	Ingredients	Formular no. (total 100 g)					
		S1	S2	S3	S4	S5	S6
A	DI Water up to	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Disodium laureth sulfosuccinate	10.0	5.0	10.0	10.0	10.0	5.0
	Magnesium laureth sulfate (and) Disodium laureth sulfosuccinate	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
	Xanthan gum	-	0.25	0.5	-	-	0.25
	Hydroxyethyl cellulose	-	-	-	0.5	-	-
	Acrylates copolymer	-	-	-	-	0.5	-
	Cocamide DEA	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Lauryl betain	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	B	Polyquaternium-7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Polyquaternium-10		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
C	<i>Tiliacora triandra</i> extract	-	-	-	-	-	1.0
	<i>Litsea glutinosa</i> extract	-	-	-	-	-	1.0
	<i>Eclipta Prostrata</i> extract	-	-	-	-	-	2.5
	<i>Carthamus tinctorius</i> L. extract	-	-	-	-	-	2.5
	<i>Rhinacanthus nasutus</i> extract	-	-	-	-	-	5.0
D	Depanthenol	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Fragrance	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Microcare PHC	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Table 4 Formula of conditioner bases (C1-C6) and herbal conditioner (C7)

Parts	Ingredients	Formular no. (total 100 g)						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A	DI Water up to	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Cetrimonium bromide	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	PPG-3 caprylyl ether	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
B	Dehyquart C4046	4.0	6.0	8.0	-	-	-	8.0
	Dehyquart F75	-	-	-	4.0	6.0	8.0	-
C	<i>Tiliacora triandra</i> extract	-	-	-	-	-	-	1.0
	<i>Litsea glutinosa</i> extract	-	-	-	-	-	-	1.0
	<i>Eclipta prostrata</i> extract	-	-	-	-	-	-	2.5
	<i>Carthamus tinctorius</i> L. extract	-	-	-	-	-	-	2.5
	<i>Rhinacanthus nasutus</i> extract	-	-	-	-	-	-	5.0
D	Depanthenol	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Fragrance	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Microcare PHC	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Table 5 Appearance and properties of suitable herbal shampoo and herbal conditioner

Products	Appearance	pH	Viscosity (cP)	Color
Herbal shampoo		4.94±0.02	1,025.3±89.7	L* = 15.39±0.01 a* = 6.44±0.02 b* = 0.74±0.01
Herbal conditioner		4.41±0.02	1,432.7±96.4	L* = 38.46±0.02 a* = 0.59±0.02 b* = 11.16±0.01

การประเมินความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์

จากผลประเมินความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์แชมพูและครีมนวดผมสมุนไพร (Table 6) พบว่าค่าคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น

ความหนืด ความสามารถในการล้างออก และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 7 ถึง 8 คะแนน ซึ่งเป็นระดับคะแนนที่อยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางถึงชอบมาก

Table 6 Sensory evaluation of suitable herbal shampoo and herbal conditioner (n=30)

Attributes	Herbal shampoo	Herbal conditioner
Appearance	7.0±0.6	7.2±0.4
Color	7.0±0.8	7.0±0.4
Odor	6.9±0.6	7.1±0.3
Viscosity	7.1±0.5	7.0±0.2
Washable	7.1±0.6	7.2±0.3
Overall liking	7.0±0.6	7.0±0.3





Values are means of replications ± standard deviation.

การศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์ในสภาวะเร่งจำนวน 6 รอบ นาน 24 วัน พบว่าผลิตภัณฑ์แชมพูและและครีมขนาดผมสมุนไพรมีความคงตัวดี เนื้อแชมพูและเนื้อครีมยังคงมีสีเขียวใกล้เคียงเดิม ไม่เกิดการแยกชั้น ค่าความเป็นกรดต่างมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

แต่ทั้งนี้ยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อหนังศีรษะ ส่วนค่าความหนืดของแชมพูมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อนำมาทดลองเทและกระจายบนเส้นผมพบว่ายังมีการไหลที่คงเดิมและสามารถกระจายบนเส้นผมได้ดี สำหรับครีมขนาดผมมีค่าความหนืดลดลงแต่ยังสามารถติดผมและให้ความนุ่มลื่นขณะขนาดผมได้ (Table 7)

Table 7 Stability evaluation of herbal shampoo and herbal conditioner

Properties	Herbal shampoo		Herbal conditioner	
	Before stability test	After stability test	Before stability test	After stability test
Appearance				
Pantone code ¹	#978857	#A1915D	#C4B786	#CCC096
pH	4.94±0.02 ^b	5.12±0.05 ^a	4.41±0.02 ^b	5.12±0.04 ^a
Viscosity (cP)	1,025.3±89.7 ^b	1,205.3±122.5 ^a	1,432.7±96.4 ^a	1,215.9±102.1 ^b
L*	15.39±0.01 ^b	16.42±0.01 ^a	38.46±0.02 ^b	40.56±0.01 ^a
a*	6.44±0.02 ^a	5.89±0.05 ^b	0.59±0.02 ^{ns}	0.62±0.05 ^{ns}
b*	0.74±0.01 ^{ns}	0.69±0.07 ^{ns}	11.16±0.01 ^a	10.52±0.02 ^b

Values are means of three replications ± standard deviation. Values of each product in the same row with the different letters are significantly different at P<0.05. ¹Pantone code was identified from Color Gear Lite™ program.

วิจารณ์ผลการวิจัย

การเกิดภาวะชราก่อนวัยของเส้นผมจากหลายสาเหตุ เช่น ฮอร์โมน พันธุกรรม ยา การเกิดรังแคหรือเชื้อราบนหนังศีรษะ เช่น ผมหงอกและผมร่วง โดยเฉพาะผมร่วงอาการข้างเคียงจากโรคโควิด-19 สมุนไพรที่สามารถชะลอผมร่วงได้ต้องมีสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบเนื่องจากสารในกลุ่มดังกล่าวสามารถยับยั้งเอนไซม์ 5 แอลฟา-รีดักเทส ที่เป็นสาเหตุให้ผมร่วง (Sun *et al.*, 2022) และช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระในกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเส้นผม ด้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่เป็นสาเหตุที่ทำให้คันและรังแค รวมทั้งสามารถกระตุ้นการไหลเวียนของเส้นเลือดช่วยกระตุ้นการงอกใหม่ของผม (Laorit, 2016) ผลศึกษาพบสารประกอบฟีนอลิกและ ฟลาโวนอยด์ในสารสกัดสมุนไพรทั้ง 5 ชนิด โดย Bukke *et al.* (2011); Datta *et al.* (2009); Junlatat and Sripanidkulchai (2014); Samankul *et al.* (2022) และ Sitthithaworn *et al.* (2018) ได้รายงานว่สารสกัดสมุนไพร 5 ชนิดที่ถูกใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สามารถช่วยลดการหลุดร่วงของเส้นผมได้

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แชมพูในเบื้องต้นได้พัฒนาสูตรพื้นฐานที่เหมาะสมจึงยังไม่มีสารสกัดพืชสมุนไพรในสูตรพื้นฐาน (C1-5) ส่วนประกอบแชมพูที่ทำหน้าที่ชำระล้างควรมีความอ่อนโยนต่อหนังศีรษะรวมถึงมีความเหมาะสมกับกลุ่มผู้สูงวัยจึงเลือกใช้สารชำระล้างประจุลบซึ่งมีประสิทธิภาพในการชำระล้างได้ดีแต่เป็นกลุ่มไม่มีโซเดียมลอริลอีเทอร์ซัลเฟต (SLES) ประกอบด้วยไดโซเดียมลอเรตซัลโฟซัคซิเนตเป็นสารชำระล้างหลัก นอกจากนี้ยังมีการใส่สารในกลุ่มโพลีควอเทอเนียมซึ่งเป็นสารที่มีโครงสร้างเล็กและมีประจุเป็นบวกเพื่อช่วยให้ผมไม่พันกันหลังการสระเพื่อช่วยลดโอกาสเกิดผมร่วงจากการหวีผมหลังการสระได้ในกลุ่มผู้บริโภคที่มีรากผมไม่แข็งแรง

และมีการเลือกใช้สารกันเสียชนิดอ่อนโยน คือ ไมโครแคร์พีเอชซี จากการพัฒนาสูตรแชมพูพบว่าสูตร S2 มีค่าความหนืดเหมาะสม สามารถไหลออกจากบรรจุภัณฑ์ได้ดีและสามารถคงอยู่ในอุ้งมือได้ เมื่อนำไปทดลองใช้สระผมพบว่าสามารถกระจายบนเส้นผมได้ง่าย มีค่าความเป็นกรด-ด่างเหมาะสมต่อหนังศีรษะตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแชมพูผสมสมุนไพร จากนั้นได้มีการเพิ่มสารสกัดสมุนไพรได้เป็นสูตร S6 ที่มีส่วนผสมของแซนแทนกัมช่วยเพิ่มความหนืดผลิตภัณฑ์แชมพูสมุนไพรที่พัฒนาได้มีสีเขียวย้ำ มีกลิ่นหอมโรม่าให้ความรู้สึกผ่อนคลายขณะสระผม สำหรับการพัฒนาครีมนวดผมต้องคำนึงถึงเนื้อครีมที่ได้ควรมีความบางเบา ไม่ก่อให้เกิดความมัน มีเนื้อครีมที่เหลวกว่าครีมหมักผม จึงทำให้มีการศึกษาสารเพิ่มเนื้อโดยพบว่า 8% ดีไฮดราท ซี4046 (สูตร C3) มีความเหมาะสม โดยยังเป็นสารที่มีประจุบวก ช่วยปรับสภาพเส้นผมที่มีประจุลบให้ผมเรียบ ไม่พันกัน จากนั้นได้มีการเพิ่มสารสกัดสมุนไพรได้เป็นสูตร C7 และมีการเลือกใช้สารกันเสียชนิดอ่อนโยนคือไมโครแคร์ พีเอชซี

สูตรแชมพูและครีมนวดสมุนไพรประกอบด้วยสารสกัดไบบานางร้อยละ 1.0 ไบหมี่ร้อยละ 1.0 กะเม็งร้อยละ 2.5 ดอกคำฝอยร้อยละ 2.5 และทองพันชั่งร้อยละ 5.0 เนื้อแชมพูและครีมนวดมีสีเขียวย้ำ มีค่าความเป็นกรด-ด่างเหมาะสมต่อหนังศีรษะ และเป็นสูตรที่อ่อนโยนสามารถใช้ได้กับหนังศีรษะของผู้ที่แพ้ง่ายหรือผู้สูงวัยเนื่องจากไม่มีส่วนผสมของโซเดียมลอริลอีเทอร์ซัลเฟต (SLES) พาราเบนซึ่งอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิว ซิลิโคนซึ่งอาจก่อให้เกิดการอุดตันที่รากผม และสังเคราะห์ซึ่งอาจก่อให้เกิดการแพ้ได้เมื่อใช้ในระยะเวลาซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดผมร่วงตามมา ชุดผลิตภัณฑ์ สบู่บำรุงเส้นผมที่มีส่วนผสมของสารสกัดสมุนไพรไบบานาง ไบหมี่ กะเม็ง ดอกคำฝอย และทองพันชั่ง เป็นสูตรที่อ่อนโยน ใช้ได้ทั้งบุคคลทั่วไปที่มีภาวะผมร่วง ผู้ที่มีหนังศีรษะแพ้ง่าย หรือผู้สูงวัย

สรุปผลการวิจัย

ในการพัฒนาชุดผลิตภัณฑ์สปาบำรุงเส้นผมที่มีส่วนผสมของสารสกัดสมุนไพรไย่านาง ใบหมี กะเม็ง ดอกคำฝอย และทองพันชั่ง จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดของพืชแต่ละชนิดด้วยเอทานอลร้อยละ 70 โดยปริมาตร พบว่าสารสกัดไย่านาง มีปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลิตภัณฑ์แชมพูและครีมนวดได้ถูกพัฒนาพร้อมคุณสมบัติชะลอผมร่วงโดยมีสารสกัดไย่านาง ใบหมี กะเม็ง ดอกคำฝอย และทองพันชั่งและเป็นสูตรอ่อนโยนที่ไม่มีส่วนผสมของโซเดียมลอริลอีเทอร์ ซัลเฟต (SLES) พาราเบน ซิลิโคน และสีสังเคราะห์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเป็นกรดต่างเหมาะสมกับหนังศีรษะ มีกลิ่นหอม มีความคงตัวไม่เกิดการแยกชั้น จากการประเมินความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมสำหรับผลิตภัณฑ์แชมพูและครีมนวดผมสมุนไพร ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก (7.0 ± 0.6 และ 7.0 ± 0.3 คะแนน ตามลำดับ) งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการนำสมุนไพรไทยที่มีสรรพคุณที่ดีมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดสปาบำรุงเส้นผมที่มีเอกลักษณ์จากภูมิปัญญาสมุนไพรไทยจนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสมุนไพรไทย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนากระบวนการผลิตเชิงพาณิชย์และต่อยอดผลิตภัณฑ์สู่อุตสาหกรรมสปาไทยต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย และคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Aunkaew, H., N. Taokaenchan, K. Areesrisom, V. Maifaey and P. Areesrisom. 2022. Evaluation of total phenolic, flavonoid and anthocyanin contents in black glutinous rice seedling. **Journal of Agricultural Research and Extension** 40(2): 37-46. [in Thai]
- Borrás-Linares, I., S. Fernández-Arroyo, D. Arráez-Roman, P.A. Palmeros-Suárez, R. Del Val-Díaz, I. Andrade-González, A. Fernández-Gutiérrez, J.F. Gómez-Leyva and A. Segura-Carretero. 2015. Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). **Industrial Crops and Products** 69: 385-394.

- Bukke, S., P.S. Raghu, G. Sailaja and T.R. Kedam. 2011. The study on morphological, phytochemical and pharmacological aspects of *Rhinacanthus nasutus* (L) kurz (a review). **Journal of Applied Pharmaceutical Science** 1(8): 26-32.
- Chompreeda, P. 2007. **Sensory Evaluation and Consumer Acceptance**. Bangkok: Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University. 265 p. [in Thai]
- Czech, T., S. Sugihara and Y. Nishimura. 2022. Characteristics of hair loss after COVID-19: a systematic scoping review. **Journal of Cosmetic Dermatology** 21(9): 3655-3662.
- Datta, K., A.T. Singh, A. Mukherjee, B. Bhat, B. Ramesh and A.C. Burman. 2009. *Eclipta alba* extract with potential for hair growth promoting activity. **Journal of Ethnopharmacology** 124(3): 450-456.
- Junlatat, J. and B. Sripanidkulchai. 2014. Hair growth-promoting effect of *Carthamus tinctorius* floret extract. **Phytotherapy Research: PTR** 28(7): 1030-1036.
- Kumar, N., W. Rungseevijitprapa, N. Narkkhong, M. Suttajit, and C. Chaiyasut. 2012. 5 α -reductase inhibition and hair growth promotion of some Thai plants traditionally used for hair treatment. **Journal of Ethnopharmacology** 139(3): 765-771.
- Laorit, N. 2016. **Herbs for Hair Fall**. Bangkok: Chulalongkorn University Press. 138 p. [in Thai]
- Limprana, P., N. Chalaechorn and B. Leecharoen. 2023. Factors of success of the Thai spa business. **Journal of Rattana Bundit University** 18(1): 70-88. [in Thai]
- Manosroi, A. and J. Manosroi. 2013. **Cosmeceuticals**. Bangkok: Odient Store Publishing. 965 p. [in Thai]
- Samankul, A G. Senawong, P. Swatsitang, B. Sripa, C. Phaosiri, S. Kanokmedhakul and T. Senawong. 2022. Ethanolic extract of Ya-nang (*Tiliacora triandra*) leaf powder induces apoptosis in cholangiocarcinoma cell lines via induction of hyperacetylation and inhibition of growth signaling. **PeerJ** 10: e14518.
- Sitthithaworn, W., M. Khongkow, C. Wiranidchabong and T. Koobkokkrud. 2018. Mucilage powder from *Litsea glutinosa* leaves stimulates the growth of cultured human hair follicles. **Songklanakarinn Journal of Science and Technology** 40(5): 1076-1080. [in Thai]
- Sun, M., Y. Deng, X. Cao, L. Xiao, Q. Ding, F. Luo, P. Huang, Y. Gao, M. Liu and H. Zhao. 2022. Effects of natural polyphenols on skin and hair health: a review. **Molecules** 27(22): 7832.

Thai Industrial Standards Institute. 2019. **Thai SMEs Standard: Herbal Shampoo 12-2562**. Bangkok: Thai Industrial Standards Institute. 18 p. [in Thai]

Triwongwaranat, D., K. Thanomkitti, T. Korviriyakamol, P. Saengthong-Aram, S. Varothai, and R. Thuangtong. 2023. Characteristics of hair loss in COVID-19 patients in Thailand. **Medicine** 102(49): e36539.

Trüeb, R.M. 2009. Oxidative stress in ageing of hair. **International Journal of Trichology** 1(1): 6-14.

_____. 2015. The impact of oxidative stress on hair. **International Journal of Cosmetic Science** 37(Suppl 2): 25-30.

จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งไพลที่อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลภายใต้สภาวะสุญญากาศ
Drying Kinetics of *Zingiber cassumunar* Roxb. by Far-Infrared Radiation
under Vacuum Condition

เศรษฐวัฒน์ ฤนิมกาญจน์^{1*} ชวกร มุกสถาน¹ และชโลธร ศักดิ์มาศ²

Setthawat Thanimkarn^{1*}, Chavakorn Muksan¹ and Chalotorn Sakmas²

¹หลักสูตรสาขาวิชาเกษตรอัจฉริยะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80110

²แผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยการอาชีพคลองท่อม กระบี่ 81120

¹Curriculum of Smart Agriculture, Faculty of Agriculture, Rajamangla University of Technology Srivijaya
Nakhon Si Thammarat, Thailand 80110

²Department of Automotive, Klontom Industrial and Community Education College, Krabi, Thailand 81120

*Corresponding author: satthawat.t@rmutsv.ac.th

Received: October 05, 2023

Revised: June 29, 2024

Accepted: July 18, 2024

Abstract

This research aimed to investigate the drying kinetics of *Zingiber Cassumunar* Roxb. (ZC), the optimal drying models, and quality assessment of 5 mm thick ZC samples by using far-infrared (FIR) radiation at different intensities of 4,929, 6,550, 8,541 and 10,955 W/m² under a vacuum condition of 5 kPa (an absolute pressure). The initial moisture content of ZC was 3.58±0.04 g water/g dry matter, and was expected to reach a final moisture content of 0.10±0.02 g water/g dry matter after drying process. The drying times obtained were 145, 85, 55, and 35 min for the respective radiation intensities. The drying process exhibited a decreasing drying rate under all conditions. The model accuracy was assessed using experimental data from five drying models, employing the coefficient of determination (R²) and the root mean squared error (RMSE). The drying model proposed by Midilli *et al.* (2002) yielded the most accurate drying predictions, with the highest R² value and the lowest RMSE value. The effective moisture diffusion coefficient ranged from 0.59x10⁻⁷–2.75x10⁻⁷ m²/s, and the activation energy of ZC was 17.97 kJ/mol. Regarding the quality of the dried ZC, it was observed that the yellowness (b*) decreased with increasing drying intensity. The bulk density values ranged from 0.19 to 0.31 g/cm³, and shrinkage values ranged from 77.57-93.47 percentages. An increase in radiation intensity led to an increase in both bulk density and %shrinkage values. However, no significant difference was observed between the drying conditions using radiation intensities of 4,929 and 6,550 W/m².

Keywords: *Zingiber cassumunar* Roxb., far-infrared radiation, drying kinetics

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง แบบจำลองการอบแห้ง ที่เหมาะสม และคุณภาพสำหรับกรอบแห้งเหง้าไพลที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร ด้วยรังสีอินฟราเรดไกลความเข้มรังสี 4,929, 6,550, 8,541 และ 10,955 วัตต์/ตารางเมตร ภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระดับ 5 กิโลปาสคาล ที่ความชื้นเริ่มต้น 3.58 ± 0.04 กรัม น้ำ/กรัม วัสดุแห้ง จนความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 0.10 ± 0.02 กรัม น้ำ/กรัม วัสดุแห้ง พบว่าใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 145, 85, 55 และ 35 นาที กระบวนการอบแห้งที่เกิดขึ้นเป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลงที่ทุก ๆ สภาวะการอบแห้ง จากข้อมูลผลการทดลองใช้แบบจำลองการอบแห้งจำนวน 5 แบบจำลอง โดยความถูกต้องของแบบจำลองจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) พบว่าแบบจำลองการอบแห้ง Midilli *et al.* (2002) ให้ผลการทำนายการอบแห้งดีที่สุด โดยให้ค่า R^2 สูงที่สุดในขณะที่ให้ค่า RMSE น้อยที่สุด ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิภาพมีค่าอยู่ระหว่าง 0.59×10^{-7} – 2.75×10^{-7} ตารางเมตร/วินาที และค่าพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นการเคลื่อนที่ของสสาร มีค่าเท่ากับ 17.97 กิโลจูล/โมล คุณภาพของเหง้าไพลแห้งพบว่า ค่าความเป็นสีเหลืองมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มรังสีในการอบแห้งเพิ่มขึ้น สำหรับความหนาแน่นมวลรวมและการหดตัว มีค่าอยู่ระหว่าง 0.19-0.31 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และ 77.57-93.47 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าเมื่อความเข้มรังสีเพิ่มขึ้นจะมีค่าความหนาแน่นมวลรวม และการหดตัวเพิ่มขึ้น แต่ในการอบแห้งด้วยความเข้มรังสี 4,929 และ 6,550 วัตต์/ตารางเมตร ไม่มีความแตกต่างกัน

คำสำคัญ: ไพล รังสีอินฟราเรดไกล จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง

คำนำ

ไพล (*Zingiber cassumunar* Roxb.) เป็นพืชล้มลุกจำพวกเหง้าใต้ดิน แห้งใช้ในหน้าแล้งและงอกงามในหน้าฝน ใบเดี่ยวรูปหอกเรียวยาว กาบใบหุ้มลำต้นสูง 2-4 ฟุต สีเขียวเข้ม โคนกาบสีแดง เนื้อในเหง้าสีเหลืองอ่อน กลิ่นหอมฉุน กาบหุ้มสีน้ำตาลเข้มแดงขอบเขียว ผลเป็นผลแห้งรูปทรงกลม (Subcharoen, 2006) เป็นพืชที่มีสรรพคุณทางยาในการรักษาโรคได้หลายชนิด เช่น รักษาอาการปวดเมื่อย เคล็ดขัดยอก ฟกช้ำ และยังนำมาทำแห้งและบดเป็นผงเพื่อทำเป็นลูกประคบสมุนไพรในธุรกิจนวดแผนไทยและสปา ซึ่งเป็นวิธีการรักษาของแพทย์แผนไทย (Lakchai, 2009)

การอบแห้งถือเป็นกระบวนการลดความชื้นเพื่อแปรรูปยาสมุนไพรที่มีความสำคัญ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับกรอบแห้งด้วยลมร้อน หรือเทคนิคการอบแห้งอื่น ๆ มีการพิสูจน์ว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดช่วยให้ปริมาณสารสำคัญที่พบในยาสมุนไพร เช่น สารประกอบฟีนอล สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระ มีปริมาณมากขึ้น (Niamnuy *et al.*, 2011) นอกจากนี้มีการค้นพบว่าเทคนิคการอบแห้งแบบนี้สามารถให้ความร้อนแก่วัสดุได้สม่ำเสมอว่าเทคนิคการอบแห้งแบบอื่น จึงส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งดีกว่าด้วย (Nowak and Lewicki, 2004) สำหรับพืชสมุนไพรในกลุ่มที่มีน้ำมันหอมระเหยพบว่า ความเข้มรังสีอินฟราเรดไกลไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหย ในขณะที่สามารถรักษาปริมาณสารสำคัญที่มีในผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งได้ (Thanikarn *et al.*, 2019; Thuwapanichayanan and Prachayawarakorn, 2011)

จากผลการค้นพบนี้ การอบแห้งแบบอินฟราเรดจึงเป็นเทคนิคการอบแห้งที่อาจให้ผลดีต่อการลดความชื้นสมุนไพรในด้านของการเพิ่มปริมาณสารสำคัญและการเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้ง งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเพื่อหาผลกระทบของระดับความเข้มรังสีอินฟราเรดไกลที่ใช้

ในการอบแห้งไพลภายใต้สภาวะสุญญากาศต่อ จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง แบบจำลองการอบแห้ง ที่เหมาะสม และคุณภาพของเหง้าไพลแห้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมตัวอย่างไพล

เหง้าไพลอายุ 12 เดือน จากแหล่งปลูกบ้าน วังไทร ตำบลลำใหญ่ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช นำมาทำการล้างให้สะอาด ปอกเปลือก และหั่นตามแนว ยาวความหนา 5 มิลลิเมตร บรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิท ขนาดถุงละ 0.5 กิโลกรัม นำไปเก็บรักษาในตู้เย็น ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำ ไพลมาทำการทดลองอบแห้ง จะนำไพลออกมาจากตู้เย็น และวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ไพล เกิดการถ่ายเทความชื้นเข้าสู่สภาวะสมดุล

การวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้น

นำเหง้าไพลจำนวน 5 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียม ขนาด 2.5 ออนซ์ นำไปอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (AOAC, 2000) จากนั้นนำมาวางไว้ใน โถดูดความชื้น แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง ระบบดิจิตอล 3 ตำแหน่ง นำข้อมูลผลต่างของน้ำหนัก ก่อนและหลังการอบแห้งมาคำนวณหาค่าความชื้นโดยมี สมการความสัมพันธ์ตามที่แสดงใน สมการที่ (1)

$$MC = \frac{W_I - W_F}{W_F} \quad (1)$$

เมื่อ MC คือ ความชื้นของไพล (กรัม น้ำ/กรัม วัสดุแห้ง) และ W_I , W_F คือ น้ำหนักเริ่มต้นของไพล (กรัม) และน้ำหนักสุดท้ายของไพล (กรัม) ตามลำดับ

อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองอบแห้ง

สำหรับการทดลองนี้เป็นการทดลองการอบแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดไกล โดยมีป้ม สุญญากาศในการทำหน้าที่สร้างสภาวะสุญญากาศภายใน ห้องอบแห้ง ห้องอบแห้ง (Drying chamber) และถาดอบแห้งมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 0.20x0.30x0.05 ลูกบาศก์เมตร และแบ่งเป็นช่อง สี่เหลี่ยมจัตุรัส 6 ช่อง ขนาด 0.10x0.10 ตารางเมตร สามารถวางวัสดุที่ใช้ทดลองอบแห้งแบบชั้นบางได้ครั้งละ ประมาณ 300 กรัม โครงสร้างของเครื่องอบแห้งทั้งหมด ทำมาจาก Stainless steel

การทดลองอบแห้ง

นำเหง้าไพล 270 กรัม วางบนถาดอบแห้งความ หนาของวัสดุ 5 มิลลิเมตร ทำการอบแห้งที่ความชื้นของ รังสีอินฟราเรดไกล 4 ระดับ คือ 4,929, 6,550, 8,541 และ 10,955 วัตต์/ตารางเมตร ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่ระดับ 5 กิโลปาสคาล จนความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 0.10 กรัม น้ำ/กรัม วัสดุแห้ง ระหว่างทำการอบแห้งจะทำการ ชั่งน้ำหนักเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดไว้

การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง

การศึกษาพฤติกรรมเคลื่อนที่ของน้ำภายใน วัสดุจะถูกอธิบายในรูปของลักษณะการอบแห้ง โดย วิเคราะห์จากค่าอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลน้ำ ในวัสดุ (Ratmanee *et al.*, 2021) และอัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) เปรียบเทียบกับเวลาอบแห้ง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (2)$$

$$DR = \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad (3)$$

เมื่อ M_t , M_i , M_e และ $M_{t+\Delta t}$ คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ ความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสมดุล และความชื้นที่เวลา $t+\Delta t$ ตามลำดับ (กรัม น้ำ/กรัม วัสดุแห้ง) โดยที่ t คือ เวลาการอบแห้ง (นาท)

แบบจำลองการอบแห้ง

แบบจำลองการอบแห้งเป็นการจำลองมวลสารในระหว่างการอบแห้ง โดยจะใช้ข้อมูลการทดลองอบแห้ง

มเข็มของริงส์อินฟราเรดไกล 4 ระดับ คือ 4,929, 8,541 และ 10,955 วัตต์/ตารางเมตร มาทำการทดสอบความเข้ากันได้ (Goodness of fit) ของแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยใช้แบบจำลองการอบแห้ง 5 แบบจำลอง ดังแสดงใน Table 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด (R^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เพื่อบอกถึงความสามารถ และความกลมกลืนในการทำนายค่าอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการอบแห้ง ดังแสดงในสมการที่ (4) และ (5)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n MR_{exp,i} \times MR_{pre,i}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n MR_{exp,i}^2)(\sum_{i=1}^n MR_{pre,i}^2)}} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2} \quad (5)$$

เมื่อค่า $MR_{exp,i}$ และ $MR_{pre,i}$ คือค่าอัตราส่วนความชื้นของการทดลองและค่าอัตราส่วนความชื้นจาก

การทำนายของแบบจำลองการอบแห้งชั้นบาง ค่า N คือจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

Table 1 Thin layer drying models for drying of ZC

No.	Model Name	Model	Reference
1	Lewis	$MR = \exp(-kt)$	(Bruce, 1985)
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(Page, 1949)
3	Henderson and Pabis	$MR = a.\exp(-kt)$	(Henderson and Pabis, 1961)
4	Wang and Singh	$MR = 1+at+bt^2$	(Wang and Singh, 1978)
5	Midilli <i>et al.</i>	$MR = a.\exp(-kt^n)+bt$	(Midilli <i>et al.</i> , 2002)

**การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น
ประสิทธิผล (Effective diffusivity coefficient, D_{eff})**

การเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุโดยส่วนใหญ่อยู่ในรูปของการแพร่อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้นหรือเกรเดียนต์ของความชื้นเป็นไปตามสมการการแพร่ของฟิคส์ (Ratmanee *et al.*, 2021) ซึ่งเมื่อน้ำเคลื่อนที่มายังผิวของวัสดุแล้วจึงจะระเหยกลายเป็นไอ อัตราการระเหยของน้ำนี้จะถูกจำกัดโดยการแพร่ของความชื้น ซึ่งอัตราการถ่ายเทมวลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของการถ่ายเทมวลแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเกรเดียนต์ความเข้มข้นของความชื้น ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (6)

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M \quad (6)$$

เมื่อ D_{eff} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล ซึ่งหมายถึงเทอมของกลไกการส่งผ่านความชื้นทั้งหมดในวัสดุตัวอย่างที่อบแห้ง มีหน่วยเป็นตารางเมตร/วินาที

สำหรับโพลที่ใช้ในการทดลองนั้น มีรูปทรงเรขาคณิตที่มีลักษณะเป็นแผ่นระนาบที่มีความยาวอนันต์ ซึ่งมีผลเฉลยเป็นดังสมการที่ (7)

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\pi^2 \frac{D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (7)$$

เมื่อ D_{eff} , L และ t คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (ตารางเมตร/วินาที) ความหนาของตัวอย่าง (เมตร) และเวลาในการอบแห้ง (วินาที)

ในการทดลองการอบแห้งนั้นมักจะมีปัจจัยของอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง เพราะอัตราการอบแห้งจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิมอบแห้ง และสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล และอุณหภูมิมอบแห้งได้ในรูปของสมการของ

อาร์เรเนียส (Arrhenius equation) ดังสมการที่ (8) โดยที่การทดลองอบแห้งโพลด้วยรังสีอินฟราเรดไกลภายใต้สภาวะสุญญากาศนี้ กำหนดให้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มรังสีอินฟราเรดไกล 4,929, 6,550, 8,541 และ 10,955 วัตต์/ตารางเมตร ตามลำดับ

$$D_{eff} = D_0 \exp \frac{E_a}{RT} \quad (8)$$

เมื่อ D_0 , E_a , R และ T คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่คงที่ของสมการอาร์เรเนียส (ตารางเมตร/วินาที) ค่าพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากวัสดุ (Activation energy) กิโลแคลอรี/กิโลกรัม โมล ค่าคงตัวสากลของก๊าซ มีค่าเท่ากับ 8.314 กิโลจูล/กิโลกรัม โมล เคลวิน และค่าอุณหภูมิองศาสัมบูรณ์ (เคลวิน) ตามลำดับ

การวิเคราะห์คุณภาพของโพลอบแห้ง

การวิเคราะห์สี (Color) ในงานวิจัยนี้ทำการวัดสีโพลอบแห้งด้วยเครื่องวัดสีอาหาร Hunter Associates Laboratory รุ่น 45/0-L ใช้การวัดค่าสีในระบบ CIE ($L^*a^*b^*$) ซึ่งเป็นระบบบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (Lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนไปถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงสีแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) (Ratmanee *et al.*, 2021)

การวิเคราะห์ความหนาแน่นมวลรวม (Bulk density, ρ_b) โพลที่ผ่านการอบแห้งสามารถนำมาวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นมวลรวมได้โดยนำโพลแห้งบรรจุใส่ภาชนะทรงกระบอกที่มีปริมาตร 25 มิลลิเมตร จนเต็มภาชนะ ทำการเคาะภาชนะ 3 ครั้ง เพื่อให้โพลแห้งเรียงตัว แล้วทำการบรรจุโพลแห้งจนเต็ม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก รูปแบบของค่าความหนาแน่นมวลรวม คือ มวลของโพลแห้งต่อปริมาตรของภาชนะที่บรรจุ (Thanimkarn *et al.*, 2020)

การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การหดตัว

(%Shrinkage) โพลที่ผ่านการอบแห้งสามารถหาค่าการหดตัวได้โดยอาศัยหลักการแทนที่ในของเหลวที่บรรจุอยู่ภายใน Pycnometer โดยการทดลองนี้จะใช้ *n*-Heptane ซึ่งมีความหนาแน่น 0.684 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร การหดตัวของโพลอบแห้งจะแสดงในเทอมของเปอร์เซ็นต์ (%) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของโพลหลังการอบแห้งเปรียบเทียบกับโพลสด (Thanimkarn *et al.*, 2020) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ (11)

$$\%Shrinkage = \left(\frac{V_i - V}{V_i} \right) \times 100 \quad (9)$$

เมื่อ V_i , V คือ ปริมาตรของโพลสด (ลูกบาศก์เซนติเมตร) และปริมาตรของโพลหลังอบแห้ง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

แผนการทดลองและการคำนวณทางสถิติ

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง และคุณภาพของโพลที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลภายใต้สภาวะสุญญากาศ มีเงื่อนไขในการอบแห้ง คือ ความเข้มของรังสีอินฟราเรดไกลที่ 4,929, 6,550, 8,541 และ 10,955 วัตต์/ตารางเมตร ความดันสุญญากาศภายในห้องอบแห้ง 5 กิโลปาสกาล ในงานวิจัยนี้ได้เลือกแผนการทดลองเป็นแบบ Completely Randomized Design โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทำการวิเคราะห์คุณภาพของโพลอบแห้งโดยใช้วิธี One-way ANOVA และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงพหุคูณด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและวิจารณ์

จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง

แห้งโพลมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 3.58 ± 0.04 กรัม น้ำ/กรัม วัสดุแห้ง ทำการอบแห้งจนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 0.10 ± 0.02 กรัม น้ำ/กรัม วัสดุแห้ง จาก Figure 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) กับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 145, 85, 55 และ 35 นาที ที่ความเข้มรังสี 4,929, 6,550, 8,541 และ 10,955 วัตต์/ตารางเมตร ตามลำดับ ที่ระดับความเข้มรังสี 10,955 วัตต์/ตารางเมตร ซึ่งเป็นระดับที่สูงที่สุดในการทดลองจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด เนื่องจากระดับความเข้มรังสีสูงจะสามารถเพิ่มความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างวัสดุกับอากาศส่งผลให้น้ำสามารถเคลื่อนที่มายังสภาวะแวดล้อมได้เพิ่มขึ้น (Abe and Afzal, 1997; Ponkham *et al.*, 2012)

Figure 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้น ที่ความเข้มรังสีอินฟราเรดไกลต่างกัน โดยอัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับระดับความเข้มรังสี กล่าวคือที่ 10,955 วัตต์/ตารางเมตร มีอัตราการอบแห้งที่สูงที่สุด เท่ากับ 0.14 กรัม น้ำ/กรัม วัสดุแห้ง·นาที ขณะที่ความเข้มรังสี 8,541, 6,550, 4,929 วัตต์/ตารางเมตร มีอัตราการอบแห้งที่สูงสุดเท่ากับ 0.12, 0.09 และ 0.06 กรัม น้ำ/กรัม วัสดุแห้ง·นาที ตามลำดับ กระบวนการอบแห้งที่เกิดขึ้นเป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) ยกเว้นช่วงแรกของการอบแห้งความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงที่โพลยังคงมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงเกิดการถ่ายเทความชื้นสู่ห้องอบแห้งอย่างรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาอบแห้งมากขึ้น

ความชื้นของไหลลดต่ำลง อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำจากภายในไปยังห้องอบแห้งจะลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยการอบแห้งวัสดุชีวภาพที่ผ่านมา (Tirawanichakul and Tirawanichakul, 2008; Das *et al.*, 2009)

แบบจำลองการอบแห้ง

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองการอบแห้ง โดยใช้การวิเคราะห์แบบสมการถดถอยที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear regression) และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เป็นตัวบ่งชี้ความแม่นยำของแบบจำลองการอบแห้งในการทำนายค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการอบแห้งแบบจำลองที่มีความเหมาะสมในการทำนายจะให้ค่า

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด แต่ในขณะที่ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุด Table 2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และการวิเคราะห์ทางสถิติของแบบจำลองการอบแห้ง ซึ่งทำให้เห็นว่าแบบจำลองของ Midilli *et al.* (2002) สามารถทำนายพฤติกรรมการอบแห้งไหลได้เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.9939-0.9998 นอกจากนี้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด โดยมีค่าระหว่าง 0.0051-0.0233 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งไหลที่ได้จากการทำนายด้วยสมการของ Midilli *et al.* (2002) มีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง โดยมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับเส้นทวนสอบความแม่นยำ หรือเส้นตรงที่ความชัน 45° ดังแสดงใน Figure 3

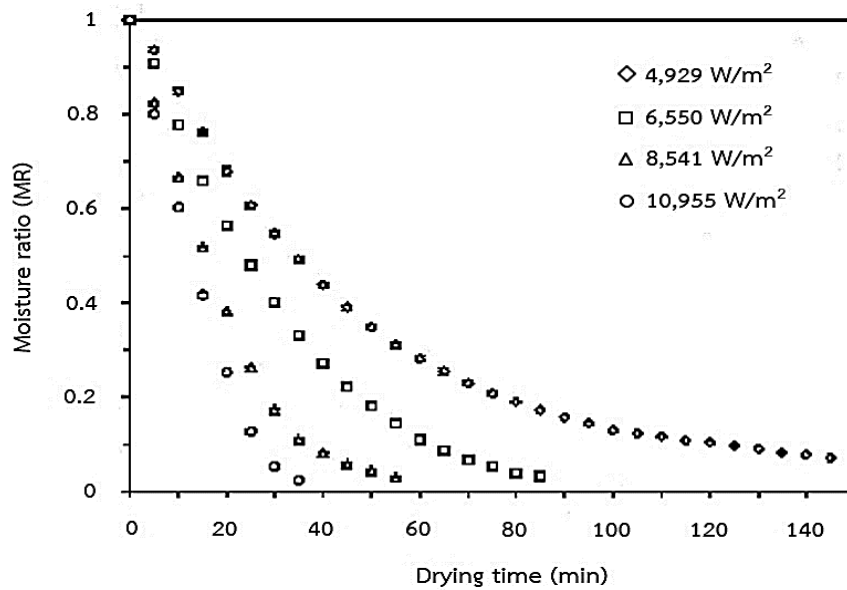


Figure 1 Relationship between moisture ratio and the drying time of ZC drying at different Infrared intensities

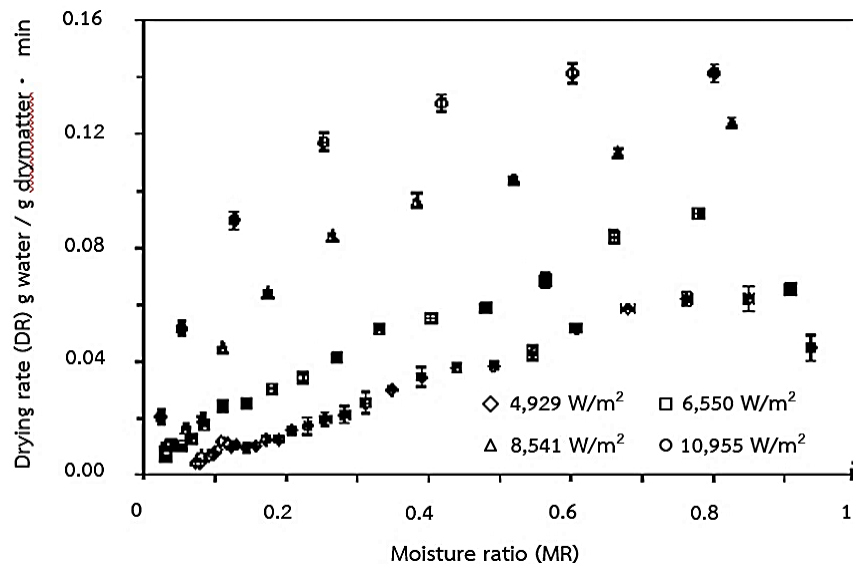


Figure 2 Relationship between drying rate and moisture ratio of ZC drying at different Infrared intensities

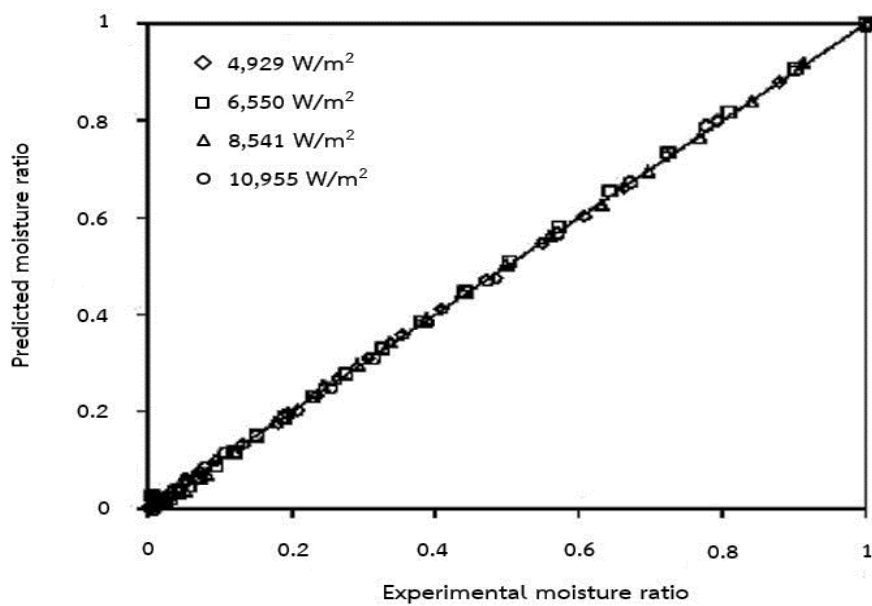


Figure 3 Comparative plot of experimental and predicted moisture ratios by Midilli *et al.* (2002)

Table 2 Mathematical models applied to ZC drying curves and their statistical results

No.	Intensity (W/m ²)	Constants and coefficients				R ²	RMSE
1	4,929	$k = 0.0049$				0.9992	0.0085
	6,550	$k = 0.0131$				0.9857	0.0328
	8,541	$k = 0.0220$				0.9916	0.0419
	10,955	$k = 0.0339$				0.9712	0.0074
2	4,929	$k = 0.0063$	$n = 0.9543$		0.9996	0.0056	
	6,550	$k = 0.0039$	$n = 1.2650$		0.9982	0.0127	
	8,541	$k = 0.0077$	$n = 1.2710$		0.9992	0.0137	
	10,955	$k = 0.0105$	$n = 1.3290$		0.9989	0.0105	
3	4,929	$k = 0.0048$	$a = 0.978$		0.9996	0.0057	
	6,550	$k = 0.0139$	$a = 1.063$		0.9903	0.0286	
	8,541	$k = 0.0234$	$a = 1.059$		0.9940	0.0360	
	10,955	$k = 0.0363$	$a = 1.076$		0.9828	0.0396	
4	4,929	$a = -0.0020$	$b = 0.0000008$		0.8075	0.1719	
	6,550	$a = -0.0101$	$b = 0.0000261$		0.9968	0.0173	
	8,541	$a = -0.0166$	$b = 0.0000705$		0.9998	0.0067	
	10,955	$a = -0.0247$	$b = 0.0001555$		0.9993	0.0083	
5	4,929	$k = 0.0056$	$n = 0.9709$	$a = 0.9878$	$b = -0.00039$	0.9997	0.0051
	6,550	$k = -0.0014$	$n = 1.2070$	$a = 0.9539$	$b = -0.0112$	0.9939	0.0233
	8,541	$k = 0.0080$	$n = 1.2440$	$a = 0.9836$	$b = -0.0002$	0.9998	0.0075
	10,955	$k = 0.0121$	$n = 1.2740$	$a = 0.9949$	$b = -0.0003$	0.9997	0.0052

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (Effective diffusivity coefficient, D_{eff})

จาก Table 3 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของไหล ในระหว่างการอบแห้งที่ระดับความเข้มรังสีอินฟราเรดไกล 4,929, 6,550, 8,541 และ 10,955 วัตต์/ตารางเมตร พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง $0.59 \times 10^{-7} - 2.75 \times 10^{-7}$ ตารางเมตร/วินาที โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลมีค่า

เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มรังสีอินฟราเรดไกลที่ใช้ในการอบแห้งมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการอบแห้งโพลด้วยรังสีอินฟราเรดไกลภายใต้สภาวะสุญญากาศมีค่าสูงกว่าการอบแห้งวัสดุชีวภาพด้วยวิธีพาความร้อน ซึ่งจากผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของวัสดุชีวภาพมีค่าอยู่ในช่วง $10^{-11} - 10^{-9}$ ตารางเมตร/วินาที (Sripinyowanich and Noomhorm, 2011)

Table 3 Effective diffusivity coefficient of ZC drying at different infrared intensities

Infrared intensity (W/m ²)	Effective diffusivity coefficient (m ² /s)	R ²
4,929	0.59×10 ⁻⁷	0.98
6,550	1.14×10 ⁻⁷	0.97
8,541	1.86×10 ⁻⁷	0.98
10,955	2.75×10 ⁻⁷	0.91

ค่าพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นการเคลื่อนที่ของสสารสามารถหาได้จากการสร้างกราฟจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองในรูปของลอการิทึมของค่าการแพร่กระจายความชื้นประสิทธิพล (ln (D_{eff})) เปรียบเทียบกับส่วนกลับของอุณหภูมิ (1/T) ดังแสดงใน Figure 4 จะได้ความชัน

ของเส้นกราฟ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความชันของเส้นกราฟกับค่าพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นการเคลื่อนที่ของสสาร โดยที่ ค่า E_a สามารถที่จะคำนวณได้จากสมการที่ (9) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17.97 กิโลจูล/โมล

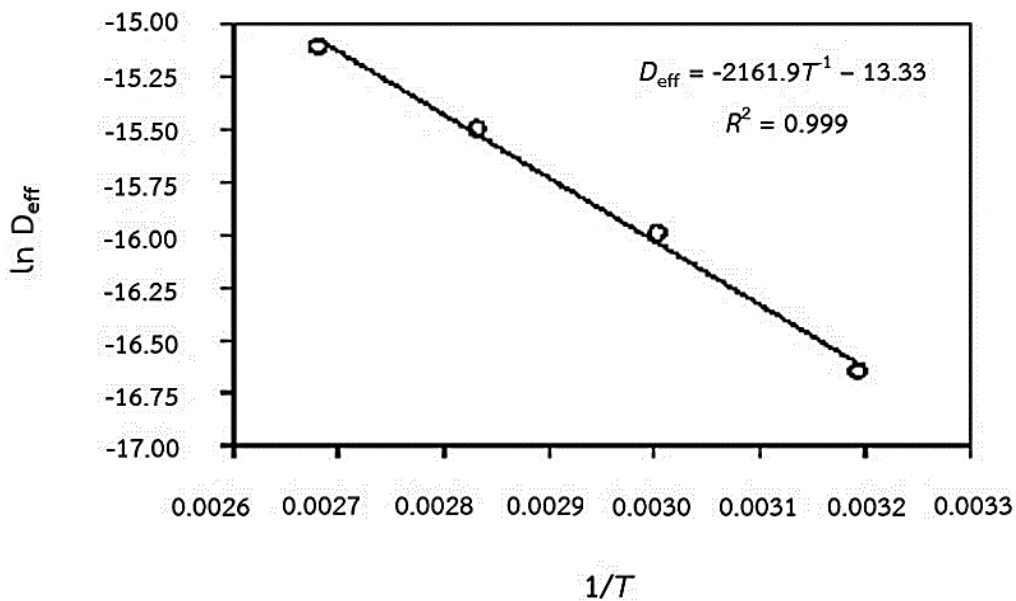


Figure 4 Plot of natural logarithm of effective moisture diffusivity vs. reciprocal of absolute temperature of drying of ZC

คุณภาพของไหลอบแห้ง

จาก Table 4 ไพลอบแห้งที่อบแห้งด้วยความเข้มรังสีอินฟราเรดไกลต่างกัน มีค่าสีความเป็นสีเหลือง (b^*) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าเมื่อความเข้มรังสีเพิ่มขึ้นค่า b^* มีแนวโน้มลดลง โดยที่ระดับความเข้มรังสี 4,929 และ 6,550 วัตต์/ตารางเมตร มีค่าไม่แตกต่างกัน คือ 54.49 และ 54.32 ตามลำดับ สำหรับในระดับความเข้มรังสี 8,541 และ 10,955 วัตต์/ตารางเมตร มีค่าไม่แตกต่างกันคือ 52.18 และ 51.65 เนื่องจากความร้อนที่สูงขึ้นจะเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของคาโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการทำให้แห้ง ในขณะที่ความเข้มรังสีอินฟราเรดไกลในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นมวลรวมของวัสดุและเปอร์เซ็นต์การหดตัว

เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากลักษณะที่ผิววัสดุเป็นเปลือกแข็งแล้วหุ้มส่วนด้านในที่ยังไม่แห้งไว้ ซึ่งเกิดจากในช่วงแรกของการอบแห้ง น้ำที่ผิวของวัสดุระเหยเร็วเกินไปทำให้น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน โดยการอบแห้งที่ความเข้มรังสีอินฟราเรดไกล 4,929 และ 6,550 วัตต์/ตารางเมตร มีค่าความหนาแน่นมวลรวมไม่แตกต่างกันคือ 0.19 ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าเท่ากับ 77.57 และ 77.42 ตามลำดับ แต่การอบแห้งที่ความเข้มรังสีอินฟราเรดไกล 8,541 และ 10,955 วัตต์/ตารางเมตร มีค่าความหนาแน่นมวลรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ 0.25 และ 0.31 ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าเท่ากับ 85.61 และ 93.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Table 4 Evaluation of dried ZC quality

Infrared intensity (W/m ²)	b^*	Bulk density (g/cm ³)	%Shrinkage
4,929	54.49±0.03 ^a	0.19±0.02 ^c	77.57±0.51 ^c
6,550	54.32±0.06 ^a	0.19± 0.01 ^c	77.42±0.94 ^c
8,541	52.03±0.04 ^b	0.25±0.02 ^b	85.61±0.55 ^b
10,955	51.65±0.02 ^b	0.31±0.01 ^a	93.47±0.32 ^a

The same letter in the same column is not significantly different at $p < 0.05$.

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาแบบจำลองการอบแห้งของไหลด้วยอินฟราเรดไกลภายใต้สภาวะสุญญากาศ ใช้เวลาในการอบแห้ง 145, 85, 55 และ 35 นาที อัตราการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 0.06, 0.09, 0.12 และ 0.14 กรัม น้ำ/กรัม วัสดุแห้ง·นาที ที่ความเข้มรังสีอินฟราเรดไกล 4,929, 6,550, 8,541 และ 10,955 วัตต์/ตารางเมตร ตามลำดับ แบบจำลองการอบแห้ง Midilli *et al.* (2002) สามารถทำนายพฤติกรรมการอบแห้งได้เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก

มีค่า R^2 มากที่สุด และค่า RMSE น้อยที่สุด สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น โดยค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 17.97 กิโลจูล/โมล คุณภาพของไหลอบแห้งพบว่าค่าความเป็นสีเหลืองมีแนวโน้มลดลง เมื่อความเข้มรังสีอินฟราเรดไกลในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความหนาแน่นมวลรวม และเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหยของไหลแห้งก็เป็นอีกวิธีที่จะสามารถยืนยันข้อมูลด้านคุณภาพได้ อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ Thuwapanichayanan

and Prachyawarakorn. (2011) พบว่าความชื้นของรังสีอินฟราเรดไกลในการอบแห้งไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยในผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้ทุนสนับสนุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2562 และคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ ครุภัณฑ์ ในการดำเนินการทดลองวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Abe, T. and T.M. Afzal. 1997. Thin layer infrared radiation drying of rough rice. **Journal of Agricultural Engineering Research** 67(1): 289-297.
- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis**. 17th Edition. Gaithersburg, Maryland: AOAC International. 771 p.
- Bruce, D.M. 1985. Exposed-layer barley drying, three models fitted to new data up to 150°C. **Journal of Agricultural Engineering Research** 32(1): 337-347.
- Das, I., S.K. Das and S. Bal. 2009. Drying kinetics of high moisture paddy undergoing vibration-assisted infrared (IR) drying. **Journal of Food Engineering** 95(1): 166-171.
- Henderson, S.M. and S. Pabis. 1961. Grain drying theory II. temperature effects on drying coefficients. **Journal of Agricultural Engineering Research** 6(1): 169-174.
- Lakchai, A. 2009. **Performance Analysis of Drying Process of Phai (*Zingiber cassumunar Roxb.*) Using Heat Pump Dryer**. Master Thesis. Chiangmai University. 149 p. [in Thai]
- Midilli, A., H. Kucuk and Z.A. Yapar. 2002. New model for single-layer drying. **Drying Technology** 20(7): 1503-1513.
- Niamnuy, C., M. Nachaisin, J. Laohavanich and S. Devahastin. 2011. Evaluation of bioactive compounds and bioactivities of soybean dried by different methods and conditions. **Food Chemistry** 129(1): 899-906.
- Nowak, D. and P.P. Lewicki. 2004. Infrared drying of apple slices. **Innovative Food Science and Emerging Technology** 5(1): 353-360.
- Page, G.E. 1949. **Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin Layers**. Master thesis. Purdue University. 44 p.
- Ponkham, K., N. Meeso, S. Soponronnarit and S. Siriamornpun. 2012. Modeling of combined far-infrared radiation and air drying of a ring shaped-pineapple with/without shrinkage. **Food and Bioproducts Processing** 90(1): 155-164.
- Ratmanee, P., S. Phitakwinai, W. Nilnont and W. Buakaew. 2021. Thin layer drying kinetics of turmeric using hot air dryer. **Journal of Industrial Technology** 17(2): 32-45. DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.06.001. [in Thai]

- Sripinyowanich, J. and A. Noomhorm. 2011. A new model and quality of unfrozen and frozen cooked rice dried in a microwave vibro-fluidized bed dryer. **Drying Technology** 29(7): 735-748.
- Subcharoen, P. 2006. **Herbal Garden in Royal Flora Expo**. Bangkok: Samchareon Phanich. 464 p. [in Thai]
- Thanimkarn, S., E. Cheevitsopon and J. Sripinyowanich. 2019. Effects of vibration, vacuum, and material thickness on infrared drying of *Cissus quadrangularis* Linn. **Heliyon** 5(6): 1-7. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e01999.
- _____. 2020. Drying kinetics and quality of *Cissus quadrangularis* Linn. dried by convective hot air. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal** 22(3): 230-240.
- Thuwapanichayanan, R. and S. Prachyawarakorn. 2011. Effects of drying techniques and conditions on drying kinetics and quality of chopped garlic. **The Agricultural Science Journal** 42(3)(Suppl.): 605-608.
- Tirawanichakul, Y. and S. Tirawanichakul. 2008. Mathematical model of fixed-bed drying and strategies for crumb rubber producing STR20. **Drying Technology** 26(11): 1388-1395.
- Wang, C.Y. and R.P. Singh. 1978. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **Transactions of American Society of Agricultural Engineers** 11(1): 668-672.

ซูปลิงกาทมาตพร้อมบริโภค

Ready-to-Consume Gamat Sea Cucumber Soup

ชุตินุช สุจริต^{1*} และลักษมี วิทยา²

Chutinut Sujarit^{1*} and Luksamee Vittaya²

¹สาขาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
วิทยาเขตตรัง ตรัง 92150

²สาขาศึกษาทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ตรัง 92150
¹Department of Aquaculture and Fishery Products, Faculty of Science and fisheries, Rajamangala University of Technology Srivijaya
Trang Campus, Trang, Thailand, 92150

²Department of General Education, Faculty of Science and fisheries, Rajamangala University of Technology Srivijaya
Trang Campus, Trang, Thailand, 92150

*Corresponding author: s.chutinut58@gmail.com

Received: September 27, 2023

Revised: March 01, 2024

Accepted: May 30, 2024

Abstract

This research aimed to formulate the most appropriate recipe for ready-to-consume Gamat sea cucumber soup, assess customer satisfaction through sensory testing, and analyze nutritional facts including shelf-life testing. In the experiments, four Gamat sea cucumber soup recipes were tested, each formulated with varying quantities of Gamat—zero grams (control), 50, 100 and 150 grams of Gamat, respectively. The findings revealed that the recipe containing 100 grams of Gamat in the soup received the highest sensory test score. The result of the proximate analysis of Gamat soup revealed that the percentages of moisture, carbohydrates, protein, ash, and fat were 91.55, 5.18, 2.05, 1.02 and 0.20%, respectively. The proximate analysis of one serving (50 grams) of Gamat sea cucumber soup was 15 calories, 2 grams of sugar, and 0.2 grams of sodium. The advantages to consuming this soup include low calorie content, minimal sugar, low fat and sodium. It was suitable for consumers who control their weight and dietary considerations. No microorganisms were detected during the 56 day storage period. Levels of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., and *Vibrio parahaemolyticus* in the soup were remained within safety limits as stipulated by the Thai Community Product Standards (Reference Number 1505/2562).

Keywords: Gamat sea cucumber soup, herbal, proximate analysis

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาสูตรซูปลิงกาหามาพร้อมบริโภคน โดยทำการศึกษาเพื่อค้นคว้าหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเตรียมซูปลิงกาหามา 4 สูตร (สูตรควบคุม สูตรที่ใช้อัตราส่วนปลิงทะเล 50, 100 และ 150 กรัม) รวมถึงการทดสอบประสิทธิภาพเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภค นำสูตรที่ได้รับการตอบรับดีที่สุดวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและระยะเวลาในการเก็บรักษา ผลการวิจัยพบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับสูตรที่ใช้อัตราส่วนปลิงกาหามา 100 กรัมมากที่สุด ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของซูปลิงกาหามา พบว่า มีค่าความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และไขมัน ร้อยละ 91.55 5.18 2.05 1.02 และ 0.20 ตามลำดับ ซูปลิงกาหามาต่อหนึ่งขวดบริโภค ขนาด 50 กรัม มีพลังงาน 15 กิโลแคลอรี น้ำตาล 2 กรัม และโซเดียม 0.2 กรัม การบริโภคซูปลิงกาหามาไม่มีข้อดีในแง่ของพลังงานต่ำ น้ำตาลน้อย ไขมันต่ำ และเกลือต่ำ เหมาะสำหรับผู้ที่มีความควบคุมน้ำหนักและคำนึงถึงสุขภาพ ซูปลิงกาหามาที่ทำการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 56 วัน พบว่าไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และจุลินทรีย์ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp. และ *Vibrio parahaemolyticus* โดยผลิตภัณฑ์ซูปลิงกาหามาตั้งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ประเภทซูปลิงกาหามาสำเร็จรูปตามมาตรฐาน มพช. 1505/2562

คำสำคัญ ซูปลิงกาหามา สมุนไพร คุณค่าทางโภชนาการ

คำนำ

ปลิงกาหามา (Gamat) เป็นปลิงทะเลชนิดหนึ่งซึ่งอยู่ในกลุ่มสัตว์ Echinodermata ที่ผิวลำตัวมีลักษณะเป็นหนาม ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Stichopus horrens* ลำตัวมีลักษณะทรงกระบอกกลมยาวคล้ายไส้กรอก อ่อนนุ่ม

และสามารถยึดหดตัวได้ มีช่องเปิดปากและทวารหนักอยู่ที่ปลายทั้งสองข้าง ผิวหนังส่วนนอกยึดหยุ่นได้ดีและภายใต้ผิวหนังมีตุ่มหินปูนกระจายอยู่ทั่วไป มีหนามลักษณะคล้ายต้นไม้ล้อมรอบ ซึ่งใช้ในการหาอาหารโดยดูดโคลนตมเข้าทางปากผ่านระบบทางเดินอาหาร และกากที่เหลือจะถูกขับถ่ายออกอีกด้านหนึ่ง แตกต่างจากปลิงน้ำจืด ปลิงทะเลเหล่านี้ไม่ดูดเลือด แต่กินซากสารอินทรีย์บนพื้นทรายได้ทั้งทะเลและสัตว์น้ำเล็ก ๆ เป็นอาหาร โดยกินสารอินทรีย์เข้าไปพร้อมกับทราย และดูดเอาเฉพาะสารอาหารที่ต้องการ ทั้งทรายที่ไม่ต้องการออกมา ดังนั้น พื้นท้องทะเลที่มีปลิงกาหามาอาศัยมักจะขาวสะอาดกว่าบริเวณอื่น ๆ พวกมันพบได้ในแนวปะการังในทะเลที่ค่อนข้างลึกประมาณ 20 เมตร และต้องมีความชำนาญในการจับเนื่องจากมีการพรางตัวได้ดี ในกลางวันอาจมองไม่เห็น แต่ในเวลากลางคืนสามารถเห็นตาปลิงกาหามาเป็นสีแดงได้แนวปะการังได้ชัดเจน (Chantarothai, 2012)

ปลิงกาหามา มีปริมาณโปรตีนระหว่าง 10-12% ความชื้น 70-80% และไขมัน 0.002-0.004% เนื้อปลิงส่วนใหญ่มีสารมิวโคโปรตีนที่ประกอบด้วย Chondroitin sulfuric acid ซึ่งเป็นสารสำคัญในการรักษาความปกติของกล้ามเนื้อ หากปริมาณสารนี้ลดลงอาจส่งผลให้การทำงานของกล้ามเนื้อลดลง (Rattanchoo, 2012) ปลิงกาหามาได้รับการนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในต่างประเทศในหลายรูปแบบ เช่น ปลิงแห้ง ปลิงในน้ำผึ้ง น้ำกาหามา และใช้เป็นส่วนผสมในยาพื้นบ้าน ได้แก่ ยาหม่อง ยาสีฟัน สบู่ และเครื่องสำอาง รวมถึงการบริโภคแบบสด (Purcell *et al.*, 2012; Purcell *et al.*, 2014; Zulfaqar *et al.*, 2016) ด้วยคุณค่าทางโภชนาการและความหลากหลายในการใช้ประโยชน์ ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ซูปลิงกาหามาเพื่อความสะดวกในการบริโภค การบำรุงร่างกาย และความสะดวกในการขนส่ง นับเป็นการใช้ทรัพยากรทางทะเลอย่างคุ้มค่าและส่งเสริมการสร้างรายได้ให้กับชาวประมงชุมชนชายฝั่งทะเลแถบอันดามัน

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมปลิงกามา

ตัวอย่างปลิงทะเลที่ใช้ในการทดลองได้รับการเก็บเกี่ยวจากเกาะสุกร อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างปลิงทะเล จำนวน 60 ตัว มีความยาวเฉลี่ย 15 ซม. และมีน้ำหนักเฉลี่ย 15 กรัม ก่อนการทดลองปลิงทะเลถูกนำมาทำความสะอาดโดยการล้างด้วยน้ำทะเลเพื่อป้องกันการละลายตัวของปลิงทะเล เอาลำไส้ของปลิงทะเลออกและทำความสะอาดทั้งส่วนภายในและภายนอกของปลิงทะเล หลังจากนั้นปลิงทะเลจะถูกนำไปต้มในน้ำสะอาดจนเดือด แล้วทิ้งให้สะเด็ดน้ำ และใช้สารส้มโดยการถูเพื่อปรับปรุงเนื้อผิวและลดกลิ่นเฉพาะตัวของปลิงทะเล หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง ปลิงทะเลที่ต้มแล้วจะถูกนำมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ รูปลูกเต๋าคูขนาด 1x1x1 ซม. และทิ้งให้สะเด็ดน้ำเพื่อเตรียมสำหรับกระบวนการทดลองต่อไป

วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการปลิงกามา

นำตัวปลิงที่ได้จากการต้มไปรมควัน และอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้น้ำหนักปลิงลดลงประมาณ 10 เท่า ปลิงกามาแห้งมีขนาดลดลง 5-7 ซม. นำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร ความชื้น และกรดอะมิโนของปลิงกามาแบบแห้ง โดยส่งตรวจวิเคราะห์บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

ศึกษาสูตรในการทำซूपปลิงกามาพร้อมบริโภค

ปลิงกามาแห้งถูกนำมาแช่ในน้ำเพื่อคืนสภาพเป็นเวลาหนึ่งคืน โดยการทดลองแบ่งปริมาณปลิงกามาที่ใส่ลงไปเป็นสี่ระดับ ได้แก่ 0, 50, 100 และ 150 กรัม นำปลิงที่ได้รับการคืนสภาพลงในน้ำสะอาดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้วัตถุดิบประกอบด้วยน้ำเปล่า หอมหัวใหญ่ แครอท ข้าวโพดหวาน หัวไชเท้า รากผักชี กระเทียม ขิง พริกไทยดำเม็ด ผักกาดขาว เห็ดหอม เกลิ้อ น้ำตาลทรายขาว เนื้อปลาหีบหิม และเครื่องยาจีน เพื่อทำการทดลองน้ำซूप 4 สูตร และทดสอบ 3 ซ้ำ ต่อสูตร ตามที่ได้บันทึกไว้ใน Table 1 หลังจากนั้น ทำการการคัดเลือกสูตรที่ผู้บริโภคให้คะแนนสูงสุด โดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม ด้วยวิธีการประเมิน 9-Point hedonic scale จากกลุ่มผู้ทดสอบไม่น้อยกว่า 20 คน เพื่อหาสูตรน้ำซूपปลิงกามาที่ได้รับความชอบสูงสุดจากผู้บริโภค สูตรที่ได้รับความชอบสูงสุดจะถูกนำไปวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งรวมถึงการวัดปริมาณความชื้น ไขมัน และโปรตีน ตามวิธีการที่ได้รับการดัดแปลงจาก AOAC (2000) นอกจากนี้ยังมีวิเคราะห์ทางด้านจุลินทรีย์ โดยเฉพาะปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total variable count) ตามวิธีการที่ได้รับการดัดแปลงจาก AOAC (2000)

Table 1 The formulas of ready to consume Gamat sea cucumber soup

Ingredients	Quantity of ingredient in the soup (grams)			
	Control	1	2	3
Water	1000	1000	1000	1000
Onion	50	50	50	50
Carrot	100	100	100	100
Sweet corn	150	150	150	150
White radish	75	75	75	75
Coriander root	5	5	5	5
Garlic	25	25	25	25
Ginger	5	5	5	5
Black pepper	1	1	1	1
Chinese cabbage	200	200	200	200
Shitake mushroom	300	300	300	300
Salt	12	12	12	12
Refined sugar	8	8	8	8
Nile Tilapia	500	500	500	500
Chinese herbs	50	50	50	50
Dried Gamat	0	50	100	150

ศึกษาอายุการเก็บรักษาซूपปลิงกาหมาด

จากสูตรที่ถูกคัดเลือกในข้อ 3 ผลิตภัณฑ์ซूपปลิงกาหมาดที่บรรจุในขวดแก้วได้รับการฆ่าเชื้อโดยการใช้หม้อนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสและความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยมีระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ คือ 15 นาที หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อทดสอบอายุการเก็บรักษาซึ่งมีระยะเวลาทั้งสิ้น 56 วัน การตรวจสอบผลิตภัณฑ์จะดำเนินการสุ่มตัวอย่างทุก ๆ

7 วัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ซूपปลิงกาหมาดพร้อมบริโภครวม

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำเสนอข้อมูลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในรูปแบบของค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean \pm SD) การเปรียบเทียบสูตรน้ำซूपปลิงกาหมาดระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) เพื่อทดสอบ

ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และทดสอบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยที่ค่า $p < 0.05$ ซึ่งบ่งชี้ถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการปลิงกาหมาด

ผลจากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของปลิงกาหมาดแห้ง ในปริมาณ 100 กรัม พบว่ามีโปรตีนไขมัน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร ความชื้น เท่ากับ 7.79, 2.15, 30.06 1.65 และ 11.04 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่าปลิงกาหมาดแห้งเป็นแหล่งที่มีแคลเซียมและเหล็กในปริมาณสูง โดยมีแคลเซียม 1,873.72 มิลลิกรัม และเหล็ก 9.983 มิลลิกรัม ในด้านกรดอะมิโน พบว่าปลิงกาหมาดแห้งมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตครบทุกชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งไกลซีน ซึ่งมีปริมาณสูงสุดที่ 8.63 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิกรัม โดยไกลซีนนี้มี

ความสำคัญในการรักษาภาวะที่ต่อมได้สมองทำงานน้อย การรักษาโรคกล้ามเนื้อฝ่อลีบ และการรักษาภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ อีกทั้งกรดกลูตามิกมีปริมาณ 7.85 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิกรัม ผลการวิเคราะห์ทางโภชนาการเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของปลิงกาหมาดแห้งในการเป็นแหล่งโภชนาการที่มีคุณภาพสูง

ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของปลิงกาหมาด

เมื่อนำปลิงกาหมาดแห้งมาทำซूपปลิงกาหมาด โดยมีการทดลองจำนวน 4 สูตร ที่มีอัตราส่วนของปลิงกาหมาดที่ต่างกัน ผลจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคพบว่า น้ำซूपทั้ง 4 สูตร ประกอบด้วยสูตรควบคุม สูตรที่ใช้ปลิงกาหมาด 50 กรัม สูตรที่ใช้ปลิงกาหมาด 100 กรัม และสูตรที่ใช้ปลิงกาหมาด 150 กรัม จากการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค สูตรที่ใช้ปลิงกาหมาด 100 กรัมได้รับการยอมรับสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 8.73 ± 0.88^a คะแนน (Table 2)

Table 2 The formulas of sensory test varied to the weights of dried Gamat sea cucumber

Formula	Average score				
	Color	Odor	Flavor	Texture	Overall acceptance
Control	6.36±0.16 ^c	6.36±0.22 ^c	6.63±0.15 ^c	6.93±0.01 ^c	6.86±0.03 ^c
Formula I	6.43±0.16 ^c	6.36±0.16 ^c	6.40±0.16 ^c	6.33±0.16 ^c	6.43±0.16 ^c
Formula II	8.60±0.22 ^a	8.63±0.03 ^a	8.10±0.01 ^a	8.16±0.18 ^a	8.73±0.88 ^a
Formula III	8.01±0.04 ^b	8.12±0.03 ^b	7.25±0.11 ^b	8.00±0.02 ^b	7.11±0.22 ^b

Same alphabet in row marks no statistical difference ($p > 0.05$)

ผลการเก็บรักษาซूपปลิงกาหมาด: ผลการตรวจวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในอาหาร

จากการทดสอบซूपปลิงกาหมาดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิในตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) พบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนด โดยมีการตรวจพบจุลินทรีย์

Escherichia coli และ *Staphylococcus aureus* ในผลิตภัณฑ์ แต่ปริมาณเชื้อนั้นน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนด ส่วนเชื้อ *Salmonella* spp. และ *Vibrio parahaemolyticus* ไม่พบในการทดสอบ (Table 3)

Table 3 The results of pathogen microorganism in Gamat sea cucumber soup

Microbial Type	Amount of the products in the study	Amount of food standard	Method of standardization
MPN <i>E.coli</i> /gram	Below 3.0	Below 3	FDA-BMA, online, 2013
<i>S. aureus</i> CFU/gram	Below 10	Below 10	APHA-COMPENDIUM, 2015
<i>Salmonella</i> spp. CFU/ 25 grams	None	None	ISO 6579-1, 2017 (E)
<i>V. parahaemolyticus</i> CFU/ 25 grams	None	None	ISO/TS 21872-1, 2017

การวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรักษาซूपปลิงกาหมาดพร้อมบริโภคนั้นเป็นระยะเวลา 56 วัน โดยวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษา ทั้งที่อุณหภูมิห้องและในตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) ผลการวิเคราะห์พบว่า ในช่วง 7 วันแรกไม่มีการตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิ

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ตั้งแต่วันที่ 28 เป็นต้นไป พบจุลินทรีย์มากกว่า 300 CFU/g ในขณะที่ในตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 35 พบจุลินทรีย์ที่ระดับ 1.6×10^2 CFU/g และในวันที่ 56 ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 3.87×10^2 CFU/g (Table 4)

Table 4 Microbiological changes during 56 days storage of Gamat sea cucumber soup at room Temperature

Storage time (day)	Microbiological parameters (CFU/g)	
	Room temperature	Fridge temperature (4°C)
0	Nd	Nd
7	Nd	Nd
14	<30×10 ²	Nd
21	<30×10 ²	<30×10 ²
28	>300	<30×10 ²
35	>300	1.61×10 ²
42	>300	3.57×10 ²
49	>300	3.63×10 ²
56	>300	3.87×10 ²

Nd means not detected or less than 10 colonies, and >300 means colonies too numerous to count

วิจารณ์ผลการวิจัย

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของปลิงกามาตแห้งต่อปริมาณ 100 กรัม ประกอบด้วยโปรตีน 7.79 กรัม ไขมัน 2.15 กรัม เถ้า 30.06 กรัม ไยอาหาร 1.65 กรัม และความชื้น 11.04 กรัม นอกจากนี้ยังพบว่า มีคาร์โบไฮเดรต 54.96 กรัม คอเลสเตอรอล 0.003 กรัม แคลเซียม 1,873.720 มิลลิกรัม เหล็ก 0.009 กรัม และเกลือ 0.004 กรัม ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต พบว่ามีครบทุกชนิดโดยมีไกลซีนเป็นกรดอะมิโนที่มีปริมาณสูงสุด คือ 8.63 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิกรัม ซึ่งมีบทบาทในการบำรุงภาวะการทำงานของต่อมใต้สมองที่ลดลง รักษาโรคกล้ามเนื้อฝ่อลีบ และรักษาภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ (Ham *et al.*, 2014; Koopman *et al.*, 2017) นอกจากนี้กรดกลูตามิกมีปริมาณ 7.85 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นสารสำคัญในระบบสมองที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารหรือเป็นสารสื่อสารระบบประสาท (Buck *et al.*, 2022) จากงานวิจัยของ Thongdee (2024) พบว่าปลิงทะเล

ชนิด *Stichopus horrens* เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการเสริมสร้างสุขภาพ ปลิงทะเลชนิดนี้มีโปรตีนสูง (60-70%) ไขมันต่ำ (1-2%) คาร์โบไฮเดรตต่ำ (2-3%) แร่ธาตุที่พบมาก ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม สังกะสี และเหล็ก วิตามินที่พบมาก ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินบี1 วิตามินบี2 วิตามินบี3 วิตามินซี และวิตามินอี กรดไขมันที่พบมาก ได้แก่ กรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น กรดโอเลอิก กรดไลโนเลอิก และกรด EPA จากการทดลองสูตรซूपปลิงกามาตด้วยอัตราส่วนปลิงทะเลที่แตกต่างกัน (50, 100 และ 150 กรัม) พบว่าผู้บริโภคมีการยอมรับประสาธสัมผัสสูงสุดในสูตรที่มีปลิงกามาต 100 กรัม สาเหตุที่สูตรนี้ได้รับความนิยมสูงสุดอาจเป็นเพราะว่ามีความสมดุลในรสชาติและกลิ่นที่เหมาะสม ไม่เข้มข้นหรืออ่อนเกินไป ทำให้เป็นที่ชอบของผู้บริโภค ความเข้มข้นของปลิงกามาตในสูตรอาจมีผลต่อความรู้สึกในการรับประทาน ทั้งนี้ ความสมดุลของรสชาติและกลิ่นจากส่วนผสมอื่น ๆ ในซूपก็มีส่วนช่วยให้สูตรนี้ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น การมีปลิงกามาตในปริมาณที่ไม่มากเกินไปช่วยให้รักษาคุณค่าทางโภชนาการโดยไม่

ทำให้รสชาติหรือกลิ่นแรงจนเกินไป ซึ่งอาจไม่เป็นที่พอใจของผู้บริโภค และจากงานวิจัยของ Waranyu (2021) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลิงทะเล ได้แก่ ยำปลิงกาหมาด แกงคั่วปลิงกาหมาด และน้ำมันปลิงกาหมาด ทุกผลิตภัณฑ์ใช้เนื้อปลิงกาหมาด 100 กรัม ขณะที่ Srisawat (2022) ได้แปรรูปผลิตภัณฑ์ซุปลิงทะเลแบบกระป๋อง ซุปลิงทะเลแบบกึ่งสำเร็จรูป ทุกผลิตภัณฑ์ใช้เนื้อปลิงกาหมาด 100 กรัม เช่นกัน ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซุปลิงกาหมาด สูตรที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยน้ำเปล่า 1 ลิตรหอมหัวใหญ่ 50 กรัม แครอท 100 กรัม ข้าวโพดหวาน 150 กรัม หัวไชเท้า 75 กรัม รากผักชี 5 กรัม กระเทียม 25 กรัม พริกไทยดำเม็ด 1 กรัม ผักกาดขาว 200 กรัม เห็ดหอม 300 กรัม เกลือ 12 กรัม น้ำตาลทรายขาว 8 กรัม เนื้อปลาทับทิม 500 กรัม เครื่องยาจีน 50 กรัม ปลิงทะเล 100 กรัม มีสี กลิ่น รสชาติ ความชอบโดยรวม เนื้อสัมผัส ได้รับการยอมรับระดับสูง เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบชิมในชุดควบคุม สูตรที่ 1 และสูตรที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มเครื่องเทศเพื่อลดกลิ่นเฉพาะของปลิงกาหมาดก็ได้รับการยอมรับอย่างดีจากผู้ทดสอบชิม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกส่วนผสมให้เหมาะสมในการพัฒนาสูตรซุปลิง

จากการศึกษาของ Watthanaphiromsakul *et al.* (2015) ได้ทำการพัฒนาสัตว์น้ำเพื่อผลิตเป็นซุปลาสกัตพร้อมดื่ม โดยการสกัดปลาด้วยกระบวนการย่อยสลายของเอนไซม์ทางการค้า ปริมาณร้อยละ 5 บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และเพิ่มแป้งดัดแปรเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัส ของซุปลาสกัต จนเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบร่วมกับการใช้สมุนไพรใบกระวานและลูกผักชี ช่วยปรับปรุงกลิ่นรสของปลา ซึ่งเป็นแนวทางเดียวกันในกระบวนการผลิตซุปลิงจากสัตว์น้ำพร้อมบริโภคมีกรดอมิโนที่จำเป็นครบทั้ง 9 ชนิด และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเช่นกัน สอดคล้องกับการทดลองของ Somalee (2018) ในกระบวนการปรุงซุปลิงที่เสริมด้วยสมุนไพร เช่น ข่า ตะไคร้ ใบโหระพา และหอมหัวใหญ่ ได้กำหนดปริมาณสมุนไพรรวมให้มีอัตราส่วนสำหรับน้ำซุปลิง 100 มิลลิลิตร คือ 2, 4, 6, 8 และ 9 ผลการทดลอง

พบว่า ปริมาณสมุนไพรที่ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด มีปริมาณรวมร้อยละ 6 มีค่าพลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี) 10.69 คาร์โบไฮเดรต (กรัม) 1.86 โปรตีน 0.79 ไขมันทั้งหมด (กรัม) 0.01 โคลเลสเตอรอล (มิลลิกรัม) 0.99 น้ำตาล (กรัม) 1.74 วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม) 0.15 โซเดียม (มิลลิกรัม) 189.35 แคลเซียม (มิลลิกรัม) 15.08 เหล็ก (มิลลิกรัม) 0.47 ความชื้นร้อยละ 96.60 เถ้า (กรัม) 0.74 ต่อ 100 มิลลิลิตร เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Kijroongroj *et al.* (2001) การลดความคาวของน้ำซุปลิงโดยการเติมเครื่องเทศ ได้แก่ ใบกระวาน ลูกผักชี ลูกจันทร์ ขิง และยี่หระ ร้อยละ 0.5 ผลการทดสอบประสาทสัมผัส โดยวิธีการพรรณนาเชิงปริมาณ QDA พบว่าน้ำซุปลิงที่เติมใบกระวาน ผักชี และยี่หระ ในอัตราส่วน 1:1 ในระดับร้อยละ 0.25 โดยนำมาต้ม 10 นาที มีการยอมรับสูงสุดโดยวิธี Hedonic scale (9 คะแนน)

ส่วนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซุปลิงเสริมสมุนไพรพร้อมบริโภคนั้นมีการบรรจุในขวดแก้วนำไปฆ่าเชื้ออุณหภูมิห้อง 121 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ซึ่งเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 56 วัน เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ซุปลิงกาหมาดพร้อมบริโภค ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็น พบว่าในช่วง 7 วันแรก ทั้งสองอุณหภูมิไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และเมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน พบเชื้อจุลินทรีย์มากกว่า 300 โคโลนี ที่เก็บรักษาอุณหภูมิห้อง ส่วนที่เก็บรักษาซุปลิงที่อุณหภูมิตู้เย็น ยังคงพบเชื้อจุลินทรีย์ 1.6×10^2 CFU/g เป็นระยะเวลา 56 วัน สอดคล้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ซุปลิงหอย ได้นำมาฆ่าเชื้อด้วยอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์ราในช่วงแรกเช่นกัน มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ในขณะที่ Thai Recommended Daily Intakes ได้แนะนำปริมาณสารอาหารที่ให้บริการบริโภคต่อวัน สำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 แคลอรี (Calorie) โดยมีเกณฑ์ ดังนี้ คาร์โบไฮเดรต ทั้งหมด 300 กรัม

โปรตีน 50 กรัม ไขมัน (Fat) ทั้งหมด น้อยกว่า 65 กรัม กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) น้อยกว่า 20 กรัม คอเลสเตอรอล น้อยกว่า 300 มิลลิกรัม โยอาหาร 25 กรัม โซเดียม น้อยกว่า 2,400 มิลลิกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับคุณค่าทางโภชนาการของซูปปลิงกาหมาดที่มีพลังงาน น้ำตาล ไขมัน และโซเดียมที่ต่ำ แสดงว่าซูปปลิงกาหมาดเหมาะสมกับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและรักษาสุขภาพ นอกจากนี้การวิจัยยังช่วยเสริมให้เห็นว่าซูปปลิงกาหมาดสามารถตอบสนองความต้องการทางโภชนาการของบุคคลได้ในระดับหนึ่ง แต่ควรรับประทานควบคู่กับอาหารอื่น ๆ เพื่อความสมดุลทางโภชนาการ

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาซูปปลิงกาหมาดพร้อมบริโภค โดยปลิงกาหมาดแห้งมีคุณค่าทางโภชนาการของสารอาหารสำคัญครบถ้วน รวมถึงโปรตีน ไขมัน เกล็ด โยอาหาร และความชื้น นอกจากนี้ยังมีคาร์โบไฮเดรต คอเลสเตอรอล แคลเซียม เหล็ก และเกลือในปริมาณที่เหมาะสม และมีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วน โดยเฉพาะไกลซีนและกรดกลูตามิกในปริมาณสูง การทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของสูตรซูปปลิงกาหมาด ได้แก่ สูตรควบคุมและสูตรที่มีปลิงกาหมาด 50, 100 และ 150 กรัม บ่งชี้ว่าสูตรที่มีปลิงกาหมาด 100 กรัม ได้รับความนิยมสูงสุดจากผู้บริโภค เมื่อเก็บรักษาซูปปลิงกาหมาดไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิในตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 56 วัน พบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนด โดยมีการตรวจพบจุลินทรีย์ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ในผลิตภัณฑ์ แต่ปริมาณเชื้อนั้นน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนด ส่วนเชื้อ *Salmonella* spp. และ *Vibrio parahaemolyticus* นั้นไม่พบในการทดสอบ และผลิตภัณฑ์ซูปปลิงกาหมาดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ประเภทซูปเห็ดสำเร็จรูป (มผช. 1505/2562)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งทุนที่ได้รับจากงบประมาณด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประจำปี 2563 ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ชาวประมงพื้นบ้านปังไข่และจ๊ะยา ชุมชนหมู่ที่ 2 เกาะสุกร อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างปลิงกาหมาด และ ดร.อนันตนิจ ชุมศรี ในการให้คำแนะนำการเขียนบทความ

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2000. **The Association of Official Analytical Chemists**. 17th ed. Virginia Arlington: The Association of Official Analytical Chemists, Inc. 771 p.
- Buck, S.A., M. Quincy Erickson-Oberg, R.W. Logan and Z. Freyberg. 2022. Relevance of interactions between dopamine and glutamate neurotransmission in schizophrenia. **Mol. Psychiatry** 27(9): 3583-3591.
- Chantarothai, W. 2012. **Habitat of Gamat Sea Cucumber**. Bangkok: National Research Council of Thailand. 35 p. [in Thai]
- Ham, D.J., K.T. Murphy, A. Chee, G.S. Lynch and R. Koopman. 2014. Glycine administration attenuates skeletal muscle wasting in a mouse model of cancer cachexia. **Clin. Nutr.** 33(3): 448-458.

- Kijroongroj, K., M. Suppasil and W. Thawien. 2001. **The Development of Tuna High Protein Soup from by Product of Soup Steaming**. Bangkok: Biogenetics and National of Biotechnology Research Center Project. National Science and Technology Development Agency. 80 p. [in Thai].
- Koopman, R., M.K. Caldwell, D.J. Ham and G.S Lynch. 2017. Glycine metabolism in skeletal muscle: implications for metabolic homeostasis. **Curr. Opin. Clin. Nutr.** 20(4): 237-242.
- Purcell, S.W., Y. samyn and C. Conand. 2012. **Commercially Important Sea Cucumbers of the World. FAO Species Catalogue for Fishery Purposes**. No.6. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 150 p.
- Purcell, S.W., P.S. Choo, J. Akamine and M. Fabinyi. 2014. Alternative product forms, consumer packaging and extracted derivatives of tropical sea cucumbers. **SPC Beche-de-met Information Bulletin** 4: 47-52.
- Rattanchoo, W. 2012. Gamat the magic sea cucumber at Koh Sarai Satun province. **J of Fishery** 65(6): 467-470. [in Thai]
- Somalee, C. 2018. **The Development of Seashell Herbal Ready to Eat Soup to Complete the Market for Paklong Community Enterprise**. Trang Province: Rajamangala University of Technology Srivijaya. 77 p. [in Thai]
- Srisawat, S. 2022. **A Study of Consumer Satisfaction towards Sea Cucumber Soup Products**. Bangkok: Rajabhat Suan Dusit University. 72 p. [in Thai]
- The Office of Environment Section. 2008. Gamat sea cucumber: The Marine creature becoming to sustainability of the farm animal. **The New England Journal of Medicine** 4(2): 8-9. [in Thai].
- Thongdee, N. 2024. **Nutritional value and chemical composition of the sea cucumber *Stichopus horrens***. Master Thesis. Prince of Songkla University. 31 p. [in Thai].
- Wattanaphiromsakul, M., S. Boonbumrung and N. Phandhusawas. 2015. pp. 1412-1422. **In Full Text of the 53th Kasetsart University Conference: Department of Phyto, Animal, Veterinary, Fishery, Agricultural Extension and Home Economics**. Bangkok: Kasetsart University [in Thai]
- Waranyu, W. 2021. **Development of Sea Cucumber Products**. Bangkok: Kasetsart University. 16 p. [in Thai].
- Zulfaqar, S., M.A. Rahman and F.M. Yusoff. 2016. Trends, prospects and utilizations of sea cucumber fisheries in Malaysia. **International Journal of Advances in Agricultural and Environmental Engineering** 3(1): 114-116.

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชาเลือดมังกรพร้อมดื่มระหว่างการเก็บรักษา
Study on Quality Changes of Ready-to-Drink Dragon Blood
(*Peristrophe bivalvis* (L.) Merr.) Tea During Storage

ภาสุรี ฤทธิเลิศ*

Pasuree Rittilert*

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี 13180

Program in Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology

Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathum Thani, Thailand 13180

*Corresponding author: pasuree@vru.ac.th

Abstract

Received: December 12, 2023

Revised: May 05, 2024

Accepted: July 18, 2024

This research aimed to study the shelf life of ready-to-drink dragon blood tea during storage at room temperature ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$) and refrigerator temperature ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) over a period of 24 days. The experimental results showed that dragon blood tea stored at room temperature could only be preserved for one day, on the day of production. In contrast, when stored in a refrigerator, it could be preserved for 15 days. The dragon blood tea stored at room temperature exhibited significant color changes, with the hue angle shifting from red purple to yellow red. There was an increase in light transmittance (Transmittance, $\%T_{670}$), decrease in alkalinity, and a significant increase of citric acid content ($p\leq 0.05$). Storing at refrigerator temperature could help decrease the color changes, with the hue angle of the dragon blood tea remaining red purple throughout the storage time. There were slight changes in acidity and citric acid content. Regarding microbial quality, it was found that dragon blood tea stored at room temperature had significantly higher total microbial, yeast, and mold count when compared with that stored in the refrigerator, resulting in shorter shelf life. In terms of sensory quality assessment, consumers consistently rated the taste of dragon blood tea stored in the refrigerator as moderately likable throughout the 15 days of storage time.

Keywords: dragon blood tea, ready-to-drink, storage, quality change

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเลือดมังกรพร้อมดื่ม โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องดื่มในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$) และอุณหภูมิตู้เย็น ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นระยะเวลา 24 วัน จากผลการทดลองพบว่าเครื่องดื่มชาเลือดมังกรที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องสามารถเก็บได้เพียง 1 วัน ณ วันที่ผลิต ในขณะที่เครื่องดื่มชาเลือดมังกรที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นสามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน เครื่องดื่มชาเลือดมังกรที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจน แสดงค่ามุมของสี (Hue angle) จากเฉด สีแดง-ม่วง (Red purple) เป็นเฉดสีเหลือง-แดง (Yellow red) มีค่าการส่องผ่านของแสง (Transmittance, % T_{670}) สูง มีค่าความเป็นกรดลดลง ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปกรดซิตริกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่าสี โดยเครื่องดื่มชาเลือดมังกรยังคงแสดงค่า Hue angle เป็นเฉดสีแดง-ม่วง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา มีค่าความเป็นกรด-ต่างและปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนคุณภาพทางจุลินทรีย์พบว่าเครื่องดื่มชาเลือดมังกรที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา เพิ่มขึ้นจำนวนมากว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น จึงส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น ทั้งนี้ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มชาเลือดมังกรที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นพบว่าผู้บริโภคยังคงให้คะแนนความชอบด้านรสชาติอยู่ในระดับปานกลางตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 15 วัน

คำสำคัญ: ชาเลือดมังกร พร้อมดื่ม การเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ

คำนำ

ชาเลือดมังกร (Dragon blood tea) เป็นชาที่ทำมาจากพืชล้มลุก *Peristrophe* ในวงศ์ *Acanthaceae* ที่เรียกว่า ต้นเลือดมังกร มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Peristrophe bivalvis* L. Merr. ชื่อพ้อง *Peristrophe roxburghiana* เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดบริเวณตอนใต้ของประเทศจีน ปัจจุบันพบได้ทั้งในประเทศจีน เขมร อินเดีย อินโดนีเซีย ลาว มาเลเซีย เวียดนาม และไทย (Khue *et al.*, 2014) ประเทศไทยมีการเพาะปลูกมากทางภาคเหนือในพื้นที่จังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่ โดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตชาอินทรีย์บ้านห้วยน้ำกลื่น อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย โดยปลูกเลี้ยงต้นเลือดมังกร แบบอินทรีย์ และทำชาด้วยกรรมวิธีการนวด การคั่ว และการตากชา ให้แห้งก่อนการบรรจุเพื่อจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ของชุมชน นิยมดื่มเป็นชาร้อนจะได้น้ำชาที่มีสีแดงหรือสีแดงอมม่วงคล้ายเลือด ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของชาเลือดมังกร นอกจากนี้ยังมีข้อมูลการนำต้นเลือดมังกรไปใช้เป็นสีผสมอาหารจากธรรมชาติที่ให้สีม่วงในอาหารเวียดนาม เช่น แค้ ข้าวเหนียว และขนมหวานบางประเภท (Thuy *et al.*, 2022) ในทางการแพทย์แผนจีนนำมาใช้เป็นยาตำรักษาโรคต่าง ๆ ได้แก่ อากาศไอ บิด ท้องเสีย และหลอดลมอักเสบ (Tanaka and Ke, 2007) สารที่ให้สีม่วงและแดงที่พบในสารสกัดของใบเลือดมังกร เป็นสารในกลุ่มของแอนโทไซยานิน ได้แก่ พีลาร์โกนิน (Pelargonidin) และไพราโนไซยานิน (Pyrrocyanidin) (Khue *et al.*, 2014) จากข้อมูลการวิจัยของ Quan *et al.* (2016) รายงานว่าส่วนประกอบของสีที่ได้จากสารสกัด *Peristrophe bivalvis* สายพันธุ์ต่าง ๆ ที่พบในประเทศเวียดนาม เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ สารสีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมและมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูง จากข้อมูลดังกล่าวจึงมี

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเลือดมังกรเป็นเครื่องดื่มพร้อมดื่ม ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตชาอินทรีย์บ้านห้วยน้ำกลิน อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย ด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนและการบรรจุในภาชนะบรรจุแบบร้อน (Hot filling) ที่กลุ่มฯ สามารถผลิตและจำหน่ายในชุมชนได้ แต่ยังไม่มีความรู้ การศึกษาอายุการเก็บรักษาซึ่งจำเป็นต้องระบุอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ไว้ที่บรรจุภัณฑ์เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคเป็นสำคัญ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องดื่มชาเลือดมังกรพร้อมดื่ม ในระหว่างการเก็บรักษา เพื่อสนับสนุนการเพาะปลูก การแปรรูปเป็นสินค้าชุมชน และการท่องเที่ยวโดยชุมชน เกษตรกรในพื้นที่บ้านห้วยน้ำกลิน อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย ให้เกิดการเพิ่มมูลค่าและชุมชนได้รับประโยชน์สูงสุดต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

กระบวนการผลิตเครื่องดื่มชาเลือดมังกร

นำใบเลือดมังกรอบแห้งทางการค้า จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตชาอินทรีย์บ้านห้วยน้ำกลิน อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย โดยควบคุมความชื้นของใบเลือดมังกรอบแห้งไม่เกินร้อยละ 10 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องสมุนไพรรวมแห้งชงดื่ม มผช. 996/2556 (Thai Industrial Standards Institute, 2013) มาผลิตเครื่องดื่มชาเลือดมังกรตามวิธีการและสูตรต้นแบบของผลิตภัณฑ์จาก Rittilert and Suklim (2022) โดยการเตรียมน้ำชาด้วยการต้มใบเลือดมังกรปริมาณ 0.375% ในน้ำเดือดนาน 5 นาที จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วเติมสารสกัดน้ำตาลหล่อฮังก้วย 0.20% คอลลาเจน 0.50% และอินูลิน 1% คนให้ละลาย แล้วบรรจุน้ำชาขณะร้อนในขวดแก้วใสที่ผ่านการล้างและนึ่งฆ่าเชื้อด้วยอุณหภูมิน้ำเดือด ($98 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 10 นาที โดยให้มีปริมาตรบรรจุทั้งหมด 180 มล. ปิดฝาให้สนิท ทำให้เย็นโดยการแช่ในน้ำที่มีน้ำแข็งทันทีนาน 30 นาที เก็บรักษา

เครื่องดื่มที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) และอุณหภูมิตู้เย็น ($4 \pm 2^{\circ}\text{C}$) บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ ทุกๆ 3 วัน เป็นระยะเวลา 24 วัน เพื่อหาอายุการเก็บรักษาก่อนนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี

1. วิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ CIE L* a* b* ความอิ่มตัวของสี (Chroma) และค่ามุมของสี (Hue angle) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น Ultrascan VIS (HunterLab, USA) โหมด TTRAN (Total transmission)
2. ค่าการส่องผ่านแสง (Transmittance) ที่ความยาวคลื่น 670 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น Ultrascan VIS
3. วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง Microprocessor pH meter รุ่น Cyberscan (Eutech, Singapore)
4. ปริมาณกรดทั้งหมด (%) นำน้ำชาเลือดมังกรพร้อมดื่มปริมาตร 2 มล. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ และไทเทรตจนถึงจุดยุติสีเขียวเข้ม แล้วคำนวณหาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปกรดซิตริกมีหน่วยเป็น % ดังสมการ

$$\text{กรดซิตริก} = \frac{(\text{ml NaOH}) (\text{N NaOH}) (\text{meq.wt. acid})}{(\text{ml sample})} \times 100$$

ml NaOH คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรตกับน้ำชาเลือดมังกรหน่วยเป็น มล.

N NaOH คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต หน่วยเป็นนอร์มอล meq.wt. acid คือ มิลลิกรัมสมมูลของน้ำหนักรีดซิตริก มีค่าเท่ากับ 0.064 กรัม

การศึกษาคุณภาพทางจุลินทรีย์

คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) และปริมาณยีสต์และรา ด้วยวิธี BAM (2002) อ้างอิงคุณภาพทางจุลินทรีย์ของชาเลือดมังกรพร้อมดื่มตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำลูกหม่อน (Thai Industrial Standards Institute, 2014) ซึ่งกำหนดให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร และปริมาณยีสต์และรา ต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อ ตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร หากผลิตภัณฑ์ชาเลือดมังกรพร้อมดื่มมีปริมาณจุลินทรีย์เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ถือว่าสิ้นอายุการเก็บรักษา

การศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำชาเลือดมังกรบรรจุขวดและทำให้เย็นทันทีภายในวันที่ผลิต ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ผู้ทดสอบแต่ละคนจะได้ตัวอย่างเครื่องดื่มชาประมาณ 15 มิลลิลิตร ใส่ในถ้วยแก้วที่มีรหัสเลขสุ่ม 3 หลัก ใช้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 Point hedonic scale) ให้ระดับคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด จนถึงระดับ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพเคมี และจุลินทรีย์ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS V. 23

ผลการวิจัย

ลักษณะปรากฏ

จากการสังเกตลักษณะปรากฏของชาเลือดมังกรพร้อมดื่ม มีสีแดงอมม่วงที่มาจากสีธรรมชาติของใบเลือดมังกร จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของเครื่องดื่มชาเลือดมังกรพร้อมดื่ม ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) และอุณหภูมิตู้เย็น ($4 \pm 2^\circ\text{C}$) พบว่าลักษณะปรากฏของสีของเครื่องดื่มที่เก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลานาน 3 วัน เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีแดงอมม่วงเป็นสีเหลืองอมแดงอย่างชัดเจน (Figure 1)

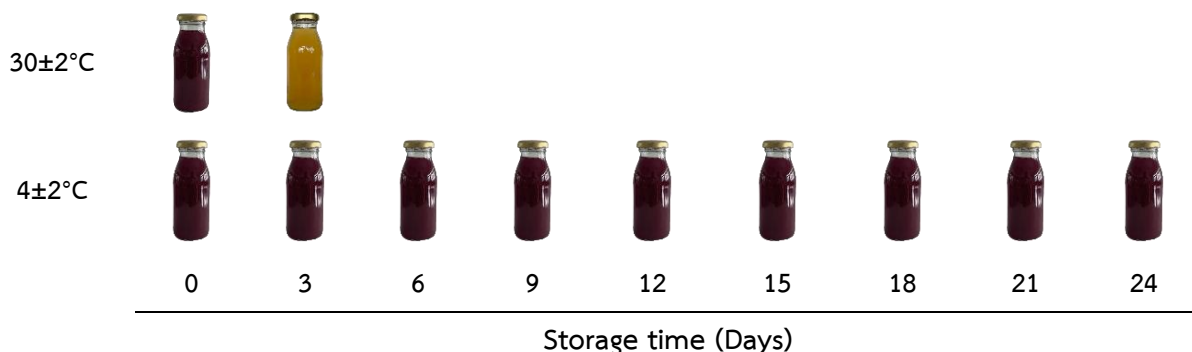


Figure 1 Appearance of ready-to-drink dragon blood tea during storage at different temperatures

ค่าสี และการส่องผ่านแสง

จากการวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์ ชาเลือดมังกรพร้อมดื่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน พบว่าเครื่องดื่มชาเลือดมังกรมีค่า L* มากขึ้น มีความเข้มของสีลดลง ค่าความเป็นสีแดง (a*) เป็นลบ แสดงถึงความเป็นสีเขียว และมีค่า b* เพิ่มขึ้นแสดงถึงความเป็นสีเหลืองมากยิ่งขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ในขณะที่เครื่องดื่มชาเลือดมังกรที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ค่าสี L* และค่าสี b* มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยค่าสี a* ยังคงแสดงความเป็นสีแดง ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 1 สัมพันธ์กับลักษณะปรากฏของสี ในทำนองเดียวกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสี (Hue angle) ระบุว่าสีมีตำแหน่งอยู่ที่ใดในกราฟ มีหน่วยเป็นองศา โดยที่ 0 องศา และ 360 องศา เป็นสีแดง-ม่วง 90 องศา เป็นสีเหลือง 180

องศา เป็นสีเขียว และ 270 องศา เป็นสีน้ำเงิน โดยผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นวันที่ 3 มีค่า Hue angle เท่ากับ 75.00 แสดงเฉดสีเหลือง-แดง (Yellow red) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเย็นมีค่า Hue angle อยู่ระหว่าง 4.14-5.02 แสดงเฉดสีแดง-ม่วง (Red purple) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าความอิ่มตัวของสี (Chroma) เป็นค่าความเข้มสี ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่า Chroma เพิ่มขึ้นจาก 1.88 เป็น 5.70 ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเย็น มีค่า Chroma อยู่ในช่วงระหว่าง 1.89-4.82 ส่วนค่าการส่องผ่านแสง (Transmittance, %T₆₇₀) ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าสูงขึ้นจาก 35.63% เป็น 98.63% แสดงถึงความเข้มข้นของสารที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เก็บในอุณหภูมิต่ำเย็นมีค่าการส่องผ่านแสงอยู่ในช่วงระหว่าง 35.36-43.96% (Table 2)

Table 1 Changes in L* a* and b* value of ready-to-drink dragon blood tea during storage at different Temperatures

Storage time (day)	30±2°C			4±2°C		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	6.29±0.02 ^b	29.18±0.72 ^b	4.62±0.03 ^b	6.35±0.18 ^c	29.01±0.72 ^b	4.27±0.26 ^b
3	57.07±1.35 ^a	-16.37±0.34 ^a	49.45±0.19 ^a	6.73±0.47 ^{bc}	30.57±0.76 ^{ab}	5.11±0.13 ^{ab}
6				7.09±0.16 ^{bc}	31.87±0.34 ^{ab}	5.51±0.16 ^{ab}
9				7.20±0.63 ^{bc}	30.57±0.12 ^{ab}	5.28±0.37 ^{ab}
12				7.14±0.56 ^{bc}	31.16±0.79 ^{ab}	5.46±0.15 ^{ab}
15				8.44±0.21 ^{ab}	39.59±1.17 ^a	5.71±0.74 ^a
18				7.61±0.28 ^{abc}	36.67±5.91 ^{ab}	4.82±0.03 ^{ab}
21				7.54±0.11 ^{abc}	30.11±0.38 ^{ab}	5.04±0.22 ^{ab}
24				8.97±0.66 ^a	31.64±0.72 ^{ab}	5.82±0.15 ^a

^{a-c} Different letters in the same column mean significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 2 Changes in Transmittance (%T₆₇₀), Hue angle and Chroma value of ready-to-drink dragon blood tea during storage at different temperatures

Storage time (day)	30±2°C			4±2°C		
	Transmittance (%T ₆₇₀)	Hue angle	Chroma	Transmittance (%T ₆₇₀)	Hue angle	Chroma
0	35.63±0.06 ^b	4.67±0.03 ^b	1.88±0.02 ^b	35.06±0.19 ^e	4.53±0.33 ^{abc}	1.82±0.04 ^c
3	98.63±0.28 ^a	75.00±0.32 ^a	5.70±0.34 ^a	36.15±0.50 ^d	4.51±0.15 ^{bc}	2.02±0.14 ^{bc}
6				37.41±0.62 ^c	4.81±0.05 ^{abc}	2.07±0.09 ^{bc}
9				37.30±0.17 ^c	4.83±0.03 ^{abc}	2.13±0.17 ^{bc}
12				36.63±0.71 ^{cd}	4.96±0.15 ^a	2.08±0.10 ^{bc}
15				39.43±0.26 ^b	4.93±0.05 ^{ab}	2.21±0.30 ^b
18				38.55±0.90 ^b	4.42±0.40 ^c	2.12±0.15 ^{bc}
21				39.19±0.42 ^b	4.48±0.32 ^c	2.30±0.07 ^b
24				40.53±0.01 ^a	4.65±0.23 ^{abc}	3.37±0.23 ^a

^{a-c} Different letters in the same column mean significantly different ($p \leq 0.05$).

ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดทั้งหมด

ชาเลือดมังกรพร้อมดื่มมีค่า pH เป็นกลางอยู่ระหว่าง 7.18-7.2 การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ผลลัพธ์มีค่าความเป็นด่างลดลง pH เท่ากับ 5.94 แสดงถึงความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกับปริมาณ กรดทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เครื่องดื่มชาเลือดมังกรที่เก็บรักษา

ที่อุณหภูมิตู้เย็น มีการเปลี่ยนแปลงของค่า pH อยู่ในช่วงระหว่าง 7.03-7.40 ค่าความเป็นด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกมีแนวโน้มลดลงจาก 0.08% เป็น 0.06% และคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 24 วัน (Figure 2)

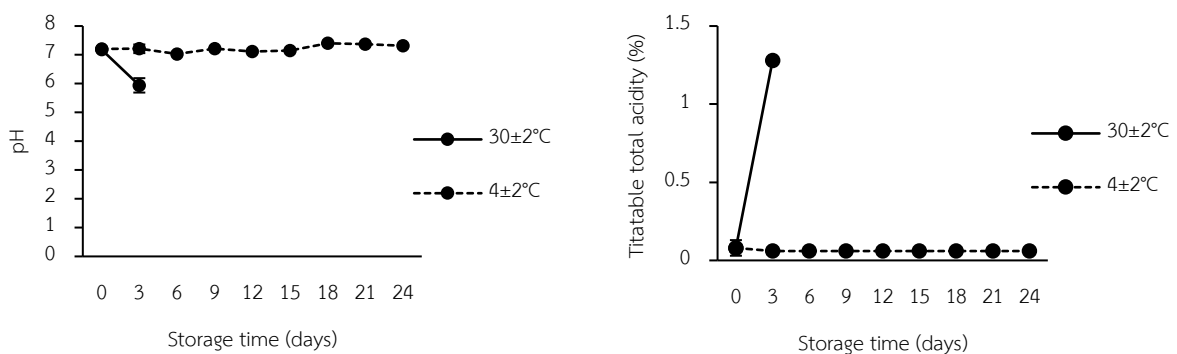


Figure 2 Changes in pH content and titratable acidity of ready-to-drink dragon blood tea during storage at different temperatures

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา

ชาเลือดมังกรพร้อมดื่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องพบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อยีสต์และรา หลังจากเก็บไว้ 3 วัน (Table 3) จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำลูกหม่อน ซึ่งกำหนดการตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มล. ยีสต์และรา

ต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มล. (Thai Industrial Standards Institute, 2014) จึงสามารถสรุปได้ว่าการเก็บรักษาเครื่องดื่มชาเลือดมังกรพร้อมดื่มบรรจุขวดแก้วใสที่อุณหภูมิห้องสามารถเก็บรักษาได้เพียง 1 วัน ณ วันที่ผลิต ในขณะที่เครื่องดื่มชาเลือดมังกรพร้อมดื่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นสามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน จึงควรบริโภคผลิตภัณฑ์ชาเลือดมังกรพร้อมดื่มไม่เกิน 15 วัน

Table 3 Changes in total plate count, yeast and mold value of ready-to-drink dragon blood tea during storage at different temperatures

Storage time (day)	Total plate count (CFU/ml)		Yeast and mold (CFU/ml)	
	30±2°C	4±2°C	30±2°C	4±2°C
0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3	4.85×10 ⁴	<25	4.9×10 ⁴	n.d.
6		<25		n.d.
9		<25		<10
12		<25		<10
15		<25		<10
18		1.6×10 ⁴		3.6×10 ⁴
21		3.48×10 ⁴		3.96×10 ⁴
24		4.96×10 ⁴		5.16×10 ⁴

n.d. = not detected

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

เนื่องจากชาเลือดมังกรพร้อมดื่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องสามารถเก็บรักษาได้เพียง 1 วัน ณ วันที่ผลิต จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษา ผลการประเมินการยอมรับ

ทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบลดลงจากระดับคะแนนชอบปานกลางเป็นชอบเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม (Table 4)

Table 4 Sensory evaluation of ready-to-drink dragon blood tea during storage at refrigerator temperatures

Storage time (Days)	Appearance ^{ns}	Colour	Flavor	Taste	Overall acceptance
0	7.03±0.32	7.23±0.63 ^a	7.30±0.75 ^a	7.70±0.88 ^a	7.50±0.73 ^a
3	7.00±0.46	7.10±0.31 ^a	7.17±0.70 ^a	7.57±0.97 ^{ab}	7.40±0.23 ^a
6	6.97±0.42	7.07±0.45 ^a	6.93±0.70 ^{abc}	7.50±0.94 ^{ab}	7.37±0.77 ^a
9	6.77±0.43	7.00±0.46 ^{ab}	7.07±0.75 ^{ab}	7.17±0.79 ^{bc}	7.07±0.74 ^{abc}
12	6.93±0.45	6.97±0.42 ^b	6.90±0.85 ^{abc}	7.07±0.83 ^{bc}	7.20±0.55 ^{ab}
15	6.83±0.65	6.90±0.48 ^b	6.70±0.80 ^{bc}	7.23±1.04 ^{abc}	6.90±0.76 ^{bc}
18	6.80±0.81	6.93±0.45 ^b	6.60±0.77 ^c	6.83±1.09 ^c	6.67±1.09 ^c

^{ns} not significant different ($p>0.05$)

^{a-c} Different letters in the same column mean significantly different ($p\leq 0.05$).

วิจารณ์ผลการวิจัย

ชาเลือดมังกรพร้อมดื่ม เป็นเครื่องดื่มที่มีสีแดงอมม่วงตามสีธรรมชาติของใบเลือดมังกร เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$) และที่อุณหภูมิตู้เย็น ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีผลต่ออายุการเก็บรักษา โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องสามารถเก็บได้เพียง 1 วัน (ณ วันที่ทำการผลิต) เท่านั้น ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นสามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน และมีความคงตัวของสี โดยผลิตภัณฑ์ยังคงมีลักษณะปรากฏเป็นสีแดงม่วง โดยค่า Hue angle แสดงเฉดสีแดงม่วง (Red purple) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 24 วัน ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในวันที่ 3 เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจน ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เป็นลบ แสดงความเป็นสีเขียว และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูง ในทำนองเดียวกับค่า Hue angle แสดงเฉดจากสีแดง-ม่วง (Red purple) เป็นเฉดสีเหลือง-แดง (Yellow red) ค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้นมากแปรผันตามกันกับค่าการส่องผ่านแสง ($\%T_{670}$) มีค่าสูงเท่ากับ 98.63% อาจอธิบายได้ด้วยกฎของเบียร์

(Beer's law) โดยอัตราการลดลงของความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารที่อยู่ในเครื่องดื่มชาเลือดมังกรลดลงทำให้เครื่องดื่มมีความใสเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่าความอิมตัวของสี (Chroma) ที่เพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของผลิตภัณฑ์ลดลง มี pH เป็นกรด สอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของ pH อาจเป็นผลมาจากการย่อยสลายโมเลกุลของน้ำตาลโดยจุลินทรีย์ให้เป็นกรด (Fasoyiro *et al.*, 2005) การเปลี่ยนแปลงของค่าสีของชาเลือดมังกรพร้อมดื่มอาจเนื่องมาจากแอนโทไซยานินที่มีอยู่ในเครื่องดื่มเกิดการสลายตัวในระหว่างการเก็บรักษา ความเข้มสีที่ลดลงอาจเป็นไปได้ว่าจะส่งผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินของชาเลือดมังกรพร้อมดื่มลดลงด้วย (Thuy *et al.*, 2022) โดยการศึกษาของ Rattanapanone (2014) อธิบายว่าสีของแอนโทไซยานินถูกควบคุมด้วยโครงสร้างและ pH หากในโครงสร้างวงแหวนฟีนอลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่เมทอกซิลเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อสีของแอนโทไซยานินและค่า pH ของสารละลายที่แอนโทไซยานินละลายอยู่มีผลต่ออัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานิน ทำให้สีเปลี่ยนไปได้

นอกจากนี้ยังมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน รวมถึงกระบวนการแปรรูปอาหาร การใช้อุณหภูมิสูง ความเข้มข้นของน้ำตาล กรดอะมิโน กรดแอสคอร์บิก และภาวะที่มีออกซิเจนจะมีผลเร่งอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินให้เกิดเร็วขึ้น (Levy *et al.*, 2019; Rodriguez-Saona *et al.*, 1999) งานวิจัยของ Muhamad *et al.* (2023) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโทไซยานินในเครื่องดื่มน้ำผักกาดผสมน้ำกระเจี๊ยบที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ต่างกัน ได้แก่ ขวดแก้ว กระจก ขวดพลาสติกพอลิโพรพิลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29 \pm 2^{\circ}\text{C}$) นาน 6 เดือน พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความหนาแน่นของสี (Color density) ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สีของพอลิเมอร์ (Polymeric color) ที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นแสดงการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยเครื่องดื่มน้ำผักกาดผสมน้ำกระเจี๊ยบที่บรรจุขวดพลาสติกพอลิโพรพิลีนสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าขวดแก้วและกระจก West and Mauer (2013) ศึกษาความคงตัวของสารละลายน้ำตาลที่มีการเติมไซยานิดิน 3-กลูโคไซด์ (Cyanidin 3-glucoside, C3G) ที่สกัดได้จากกากองุ่น มี pH ของสารละลาย C3G เท่ากับ 3-4 และติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าสี Hue angle และ L^* ที่อุณหภูมิต่างกัน ได้แก่ 6, 25 และ 40°C . เป็นระยะเวลา 19 วัน พบว่าสารละลาย C3G ที่ pH 3-4 มีเฉดสีแดงน้ำเงิน (Red blue) สีมีความคงตัวตลอดระยะเวลา 19 วัน และการเปลี่ยนแปลงของสีเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จาก 25°C เป็น 40°C โดยสารละลาย C3G ที่ pH 3 เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีหลังจากวันที่ 8 และวันที่ 4 ตามลำดับ สารละลาย C3G ที่ pH 4 เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีหลังจากวันที่ 6 และวันที่ 4 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของสารละลาย C3G จากสีแดงน้ำเงิน (Red blue) เป็นสีเหลืองอ่อน (Light yellow) โดยโครงสร้างของฟลาวิลเลียม (Flavylum) ซึ่งเดิมอยู่ในรูปโมโนเมอร์ และมีสีแดงเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของไดเมอร์มากขึ้น ส่งผลให้เปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้น ค่า Hue angle และ L^*

เพิ่มขึ้นเมื่อเวลานานขึ้น ทั้งนี้ ความคงตัวของสีมีความสัมพันธ์ผกผันกับการเพิ่มขึ้นของ pH และอุณหภูมิ ส่วนการวิเคราะห์จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนเชื้อยีสต์และราของชาเลือดมังกรพร้อมดื่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในวันที่ 3 มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำลูกหม่อนที่ระบุว่า การตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มล. ยีสต์และราต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มล. (Thai Industrial Standards Institute, 2014) และชาเลือดมังกรพร้อมดื่มมีจำนวนยีสต์และราเกินมาตรฐานของเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่ผ่านกรรมวิธีอื่นนอกเหนือจากวิธีสเตอริไลส์หรือยูเอชที ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทฉบับที่ 356 พ.ศ. 2556 ระบุการตรวจพบเชื้อยีสต์และราต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มล. แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาชาเลือดมังกรพร้อมดื่มที่อุณหภูมิห้อง เก็บรักษาได้เพียง 1 วัน ณ วันที่ผลิต และชาเลือดมังกรพร้อมดื่มที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นสามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน ดังนั้นจากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชาเลือดมังกรพร้อมดื่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น พบว่าการเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะปรากฏในระหว่างการเก็บรักษา ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบลดลงจากระดับคะแนนชอบปานกลาง เป็นชอบเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม มีคะแนนความชอบลดลงจากระดับคะแนนชอบปานกลางเป็นชอบเล็กน้อย อย่างไรก็ตามในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ผู้บริโภคยังคงให้คะแนนความชอบชาเลือดมังกรพร้อมดื่มด้านรสชาติอยู่ในระดับชอบปานกลางไม่แตกต่างจากวันแรกที่เก็บรักษา ($p > 0.05$) องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ร่วมกับเทคโนโลยีการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อนและการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์อื่นที่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของสารพฤกษเคมีที่สำคัญของชาเลือดมังกรพร้อมดื่มได้ในระหว่างการเก็บ

รักษา ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปจึงควรศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในขั้นตอนของการผลิตและการเก็บรักษาเครื่องดื่ม เพื่อให้เป็นแนวทางในการพัฒนาชาเลือดมังกรพร้อมดื่มให้ได้ประโยชน์ต่อสุขภาพสูงที่สุด

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาเลือดมังกรพร้อมดื่ม โดยทำการศึกษาสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$) และที่อุณหภูมิตู้เย็น ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ทุก ๆ 3 วัน เป็นระยะเวลา 24 วัน โดยชาเลือดมังกรพร้อมดื่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีการเปลี่ยนแปลงสี ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มสูงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าสีสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นด่างที่ลดลง ส่วนจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา เกินมาตรฐานที่กำหนดของมาตรฐานกระทรวงสาธารณสุข ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาเลือดมังกรพร้อมดื่ม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ได้เพียง 1 วัน ณ วันที่ผลิต ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ชาเลือดมังกรพร้อมดื่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น อุณหภูมิต่ำสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้อง โดยมีอายุการเก็บรักษา 15 วัน และยังคงมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติอยู่ในระดับคะแนนความชอบปานกลาง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2565 รหัสโครงการ 036/2565 ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ และงานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เอกสารรับรอง COA No. 007/2023

เอกสารอ้างอิง

- BAM. 2002. **Food and Drug Administration Bacteriological Analytical Manual**. 8thed. Gaithersburg: AOAC: International. 946 p.
- Fasoyiro, S.B., O.A. Ashaye, A. Adeola and F.O. Samuel. 2005. Chemical and storability of fruit-flavoured (*Hibiscus sabdariffa*) Drinks. **World Journal of Agricultural Sciences** 1(2): 165-168.
- Khue, D.B., D.S. Mai, P.M. Tuan, D.T.B. Oanh and L.T.H. Van. 2014. *Peristrophe roxburghiana*—a review **Annals. Food Science and Technology** 15(1): 1-9.
- Levy, R., Z. Okun and A. Shpigelman. 2019. The influence of chemical structure and the presence of ascorbic acid on anthocyanins stability and spectral properties in purified model systems. **Foods** 8(6): 1-11.

- Muhamad, N.F.H., F. Hussin and N. Arifin. 2023. Effect of packaging materials and storage time on anthocyanins stability of red cabbage-roselle mixed drink. **Food Research** 6(Suppl.2): 182-190.
- Quan, N.V., D.T. Khang, L.T. Dep, T.N. Minh, N. Nobukazu and T.D. Xuan. 2016. The potential use of a food-dyeing plant *Peristrophe biavalvis* (L.) Merr. in Northern Vietnam. **International Journal of Pharmacology, Phytochemistry and Ethnomedicine** 4: 14-26.
- Rattanapanone, N. 2014. **Food Chemistry**. 5th ed. Bangkok: Odeon Store. 504 p. [in Thai]
- Rittilert, P. and A. Suklim. 2022. **Utilization of *Peristrophe roxburghiana* by Processing Beverage Product and Natural Food Colorant**. 105 p. In Research Report. Pathum Thani: Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage. [in Thai]
- Rodriguez-Saona, L.E., M.M. Guisti and R.E. Wrolstad. 1999. Color and pigment stability of red radish and red fleshed potato anthocyanins in juice model systems. **Journal of Food Science** 64(3): 451-456.
- Tanaka, Y. and N.V. Ke. 2007. **Edible Wild Plants of Vietnam: The Bountiful Garden**. Bangkok: Orchid Press. 176 p.
- Thai Industrial Standards Institute. 2013. **Thai community product standard of dried mixed herbs for infusion (TCPS 996/2013)**. [Online]. Available <https://archive.org/details/th.ps.996.2548> (October 1, 2023). [in Thai]
- _____. 2014. **Thai community product standard of mulberry drink (TCPS 851/2014)**. [Online]. Available <https://archive.org/details/th.ps.851.2548/page/n3/mode/2up>. (September 11, 2023). [in Thai]
- Thuy, N.M., D.H.N. Han, V.Q Minh and N.V. Tai. 2022. Effect of extraction methods and temperature preservation on total anthocyanins compounds of *Peristrophe bivalvis* L. Merr leaf. **Journal of Applied Biology & Biotechnology** 10(02): 146-153.
- West, M.E. and L.J. Mauer. 2013. Color and chemical stability of a variety of anthocyanins and ascorbic acid in solution and powder forms. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 61(17): 4169-4179.

การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อคัดแยกระดับความสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้โดยใช้เทคนิคค่าเฉลี่ยของสี

Applying of Software for Nam Dok Mai Mangoes Classification

Using Color Average Technique

วิทยา บุญสุข* จิม ยีนนาน วัฒนา ศรีวระมย์ และศักดิ์ชัย ศรีสุข

Witthaya Boonsuk*, Jim Yernnan, Watthana Sriwarom and Sakchai Srisuk

คณะวิทยาการจัดการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนครพนม นครพนม 48000

Faculty of Management Science and Information Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, Thailand 48000

*Corresponding author: witthaya5773@gmail.com

Received: January 11, 2024

Revised: May 09, 2024

Accepted: July 18, 2024

Abstract

The objective of this research was to develop software for sorting mangoes based on color intensity levels. The system operated by analyzing the intensity levels of the red, green, and blue components to classify mangoes by color. The system's performance was evaluated using a newly developed algorithm tested on six sample image groups, with 10 images per group, totaling 60 images at a resolution of 640x480 pixels. The accuracy of the system was as follows: Group 1 achieved an average accuracy of 80%, Group 2 achieved 80%, Group 3 achieved 90%, Group 4 achieved 90%, Group 5 achieved 90%, and Group 6 achieved 100%. The overall average accuracy was 88.33%. The system required a camera device connected to a computer to capture images directly or to process general images through the software.

The developed system demonstrated high effectiveness, with results indicating its reliability in comparing color intensity levels. The developed algorithm exhibited high precision, consistency, and suitability for applications in mango sorting, with potential for further development in detailed color analysis.

Keywords: mango, image processing, algorithm, color intensity

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในการวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ในการคัดมะม่วงด้วยระดับความเข้มของสี หลักการทำงานของระบบใช้การวิเคราะห์หาระดับความเข้มของค่าเฉลี่ยของกลุ่มสีแดง เขียว น้ำเงิน เพื่อใช้ทดสอบในการคัดแยกมะม่วงด้วยสี ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบที่ได้จากการประมวลผลภาพด้วย อัลกอริทึมที่พัฒนาใหม่ จากกลุ่มภาพตัวอย่าง 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ภาพ รวม 60 ภาพ ในระดับมาตรฐานของภาพ 640x480 พิกเซล ความแม่นยำของกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 80% ความแม่นยำของกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 80% ความแม่นยำของกลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ย 90% ความแม่นยำของกลุ่มที่ 4 มีค่าเฉลี่ย 90% ความแม่นยำของกลุ่มที่ 5 มีค่าเฉลี่ย 90% ความแม่นยำของกลุ่มที่ 6 มีค่าเฉลี่ย 100% และความแม่นยำของค่าเฉลี่ยรวม 88.33% วิธีการใช้ระบบต้องเพิ่มอุปกรณ์กล้องถ่ายภาพเชื่อมกับคอมพิวเตอร์แล้วทำการจับภาพผลมะม่วงโดยตรงจากกล้อง หรือนำภาพจากกล้องถ่ายภาพทั่วไป ที่สามารถนำมาประมวลผลกับซอฟต์แวร์ได้

ภาพรวมระบบที่พัฒนาถือว่ามีประสิทธิภาพ อยู่ในระดับดีมาก แสดงว่าคุณภาพในการเปรียบเทียบระดับความเข้มสีของอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้น อยู่ในระดับที่ค่อนข้างมีความเที่ยงตรงสูง และมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน ในการประมวลผลคัดแยกมะม่วงด้วยการวิเคราะห์สีต่อไป

คำสำคัญ: มะม่วง ประมวลผลภาพ อัลกอริทึม ระดับความเข้มสี

คำนำ

ในปัจจุบันมีการนำระบบสารสนเทศเข้ามาประยุกต์ใช้ในการทำงานมากขึ้น และมีบทบาทต่อการทำงานค่อนข้างสูง ซึ่งมีส่วนจำเป็นอย่างมากในการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน ตลอดจนการประยุกต์งานในองค์กรต่าง ๆ ในด้านอาหารมีการนำหลักการจำแนกสีอาหารมาประยุกต์ โดยลักษณะปรากฏของอาหารที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภคมีหลายลักษณะ เช่น รูปร่าง โครงสร้าง สี และองค์ประกอบโดยรวม เป็นต้น (Girolami *et al.*, 2013)

เพื่อช่วยเพิ่มศักยภาพในการทำงานขององค์กรให้เร็วขึ้น การใช้เพียงมนุษย์เข้ามาบริหารจัดการจะลดน้อยลง เพราะมีข้อจำกัดบางอย่างในการทำงาน ทั้งนี้สีของอาหาร คือ ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญที่สุดต่อระดับความพึงพอใจของการยอมรับ และการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค (Pathare *et al.*, 2013) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้มากที่จะมีการนำระบบไอทีเข้ามาใช้งาน แม้จะใช้ต้นทุนสูงในระยะแรกแต่ระยะยาวก็ถือว่ามีความคุ้มค่า ปัจจุบันจึงเกิดแนวคิดที่หลากหลายในการพัฒนางานวิจัย เพื่อพัฒนาวิธีการวัดและประเมินสีของอาหารต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์ และอื่น ๆ โดยอาศัยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ร่วมกับการวิเคราะห์ภาพถ่าย เพื่อให้ได้วิธีการที่ง่าย แม่นยำ และมีความสม่ำเสมอมากขึ้น (Trinderup *et al.*, 2015; Mancini and Hunt, 2005)

ในบรรดามะม่วงหลากหลายสายพันธุ์ มะม่วงน้ำดอกไม้ คือ มะม่วงยอดฮิต เพราะเป็นพันธุ์เศรษฐกิจ แม้จะโดดเด่นในฐานะมะม่วงสุกกินคู่กับข้าวเหนียวมูน แต่เราก็สามารถเลือกร้อยได้ในทุกช่วงตั้งแต่ดิบจนสุกอม

เราจึงมีวิธีง่าย ๆ สำหรับมือใหม่ในการเลือกซื้อมะม่วงกินเอง และตามหาความสุกของมะม่วงที่ต้องการ

ประโยชน์ของมะม่วง มะม่วงมีวิตามินเอ และวิตามินซีสูง มีสารต้านอนุมูลอิสระและเบตาแคโรทีนช่วยให้ผิวพรรณเปล่งปลั่งสดใส บำรุงสายตาปรับสมดุลภายใน แก้อ่อนใน เป็นยาระบาย ทั้งยังมีฤทธิ์ต้านมะเร็งเต้านม มะเร็งลำไส้ มะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งปอด มะเร็งเม็ดเลือด และมะเร็งผิวหนัง (Lakanthinwong, 2023)

ผู้พัฒนาได้มองเห็นความจำเป็นในคัดเลือกมะม่วง และซื้อมะม่วงกินเอง และตรวจสอบหาความสุกของมะม่วงที่ต้องการเป็นแนวทางให้มือใหม่ในการเลือกซื้อมะม่วงกินเองดังที่กล่าวมา จึงได้ทำการศึกษาและออกแบบและทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ในการเปรียบเทียบและคัดแยกมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยการวิเคราะห์สีของผลมะม่วงด้วยภาพถ่าย โดยใช้หลักการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเข้มของสีและค่าเฉลี่ยในภาพรวมของสี ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบงานคัดแยกผลไม้ด้วยสีที่เป็นระบบ Real time ตรวจสอบเฉพาะในด้านการประมวลผล

ด้วยภาพ โดยเน้นที่ความเข้มของสีในวัตถุหรือเนื้อมะม่วงจากกล้องที่ถ่าย และนำมาทำการเปรียบเทียบจากข้อมูลสีของภาพที่เป็นมาตรฐานแม่แบบ หรือต้นฉบับกลางของสีวัตถุที่ต้องการวัดและเปรียบเทียบ และใช้เป็นแนวทางสำหรับการค้นคว้าวิจัยทางประมวลผลภาพ และพัฒนาเพื่อการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางด้านไอทีในอนาคตเข้ามาปรับใช้ในการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อทำการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ในการคัดแยกระดับความสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้

ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับแสงและภาพในระบบคอมพิวเตอร์ ระดับสเปกตรัมของสี (Spectral color)

นัยน์ตาของมนุษย์สามารถปรับระดับความสามารถของแสงได้หลายระดับ และจำแนกความแตกต่างของวัตถุออกมาตามระดับความเข้มของแสงในช่องคลื่น visible light (Nowak, 2012) Figure 2.1

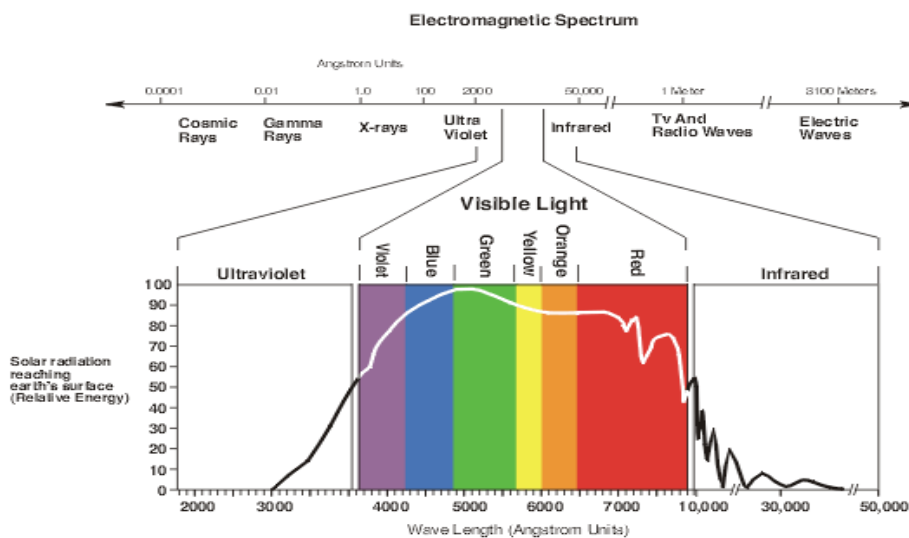


Figure 1 Spectral level of color

ภาพในระบบคอมพิวเตอร์

การมองภาพของมนุษย์และคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะ เป็นภาพที่ถ่ายโดยใช้กล้องธรรมดาหรือแบบดิจิทัล ถ้ามองในแบบของคอมพิวเตอร์ก็คือ จุดสีหลาย ๆ จุดที่นำมาเรียงต่อ ๆ กัน จนสามารถบอกได้ว่าเรียงกันเป็นรูป ในมุมมองของมนุษย์กับมุมมองของคอมพิวเตอร์เป็นคนละมุมมองกันและแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง มนุษย์สามารถ เข้าใจถึงเนื้อหาของภาพได้และภาพนี้บอกอะไร สามารถ

สื่อถึงความรู้สึกอะไรบางอย่างได้ แต่เมื่อรูปภาพถูกนำมา ทำเป็นภาพในคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์เข้าใจภาพเป็น เพียงแค่เป็นจุดสีหลาย ๆ จุด ที่เรียงต่อกันในความสัมพันธ์ ระหว่างจุดภาพที่เหมาะสม ดัง Figure 2 และ 3 เป็น รูปแบบการสร้างภาพดิจิทัล ซึ่งเป็นการนำเสนอใน ตาราง 2 มิติ รูปแบบของ Array ในค่าของ Pixel หรือ เขียนค่าแทนฟังก์ชันของมิติคือ $f[m,n]$ (Nowak, 2012)

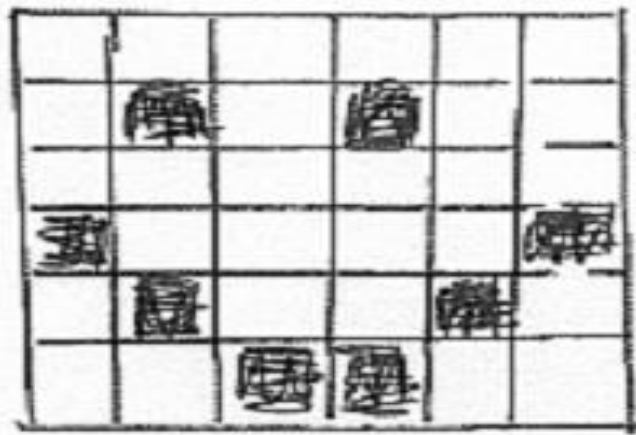
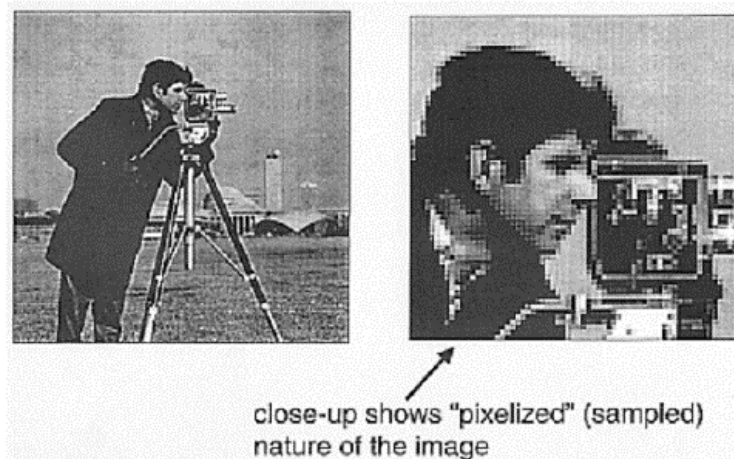


Figure 2 Placing color values in a 2D Array

Source: <http://cnx.org/content/m10973>



close-up shows "pixelized" (sampled) nature of the image

Figure 3 Applying different levels of color creates an image

Source: <http://cnx.org/content/m10973>

กล่าวโดยง่ายคือ Array จำนวนจริงหรือจำนวนเชิงซ้อน โดยแสดงเป็นจำนวนจำกัดของบิต (Finite number of bit) จากวัตถุจะถูกบันทึกโดย Image sensor แล้วบันทึกหรือส่งผ่านไปทีเก็บแล้วผ่านไป

ประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ และนำไปเก็บชั่วคราวใน Buffer เพื่อแสดงผลหรือบันทึกต่อไป (Image Processing, 2012) โดยมีการแสดงดัง Figure 4



Figure 4 Image display

Source: <http://italpha.msu.ac.th>

การประมวลผลรูปภาพหรือ (Image processing)

รูปภาพดิจิทัลที่เราเห็นไม่ว่าจะเป็นภาพที่ถ่ายโดยใช้กล้องธรรมดา หรือแบบดิจิทัล ถ้ามองในแบบของ

คอมพิวเตอร์ มันก็คือจุดสีหลาย ๆ จุดที่นำมาเรียงต่อ ๆ กัน จนสามารถบอกได้ว่าเรียงกันเป็นรูปต่าง ๆ แสดงใน Figure 2.5

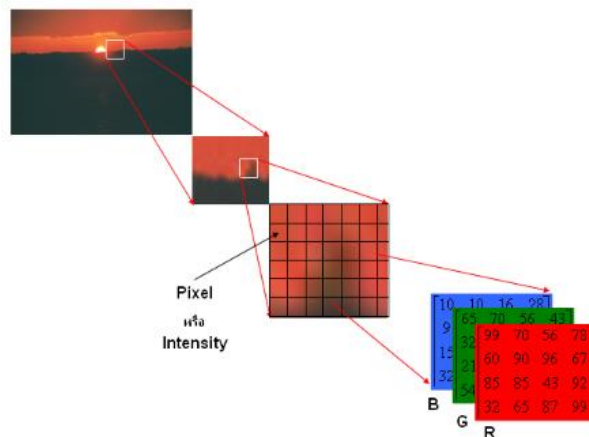


Figure 5 Color grading

Source: <http://staff.cs.psu.ac.th/wiphada/>

เนื้อหาของรูปภาพเป็นอย่างไร การมองเพื่อทำความเข้าใจรูปภาพหนึ่ง ๆ ไม่ว่าจะเป็นภาพถ่าย หรือภาพที่เป็นแบบดิจิทัลในคอมพิวเตอร์ก็ตาม ในมุมมองของมนุษย์กับรูปภาพ หรือมุมมองของคอมพิวเตอร์กับรูปภาพเป็นคนละมุมมองกันและแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ภาพดิจิทัลเป็นการแปลงภาพ 2 มิติที่ได้ให้เป็นภาพเชิงดิจิทัล โดยการสุ่มเลือกทางจุดตำแหน่ง หรือ Spatially sampling โดยสุ่มเลือกเฉพาะบางตำแหน่งในภาพ ซึ่งถ้า

เราสุ่มเลือกมาอย่างละเอียด ภาพที่ได้ก็就会有ความละเอียดสูง หน่วยของการสุ่มเลือกก็คือ จุดหรือ Pixel การสุ่มเลือกจุดตำแหน่ง (Image sampling) เป็นการแปลงภาพ 2 มิติที่ได้ให้เป็นภาพเชิงดิจิทัล โดยการสุ่มเลือกทางจุดตำแหน่ง หรือ Spatially sampling โดยสุ่มเลือกเฉพาะบางตำแหน่งในภาพ ซึ่งถ้าเราสุ่มเลือกมา อย่างละเอียดภาพที่ได้ก็就会有ความละเอียดสูง Figure 6

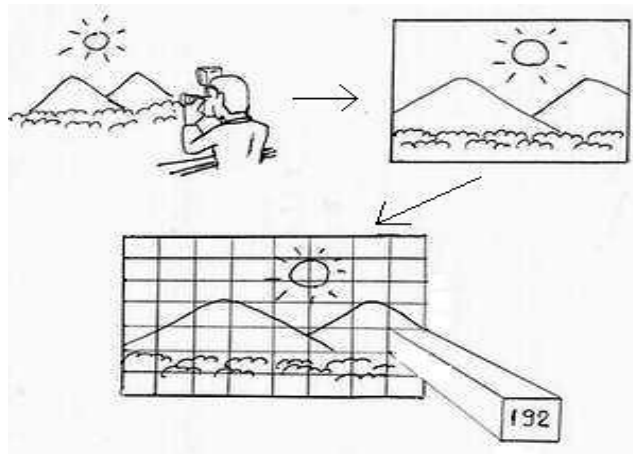


Figure 6 Random selection of location points

Source: <http://staff.cs.psu.ac.th/wiphada>

การประมาณค่าความเข้มแสง (Image quantization)

เมื่อเราได้ภาพจากการ Sampling มาแล้ว แต่ละจุดในภาพจะถูกแทนด้วยสี ภาพในโทนสีเทาหรือ

(Color scale) จะประกอบไปด้วยสีดำ และไล่เฉดสีจางลงไปจนถึงสีขาว ดัง Figure 7

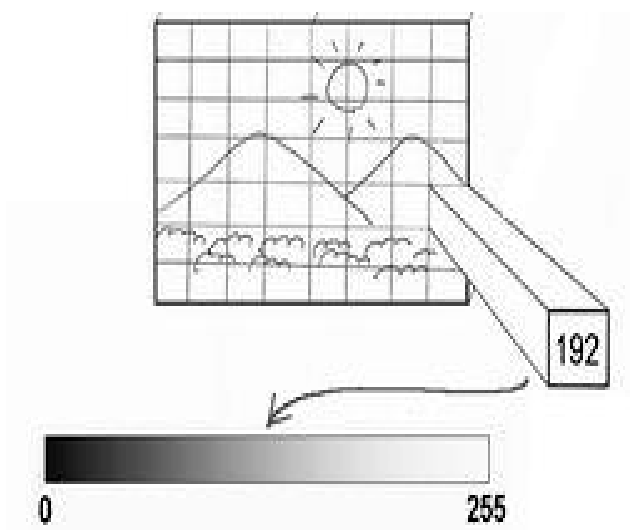


Figure 7 Estimation of light intensity

Source: <http://staff.cs.psu.ac.th/wiphada>

แต่ทั้งนี้ การใช้ค่า CCR ก็มีข้อจำกัดคือ การกำหนดพารามิเตอร์ของขนาดบล็อกที่นำมาใช้ เพราะขนาดของบล็อกส่งผลต่อการค้นคืนรูปภาพ จึงจำเป็นต้องเลือกขนาดบล็อกที่เหมาะสมกับการตรวจสอบการเกาะกลุ่มกันของสี โดยถ้าบล็อกมีขนาดใหญ่จะส่งผลให้ภาพที่ถูกค้นคืนมานั้นมีความถูกต้องแม่นยำต่ำ เพราะขนาดของบล็อกที่ใหญ่ไม่สามารถแบ่งการเกาะกลุ่มกันของสีได้ชัดเจน แต่ถ้าขนาดของบล็อกมีขนาดเล็กจะเกิดความถูกต้องแม่นยำในการค้นคืนสูง แต่ใช้เวลาในการคำนวณ CCR มาก (Image Processing, 2012; Munklang, 2012)

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันโลกมีแนวโน้มที่จะนำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้งานและประยุกต์ใช้งานมากขึ้น แต่ยังคงขาดแคลนระบบประมวลผลอัตโนมัติ และระบบอัจฉริยะ

ที่มีประสิทธิภาพและยังขาดความหลากหลายในการใช้งาน หรือประสิทธิภาพยังคงไม่เที่ยงตรงมากนักสำหรับงานเชิงระบบที่มีความซับซ้อนสูง ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวยังต้องมีการพัฒนาอัลกอริทึมของระบบคัดแยกสีของวัตถุให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ในโลกแห่งการพัฒนาและจำเป็นต้องมีการพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบอัจฉริยะหรือระบบผู้เชี่ยวชาญในภาคเกษตรมากขึ้น เพื่อมาวิเคราะห์และปฏิบัติหน้าที่แทนมนุษย์ ซึ่งบุคคลที่ชำนาญเหล่านั้นมนุษย์อาจมีข้อจำกัด และต้องอาศัยความเชี่ยวชาญในการวิเคราะห์อย่างมาก จำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้ระบบคัดแยกดังกล่าวในภาคเกษตร เพื่อความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางการคัดแยกทางการเกษตร เข้ามาประยุกต์ใช้ในองค์กร ต่าง ๆ ทำให้ลดต้นทุนในการจัดหาบุคลากรที่มีความชำนาญเข้ามาทำงาน ช่วยให้ลดคนลดเวลาการทำงาน และเกิดประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตให้กับเกษตรกรมากขึ้น

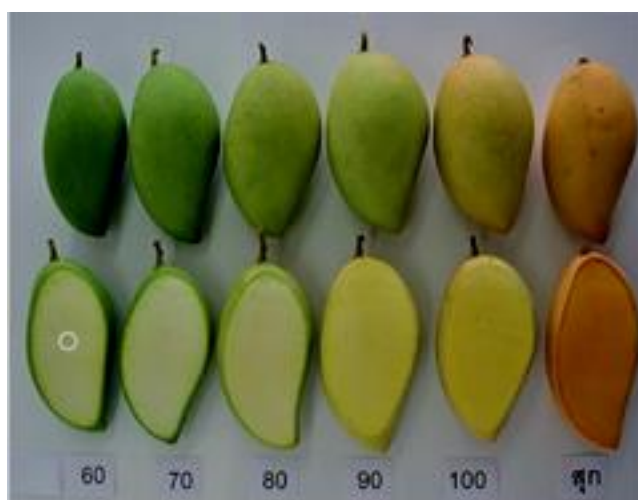


Figure 8 Compare the color and ripeness of Nam Dok Mai mangoes

การวิเคราะห์หารูปแบบค่าระดับความสุกของมะม่วง

ในบรรดามะม่วงสายพันธุ์หลากหลาย มะม่วงน้ำดอกไม้ คือ มะม่วงยอดฮิต เพราะเป็นพันธุ์เศรษฐกิจ แม้จะโดดเด่นในฐานะมะม่วงสุกกินคู่กับข้าวเหนียวมูน

แต่ก็สามารถเลือกร้อยได้ในทุกช่วง ตั้งแต่ดิบจนถึงสุกงอม จึงมีวิธีง่าย ๆ สำหรับมือใหม่ในการเลือกซื้อมะม่วงกินเอง และตามหาความสุกของมะม่วงที่ต้องการ ซึ่งมี 6 ระดับของความสุก (Figure 8)

Table 1 Table of color intensity levels of mango ripeness at 6 levels (color intensity)

Level of ripeness of mango (%)	RGB value of red (R)	RGB value of green (G)	RGB value of blue (B)
60	184	192	139
70	186	192	144
80	191	192	135
90	192	185	94
100	185	173	68
Ripe	165	98	12

จาก Table 1 ค่าความเข้มของระดับความสุกของมะม่วงทั้ง 6 ระดับ ที่ได้จากการใช้ซอฟต์แวร์มาวิเคราะห์หาระดับความเข้มของสี สามารถกำหนดค่าที่ได้ตามตาราง ซึ่งค่าสีที่ได้ในแต่ละระดับความสุกของมะม่วง

ค่าแม่สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน จะมีค่าต่างกันตามความสุกและสีของมะม่วงเป็นตัวกำหนด (Barbin et al., 2015)

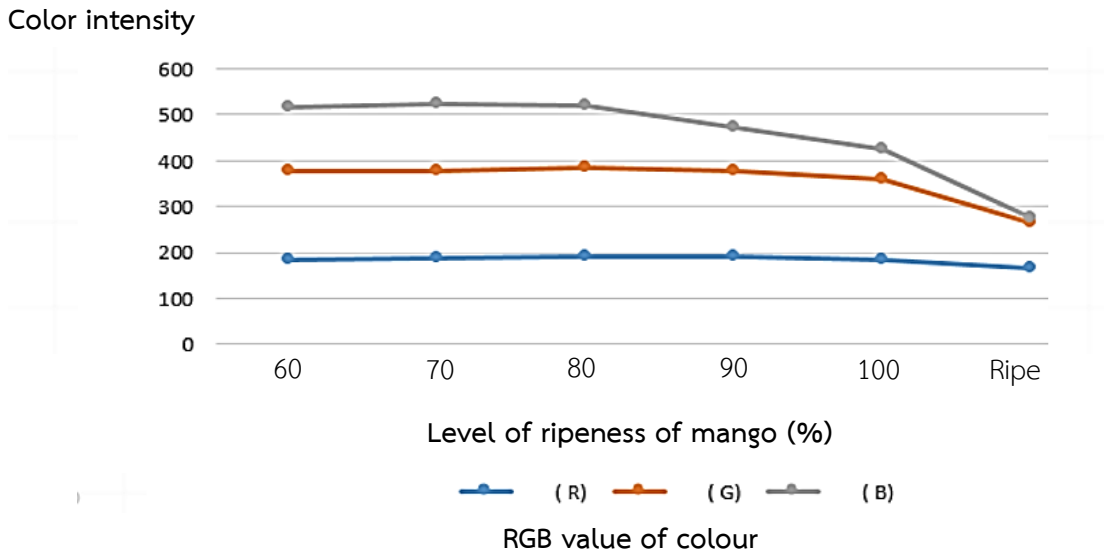


Figure 9 Cookness level graph

การวิเคราะห์กราฟค่าระดับความสุก

จากค่าระดับความเข้มของแม่สีทั้ง 3 สี ของความสุกมะม่วงทั้ง 6 ระดับ สามารถนำมาหาค่าสีที่มีสัดส่วนสูงที่สุด โดยนำมาสร้างกราฟเพื่อหาระดับค่าความเข้มของค่าแม่สีที่มีค่าเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ซึ่งจาก Figure 9

จะได้แม่สี 2 สี ที่มีผลต่อการสุกของมะม่วงมากที่สุด คือ สีเขียวและน้ำเงิน และจะใช้สีทั้ง 2 สีในการนำไปใช้ในขั้นตอนการพัฒนาซอฟต์แวร์ต่อไป (Benedetti *et al.*, 2015)

การออกแบบและพัฒนาระบบ

Context diagram ของระบบแสดงใน Figure 10

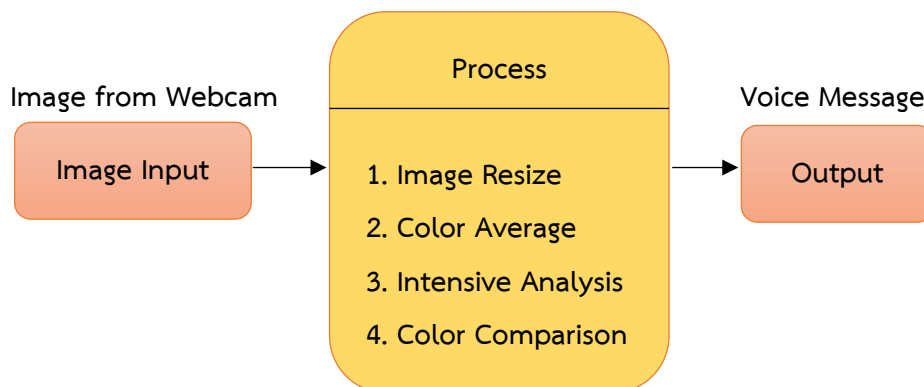


Figure 10 Overview of the context diagram of the system

Figure 10 แสดงการทำงานของระบบ โดยระบบจะทำการรับข้อมูลภาพจากไฟล์หรือกล้อง แล้วทำการส่งเข้าสู่ระบบเพื่อทำการ ประมวลผลเปรียบเทียบ

ตามขั้นตอนที่มีการประมวลผลของระบบ และส่งผลลัพธ์ ออกเป็นข้อความทางเสียงว่ามะม่วงมีระดับความสุกเท่าไร

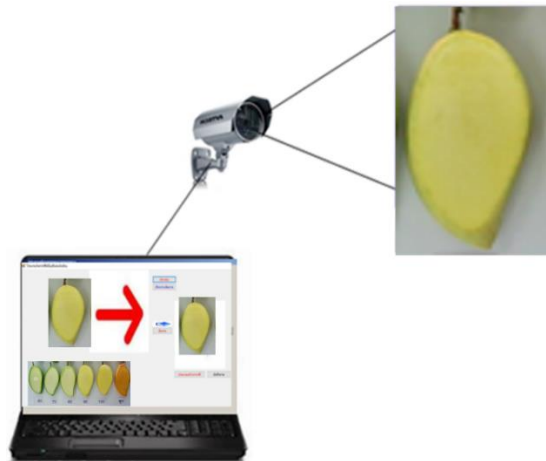


Figure 11 System structure

จาก Figure 11 โครงสร้างระบบจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ

2. Software คือ ระบบที่เราได้ออกแบบและพัฒนา

1. Hardware ประกอบไปด้วย คอมพิวเตอร์ และกล้องถ่ายภาพนิ่งความละเอียดสูง

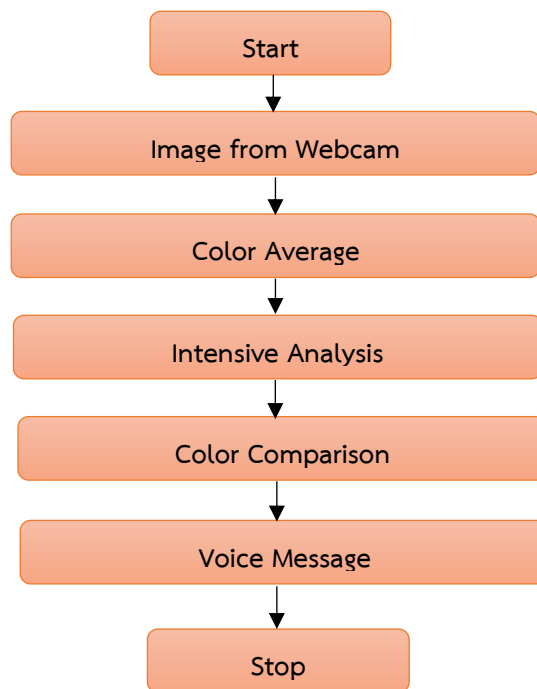


Figure 12 System processing

จาก Figure 12 ขั้นตอนของระบบมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

1. การนำเข้าข้อมูลภาพ (Image Input) ซึ่งทำการออกแบบไว้ 2 แบบคือ
 - 1) เปิดจากแฟ้มภาพ
 - 2) ทำการจับภาพจากกล้องโดยตรง
2. การปรับภาพนำเข้า (Image resize) ให้มีขนาดมาตรฐานเดียวกันก่อนนำไปประมวลผล โดยทำการปรับขนาดของภาพให้อยู่ในมาตรฐานขนาด (640x480)
3. การหาค่าเฉลี่ยของสี (Color average) ในระดับพิกเซล โดยหาจากจำนวนระบบค่าสีทั้งหมดของภาพหารด้วยจำนวนพิกเซลทั้งหมด
ค่าเฉลี่ยของสี = ผลรวมของระดับค่าของสีทั้งหมด/จำนวนพิกเซล
4. การวิเคราะห์หาระดับค่าความสว่างของสี กับค่าของภาพสีต้นแบบที่ใช้เปรียบเทียบ (Intensive analysis) ขั้นตอนวิธีการในหัวข้อ (3.2.4 ขั้นตอนวิธีการระบบ)
5. ทำการเปรียบเทียบ (Color comparison) ในระดับพิกเซลกับสีต้นแบบ คือ สีเขียว สีน้ำเงิน ของต้นแบบที่ใช้ทดสอบ
6. Voice message

เมื่อทำการเปรียบเทียบและประมวลผลเสร็จระบบจะทำการส่งผลแจ้งเป็นข้อความเสียง เพื่อให้ทราบมะม่วงมีระดับความสุกอยู่ที่เปอร์เซ็นต์

```
SpeechSynthesizer synthesizer = new
SpeechSynthesizer();
synthesizer.Volume = 100;
synthesizer.Rate = 0;
synthesizer.Speak(text1);
```

ขั้นตอนวิธีการของระบบ

```
for (int i = 0; i < bmap.Width; i++)
{
for (int j = 0; j < bmap.Height; j++)
{ color c = bmap.GetPixel(i, j);
Sum_G=Sum_G+c.G;
```

```
Sum_B=Sum_B+c.B;
}
}
Sum_G_Area=(bmap.Width*bmap.Height);
Xbar_G=(Sum_G*100)/Sum_G_Area;
Sum_B_Area=(bmap.Width*bmap.Height);
Xbar_B=(Sum_B*100)/Sum_B_Area;
if ((Xbar_G>=192) && ( Xbar_B >=139))
{
text1 = "Mangoes is 60 percent";
}
}
SpeechSynthesizer synthesizer = new
SpeechSynthesizer();
synthesizer.Volume = 100;
synthesizer.Rate = 0;
synthesizer.Speak(text1)
```

การทดสอบระบบ

การวัดประสิทธิภาพของการค้นคืน (Munklang, 2012) สามารถทำได้โดยการใช้วิธี ดค่าความแม่นยำ (Precision) ซึ่งเป็นการวัดความแม่นยำในการเปรียบเทียบสีภาพในระบบโดยพิจารณาจาก จำนวนภาพที่เปรียบเทียบจากสีของภาพมาตรฐาน ที่ใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบในการเทียบสีได้ทั้งหมด (Somart, 2012) ว่ามีภาพที่ใช้ทดสอบเปรียบเทียบกับภาพสีที่ใช้ทดสอบ ซึ่งมีจำนวนภาพที่อยู่ในกลุ่มสีเดียวกัน และภาพที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มสีเดียวกับภาพทดสอบแล้วนำมาคำนวณ แสดงดังสมการ

$$\text{Precision} = \frac{|x_i - x_m|}{x_m}$$

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

โดยที่ x_m คือ ค่าเฉลี่ยของการวัด
 x_i คือ ค่าการวัดแต่ละครั้ง

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบเปรียบเทียบ หน้าจอการทำงาน (User interface) แสดงใน Figure 13

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ การประเมินหาประสิทธิภาพ ของระบบตรวจสอบระดับความ

สุกของมะม่วง ในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ค่าสีจากภาพ กรณีทดสอบจากกลุ่มตัวอย่างรูปภาพสีต่าง ๆ แสดงค่าเฉลี่ยในเชิงปริมาณ และค่าเฉลี่ยในเชิงคุณภาพจากฐานข้อมูลรูปภาพสีที่นำมาทดสอบจำนวน 60 ภาพแบ่งเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ภาพ (Thaweepol, 2012)

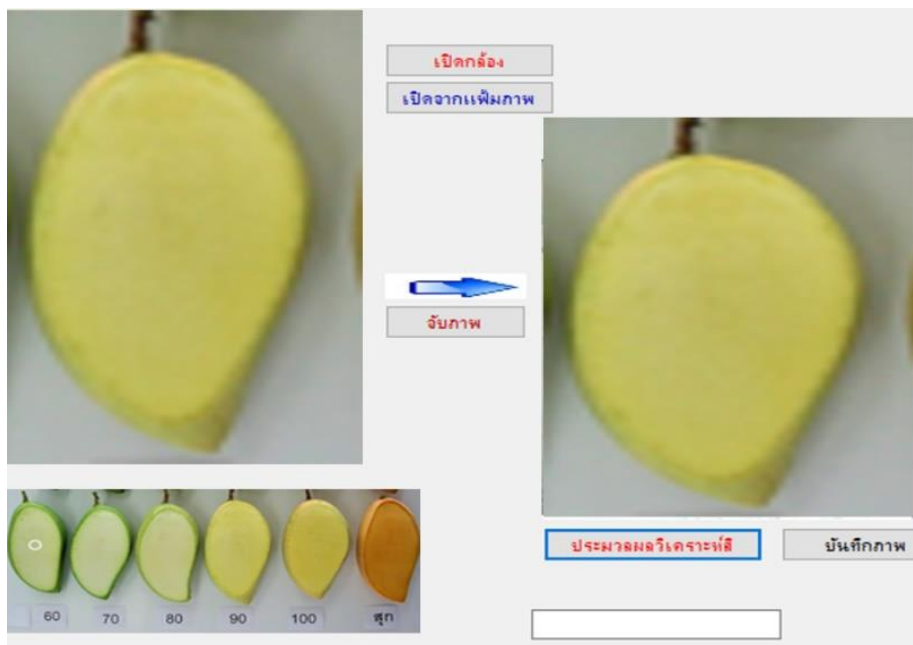























































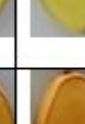






Figure 13 Prototype screen

Table 2 Group of test images

Level of ripeness	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60%										
70%										
80%										
90%										
100%										
Ripe										

หลังจากที่ได้นำซอฟต์แวร์ ไปทดสอบตามวิธีการแบบ(Black Box) เรียบร้อยแล้วต่อไปจะเป็นการนำซอฟต์แวร์นี้ไปประเมิน เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบซอฟต์แวร์ และเป็นการทดสอบ เพื่อยอมรับระบบโดยผู้ใช้ (Acceptance test by user) (Thaweepol, 2012)

ซึ่งกระบวนการประเมินระบบนี้เป็นการประเมิน เพื่อหาประสิทธิภาพของผลงานทางระบบสารสนเทศ และซอฟต์แวร์ซึ่งจะแบ่งการประเมินระบบออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน คือ 1) Function requirement test, 2) Function test, 3) Usability test 4) Security test

แต่ในกรณีนี้ ต้องการทดสอบระบบหาประสิทธิภาพของระบบหรือซอฟต์แวร์อย่างเดียว จึงเลือกใช้การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรม โดยใช้เกณฑ์ทดสอบทางประสิทธิภาพของการทำงานของซอฟต์แวร์ คือ แบบทดสอบทาง Function test สำหรับการเตรียมข้อมูลที่ใช้โดยเป็นภาพดิจิทัลสีทั่วไป ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทดสอบข้อมูลภาพถ่ายระดับความสูงของมะม่วง ซึ่งเป็นภาพที่มีนามสกุล *.jpg ทั้งหมดจำนวน 60 รูปแบ่งเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 รูป

Table 2 Table comparing the efficiency of finding accuracy from 60 photos of the ripeness level of mangoes in all 6 groups

Sample group of images of color levels of ripeness of mangoes	Number of test images	Experimental precision	Average Accuracy
60%	10	8	80%
70%	10	8	80%
80%	10	9	90%
90%	10	9	90%
100%	10	9	90%
Ripe	10	10	100%
Sum	60	53	88.33%

จาก Table 2 การทดสอบประสิทธิภาพ โดยการวัดค่าความแม่นยำ (Precision) ซึ่งเป็นการวัดความแม่นยำในการตรวจจับความเหมือนของสีของภาพ โดยพิจารณาจากสีมาตรฐานที่ใช้เป็นต้นแบบ และนำมาทดสอบกับภาพตัวอย่าง กับจำนวนภาพที่นำมาทดสอบทั้งหมด โดยทดลองใช้ภาพสีตัวอย่างทดสอบ 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ภาพ เพื่อหาประสิทธิภาพการตรวจสอบความถูกต้องของสีระดับความสุกของมะม่วงทั้ง 6 กลุ่ม โดยผลการวัดค่าความแม่นยำในการทดสอบมีดังนี้ ความแม่นยำของกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 80.00% ความแม่นยำของกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 80.00% ความแม่นยำของกลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ย 90.00% ความแม่นยำของกลุ่มที่ 4 มีค่าเฉลี่ย 90.00% ความแม่นยำของกลุ่มที่ 5 มีค่าเฉลี่ย 90.00% ความแม่นยำของกลุ่มที่ 6 มีค่าเฉลี่ย 100% ค่าเฉลี่ยโดยรวม 88.33% ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก

ข้อเสนอแนะของระบบเพื่อความเที่ยงตรงของขั้นตอนวิธีการในการทำงานของโปรแกรม ควรตรวจสอบระดับความสุกของมะม่วงที่ใช้ทดลอง ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ เช่น ความสว่างหรือความเปรียบร้อยของภาพ และ

ความละเอียดของภาพ ข้อจำกัดอีกอย่าง คือ ใช้ได้เฉพาะในเครื่องส่วนบุคคลทั่วไปเท่านั้น และต้องมีอุปกรณ์กล้องที่มีความละเอียดที่ได้มาตรฐาน เพื่อความเที่ยงตรงในการใช้งานในกรณีรับข้อมูลผ่านกล้อง

วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

จากผลการวัดค่าความแม่นยำในการทดสอบระบบ เพื่อตรวจสอบระดับความสุกของมะม่วงที่ได้จากการประมวลผลวิเคราะห์สีของภาพ ด้วยขั้นตอนวิธีการที่พัฒนาใหม่ จากกลุ่มภาพสีตัวอย่าง 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ภาพในระดับความละเอียดของภาพ 640x480 Pixel ซึ่งความแม่นยำ มีค่าเฉลี่ยรวม 88.33% ถือว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี แสดงว่าประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบระดับค่าสีของภาพทั้ง 6 กลุ่ม อยู่ในระดับค่อนข้างเที่ยงตรง และมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในการประมวลผลคัดแยกตรวจสอบระดับความสุกของมะม่วง ซึ่งการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ โดยการวิเคราะห์ระดับความเข้มของสี ถือว่าเป็นการ

ประมวลผลอัตโนมัติขั้นพื้นฐานแต่มีความสะดวกในการใช้งาน เพราะใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพาและกล้องเท่านั้น แต่ควรนำระบบที่พัฒนาไปทดสอบเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาความเที่ยงตรงของระบบที่พัฒนา ซึ่งจะสามารถนำขั้นตอนวิธีการที่พัฒนาขึ้นใหม่ ไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากคณบดี และทีมผู้บริหารคณะทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ให้คำแนะนำและคำปรึกษา ตลอดจนสถานที่ทำวิจัย ห้องปฏิบัติการของคณะ ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- Barbin, D.F., C.M. Kaminishikawahara, A.L. Soares, I.Y. Mizubuti, M. Grespan, M. Shimokomaki and E.Y. Hirooka 2015. Prediction of chicken quality attributes by near infrared spectroscopy. **Food Chemistry** 168: 554-560.
- Benedetti, L.P.S., V.B. dos Santos, T.A. Silva, E. Benedetti-Filho, V. L.Martinsc and O. Fatibello-Filhoa. 2015. A digital image analysis method for quantification of sulfite in beverages. **Analytical Methods Journal** 7: 7568-7573.
- Girolami, A., F. Napolitano, D. Faraone and A. Braghieri. 2013. Measurement of meat color using a computer vision system. **Meat Science** 93: 111-118.
- Image Processing. 2012. **Image display**. [Online]. Available http://www.italpha.msu.ac.th/Car_Park_Space_System_Analysis_By_Image_ProcessingP.ppt (June 10, 2023).
- Lakanthinwong, W. 2023. **Biological ripeness index and mango wrappers**. [Online]. Available https://www.technologychaoban.Com.marketing/article_62644 (June 10, 2023).
- Mancini, R. and M. Hunt. 2005. Current research in meat color. **Meat Science** 71: 100-121.
- Munklang, Y. 2012. **Image retrieval using feature vectors of color cluster**. [Online]. Available <http://www.thaithesis.O7rg/detail.phpd=1714> (May 15, 2023).
- Nowak, R. 2012. **Digital image processing basics**. [Online]. Available <http://www.cnx.org/content> (May 15, 2023).
- Pathare, P.B., U.L. Opara and F.A. Al-Said. 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. **Food and Bioprocess Technology** 6: 36-60
- Sornart, N. 2012. **Automatic ripeness grading of durian flesh by using color histograms and density**. [Online]. Available <http://www.thaithesis.org/detail.php> (May 15, 2023).

Thaweepol, N. 2012. Accuracy and precision. [Online]. Availbla <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4290/precision/> (June 10, 2023).

Trinderup, C.H. and Y.H.B. Kim. 2015. Fresh meat color evaluation using a structured light imaging system. **Food Research International** 71: 100-107.

ไมโครเอนแคปซูลเลชันสารสกัดเห็ดหลินจือสำหรับควบคุมการปลดปล่อยสารต้านอนุมูลอิสระ
ในสถานะเลียนแบบทางเดินอาหารสัตว์ปีก

Microencapsulation of Lingzhi extract (*Ganoderma lucidum*) for Controlled
Release of Antioxidants in Simulated Gastrointestinal Tract of Poultry

ปิยาพัชร เพ็ชรวัฒนาภา¹ ทองเลียน บัวจ่อม¹ บัวเรียม มณีวรรณ¹

อัมพร คำฟองเครือ¹ ปรีชา รัตน์² และสุรรัตน์ ถือแก้ว^{1*}

Piyaphat Petwattanapha¹, Tonglian Buwjoom¹, Buaream Maneewan¹

Amporn Khamfongkrua¹, Pricha Rattanang² and Sureerat Thuekeaw^{1*}

¹คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Faculty of Animal science and Technology, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

²Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: s.thuekeaw@gmail.com

Received: September 09, 2023

Revised: February 29, 2024

Accepted: March 22, 2024

Abstract

Lingzhi (*Ganoderma lucidum*) mushrooms have antioxidant property. They can be used as feed additives to improve the gut health of poultry. However, antioxidants have relatively low stability and limitations in intestinal targeted delivery. Microencapsulation is a technique to improve stability, bioavailability, and release of active ingredients at a target site. This experiment aimed to develop Lingzhi extract (LE) microcapsules, evaluate controlled release and their stability under simulated poultry digestive conditions. Sodium alginate (SA) was used as a wall material to fabricate SA microcapsule containing LE as a model animal feed additive. The encapsulation efficiency (%EE), swelling performance, the release efficiency as well as the antioxidant stability under simulated GI were examined. LE encapsulated in SA microcapsules had a good %EE (73.50±0.05%). Thermogravimetric analysis demonstrated that SA microcapsule improved its thermal stability. The swelling result indicated great performance of microcapsules (64.96±2.04% and 86.00±1.77% in gastric and intestinal stages, respectively), whereas SA displayed the cumulative release of LE in gastric stage (41.00±1.98%) and in intestinal stage (85.02±2.33%), respectively. Additionally, SA microcapsules retained antioxidant activity

under acids, bile, trypsin, including thermal conditions. In conclusion, the SA microcapsule could be considered as a promising driver of LE, drugs, and active compounds, etc. Consequently, LE/SA microcapsule can be used as a feed additive, and it has to be further investigated in *In Vivo*.

Keywords: controlled release, microcapsule, poultry, Lingzhi extract, antioxidant

บทคัดย่อ

เห็ดหลินจือมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสามารถใช้เป็นสารเสริมพัฒนาสุขภาพทางเดินอาหารสัตว์ปีก อย่างไรก็ตามสารต้านอนุมูลอิสระมีความคงตัวค่อนข้างต่ำ และมีข้อจำกัดในการนำส่งสู่ลำไส้ ไมโครแคปซูลเป็นเทคนิคเพื่อปรับปรุงความเสถียรชีวปริมาณสารออกฤทธิ์ และควบคุมการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ที่บริเวณเป้าหมาย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสารสกัดเห็ดหลินจือไมโครแคปซูล ประเมินการปลดปล่อยสารและความเสถียร ภายใต้สภาวะเลียนแบบทางเดินอาหารสัตว์ปีก โขเดียมอัลจินเตถูกใช้เป็นสารห่อหุ้มเพื่อสร้างอัลจินเตไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดเห็ดหลินจือเป็นต้นแบบสารเสริมอาหารสัตว์ ทำการประเมินประสิทธิภาพการกักเก็บสาร ประสิทธิภาพการบวมตัว การปลดปล่อยสาร และความเสถียรของสารต้านอนุมูลอิสระ อัลจินเตไมโครแคปซูลมีความสามารถกักเก็บสารสูง ($73.50 \pm 0.05\%$) เทอร์โมกราวิเมตริกพิสูจน์ได้ว่าไมโครแคปซูลปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อน ผลการบวมตัวบ่งชี้ ประสิทธิภาพที่ดีของไมโครแคปซูล ($64.96 \pm 2.04\%$ and $86.00 \pm 1.77\%$ ในกระเพาะและลำไส้ ตามลำดับ) ขณะที่ไมโครแคปซูลแสดงการปลดปล่อยสารสกัดเห็ดหลินจือในกระเพาะอาหาร ($41.00 \pm 1.98\%$) และในลำไส้ ($85.02 \pm 2.33\%$) นอกเหนือจากนี้อัลจินเตไมโครแคปซูลรักษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ภายใต้สภาวะความทนทานต่อกรด น้ำดี ทริปซิน รวมถึงความร้อนได้ดี สรุปได้ว่าอัลจินเตไมโครแคปซูลสามารถขับเคลื่อนประสิทธิภาพของสารสกัดเห็ดหลินจือ ยา และสารออกฤทธิ์อื่น ๆ ดังนั้นสารสกัดเห็ด

หลินจือไมโครแคปซูลสามารถใช้เป็นสารเสริมอาหารสัตว์ และจะมีการศึกษาในสัตว์ทดลองต่อไป

คำสำคัญ: ควบคุมการปลดปล่อยสาร ไมโครแคปซูล สัตว์ปีก สารสกัดเห็ดหลินจือ สารต้านอนุมูลอิสระ

คำนำ

การใช้สารเติมแต่งฟังก์ชันในอาหารสัตว์ (Functional feed additive) ถือว่าเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญในการส่งเสริมประสิทธิภาพการทำงานของทางเดินอาหารสัตว์และประสิทธิภาพการผลิต เนื่องจากเป็นทางเลือกทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะในการเร่งการเจริญเติบโต (Antibiotic as growth promoters: AGPs) และเป็นที่ทราบกันดีว่าเห็ดหลินจือ (*Ganoderma Lucidum*) มีสรรพคุณทางยา ใช้รักษาโรค และบำรุงสุขภาพ เห็ดหลินจือมีสารออกฤทธิ์สำคัญหลายชนิดและจึงมีการนำมาใช้เป็นสารเสริมสุขภาพในมนุษย์อย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับทั่วโลก เห็ดหลินจือมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) เนื่องจากมีสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) เป็นองค์ประกอบอยู่สูง (Liu *et al.*, 2020) ในการผลิตสัตว์ปีกโดยทั่วไปลำไส้เล็กเป็นเป้าหมายสำหรับการประเมินคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (Free radicals) โดยการให้หมู่ฟีนอลิก OH ให้กับอนุมูลอิสระกลุ่ม Reactive oxygen species (ROS) ช่วยลดความเสียหายของเนื้อเยื่อและลดการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (Lipid peroxidation) ในทางเดินอาหารสัตว์

อีกทั้งสามารถลดความเครียดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative stress) ส่งผลต่อการพัฒนาการทางสัณฐานวิทยาและการทำงานของลำไส้ (Zhao *et al.*, 2017) อย่างไรก็ตามการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมปศุสัตว์ยังคงมีข้อจำกัด เนื่องจากสารออกฤทธิ์ในเห็ดหลินจือมีความเสถียรต่ำ เมื่อผ่านสภาวะที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ผ่านการให้ความร้อนในการอัดเม็ดอาหารสัตว์ สภาวะการเก็บรักษา และการขนส่ง สภาวะเหล่านี้ อาจจะทำให้เกิดการออกซิเดชัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเคลื่อนที่ในทางเดินอาหาร สารออกฤทธิ์อาจถูกทำลายในสภาวะกรดในกระเพาะอาหาร เอนไซม์ในตัวของสัตว์ และการเปลี่ยนแปลงของพีเอชในทางเดินอาหาร ก่อนที่จะถึงอวัยวะเป้าหมาย จากการข้อมูลข้างต้นการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบนำส่งสาร (Delivery system) จึงมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นในการผลิตสัตว์ (Thuekeaw *et al.*, 2021)

ไมโครเอนแคปซูลเลชัน (Microencapsulation) คือ การห่อหุ้มสารสำคัญ (Core material) ด้วยสารห่อหุ้มหรือพอลิเมอร์ (Wall material) ก่อตัวเป็นไมโครแคปซูล (Microcapsule) หรือนาโนแคปซูล (Nanocapsule) ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันไป เทคนิคนี้สามารถเพิ่มความเสถียรของสารสำคัญภายใต้สภาวะที่ไม่พึงประสงค์ และควบคุมการปลดปล่อยในทางเดินอาหารสัตว์ การศึกษาก่อนหน้านี้มีการนำกระบวนการไมโครเอนแคปซูลเลชันมาเพิ่มความคงตัวต่อการออกซิเดชันของน้ำมันสปอร์จากเห็ดหลินจือ โดยการใช้กัมอารบิกและมอลโตเดกซ์ตรินเป็นวัสดุห่อหุ้ม (Zhou *et al.*, 2019) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสารสกัดจากเห็ดหลินจือไมโครแคปซูล และประเมินความสามารถในการปลดปล่อยสาร และคุณสมบัติความทนทานต่อความร้อน สภาวะจำลองในทางเดินอาหาร ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับสามารถสร้างมูลค่าให้เศษเหลือจากเห็ดหลินจือ และมีสารเสริมสุขภาพชนิดใหม่ที่เป็นทางเลือกสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการสัตว์ปีก อีกทั้งมีต้นแบบไมโครแคปซูล

ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพสารเสริมอื่น ๆ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

การทดลองนี้ใช้สารสกัดเห็ดหลินจือ (Lingzhi Extract: LE) เป็นสารแกนกลาง และโซเดียมอัลจีเนต (Sodium Alginate: SA) เป็นสารห่อหุ้ม เห็ดหลินจือตากแดดได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์พัฒนาเห็ดหลินจือและเห็ดสมุนไพรอินทรีย์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

การสกัดเห็ดหลินจือ

เห็ดหลินจือ (20 กรัม) สกัดด้วยทำละลายเอทานอล 60% (400 มล.) ใช้เครื่องกวนสารกวนให้เข้ากันนาน 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 เพื่อแยกสารสกัด (LE) และกากหลังจากการสกัด (Lingzhi Residual Waste: LRW) นำสารสกัดไปแยกตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 50°C. เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 10 ซ้ำ จากนั้นเก็บสารสกัดเห็ดหลินจือใส่ในขวดเก็บตัวอย่างสีขา เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่อไป

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกรวม และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกรวม (Total phenolic content) โดยใช้สารละลาย Folin-Ciocalteu เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) และวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH assay (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ตามวิธีของ Brand-Williams *et al.* (1995) โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโทรลอคซ์ (Trolox stock solution) เตรียม

สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.2 mM ในเมทานอล จากนั้นนำสารสกัดเห็ดหลินจือ (400 ไมโครมิลลิลิตร) ผสมกับสารละลาย DPPH (1,000 ไมโครมิลลิลิตร) เขย่าให้เข้ากันเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำตัวอย่างมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ทำการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ จากนั้นนำค่าดูดกลืนแสงมาคำนวณความสามารถในยับยั้งอนุมูลอิสระ (DPPH radical scavenging activity) ตามสมการ (1)

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = 100 \times \left(\frac{\text{Abs blank} - \text{Abs sample}}{\text{Abs blank}} \right) \quad (1)$$

โดยที่ Abs blank คือ ค่าดูดกลืนแสงของ DPPH และ Abs sample คือ ค่าดูดกลืนแสงของ DPPH + ตัวอย่าง

การเตรียมอัลจินตไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดเห็ดหลินจือ (LE/SA)

เตรียมสารละลายอัลจินตความเข้มข้น 5.0% (w/v) ผสมกับสารลดแรงตึงผิว (Tween 80) ผสมให้เข้ากันบนเครื่องกวนสารที่อุณหภูมิ 50°C. เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ในตู้เย็นข้ามคืน เพื่อให้เกิดการอิมตัวของพอลิเมอร์ นำสารละลายอัลจินต (SA) กับสารสกัดเห็ดหลินจือ (LE) ในอัตราส่วน 1:5 (v/v) ผสมด้วยเครื่องโฮมोजิเนซ ทำให้อนุภาคของเหลวมีขนาดเล็กและเกิดการกระจาย เป็นเนื้อเดียวกัน เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ความเข้มข้น 1.0% (w/v) เพื่อใช้เป็นสารเชื่อมขวาง (Crosslinker) หยดสารละลายอัลจินต (SA) ลงใน CaCl₂ โดยใช้กระบอกฉีดยาและเข็มฉีดยาเบอร์ 18 ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที จนก่อตัวเป็นอัลจินตไมโครแคปซูล เก็บตัวอย่าง LE/SA ล้างสารละลายส่วนเกินออกด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 30°C. เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคืออัลจินตไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดเห็ดหลินจือ (LE/SA) การเตรียมอัลจินตไมโครแคปซูลแสดงใน Figure 1



Figure 1 Schematic for step of preparation of LE/SA microcapsule

ความเสถียรทางความร้อน (Thermal stability) ของไมโครแคปซูล ด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA)

ไมโครแคปซูลถูกนำมาศึกษาเสถียรภาพทางความร้อน โดยการวัดน้ำหนักตัวอย่างที่สูญเสียไปกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ภายใต้บรรยากาศที่มีการควบคุมไนโตรเจน อุณหภูมิที่ใช้อุณหภูมิในช่วง 30-700°C. อัตราการให้ความร้อน 10°C./นาที ผลลัพธ์แสดงเป็นกราฟการสูญเสีย น้ำหนักของตัวอย่าง โดยทั่วไป TGA ใช้ในงานวิจัยสำหรับวัสดุประเภทเซรามิก พอลิเมอร์ ยาง โลหะ หรือชีวมวล เครื่องสามารถปรับอุณหภูมิได้สูง ในงานทดลองนี้ นำ TGA มาวิเคราะห์การย่อยสลายตัวของสารแกนกลางและวัสดุห่อหุ้มซึ่งมีอุณหภูมิที่สลายตัวแตกต่างกัน การปรับอุณหภูมิในช่วง 30-700°C. สามารถประเมินอุณหภูมิแต่ละช่วงของการย่อยสลายสารแกนกลางและวัสดุห่อหุ้ม

การบวมตัวของไมโครแคปซูล (Swelling ratio, %) และอัตราการปลดปล่อย (In Vitro cumulative release, %) สารออกฤทธิ์ในสภาวะเลียนแบบทางเดินอาหาร (Simulated Gastrointestinal Tract)

การประเมินอัตราการบวมตัว และการปลดปล่อยสารของไมโครแคปซูล ดัดแปลงจากวิธีของ Chitprasert and Sutaphanit (2014); Forssten *et al.* (2023) โดยทั่วไปการจำลองสภาวะทางเดินอาหารในหลอดทดลองของสัตว์กระเพาะเดี่ยว (สัตว์ปีกและสุกร) มีการศึกษา 2 ระยะ ระยะที่ 1 สภาวะจำลองในกระเพาะอาหาร (Simulated Gastric Fluid: SGF) และระยะที่ 2 สภาวะจำลองในลำไส้เล็ก (Simulated Intestinal Fluid; SIF) ที่อุณหภูมิที่ 39.5±0.5°C. (อุณหภูมิร่างกายสัตว์) โดยการปรับระยะเวลาการบ่ม และความเข้มข้นของเอนไซม์ให้เหมาะสมกับชนิดสัตว์

ในระยะที่ 1 ไมโครแคปซูล 2 กรัม บ่มใน SGF 100 มล. ตามด้วยการปรับ pH สารละลายเป็น 6.0, 5.0, 3.0 และ 2.0 ที่เวลา 5 นาที 30 นาที 120 นาที และ 180 นาที ตามลำดับ ที่ 39.5°C. ใน Thermostat water bath

ในระยะที่ 2 การบ่มใน SIF นำไมโครแคปซูล และ SGF จากการบ่มระยะที่ 1 มาเติมด้วยสารละลายทริปซิน (Trypsin) น้ำดี (Bile) แพนครีเอตินจากตับอ่อน (Pancreatin) และ SIF ผสมให้เข้ากัน ปรับ pH เป็น 5.5 และ 7.0 ที่เวลา 220 และ 240 นาที ตามลำดับ หลังการบ่มแต่ละจุด ไมโครแคปซูลจะนำมากรองและชั่งน้ำหนัก ทำการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ จากนั้นนำมาคำนวณอัตราการบวมตัวของไมโครแคปซูลตามสมการ (2)

การบวมตัวของไมโครแคปซูล (Swelling of the microcapsule, %)

$$= \left(\frac{M_s - M_d}{M_d} \right) \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ M_s และ M_d คือ น้ำหนักของ LE/SA ที่บ่มในแต่ละจุด และน้ำหนักของ LE/SA ก่อนการบ่ม

การประเมินประสิทธิภาพการปลดปล่อยสารจากไมโครแคปซูล มีขั้นตอนเหมือนกับการวัดอัตราการบวมตัวของไมโครแคปซูลที่อธิบายไปก่อนหน้านี้ โดยการเก็บสารละลายที่ผ่านการบ่มแต่ละจุด มาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 470 nm เพื่อนำมาคำนวณการปลดปล่อยสารจากไมโครแคปซูลตามสมการ (3)

อัตราการปลดปล่อยสะสม (Cumulative release, %)

$$= \sum_{t=0}^t \frac{M_t}{M_0} \quad (3)$$

โดยที่ M_t คือ ปริมาณสะสมของ LE, M_0 คือ ปริมาณเริ่มต้นของ LE ที่ห่อหุ้มไว้ใน LE/SA

ความเสถียรของไมโครแคปซูล ภายใต้สภาวะความเป็นกรด เกลื่อน้ำดี เอนไซม์ทริปซิน และอุณหภูมิที่ 85°C.

ไมโครแคปซูลถูกนำไปบ่มในสภาวะกรด เกลื่อน้ำดี เอนไซม์ทริปซิน และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C. เวลา 1 นาที ตามวิธีของ Thuekeaw *et al.* (2021) ตัวอย่างก่อนและหลังการบ่มนำมาวิเคราะห์

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ทำการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ จากนั้นคำนวณร้อยละการสูญเสียของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษาความเสถียรสารของเห็ดหลินจือไมโครแคปซูลภายใต้สภาวะจำลองในทางเดินอาหาร โดยการเปรียบเทียบความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระ ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design; CRD และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มการทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

ปริมาณสารฟีนอลิกรวม และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเห็ดหลินจือ

จากการสกัดเห็ดหลินจือด้วยเอทานอล สารสกัดเห็ดหลินจือพบกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดเห็ดหลินจือเท่ากับ 47.25 ± 0.20 มก/ก ขณะที่ในกากหลังการสกัดเท่ากับ 15.25 ± 0.23 มก/ก การทดสอบคุณสมบัติการต่อต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH assay (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) โดยเปรียบเทียบสารมาตรฐาน พบว่าสกัดเห็ดหลินจือและกากหลังการสกัดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเท่ากับ $85.06 \pm 1.45\%$ และ $12.18 \pm 2.12\%$ ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Total phenolic compound and DPPH radical scavenging of Lingzhi extract (LE)

Chemical composition and properties	LE	LRW	Units
Total phenolic compound	47.25 ± 0.20	15.25 ± 0.23	mg/g
DPPH radical scavenging	85.06 ± 1.45	$12.18\% \pm 2.12$	%

Lingzhi extract (LE) and (Lingzhi residual waste; LRW)

สารสกัดเห็ดหลินจือไมโครแคปซูล และประสิทธิภาพการกักเก็บสาร

จากขั้นแรกของการเตรียมไมโครแคปซูล การฮอโมจีไนซ์ขั้นต้นทำให้อนุภาคของสารสกัดและสารละลายอัลจินต มีขนาดเล็กกลึงและเกิดการกระจายเป็นเนื้อเดียวกันรวมเป็นอิมัลชัน (Emulsion) ไม่แยกชั้น คงตัว ด้วยการลดแรงตึงผิวของเหลวทั้งสองส่วน โดยการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ก่อนนำไปก่อตัวเป็นไมโครแคปซูล ด้วยการเชื่อมพันธะระหว่างอัลจินตและแคลเซียมไอออนขั้นตอนนี้เกิดไอออนิกเจลแลชัน (Ionic gelation) การเชื่อมพันธะระหว่างอัลจินตและแคลเซียมไอออน เพื่อสร้างโครงสร้าง "Egg box" เจล ทำให้เกิดเครือข่ายที่ซับซ้อนของพอลิเมอร์ จนก่อตัวเป็นไมโครแคปซูล (LE-SA

microcapsule) LE-SA มีความสามารถในการกักเก็บสารออกฤทธิ์ (%EE) $73.50 \pm 0.05\%$ และมีปริมาณสารออกฤทธิ์ในไมโครแคปซูล (%LE content) $69.99 \pm 2.93\%$

ความเสถียรทางความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก

เพื่อพิสูจน์ว่าโครงสร้างของ SA สามารถเพิ่มความเสถียรทางความร้อนของ LE จึงมีการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อน โดยการวัดน้ำหนักตัวอย่างที่สูญเสียไป (Weight loss) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ภายใต้บรรยากาศที่มีการควบคุมไนโตรเจน ผลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่ออุณหภูมิ พบว่าการสูญเสียน้ำหนักของ LE เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 94.95% ช่วงอุณหภูมิที่ $30.18 - 80.94^{\circ}\text{C}$.

สามารถระบุได้ว่าเป็นการระเหยของน้ำ และเอทานอล เห็นได้ชัดว่าสารสกัดเห็ดหลินจือมีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงถึง 80°C. ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิอัดเม็ดอาหารสัตว์ Figure 2 (กราฟ A) การสูญเสียน้ำหนัก SA มีการสูญเสียน้ำหนักครั้งแรก 12.49% ในช่วงอุณหภูมิ 30.18-176.69°C. การสูญเสียน้ำหนักในครั้งที่ 1 และ 2 เท่ากับ 39.26% และ 9.40% ในขั้นตอนสุดท้าย SA มีปริมาณเถ้า (Char yield) เหลืออยู่ประมาณ 30% ซึ่งเป็นปริมาณปกติของโพลีแซคคาไรด์ Figure 2 (กราฟ B) LE-SA มีการสูญเสียน้ำหนักในขั้นตอนแรก

อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30.18-150.12°C. เท่ากับ 9.381% อุณหภูมิสูงสุดในการย่อยสลายคือ 74.11°C. สามารถระบุได้ว่าเป็นการระเหยของน้ำและสารสกัดเห็ดหลินจือบางส่วน ขั้นตอนที่ 2 และ 3 เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 150.12-253.31°C. การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 7.85% และ 13.70% ตามลำดับ ระบุได้ว่าเริ่มเกิดการสลายของโครงสร้างอัลจินต ขั้นตอนที่ 4 มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด เท่ากับ 22.65% อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 253.31-398.38°C. ซึ่งเป็นการสลายของโครงสร้างอัลจินต ปริมาณเถ้าเหลืออยู่เท่ากับ 34.65% Figure 2 (กราฟ C)

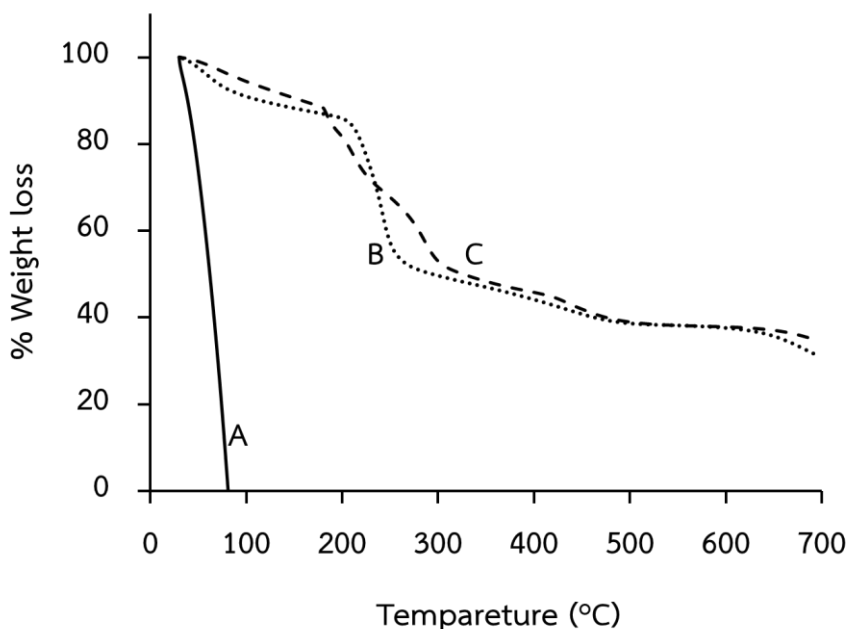


Figure 2 TGA thermograms of (A) LE, (B) SA and (C) LE/SA

อัตราบวมตัวและการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ในสถานะจำลองทางเดินอาหารสัตว์

อัตราการบวมตัวและการปลดปล่อยสารแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ระยะที่ 1 ของเหลวในกระเพาะอาหาร (Gastric fluid, pH 2-3.5) และ ระยะที่ 2 ของเหลวในลำไส้ (Intestinal fluid, pH 5.0-7.0) ที่อุณหภูมิที่ 39.5°C. อัตราการบวมตัวของไมโครแคปซูลเมื่อบ่มในของเหลวในกระเพาะอาหาร พบว่ามีอัตราการบวมตัวที่ $64.96 \pm 2.04\%$ และ $86.00 \pm 1.77\%$ ในของเหลวในลำไส้ ตามลำดับ (Figure 3A) การปลดปล่อยสารในทางเดินอาหาร พบว่าไมโครแคปซูลสามารถปลดปล่อย LE สะสม เท่ากับ $41.00 \pm 1.98\%$ และ $85.02 \pm 2.33\%$ ในกระเพาะอาหารและลำไส้ ตามลำดับ (Figure 3B)

ความทนทานของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเห็ดหลินจือที่ถูกห่อหุ้มด้วยอัลจิเนต ไมโครแคปซูล (LE/SA) ภายใต้สภาวะความเป็นกรด กลิ่นน้ำดี เอนไซม์ทริปซิน และอุณหภูมิอัดเม็ดอาหารสัตว์

ความทนทานของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเห็ดหลินจือที่ถูกห่อหุ้มด้วยอัลจิเนต ไมโครแคปซูลแสดงใน Figure 4 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเริ่มต้นของ LE/SA เท่ากับ $85.94 \pm 1.55\%$ เมื่อบ่มในสภาวะกรด เอนไซม์ทริปซิน และอุณหภูมิอัดเม็ด พบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลง 2.33-2.77% ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับกิจกรรมเริ่มต้น อย่างไรก็ตามการบ่มในกลิ่นน้ำดีไม่มีผลกระทบต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ($P > 0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีความเป็นขี้ จึงสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีความเป็นขี้สูง เช่น เอทานอล สารประกอบฟีนอลิกเป็นกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งอนุมูลอิสระโดยการให้อิเล็กตรอน สามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ และไม่เกิด

เป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ สารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น กลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมีทั้งโมเลกุลที่มีขี้ (Hydroxyl group; OH) และไม่มีขี้ (Alkyl group) (Ribeiro *et al.*, 2015) ส่งผลให้ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระในสารสกัดเห็ดหลินจือ $>80\%$ ในขณะที่กากเห็ดหลินจือหลังการสกัดยังคงมีปริมาณสารฟีนอลิก และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารฟีนอลิกรวมและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีทิศทางเดียวกัน สารสกัดนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอาหารสัตว์

ไมโครแคปซูลมีประโยชน์ต่อระบบการนำส่งสารสำคัญเข้าสู่ร่างกายสัตว์ โดยเกิดความเสียหายน้อยที่สุดก่อนถึงอวัยวะเป้าหมาย จากการเตรียมไมโครแคปซูลการใช้อัลจิเนต ที่มีโครงสร้างรูพรุนมีความสามารถในการจับกับสารประกอบฟีนอลิก (Polyphenolics biopolymer interaction) อีกทั้งอัลจิเนตที่อยู่ในรูปโซเดียมอัลจิเนตมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic property) ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ไปยังส่วนท้ายของทางเดินอาหารได้ดี (Gawad and Fellner, 2019) จากกระบวนการเห็นได้ชัดว่าไมโครแคปซูลมีประสิทธิภาพการห่อหุ้มสารสูง ใช้อุณหภูมิต่ำในการผลิต และลดการสูญเสียคุณสมบัติของสารออกฤทธิ์ เมื่อเทียบกับการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน โดยทั่วไปใช้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 200-250°C. (Araujo-Diaz *et al.*, 2017)

จากการพิสูจน์ว่าโครงสร้างของ SA สามารถเพิ่มความเสถียรทางความร้อนของ LE การสูญเสียน้ำหนักเห็นได้ว่า SA เป็นพอลิเมอร์ที่มีความทนทานต่อความร้อนได้สูง (Keawchaoon and Yoksan, 2011) มีประสิทธิภาพในการใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มสารสำคัญ อีกทั้งการใช้ CaCl_2 เป็นสารเชื่อมขวางทำให้เกิดเจลแบบไอออนิก (Ionic gelation) กับโครงสร้างของอัลจิเนต (Cao *et al.*, 2022) ดังนั้นโครงสร้าง SA- CaCl_2 สามารถเพิ่มความเสถียรทางความร้อน และรักษาสารสกัดเห็ดหลินจือในช่วงอุณหภูมิที่ 85 °C.

เพื่อให้แน่ใจว่ามีการปล่อยสารเสริมที่ตำแหน่งเป้าหมายในทางเดินอาหาร การศึกษาการบวมตัวของไมโครแคปซูลและการปลดปล่อยจากสารสะสมจากไมโครแคปซูล จึงมีการดำเนินการโดยทำการจำลองสภาวะของกระเพาะอาหารและลำไส้ในหลอดทดลอง โดยมีการปรับ pH ระยะเวลาการบ่ม รวมถึงความเข้มข้นของเอนไซม์ให้ใกล้เคียงกับทางเดินอาหารสัตว์ปีก การบวมตัวของไมโครแคปซูลแสดงให้เห็นถึงการตอบสนองของ SA ในทางเดินอาหาร กลไกการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ของไมโครแคปซูลในสภาวะจำลองทางเดินอาหารสัตว์สามารถอธิบายได้ว่าระหว่างการบ่มใน SGF ที่สภาวะกรด SA มีความทนทานต่อการย่อยสลายจากกรด และหมู่คาร์บอกซิเลตของอัลจินเตต (Carboxylate groups) ยังคงรักษา LE ภายใต้การแปรผันของค่า pH อีกทั้งยังทนทานต่อการย่อยของเอนไซม์ในทางเดินอาหาร ในขณะที่เดียวกันของเหลวในทางเดินอาหารสามารถซึมผ่านเข้าไปใน SA เกิดการดูดซับน้ำ เนื่องจากโครงสร้างมีลักษณะเป็นรูพรุนตามธรรมชาติ และเกิดการบวมตัวของไมโครแคปซูลในสภาวะเป็นกลางใน SIF โครงสร้างของ SA เริ่มละลายที่ $pH > 5$ เนื่องจากการโปรโตเนชัน (Protonation) ของ

กลุ่มไอออนิกคาร์บอกซิเลต (Ionic carboxylate group) และทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างแคลเซียมไอออนบนโครงสร้างไมโครแคปซูล และฟอสเฟตไอออนใน SIF ทำให้เกิดการแพร่กระจายของ LE จากโครงสร้างไมโครแคปซูล อย่างไรก็ตามปัจจัยการควบคุมการปลดปล่อยสารขึ้นอยู่กับชนิดและคุณลักษณะของสารห่อหุ้ม ความเข้มข้นของสารเชื่อมขวาง สภาพแวดล้อมของเหลวในทางเดินอาหาร (pH และอุณหภูมิ) ปฏิสัมพันธ์กับสารประกอบทางชีวภาพหรือการตอบสนองทางชีวภาพ และเวลาบ่ม (Kleemann *et al.* 2020) ความเสถียรของไมโครแคปซูลภายใต้สภาวะทางเดินอาหารต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โครงสร้างไมโครแคปซูลที่มีอัลจินเตตองค์ประกอบสามารถรักษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของ LE ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสัมผัสกับความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C. เป็นเวลา 1 นาที ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ ในการศึกษาต่อไปไมโครแคปซูลจะถูกนำไปประเมินความเสถียรภายใต้สภาวะการเก็บรักษา (Storage stability) และการประเมินประสิทธิภาพการผลิตสัตว์ปีก

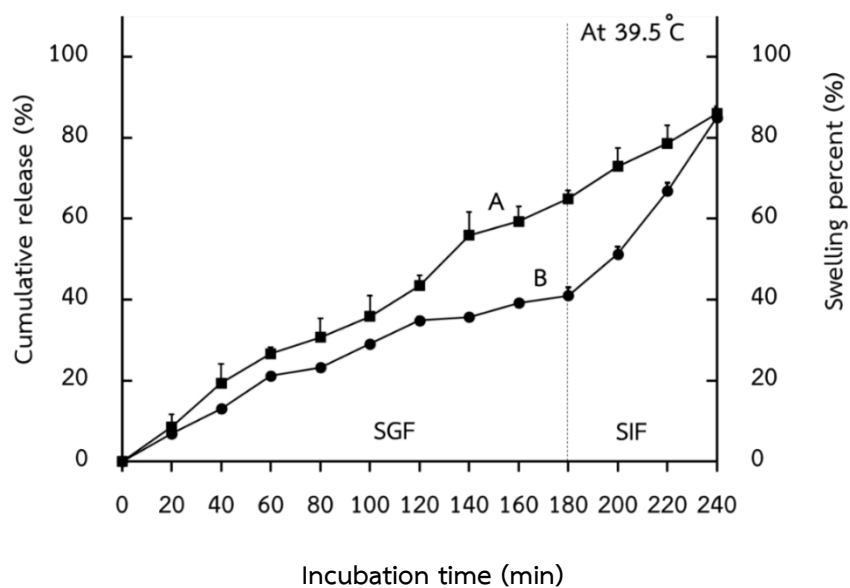


Figure 3 Swelling percent (A) and cumulative release (B) of LE/SA in SGF and SIF at $39.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$. Simulated gastric fluid; SGF; Simulated intestinal fluid; SIF

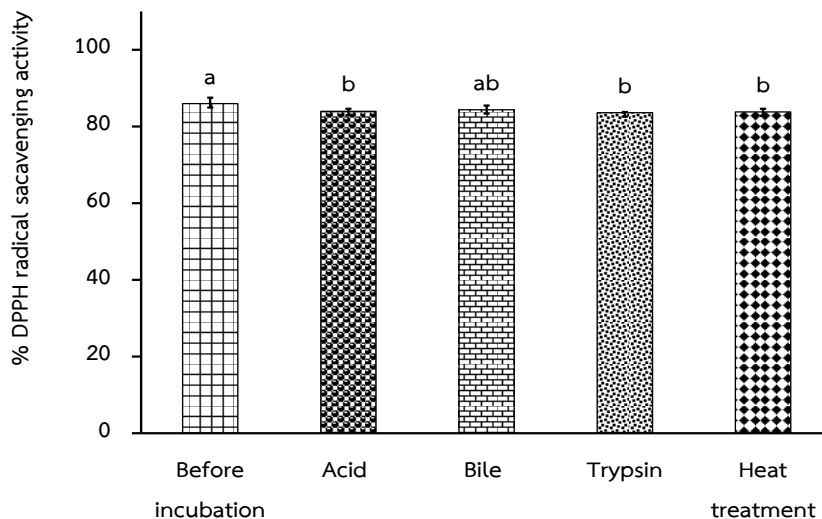


Figure 4 Antioxidation ability of LE/SA under acid tolerance, bile tolerance, trypsin tolerance, and thermal treatment as evaluated by DPPH radical scavenging. ^{a-b} superscript for significant differences ($P < 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

สารสกัดเห็ดหลินจือมีสารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบร่วมกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ >80% กระบวนไมโครเอนแคปซูลเลชันโดยใช้อัลจิเนต เป็นวัสดุห่อหุ้มสามารถก่อตัวเป็นอัลจิเนต ไมโครแคปซูล (LE-SA) ที่มีประสิทธิภาพในการเก็บกักสารออกฤทธิ์ >70% และโครงสร้าง SA-CaCl₂ สามารถเพิ่มเสถียรทางความร้อนของสารสกัดเห็ดหลินจือ อัลจิเนต ไมโครแคปซูลสามารถรักษาสารสกัดเห็ดหลินจือผ่านสภาวะกรดในกระเพาะอาหาร และควบคุมการปลดปล่อยสารในลำไส้ >85% ภายใต้ระบบทางเดินอาหารจำลองของสัตว์ปีก เมื่อพิจารณาความทนทานของโครงสร้างไมโครแคปซูล SA สามารถรักษาคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเห็ดหลินจือ ภายใต้สภาวะความเป็นกรด กลีโอสีน้ำดี เอนไซม์ทริปซิน และอุณหภูมิ 85°C. ดังนั้นไมโครเอนแคปซูลเลชันสามารถนำไปใช้ลดความสูญเสียของสารเสริมต่าง ๆ เมื่อสัมผัสกับความร้อนได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 (มจ.1-66-02-008) จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ผ่านสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์พัฒนาเห็ดหลินจือและเห็ดสมุนไพรอินทรีย์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำหรับการสนับสนุนเห็ดหลินจืออินทรีย์ และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำหรับความอนุเคราะห์สถานที่ทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Araujo-Diaz, S.B., C. Leyva-Porras, P. Aguirre-Banuelos, C. Alvarez-Salas and Z. Saavedra-Leos. 2017. Evaluation of the physical properties and conservation of the antioxidants content, employing inulin and maltodextrin in the spray drying of blueberry juice. **Carbohydrate Polymers** 167: 317-325.
- Brand-Williams, W., M.-E. Cuvelier and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food Science and Technology** 28(1): 25-30.
- Cao, Y., Z. Chen, L. Sun, Y. Lin, Y. Yang, X. Cui and C. Wang. 2022. Herb polysaccharide-based drug delivery system: fabrication, properties, and applications for immunotherapy. **Pharmaceutics** 14(8): 1703-1736.
- Chitprasert, P. and P. Sutaphanit. 2014. Holy basil (*Ocimum sanctum* Linn.) essential oil delivery to swine gastrointestinal tract using gelatin microcapsules coated with aluminum carboxymethyl cellulose and beeswax. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 62(52): 12641-12648.
- Forssten, S.D., W. Morovic and P. Nurminen. 2023. An *in vitro* model of the chicken gastrointestinal tract with special emphasis to the cecal microbiota. **Poultry Science** 102(6): 1-11.

- Gawad, R. and V. Fellner. 2019. Evaluation of glycerol encapsulated with alginate and alginate-chitosan polymers in gut environment and its resistance to rumen microbial degradation. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences** 32(1): 72-81.
- Keawchaoon, L. and R. Yoksan. 2011. Preparation, characterization and *in vitro* release study of carvacrol-loaded chitosan nanoparticles. **Colloids Surf. B Biointerfaces** 84(1): 163-171.
- Kleemann, C., R. Schuster, E. Rosenecker I. Selmer, I. Smirnova and U. Kulozik. 2020. *In-vitro*-digestion and swelling kinetics of whey protein, egg white protein and sodium caseinate aerogels. **Food Hydrocolloids** 101: 1-9.
- Liu, T., J. Zhou, W. Li, X. Rong, Y. Gao, L. Zhao, Y. Fan, J. Zhang, C. Ji and Q. Ma. 2020. Effects of sporoderm-broken spores of *Ganoderma lucidum* on growth performance, antioxidant function and immune response of broilers. **Animal Nutrition** 6(1): 39-46.
- Ribeiro, A., G. Ruphuy, J.C. Lopes, M.M. Dias, L. Barros, F. Barreiro and I.C. Ferreira. 2015. Spray-drying microencapsulation of synergistic antioxidant mushroom extracts and their use as functional food ingredients. **Food Chemistry** 188(2015): 612-618.
- Thuekeaw, S., K. Angkanaporn, S. Chirachanchai and C. Nuengjamnong. 2021. Dual pH responsive via double-layered microencapsulation for controlled release of active ingredients in simulated gastrointestinal tract: a model case of chitosan-alginate microcapsules containing basil oil (*Ocimum basilicum* Linn.). **Polymer Degradation and Stability** 191(2021): 1-8.
- Zhao, P., X. Piao, L. Pan, Z. Zeng, Q. Li, X. Xu and H. Wang. 2017. Forsythia suspensa extract attenuates lipopolysaccharide-induced inflammatory liver injury in rats via promoting antioxidant defense mechanisms. **Animal Science Journal** 88(6): 873-881.
- Zhou, D., F. Zhou, J. Ma and F. Ge. 2019. Microcapsulation of *Ganoderma Lucidum* spores oil: evaluation of its fatty acids composition and enhancement of oxidative stability. **Industrial Crops and Products** 131: 1-7.

การสำรวจไวรัสโคโรนาในนกในประเทศไทย

A Survey of Coronaviruses in Birds in Thailand

เจริญชัย โตไธสง¹ ภัคพล ศิลปานนท์^{1*} กิรณา นรเดชานนท์¹ อนัญพร สุภัทรกุล²
และณัฐกานต์ ทิพม่อม²

Charoenchai Tothaisong¹, Pakaphol Sinlapanon^{1*}, Kirana Noradechanon¹

Ananporn Supataragul² and Nattakarn Thippamom²

¹สำนักอนุรักษ์สัตว์ป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กรุงเทพฯ 10900

²ศูนย์โรคอุบัติใหม่ด้านคลินิก โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย กรุงเทพฯ 10330

¹Wildlife Conservation Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok, Thailand 10900

²Thai Red Cross Emerging Infectious Diseases Clinical Center, King Chulalongkorn Memorial Hospital, Bangkok, Thailand 10330

*Corresponding author: sinlapanon1979@gmail.com

Received: September 11, 2023

Revised: September 05, 2024

Accepted: September 30, 2024

Abstract

Coronaviruses (CoVs) are a global threat to public health, animal health, and wildlife health. They cause emerging infectious diseases and infect multiple hosts. While there have been numerous studies on mammalian coronaviruses, research on CoVs in birds is limited. To bridge this gap, the Department of National Parks, Wildlife, and Plant Conservation conducted a survey in Thailand to investigate CoVs in various bird species. Between October 2020 and September 2022, oral and cloacal swabs were collected from these birds and analyzed in the laboratory using RT-PCR and sequencing to detect and identify CoVs. A total of 530 samples were collected from 24 bird species, including shorebirds, waterfowl, wading birds, passerines and doves. Among these, 265 birds were identified, with 41.51% (110/265) being shorebirds, 21.13% (56/265) waterfowl, 20.38% (54/265) passerines, 10.19% (27/265) doves, and 6.79% (18/265) wading birds. The positive rate of CoVs was found to be 6.03% (16/265). These positive samples were classified as gammacoronaviruses, with 6.52% (3/46) detected in Lesser Whistling-Duck (*Dendrocygna javanica*) and 2.63% (1/38) in Whiskered Tern (*Chlidonias hybrida*). Deltacoronaviruses were identified in 100% (6/6) of Eastern Cattle Egret (*Bubulcus coromandus*), 33.33% (2/6) of Indian Cormorant (*Phalacrocorax fuscicollis*), 28.57% (2/7) of Little Egret (*Egretta garzetta*), 9.09% (1/11) Rock Pigeon (*Columba livia*), and 6.66% (2/30) of Barn Swallow (*Hirundo rustica*). It is worth noting that all positive birds appeared to be healthy. The genetic characteristics of these CoVs were similar to those found in similar bird species in other regions. Although there were no reports of abnormal sickness or mortality events among birds in the study areas, the results suggest the circulation of these viruses in local birds and their potential role in maintaining the viral transmission cycle in the

region. To gain a better understanding of the epidemiology of CoVs in birds and to monitor the viral transmission cycle in the region, continuous surveillance of CoVs in migratory birds should be conducted.

Keywords: birds, coronaviruses, deltacoronaviruses, gammacoronaviruses, Thailand

บทคัดย่อ

เชื้อไวรัสโคโรนาเป็นเชื้อที่พบได้ในสัตว์หลายชนิดและก่อให้เกิดโรคติดเชื้ออุบัติใหม่อันเป็นปัญหาสำคัญต่อสุขภาพคน สัตว์เลี้ยง และสัตว์ป่า การเฝ้าระวังไวรัสโคโรนาในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมได้นำไปสู่การค้นพบไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่จำนวนมาก แต่ยังคงมีการศึกษาเชื้อไวรัสโคโรนาในนกธรรมชาติน้อยมาก กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จึงสำรวจเชื้อไวรัสโคโรนาในกลุ่มนกชายเลน นกเป็ดน้ำ นกขี้เหล็ก นกเกาะคอน และนกเขานกพิราบในประเทศไทย โดยเก็บตัวอย่างสวอปปากและช่องทวารร่วม ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 ถึงกันยายน พ.ศ. 2565 เพื่อตรวจหาไวรัสโคโรนาทางห้องปฏิบัติการด้วยวิธีปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสและการเปรียบเทียบลำดับรหัสพันธุกรรม ผลการศึกษาสามารถเก็บตัวอย่างนกทั้งสิ้น 530 ตัวอย่าง จากนก 24 ชนิด จำนวน 265 ตัว เป็นกลุ่มนกชายเลน กลุ่มเป็ดน้ำ กลุ่มนกเกาะคอน กลุ่มนกเขานกพิราบ และกลุ่มนกขี้เหล็ก ร้อยละ 41.51 (110/265), 21.13 (56/265), 20.38 (54/265), 10.19 (27/265) และ 6.79 (18/265) ตามลำดับ ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการแสดงอัตราการพบเชื้อไวรัสโคโรนา ร้อยละ 6.03 (16/265) เป็นกลุ่มแกมมาโคโรนาไวรัส จากเป็ดแดง (*Dendrocygna javanica*) ร้อยละ 6.52 (3/46) และนกนางนวลแกลบเคราขาว (*Chlidonias hybrida*) ร้อยละ 2.63 (1/38) และกลุ่มเดลตาโคโรนาไวรัสจากนกยางควาย (*Bubulcus coromandus*) ร้อยละ 100 (6/6) นกกาน้ำปากยาว (*Phalacrocorax fuscicollis*) ร้อยละ 33.33 (2/6) นกยางเปีย (*Egretta garzetta*) ร้อยละ 28.57 (2/7) นกพิราบ (*Columba livia*) ร้อยละ 9.09 (1/11) และ

นกนางแอ่นบ้าน (*Hirundo rustica*) ร้อยละ 6.66 (2/30) โดยนกที่ตรวจพบเชื้อไม่มีอาการป่วยผิดปกติ เชื้อไวรัสทั้ง 2 กลุ่ม เป็นเชื้อที่มีลักษณะทางพันธุกรรมใกล้เคียงกับเชื้อที่พบในนกกลุ่มเดียวกันในภูมิภาคอื่น จากการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบเหตุการณ์การป่วยหรือตายผิดปกติของนกในพื้นที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงถึงการหมุนเวียนของเชื้อและบทบาทของนกต่อการถ่ายทอดเชื้อไวรัสในพื้นที่ประเทศไทย ดังนั้นควรดำเนินการเฝ้าระวังไวรัสโคโรนาในนกอย่างต่อเนื่อง เพื่อเข้าใจระบาดวิทยาของเชื้อไวรัสในนกเหล่านี้และเพื่อติดตามวงจรการถ่ายทอดเชื้อไวรัสในภูมิภาคนี้

คำสำคัญ: นก ไวรัสโคโรนา เดลตาโคโรนาไวรัส แกมมาโคโรนาไวรัส ประเทศไทย

คำนำ

ไวรัสโคโรนา (CoV) เป็นไวรัสชนิดอาร์เอ็นเอสายเดี่ยวที่ก่อให้เกิดโรคที่สำคัญหลายโรคทั้งในคนและสัตว์ โรคที่สำคัญในคน เช่น โรคทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรง (Severe Acute Respiratory Syndrome: SARS) และโรคทางเดินหายใจตะวันออกกลาง (Middle East Respiratory Syndrome: MERS) (Chamings *et al.*, 2018) ขณะที่ในสัตว์ไวรัสโคโรนาก็เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดโรค และสร้างความเสียหายทั้งในสัตว์เลี้ยงและสัตว์เศรษฐกิจ เช่น โรคลำไส้อักเสบในสุนัข (Canine Corona Virus; CCov) หรือโรคหลอดลมอักเสบติดต่อในไก่ (Infectious Bronchitis Virus: IBV) เป็นต้น ไวรัสโคโรนามีทั้งสิ้น 4 สกุล โดยมีการตรวจพบสกุลอัลฟาและ

เบตาโคโรนาไวรัสในคนและสัตว์เลี้ยง สกุกแลมมาและ เดลตาโคโรนาไวรัสในสัตว์กลุ่มนกและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Mitek and Blicharz-Domanska, 2018) แม้ในปัจจุบัน จะมีการเฝ้าระวังไวรัสโคโรนาในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม จนนำไปสู่การค้นพบไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่จำนวนมาก แต่ในการศึกษาเกี่ยวกับไวรัสโคโรนาในนกกยังมีน้อยมาก แม้ศักยภาพการอพยพย้ายถิ่นตามฤดูกาลของนกกบางกลุ่ม มีระยะทางที่ไกลมาก ซึ่งสนับสนุนในการแพร่ของเชื้อโรค ไปยังภูมิภาคต่าง ๆ และสัตว์กลุ่มนกกยังเป็นแหล่งรังโรค ที่หลากหลาย จากการศึกษาพบไวรัสโคโรนาอย่างน้อย 15 ชนิดในนกกป่าทั่วโลก (Wille and Holmes, 2020) ซึ่งจากการสำรวจเพื่อค้นหาเชื้อไวรัสโคโรนาจากกลุ่มนกกในพื้นที่ ซึ่งอยู่ในเส้นทางการอพยพของนกกเส้นทางการบินเอเชีย ตะวันออก-ออสเตรเลีย ผลการศึกษาสอดคล้องกันโดยเฉพาะ กลุ่มนกอพยพที่พบมีเชื้อไวรัสโคโรนา โดยจากการสำรวจ ของ Kim and Oem (2014) เก็บตัวอย่างนกกธรรมชาติ ในเกาหลีใต้ ระหว่างปี ค.ศ. 2010–2012 จำนวน 1,473 ตัวอย่าง ในนกก 32 ชนิด พบไวรัสโคโรนา จำนวน 14 ตัวอย่าง จาก เป็ดหางแหลม 1 ตัวอย่างใน 96 ตัวอย่าง และเป็ดเทา พันธุ์อินเดีย 13 ตัวอย่างใน 361 ตัวอย่าง ซึ่งทั้งหมดเป็น กลุ่มแกมมาโคโรนาไวรัส สอดคล้องกับการเก็บตัวอย่าง นกธรรมชาติในประเทศออสเตรเลียของ Chamings *et al.* (2018) จำนวน 918 ตัวอย่าง ตรวจพบไวรัสโคโรนา จำนวนถึง 141 ตัวอย่าง (ร้อยละ 15.36) โดยพบเชื้อ แกมมาโคโรนาไวรัสในกลุ่มเป็ดและนกกชายเลนเช่นกัน และเชื้อเดลตาโคโรนาไวรัสในกลุ่มนกกกระสา ประกอบกับการศึกษาของ Chu *et al.* (2011) ในประเทศฮ่องกงและ กัมพูชา พบความชุกของไวรัสโคโรนาสูงในกลุ่มนกกน้ำ โดยพบแกมมาโคโรนาไวรัสมากในกลุ่มเป็ด ในขณะที่พบกลุ่ม เดลตาโคโรนาไวรัสในกลุ่มนกกกระสา นกกกระทุง และ นกเป็ดน้ำ และยังพบว่าแกมมาโคโรนาไวรัสมีการ ถ่ายทอดระหว่างกันโดยเฉพาะในกลุ่มนกกเป็ดน้ำ ในขณะที่เดลตาโคโรนาไวรัสมีความจำเพาะต่อโฮสต์ มากกว่า

การเฝ้าระวังโรคในนกกธรรมชาติของกรมอุทยาน แห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ที่ผ่านมามุ่งเน้นไปที่โรค ใช้หวัดนก ยังไม่มีการตรวจหาเชื้อหรือโครงการวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับไวรัสโคโรนาในนกกธรรมชาติแต่อย่างใด จึงได้ ดำเนินโครงการสำรวจไวรัสโคโรนาในนกกธรรมชาตินี้ขึ้น เพื่อทราบข้อมูลพื้นฐานสำหรับคาดการณ์ปัญหาและ สามารถจัดการกับภาวะวิกฤตได้อย่างทันที่ เพื่อจะ สามารถลดความเสียหายหากเกิดสถานการณ์การระบาด รวมถึงเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในบริหารจัดการ ประเทศและสังคมหลังภาวะวิกฤตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การจับนกและเก็บตัวอย่าง

ทำการสำรวจฐานข้อมูลงานวิจัยนกอพยพของ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช เพื่อคัดเลือก พื้นที่และชนิดนกกที่มีลักษณะสัมพันธ์กับความเสี่ยงในการ แพร่เชื้อไวรัส เช่น นกกที่มีจำนวนประชากรมากอยู่ใกล้ แหล่งชุมชน นกที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ หรือนกอพยพที่ระยะทางไกล จากนั้นทำการดักจับนกโดยใช้วิธี ที่เหมาะสมและปลอดภัยต่อนกแต่ละกลุ่ม เช่น การใช้วิธี ท่อส่งตาข่าย (Cannon net) สำหรับกลุ่มนกกชายเลนอพยพ ใช้ ตาข่ายพรางตา (Mist net) ในกลุ่มเป็ดน้ำ นกยูงน้ำ นกเกาะ คอน นกเขานกพิราบ นกทั้งหมดที่จับได้จะพักไว้ในถุงผ้าดิบ เพื่อลดการกระตุ้นจากสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดการ ความเครียด (BungBoraphet Wildlife Research Station, 2019) จากนั้นรีบทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ก้าน สำลีพันปลายไม้ชนิดที่ไม่มีสีสารฟอกขาวป้ายสิ่งคัดหลั่ง ในช่องปาก (Oral swab) และช่องทวารร่วม (Cloacal swab) รวม 2 ตัวอย่างจากนกแต่ละตัวแล้วปล่อยนกกคืนสู่ ธรรมชาติ และเก็บสำลีตัวอย่างลงในหลอดน้ำยาเก็บรักษา ไวรัส (Lysis buffer; Contains 50% guanidine thiocyanate<2% Triton X-100, <1% EDTA) เขย่าก้าน

สำลีในหลอดน้ำยา (The Monitoring and Surveillance Center for Zoonotic Diseases in Wildlife and Exotic Animals, 2018) และนำส่งห้องปฏิบัติการต่อไป

การตรวจหาเชื้อไวรัส

สกัดสารพันธุกรรมของไวรัส ด้วยเครื่องสกัดสารพันธุกรรมอัตโนมัติ EasyMag จากตัวอย่าง Rectal swab Oral swab ปริมาตร 400 μ L จากนั้นเพิ่มจำนวนสารพันธุกรรม ด้วยวิธี Nested-PCR โดยใช้ Primer ที่มีความจำเพาะต่อเชื้อไวรัสกลุ่ม Coronaviruses (pan-CoV_outF 5'- CCAARTTYTAYGGHGGITGG - 3', pan-CoV_R 5'- TGTTGIGARCARAAYTCATGIGG -3', pan-CoV_inF 5'- GGTGGGAYTAYCCHAARTGTGA-3') (Xiu, *et al.*, 2020) เพิ่มจำนวนสารพันธุกรรมโดยใช้ SuperScript™ III One-Step RT-PCR System (Invitrogen) และ Platinum™ Taq DNA Polymerase (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) และใส่ส่วนผสมต่าง ดังนี้ RNA 4 μ L, 2X Reaction Mix 12.5 μ L, Primer 0.4 μ M (pan-CoV_outF และ pan-CoV_R), SuperScript™ III RT/Platinum™ Taq Mix 0.4 μ L และเติม Nuclease-free water ให้ครบปริมาตร 25 μ L จากนั้นนำสารละลายไปใส่ในเครื่อง Thermal cycler ภายใต้ PCR-condition ที่ 55 OC เป็นเวลา 30 นาที สำหรับ 94 OC 2 นาที Inactivate reverse transcription และ Amplification 30 cycles ประกอบด้วย 94 OC 15 วินาที 53.4 OC 30 วินาที 68 OC 1 นาที และ 68 OC 5 นาที Holding ที่ 4 OC จากนั้นนำ PCR product ที่ได้จากรอบแรกมาทำเป็น Template ของ PCR รอบที่ 2 ปริมาตร 1 μ L และใส่สารดังนี้ 10X Buffer 2.5 μ L, 50 mM Magnesium chloride 0.75 μ L, dNTP mix 0.5 μ L, Primer (pan-CoV_inF และ pan-CoV_R) และ Platinum™ Taq DNA Polymerase เติม Nuclease-free water ให้ ปริมาตรครบ 25 μ L

จากนั้นนำไปใส่ในเครื่อง Thermal cycler ภายใต้ PCR-condition ที่ 94 OC เป็นเวลา 5 นาที และ 94 OC 15 วินาที 54.5 OC 30 วินาที 72 OC 1 นาที จำนวน 35 Cycles และ 72 OC 10 นาที Holding ที่ 4 OC โดย จากนั้นตรวจวิเคราะห์ขนาดสารพันธุกรรม DNA ด้วยวิธี Gel electrophoresis โดยใช้กระแสไฟฟ้า 100 Volt นาน 35 นาที และใช้ 2% Agarose gel เพื่อแยกขนาดสารพันธุกรรม (PCR product) ซึ่งมีขนาด อยู่ที่ 599-602 bp เปรียบเทียบกับขนาดสารพันธุกรรมต้นแบบ (Marker) 100 bp DNA ladder (Thermo Fisher Scientific) เลือกตัดแถบ Specific PCR Product ออกมา จากนั้นละลาย Agarose gel ด้วยชุด Purification สำเร็จรูป NucleoSpin Gel and PCR Cleanup kit® (MACHEREY-NAGEL, Germany) และจากนั้นเตรียมตัวอย่าง DNA ที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้น 50 ng/ μ L ปริมาตร 20 μ L พร้อมกับส่ง Primers ที่มีความเข้มข้นสุดท้าย 1 μ M อย่างละ 10 μ L ส่งไปหาลำดับเบสของยีน RdRp ด้วยวิธี Direct Sequencing (Dideoxy Chain Termination)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ จำนวน ความถี่ และสัดส่วนของตัวอย่างที่พบผลบวกต่อเชื้อไวรัสโคโรนาเพื่ออธิบายการกระจายตามกลุ่มของนกพื้นถิ่น และชนิดของเชื้อที่พบ โดยใช้โปรแกรม MS Excel นำเสนอในรูปแบบตาราง แผนภูมิ แผนที่ วิเคราะห์ข้อมูลรหัสพันธุกรรมที่ได้มาทำการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้ กับลำดับนิวคลีโอไทด์ ของสิ่งมีชีวิตอื่นในฐานข้อมูล GenBank โดยใช้โปรแกรม BLAST จาก <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Blast> จากนั้นทำการวิเคราะห์ความเหมือนหรือความแตกต่างของลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน RdRp และสร้าง Phylogenetic tree ด้วยวิธี Maximum Likelihood method โดยใช้โปรแกรม MAGA 11

ผลการศึกษา

จากการสำรวจไวรัสโคโรนาในนกธรรมชาติ ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 – เดือนกันยายน พ.ศ. 2565 ดำเนินการดักจับนกชายเลนในจังหวัดสมุทรสาคร เพชรบุรี ตรัง และสตูล ซึ่งเป็นพื้นที่นาเกลือและชายทะเล นกเป็ดน้ำและนกคุยน้ำ ในพื้นที่จังหวัด ฉะเชิงเทรา นราธิวาส สุราษฎร์ธานี บุรีรัมย์ อุตรธานี นครสวรรค์ และเชียงราย ในพื้นที่แหล่งน้ำขนาดใหญ่ที่มี ประชากรนกวมอยู่อย่างหนาแน่น และกลุ่มนกเกาะคอน

และกลุ่มนกเขานกพิราบ ในพื้นที่จังหวัดสระแก้ว ฉะเชิงเทรา นราธิวาส เลย และน่าน (Figure 1) จำนวน 265 ตัว จากนก 24 ชนิด ชนิดนกที่จับได้เป็นกลุ่มนก ชายเลน ร้อยละ 41.51 (110/265) กลุ่มเป็ดน้ำ ร้อยละ 21.13 (56/265) กลุ่มนกเกาะคอน ร้อยละ 20.38 (54/265) กลุ่มนกเขานกพิราบ ร้อยละ 10.19 (27/265) และกลุ่ม นกคุยน้ำ ร้อยละ 6.79 (18/265) (Table 1) และ ดำเนินการเก็บตัวอย่างนกทั้งหมดจำนวน 530 ตัวอย่าง แบ่งเป็นตัวอย่าง Oral swab และ Cloacal swab ประเภทละ 265 ตัวอย่าง

Table 1 Study areas, capture methods and target bird populations

Habitat type	Target group of birds	Province	Method	Number of birds
Wetland: Saltpan, Mudflat	Shorebird	Samut Sakhon, Satun, Trang, Phetchaburi	Cannon net	110
Wetland: Swamp	Waterfowls	Chachoengsao, Narathiwat, Buri Ram, Chiang Rai, Nakhon Sawan	Mist net	56
	Wading Birds	Chachoengsao, Surat Thani, Udon Thani		18
Community area: Roosting site	Passerines	Sa Kaeo, Chachoengsao, Loei, Narathiwat, Nan	Mist net	54
	Doves	Sa Kaeo, Chachoengsao, Loei, Narathiwat		27
Total				265

ผลการตรวจวิเคราะห์หาสารพันธุกรรมของเชื้อไวรัสโคโรนา (Table 2) พบตัวอย่างให้ผลบวกจากนก 7 ชนิด จำนวน 17 ตัวอย่าง จากนก 16 ตัว คิดเป็นร้อยละ 6.03 (16/265) โดยนกยางควาย (*Bubulcus coromandus*) เป็นชนิดนกที่พบผลบวกมากที่สุดจำนวน 6 ตัว คิดเป็น ร้อยละ 100 (6/6) รองลงมาเป็นนกกาน้ำปากยาว

(*Phalacrocorax fuscicollis*) นกยางเป็ย (*Egretta garzetta*) นกพิราบ (*Columba livia*) นกนางแอ่นบ้าน (*Hirundo rustica*) เป็ดแดง (*Dendrocygna javanica*) และนกนางนวลเกลบเคราขาว (*Chlidonias hybrid*) คิดเป็นร้อยละ 33.33 (2/6), 28.57 (2/7), 9.09 (1/11), 6.67 (2/36), 4.34 (2/46) และ 2.63 (1/38) ตามลำดับ

เมื่อจำแนกผลบวกตามประเภทของตัวอย่างพบว่า ตัวอย่าง Cloacal swab ให้ผลบวกร้อยละ 4.53 (12/265) และตัวอย่าง Oral swab ให้ผลบวกร้อยละ 1.87 (5/265)

เมื่อจำแนกตามสถานภาพการอพยพพบผลบวกในกลุ่มนกประจำถิ่นร้อยละ 15.71 (11/70) นกอพยพร้อยละ 0.84 (1/119) และนกที่มีทั้งสองสถานภาพร้อยละ 5.26 (4/76) และเมื่อจำแนกตามลักษณะพื้นที่หากินพบว่านกที่หากินตามแหล่งน้ำมีผลบวกร้อยละ 7.07 (13/184) และนกที่หากินบนบกมีผลบวกร้อยละ 3.70 (3/81)

พื้นที่ที่ตรวจพบเชื้อไวรัสโคโรนามี 3 ประเภท (Figure 1) ได้แก่ พื้นที่นาเกลือ ในจังหวัดสมุทรสาคร

พบผลบวกร้อยละ 0.90 (1/110) ในนกนางนวลแกลบ เคราขาว พื้นที่แหล่งน้ำจืดพบผลบวกร้อยละ 16.83 (13/74) จากเป็ดแดง นกกาน้ำปากยาว นกยางควาย นกยางเปีย ในจังหวัดบุรีรัมย์ ฉะเชิงเทรา และอุดรธานี พื้นที่แหล่งเกาะพักใกล้ชุมชนพบผลบวกร้อยละ 3.70 (3/81) ในนกนางแอ่นบ้าน และนกพิราบ ในจังหวัดน่านและสระแก้ว

ทั้งนี้ไม่พบรายงานเหตุการณ์การป่วยหรือตายผิดปกติของนกรธรรมชาติในช่วงการดำเนินโครงการในพื้นที่ทั้ง 3 ประเภทที่ตรวจพบเชื้อไวรัสโคโรนา และไม่พบนกที่เก็บตัวอย่างมีอาการเจ็บป่วยแต่อย่างใด

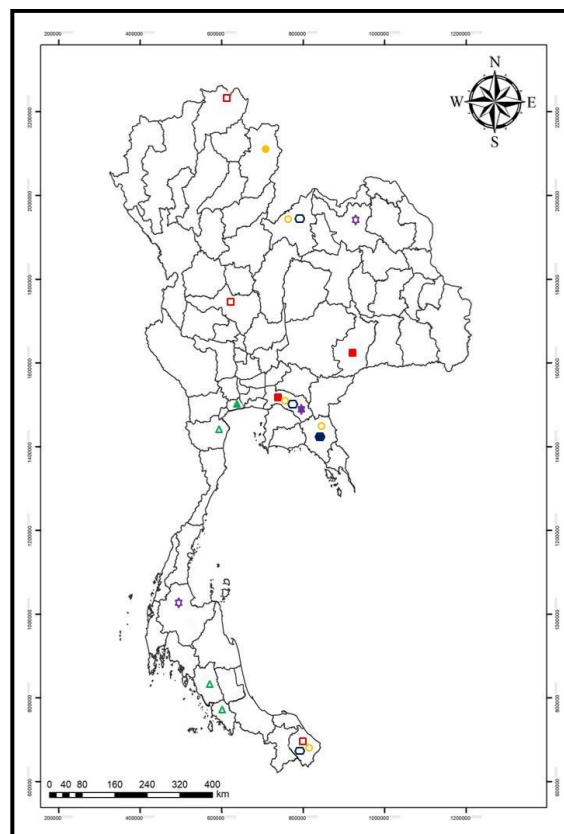


Figure 1 Geographic distribution of samples area from birds and coronavirus detection Coronavirus Thailand

△ = shorebirds, □ = waterfowls, ○ = Passerine, ◇ = Dove, ☆ = Wading Birds
(filled symbol = coronavirus detected and open symbol = coronavirus non-detected)

Table 2 Coronavirus detection in cloacal swab (CS) and oral swab (OS) from wild birds in Thailand

Taxonomic classification	Number of birds		Number of samples					
	Total	Positive (%)	Oral swab		Cloacal swabs		Overall	
			Total	Positive (%)	Total	Positive (%)	Total	Positive (%)
Anseriformes	50	2 (4.00)	50	1 (2.00)	50	2 (4.00)	100	3 (3.00)
Lesser Whistling-Duck (<i>Dendrocygna javanica</i>)	46	2 (4.34)	46	1 (2.17)	46	2 (4.34)	92	3 (3.26)
Garganey (<i>Spatula querquedula</i>)	4	0	4	0	4	0	8	0
Columbiformes	27	1 (3.70)	27	1 (3.70)	27	0	54	1 (3.70)
Rock Pigeon (<i>Columba livia</i>)	11	1 (9.09)	11	1 (9.09)	11	0	22	1 (4.54)
Eastern Spotted Dove (<i>Spilopelia chinensis</i>)	5	0	5	0	5	0	10	0
Zebra Dove (<i>Geopelia striata</i>)	11	0	11	0	11	0	22	0

Table 2 (Continued)

Taxonomic classification	Number of birds		Number of samples					
	Total	Positive (%)	Oral swab		Cloacal swabs		Overall	
			Total	Positive (%)	Total	Positive (%)	Total	Positive (%)
Charadriiformes	110	1 (0.90)	110	0	110	1 (0.90)	220	1 (0.45)
Grey Plover (<i>Pluvialis squatarola</i>)	1	0	1	0	1	0	2	0
Kentish Plover (<i>Charadrius alexandrinus</i>)	1	0	1	0	1	0	2	0
Lesser Sand Plover (<i>Charadrius mongolus</i>)	26	0	26	0	26	0	52	0
Greater Sand Plover (<i>Charadrius leschenaultia</i>)	8	0	8	0	8	0	16	0
Ruddy Turnstone (<i>Arenaria interpres</i>)	5	0	5	0	5	0	10	0
Broad-billed Sandpiper (<i>Calidris falcinellus</i>)	3	0	3	0	3	0	6	0
Curlew Sandpiper (<i>Calidris ferruginea</i>)	3	0	3	0	3	0	6	0
Red-necked Stint (<i>Calidris ruficollis</i>)	10	0	10	0	10	0	20	0
Terek Sandpiper (<i>Xenus cinereus</i>)	13	0	13	0	13	0	26	0
Little Tern (<i>Sternula albifrons</i>)	1	0	1	0	1	0	2	0
Common Tern (<i>Sterna hirundo</i>)	1	0	1	0	1	0	2	0
Whiskered Tern (<i>Chlidonias hybrid</i>)	38	1 (2.63)	38	0	38	1 (2.63)	76	1 (1.32)

Table 2 (Continued)

Taxonomic classification	Number of birds		Number of samples					
	Total	Positive (%)	Oral swab		Cloacal swabs		Overall	
			Total	Positive (%)	Total	Positive (%)	Total	Positive (%)
Suliformes	6	2 (33.33)	6	0	6	2 (33.33)	12	2 (16.67)
Indian Cormorant (<i>Phalacrocorax fuscicollis</i>)	6	2 (33.33)	6	0	6	2 (33.33)	12	2
Pelicaniformes	18	8 (44.44)	18	2 (11.11)	18	6 (33.33)	36	8 (22.22)
Chinese Pond Heron (<i>Ardeola bacchus</i>)	5	0	5	0	5	0	10	0
Eastern Cattle Egret (<i>Bubulcus coromandus</i>)	6	6 (100.00)	6	0	6	6 (100.00)	12	6 (50.00)
Little Egret (<i>Egretta garzetta</i>)	7	2 (28.57)	7	2 (28.57)	7	0	14	2 (14.29)
Passeriformes	54	2 (3.70)	54	1 (1.85)	54	1 (1.85)	108	2 (1.85)
Barn Swallow (<i>Hirundo rustica</i>)	30	2 (6.67)	30	1 (3.34)	30	1 (3.34)	60	2 (3.34)
Great Myna (<i>Acridotheres grandis</i>)	6	0	6	0	6	0	12	0
Common Myna (<i>Acridotheres tristis</i>)	18	0	18	0	18	0	36	0
Total	265	16 (6.03)	265	5 (1.87)	265	12 (4.52)	530	17 (3.21)

การตรวจเพื่อจำแนกสกุลของเชื้อไวรัสโคโรนา พบว่า เชื้อที่พบในเป็ดแดงและนกนางนวลเกลบเคราขาว อยู่ในสกุลแกมมาโคโรนาไวรัส ขณะที่ไวรัสโคโรนาที่พบใน นกนางแอ่นบ้าน นกพิราบ นกยางควาย นกยางเปีย และนก กาน้ำปากยาว อยู่ในสกุลเดลตาโคโรนาไวรัส (Figure 2) เมื่อตรวจสอบความคล้ายคลึงกันของลำดับเบสในสาร พันธุกรรมของเชื้อไวรัสโคโรนาที่ตรวจพบกับเชื้อไวรัส โคโรนาในฐานข้อมูล GenBank พบว่า เชื้อไวรัสโคโรนา ที่พบในเป็ดแดงและนกนางนวลเกลบเคราขาว มีความ คล้ายคลึงกับไวรัสโคโรนาที่พบในหงส์ขาวที่ประเทศ อังกฤษ ร้อยละ 97.66 นกพลิกหินที่ประเทศออสเตรเลีย ร้อยละ 96.23 และนกนางนวลขอบปีกขาวที่ประเทศ

รัสเซีย ร้อยละ 96.04 ขณะที่ไวรัสโคโรนาที่พบในนก นางแอ่นบ้าน มีความคล้ายคลึงกับเชื้อไวรัสโคโรนาที่พบใน นกนางนวลและนกกระทาตีสะโพกขาวในฮ่องกง ประเทศ จีน ร้อยละ 96.06 และ 85.09 ตามลำดับ และคล้ายกับ เชื้อไวรัสโคโรนาที่พบในสุกรในประเทศจีนร้อยละ 79.75 และเชื้อไวรัสโคโรนาที่พบในนกพิราบ มีความคล้ายคลึง กับเชื้อไวรัสโคโรนาที่พบในนกพิราบในประเทศจีน ประเทศฟินแลนด์ และประเทศโปแลนด์ ร้อยละ 98.13 98.49 และ 96.62 ตามลำดับ เชื้อไวรัสโคโรนาที่พบในนก ยางควายและนกกาน้ำปากยาว มีความคล้ายคลึงกับไวรัส โคโรนาที่พบในนกแขวกในประเทศจีน ร้อยละ 91.68

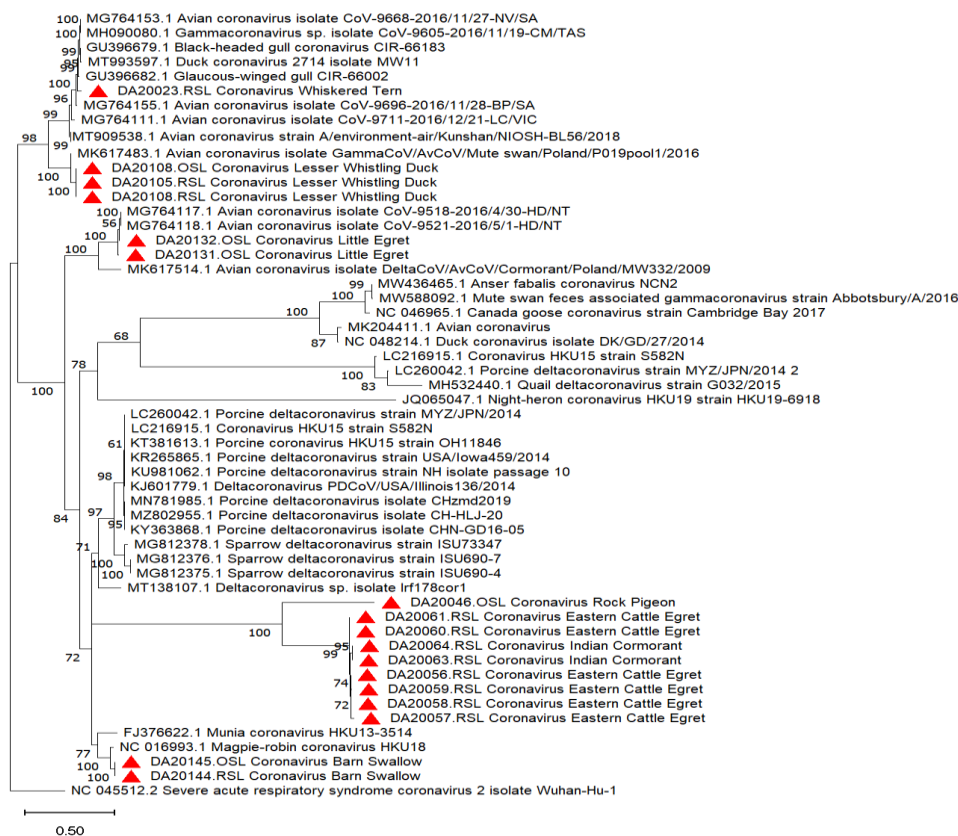


Figure 2 Phylogenetic tree of RdRp gene of Coronaviruses from migratory birds in Thailand. The tree was generated using MEGA 11 applying the Maximum Likelihood method in IQ-TREE2 with TN+f+G4 model and 1000 ultrafast bootstrap replicates

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้พบเชื้อไวรัสโคโรนาในนกธรรมชาติร้อยละ 6.03 จากจำนวนนก 265 ตัว ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาในประเทศกัมพูชา ซึ่งมีอัตราการพบเชื้อในตัวอย่างร้อยละ 7.20 จากตัวอย่าง 236 ตัวอย่าง (Chu *et al.*, 2011) ซึ่งพบผลบวกในนกยางกรอกพันธุ์จีน (ร้อยละ 13.00) และเป็ดแดง (ร้อยละ 3.00) ตัวอย่างที่ให้ผลบวกในการศึกษานี้มาจากนก 7 ชนิด ทั้งในกลุ่มนกน้ำและนกที่หากินบนบก ได้แก่ เป็ดแดง นกยางควายนกยางเป็ย นกกาน้ำปากยาว นกนางนวลกลบเคราขาว นกพิราบป่า และนกกางแอนบ้าน โดยนกในกลุ่มนกยางมีอัตราการพบเชื้อในตัวอย่างสูงที่สุด (ร้อยละ 22.22) และมีอัตราการพบเชื้อในเป็ดแดงใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 3.00) Chu *et al.* (2011) ได้สำรวจไวรัสโคโรนาในฮ่องกงพบอัตราการพบไวรัสโคโรนามากถึงร้อยละ 53.64 จากการเก็บตัวอย่าง 151 ตัวอย่าง โดยพบผลบวกในนกกาน้ำใหญ่ การศึกษาของ Kim and Oem (2014) ในประเทศเกาหลีใต้ระหว่างปี ค.ศ. 2010–2012 มีอัตราการพบเชื้อร้อยละ 0.95 จากตัวอย่าง 1,473 ตัวอย่าง โดยพบเชื้อในกลุ่มนกเป็ดน้ำ ได้แก่ เป็ดเทาพันธุ์อินเดียและเป็ดหางแหลม (อัตราการพบเชื้อร้อยละ 3.60 และ 1.04 ตามลำดับ) การศึกษานี้ยังพบเชื้อในนกกางนวลกลบเคราขาวซึ่งเป็นกลุ่มนกชายเลนและนกกางนวล แม้จะพบอัตราการพบเชื้อเพียงร้อยละ 0.45 แต่ก็แสดงให้เห็นความสำคัญของนกน้ำในกลุ่มนกเป็ดน้ำ นกยาง นกกาน้ำ และนกชายเลน ต่อวงจรการถ่ายทอดเชื้อไวรัสโคโรนาในธรรมชาติ นกกางแอนบ้าน และนกพิราบป่าเป็นนกที่หากินบนบกที่พบเชื้อไวรัสโคโรนาในการศึกษานี้ โดยที่นกกางแอนบ้าน จัดอยู่ในอันดับนกเกาะคอน (Passeriformes) วงศ์นกกางแอน (Hirundinidae) ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่พบรายงานการพบเชื้อไวรัสโคโรนา แต่มีการพบเชื้อในนกเกาะคอนวงศ์อื่น ๆ เช่น นกกางเขนบ้าน นกกระตีดัดสะโพกขาว และนกกางแอนทรายสีจาง ในขณะที่มีการ

พบไวรัสโคโรนาในนกพิราบมาก่อนในประเทศจีน ประเทศฟินแลนด์ และประเทศโปแลนด์ เป็นต้น

เชื้อไวรัสโคโรนาสามารถพบได้ในสัตว์หลายชนิดรวมทั้งนก โดยพบไวรัสในสกุลแกมมาโคโรนาไวรัส และเดลตาโคโรนาไวรัส มีรายงานการพบเชื้อแกมมาโคโรนาไวรัสในนกหลายชนิด เช่น ไก่ ไก่วง นกพิราบ และนกในกลุ่มเป็ด Wille and Holmes (2020) รายงานการพบแกมมาโคโรนาไวรัส ในเป็ดป่าและเป็ดบ้านที่เลี้ยงเพื่อบริโภคเป็นอาหาร และ Zhigailov *et al.* (2022) พบการติดเชื้อแกมมาโคโรนาไวรัสในกลุ่มนกเป็ดน้ำและนกชายเลนในประเทศคาซัคสถาน (ร้อยละ 22.5) การศึกษานี้พบเชื้อดังกล่าวในเป็ดแดงและนกกางนวลกลบเคราขาว แต่มีอัตราการติดเชื้อต่ำกว่า (ร้อยละ 3.26 และ 1.42 ตามลำดับ) มีรายงานการพบเชื้อเดลตาโคโรนาไวรัสในกลุ่มนกเกาะคอนรวมถึงกลุ่มนกเป็ดน้ำและนกชายเลนด้วยเช่นกัน การศึกษานี้พบเชื้อเดลตาโคโรนาไวรัสในนกพิราบ นกยางควายนกยางเป็ย และนกกาน้ำปากยาว ซึ่งเป็นเชื้อที่มีความคล้ายคลึงกับไวรัสที่พบในนกเกาะคอนชนิดอื่น เช่น นกกางเขนบ้านและนกกระตีดัดสะโพกขาว และยังคงคล้ายคลึงกับไวรัสที่พบจากสุกรในประเทศจีนในระดับต่ำกว่าการศึกษาของ Chamings *et al.* (2018) ในประเทศออสเตรเลียพบเชื้อไวรัสทั้ง 2 สกุล เช่นเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ ที่พบทั้งเชื้อแกมมาโคโรนาและเดลตาไวรัสในกลุ่มนกชายเลน ขณะที่ในกลุ่มนกเป็ดน้ำพบเฉพาะเชื้อแกมมาโคโรนาไวรัสและนกกางนวลพบเชื้อเดลตาโคโรนาไวรัสเท่านั้น แม้ว่าเชื้อเดลตาโคโรนาไวรัสจะเป็นเชื้อที่พบได้ในกลุ่มนกเกาะคอนรวมถึงนกกางแอนบ้านที่พบในการศึกษานี้ แต่การศึกษาของ Zhigailov *et al.* (2022) ก็พบว่านกกางแอนสีจางสามารถพบเชื้อแกมมาโคโรนาไวรัสได้เช่นกัน

ในกลุ่มนกที่ตรวจพบเชื่อนั้นนกพิราบและนกกางแอนบ้านเป็นกลุ่มนกที่อาศัยอยู่ใกล้ชุมชน (Synanthropic species) ซึ่งมีพฤติกรรมที่สัมพันธ์กับกิจกรรมที่เกิดจากคนและอาจรวมถึงการสัมผัสใกล้ชิดกับ

คนและสัตว์เลี้ยงด้วย (Marchenko *et al.*, 2022) นักส่วนใหญ่ในอันดับนกเป็ดน้ำและนกชายเลนที่พบเชื้อโคโรนาไวรัสได้เป็นกลุ่มนกที่มีการอพยพในระยะไกล เช่น ในเส้นทางการอพยพเอเชียตะวันออก-ออสเตรเลีย (East Asian–Australasian Flyway) (Miyabashi and Mundkur, 1999) อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้พบว่า มีเพียงนกนางนวลแกลบเคราขาวเท่านั้นที่เป็นกลุ่มนกอพยพระยะทางไกล แต่นกน้ำชนิดอื่น เช่น นกในกลุ่มนกยางขาวและนกนางน้ำก็มีการเคลื่อนย้ายประชากรระหว่างแหล่งหากินในประเทศและมีโอกาสที่จะนำเชื้อไปสู่พื้นที่ต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ อัตราการพบเชื้อในกลุ่มนกที่หากินในประเทศตลอดทั้งปีสูงกว่าในกลุ่มนกอพยพระยะไกล แสดงถึงความเป็นไปได้ในการถ่ายทอดเชื้อไวรัสภายในประชากรนกกลุ่มนี้ที่มีบทบาทสำคัญต่อการกระจายเชื้อในพื้นที่

นกหลายชนิดที่ถิ่นการกระจายกว้างและมีจำนวนประชากรหนาแน่นมักอาศัยหากิน และพักผ่อนรวมกันเป็นฝูงขนาดใหญ่ อีกทั้งยังมีพฤติกรรมในการขับถ่ายและหากินในแหล่งเดียวกัน เช่น นกยางควาย และนกนางน้ำปากยาว การที่พบเชื้อไวรัสโคโรนาจากสวอบของทวารร่วมในกลุ่มนกน้ำที่เกาะพักผ่อนเป็นโคลนนี้ อาจทำให้มีการแพร่กระจายเชื้อในแนวตั้งผ่านมูลของนกตัวที่อยู่สูงกว่า รวมถึงการปนเปื้อนของเชื้อในสิ่งแวดล้อมบริเวณที่พักผ่อนได้ จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าพื้นที่ที่พบไวรัสโคโรนาเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่ในจังหวัดบุรีรัมย์ อุตรดิตถ์ พื้นที่นาเกลือในจังหวัดสมุทรสาคร และแหล่งชุมชนในจังหวัดน่าน ฉะเชิงเทรา และสระแก้ว เป็นพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์โดยคนและสัตว์ชนิดอื่น การพบไวรัสโคโรนาจากนกในพื้นที่ดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงโอกาสในการถ่ายทอดเชื้อในพื้นที่ที่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างนกในธรรมชาติ สัตว์เลี้ยง และคน จึงควรศึกษาบทบาทของนกในการรับและถ่ายทอดเชื้อในพื้นที่ดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง

ไวรัสโคโรนาของนกที่พบในการศึกษานี้แตกต่างจากแกมมาโคโรนาไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคหลอดลม

อักเสบ (Infectious Bronchitis Virus: IBV) ที่ก่อให้เกิดการสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ปีกและมีรายงานว่าโรคนี้อาจแพร่สู่ชนิดอื่นที่ไม่ใช่ไก่ได้ (Cavanagh, 2007) ขณะที่เชื้อเดลตาโคโรนาไวรัสเป็นไวรัสที่สามารถติดเชื้อได้ในนกและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหลายชนิด (Vlasova *et al.*, 2021) บางชนิดสามารถก่อโรครุนแรงในสุกร ไวรัสโคโรนาที่มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อมีการเปลี่ยนโฮสต์ จึงควรติดตามความเสี่ยงของการถ่ายทอดเชื้อข้ามโฮสต์นี้ และควรศึกษาบทบาทของนกต่อโอกาสในการรับและถ่ายทอดเชื้อในวงจรการเลี้ยงสัตว์ปีก สุกร และสัตว์อื่น ๆ เพื่อเข้าใจวงจรการถ่ายทอดเชื้อและป้องกันการเกิดการระบาดต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การสำรวจไวรัสโคโรนาในนกธรรมชาติระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 – เดือนกันยายน พ.ศ. 2565 จากนก 24 ชนิด รวม 265 ตัว พบเชื้อไวรัสโคโรนา ร้อยละ 6.03 โดยพบเชื้อไวรัสทั้งกลุ่มแกมมาโคโรนาไวรัสและเดลตาโคโรนาไวรัส นกในกลุ่มนกน้ำ เช่น นกเป็ดน้ำ นกชายเลน นกนางน้ำ และนกยาง เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญที่สามารถพบเชื้อไวรัสโคโรนาได้ ขณะที่สามารถพบเชื้อได้ในนกที่อาศัยใกล้ชิดชุมชน เช่น นกพิราบป่าและนกนางแอ่นบ้าน นักส่วนใหญ่เป็นนกที่รวมฝูงอย่างหนาแน่นและอาศัยในพื้นที่ที่มีโอกาสสัมผัสกันกับคนและสัตว์เลี้ยงชนิดอื่น นกบางชนิดเป็นนกอพยพระยะไกล หรือนกที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีโอกาสสัมผัสกับนกอพยพและสามารถแพร่เชื้อถึงกันได้ การพบเชื้อในนกเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญในการเฝ้าติดตามการแพร่เชื้อ และปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างนกประจำถิ่นในธรรมชาติ นกอพยพ สัตว์เลี้ยง และคน เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการศึกษาวงจรการถ่ายทอดเชื้อ และเฝ้าระวังการระบาดของโรคที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของงานวิจัยฉบับนี้เกิดขึ้นได้จากการสนับสนุนของหน่วยงานต่าง ๆ ได้แก่ กลุ่มงานวิจัยสัตว์ป่า สถานีวิจัยสัตว์ป่าดอยเชียงดาว สถานีวิจัยสัตว์ป่าฝั่งบอระเพ็ด สถานีวิจัยสัตว์ป่าภูหลวง สถานีวิจัยสัตว์ป่าฉะเชิงเทรา สถานีวิจัยสัตว์ป่าคลองแสง และสถานีวิจัยสัตว์ป่าพรุ-ป่าหาลาบาลา ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างนก ศูนย์โรคอุบัติใหม่ด้านคลินิก โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย ที่ให้การสนับสนุนในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง รวมไปถึงกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และนายสัตวแพทย์ไพศัลป์ เล็กเจริญ ที่ให้คำแนะนำและแก้ไขการเขียนผลการศึกษฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

- BungBoraphet Wildlife Research Station. 2019. **Ringling and Banding Studies of Migratory Shorebirds of Thailand.** pp. 30-53. *In Annual Report.* Bangkok: Wildlife Research Division, Wildlife Conservation Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. [in Thai]
- Cavanagh, D. 2007. Coronavirus avian infectious bronchitis virus. **Veterinary Research** 38: 281-297.
- Chamings, A., T.M. Nelson, J. Vibin, M. Wille, M. Klaassen and S. Alexandersen. 2018. Detection and characterisation of coronaviruses in migratory and non-migratory Australian wild birds. **Scientific Reports** 8(5980): 1-10.
- Chu, D.K.W., C.Y.H. Leung, M. Gilbert, P.H. Joyner., E.M. Ng, T.M. Tse, Y. Guan, J.S.M. Peiris and L.L.M. Poon. 2011. Avian coronavirus in wild aquatic birds. **Journal of Virology** 85(23): 12815-12820.
- Kim, H.R. and J.K. Oem. 2014. Surveillance of avian coronaviruses in wild bird populations of Korea. **Journal of Wildlife Diseases** 50(4): 964-968.
- Marchenko, V., A. Danilenko, N. Kolosova, M. Bragina, M. Molchanova, Y. Bulanovich, V. Gorodov, S. Leonov, A. Gudymo, G. Onkhonova, S. Svyatchenko and A. Ryzhikov. 2022. Diversity of gammacoronaviruses and deltacoronaviruses in wild birds and poultry in Russia. **Scientific Reports** 12(19412): 1-12.
- Mitek, J. and K. Blicharz-Domanska. 2018. Coronaviruses in avian species – review with focus on epidemiology and diagnosis in wild birds. **Journal of Veterinary Research** 62: 249-255.

- Miyabayashi, Y. and T. Mundkur. 1999. **Atlas of key sites for Anatidae in the East Asian flyway**. [Online]. Available <https://www.wetlands.org/wp-content/uploads/2015/11/Key-sites-of-the-Anatidae-in-the-East-Asian-Flyway.pdf> (August 20, 2024).
- The Monitoring and Surveillance Center for Zoonotic Diseases in Wildlife and Exotic Animals. 2018. **Animal Samples Collection and Processing for Laboratory Diagnosis**. Bangkok: Faculty of Veterinary Science, Mahidol University. 40 p. [in Thai]
- Vlasova, A.N., S.P. Kenney, K. Jung, Q. Wang and L. J.Saif. 2021. Deltacoronavirus evolution and transmission: current scenario and evolutionary perspectives. **Sec. Veterinary Infectious Disease** 7(2020): 1-8.
- Wille, M. and E.C. Holmes. 2020. Wild birds as reservoirs for diverse and abundant gamma- and deltacoronaviruses. **FEMS Microbiology Reviews** 40(5): 631-644.
- Xiu, L., R.A. Binder, N.A. Alarja, K. Kocheck, K.K. Coleman, S.T. Than, E.S. Bailey, V.N. Bui, T.H. Toh, D.D. Erdman and G.C. Gray. 2020. A RT-PCR assay for the detection of coronaviruses from four genera. **Journal of Clinical Virology** 128(104391): 1-7.
- Zhigailov, A.V., E.R. Maltseva, Y.V. Perfilyeva, Y.O. Ostapchuk, D.A. Naizabayeva, Z.A. Berdygulova, S.A. Kuatbekova, A.S. Nizkorodova, A. Mashzhan, A.E. Gavrilov, A.Z. Abayev, I.A. Akhmetollayev, S.M. Mamadaliyev and Y.A. Skiba. 2022. Prevalence and genetic diversity of coronaviruses, astroviruses and paramyxoviruses in wild birds in southeastern Kazakhstan. **Heliyon** 8(11): e11324. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e11324.

ต้นทุนและผลตอบแทนการปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียน ในพื้นที่อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง Cost and Return of Palian Pepper Cultivation in Palian District, Trang Province

นภัศวรณ เลี่ยมนิมิตร¹ และรัตนา อุ๋นจันท์^{2*}
Napassawan Liamnimitr¹ and Rattana Unjan^{2*}

¹หลักสูตรพืชศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80110

²หลักสูตรธุรกิจเกษตร สาขาเกษตรประยุกต์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80110

¹Plant Science Program, Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology
Srivijaya Nakhon Si Thammarat, Thailand 80110

²Agribusiness Programs, Applied Agriculture Branch, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya
Nakhon Si Thammarat, Thailand 80110

*Corresponding author: rattana.u@rmutsv.ac.th

Received: August 17, 2022

Revised: August 09, 2024

Accepted: August 29, 2024

Abstract

The purpose of this research was to study Palian pepper cultivation system, cost and return. The goal was to benefit planning efforts for promoting the cultivation of Palian pepper in Palian district, Trang province, and other areas with similar physical, economic, and social characteristics, to advance their agricultural development. Data were gathered through interviews. This research enlisted the participation of 21 particular farmer target groups. The collected data were analyzed using basic descriptive statistics such as percentage, mean, and standard deviation. The research results revealed that the majority of farmers were female, with an average age of 55.33 years. Most had completed a Bachelor's degree or higher. The average household had 3.61 members, with 1.95 members involved in agriculture. The average monthly income was 18,095.23 Baht, and the average household debt was 374,117.64 Baht. The majority of the farmers were members of the Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives (BAAC). They received agricultural news from television and followed agricultural news daily. Regarding the Palian pepper variety planting system, it was found that farmers had an average of 2.57 years of experience in growing peppers. They had an average total landholding of 10.52 rai, with 1.71 rai dedicated to pepper cultivation. The initial seed source came from within the village, and the peppers were primarily grown for sale. However, the farmers had never received training on pepper cultivation. The planting method was monoculture, using cuttings for propagation. They used concrete poles for support, planting at a distance of 2x2 meters, with an average of 1.85 plants per pole. Groundwater was used for irrigation, and no soil nutrient analysis was conducted. Organic fertilizer was mostly used. The first harvest occurred an average of 13.50 months after planting, with subsequent

harvests occurring every 3.50 months on average. Initial expenses on farm input to set up the new plot (less than 1 year old) was averaged at 85,565.48 Baht per rai. The average yield after the first harvest (1 year or older) was 127.50 kilograms of dried peppers per rai. The average selling price was 400 Baht per kilogram, resulting in an average product value of 48,640.00 Baht per rai. The average variable cost was 2,123.59 Baht per rai, and the average fixed cost was 2.17 Baht per rai. The average net income was 46,948.00 Baht per rai, and the average net profit was 46,911.00 Baht per rai. Despite the lower dry yield of the Palian pepper variety compared to other varieties like the Salawak in Chanthaburi and Rayong provinces, farmers received relatively better prices than in other areas. They also used production factors, especially fertilizers, focusing on organic fertilizers which were cheaper than chemical fertilizers and ensured consumer safety. Therefore, promoting peppers production should focus on reducing costs and enhancing farmers' knowledge of scientific production principles to address the problems they face.

Keywords: Palian pepper, cost and return

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบการปลูกพริกไทยสายพันธุ์ปะเหลียน ต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตพริกไทยพันธุ์ปะเหลียน เพื่อประโยชน์สำหรับการวางแผนในส่งเสริมการปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียนในพื้นที่อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง และพื้นที่อื่นที่มีลักษณะทางกายภาพ เศรษฐกิจ และสังคม คล้ายคลึงกัน ให้ก้าวหน้าขึ้น โดยรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมายเกษตรกรแบบเฉพาะเจาะจง จำนวน 21 ราย และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐานเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีอายุเฉลี่ย 55.33 ปี จบการศึกษาในระดับปริญญาตรีหรือสูงกว่า มีสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 3.61 คน ทำการเกษตรเฉลี่ย 1.95 คน รายได้เฉลี่ย 18,095.23 บาทต่อเดือน มีหนี้สินเฉลี่ย 374,117.64 บาทต่อครัวเรือน ส่วนใหญ่เป็นสมาชิกธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (ธ.ก.ส.) มีการรับรู้ข่าวสารเกี่ยวกับการเกษตรจากโทรทัศน์ และมีการติดตามข่าวสารเกี่ยวกับการเกษตรทุกวัน ระบบ

การปลูกพริกไทยสายพันธุ์ปะเหลียนของเกษตรกรนั้นพบว่า เกษตรกรมีประสบการณ์ในการปลูกพริกไทยมาแล้วเฉลี่ย 2.57 ปี มีพื้นที่ถือครองทั้งหมดเฉลี่ย 10.52 ไร่ เป็นพื้นที่ปลูกพริกไทยเฉลี่ย 1.71 ไร่ แหล่งพันธุ์เริ่มต้นปลูกครั้งแรกได้มาจากในหมู่บ้าน ปลูกเพื่อจำหน่ายเป็นหลัก แต่ไม่เคยผ่านการอบรมความรู้เกี่ยวกับการปลูกพริกไทยมาก่อน ลักษณะการปลูกเป็นเชิงเดี่ยว ต้นพันธุ์ใช้การปักชำ มีการใช้ค้ำเสาปูน ปลูกระยะ 2x2 เมตร เฉลี่ย 1.85 ต้นต่อค้าง ใช้แหล่งน้ำบาดาล ไม่มีการวิเคราะห์ธาตุอาหารดิน ใส่ปุ๋ยอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งแรกหลังปลูกเฉลี่ย 13.50 เดือน และเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งต่อไปเฉลี่ย 3.50 เดือน การใช้ปัจจัยการผลิตในกรณีปลูกสร้างแปลงพริกไทยใหม่ (อายุไม่เกิน 1 ปี) มีต้นทุนทั้งหมดเฉลี่ย 85,565.48 บาทต่อไร่ กรณีแปลงพริกไทยที่ให้ผลผลิตแล้ว (อายุ 1 ปีขึ้นไป) มีผลผลิตเฉลี่ย 127.50 กิโลกรัมแห้งต่อไร่ ราคาจำหน่ายเฉลี่ย 400 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่าผลผลิตเฉลี่ย 48,640.00 บาทต่อไร่ ต้นทุนผันแปรเฉลี่ย 2,123.59 บาทต่อไร่ ต้นทุนคงที่เฉลี่ย 2.17 บาทต่อไร่ รายได้สุทธิเฉลี่ย 46,948.00 บาทต่อไร่ และกำไรสุทธิ

เฉลี่ย 46,911.00 บาทต่อไร่ ถึงแม้จะให้ผลผลิตแห้งน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสายพันธุ์อื่น เช่น พันธุ์ซาลาวัค ของพื้นที่การผลิตจังหวัดจันทบุรีและระยอง แต่เกษตรกรได้รับราคาที่ค่อนข้างดีกว่าราคาในพื้นที่อื่น ๆ และใช้ปัจจัยการผลิต โดยเฉพาะปุ๋ยที่เน้นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีต้นทุนต่ำกว่าปุ๋ยเคมี และสร้างความปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภค ดังนั้นจึงต้องมีการส่งเสริมการผลิตหรือปลูกพริกในวิธีการดังกล่าวเพื่อลดต้นทุน และเพิ่มองค์ความรู้ในการผลิตตามหลักวิชาการให้แก่เกษตรกรตามปัญหาที่ประสบ

คำสำคัญ: พริกไทยสายพันธุ์ปะเหลียน ต้นทุนและผลตอบแทน

คำนำ

พริกไทยเป็นพืชเมืองร้อน ถิ่นกำเนิดเดิม คือ อินเดีย ต่อมาได้กระจายพันธุ์สู่ประเทศพม่า พริกไทยจัดเป็นประเภทเครื่องเทศและสมุนไพร มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Piper nigrum* Linn. วงศ์ Piperaceae พริกไทยเป็นต้นไม้ที่มีอายุยืน จัดอยู่ในประเภทไม้เลื้อย สูงประมาณ 5 เมตร ลักษณะของลำต้นจะเป็นข้อ ๆ ลักษณะของใบพริกไทยจะมีสีเขียวสด ใบใหญ่คล้ายใบโพ ส่วนลักษณะของดอกพริกไทยจะมีขนาดเล็ก ออกช่อตรงข้อของลำต้น มีลักษณะเป็นพวง ซึ่งจะมีเมล็ดกลม ๆ ติดกันอยู่เป็นพวง มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย บริเวณเทือกเขาทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ สำหรับประเทศไทยพริกไทยถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง นิยมปลูกพริกไทยกันมากในจังหวัดจันทบุรี ตราด และระยอง (Chanthaburi Horticultural Research Center, 2015) โดยสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตพริกไทยดำแห้งของพันธุ์ซาลาวัค ที่ผลิตในพื้นที่ ดังกล่าว ได้ ประมาณ 500-600 กก./ไร่ (Chingduang, 2012; Khaenamkhaew, 2018)

สำหรับพริกไทยพันธุ์ปะเหลียนนั้นเดิมพ่อค้าชาวจีนนำมาปลูกที่ตำบลทุ่งยาว และตำบลหงษ์สตาร์ อำเภอ

ปะเหลียน จังหวัดตรัง ลักษณะเด่นของพริกไทยพันธุ์ปะเหลียน คือ กลิ่นหอม เผ็ดร้อน สีเข้ม ค่อนข้างป้อม ใบหนา ผลแก่สีแดงเข้ม ในอดีตจังหวัดตรังได้ชื่อว่าปลูกพริกไทยได้มากจนเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้สูง และเป็นที่ยอมรับในกลุ่มชาวต่างประเทศว่าพริกไทยตรังมีคุณภาพดีเยี่ยม โดยมีชื่อว่า Trang pepper เป็นที่รู้จักกันทั่วไปในตลาดยุโรป พริกไทยพันธุ์ปะเหลียนปลูกมากทางภาคใต้ของประเทศไทย และถูกนำไปปลูกและขยายพันธุ์ที่จังหวัดจันทบุรีและจังหวัดใกล้เคียง ปัจจุบันพริกไทยในประเทศไทยมีอยู่ 4 สายพันธุ์ 1) พริกไทยสายพันธุ์ปะเหลียน 2) พริกไทยสายพันธุ์จันทบุรี 3) พริกไทยสายพันธุ์มาเลเซียและซาลาวัค และ 4) พริกไทยสายพันธุ์สีลอน ปัจจุบันยังมีชาวบ้านปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียน อยู่บ้าง เกษตรกรที่ปลูกพริกไทยจะมีรายได้สูงกว่าการปลูกพืชชนิดอื่น ๆ แต่พบว่าเกษตรกรเพียงร้อยละ 30 เท่านั้นที่ปลูกพริกไทยพันธุ์นี้ (Nonsi, 1988)

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบการปลูกพริกไทยสายพันธุ์ปะเหลียน และศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนการปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียน ในพื้นที่อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง เพื่อเป็นประโยชน์ในการวางแผนส่งเสริมการปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียน ในพื้นที่อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง ที่เป็นแหล่งผลิตเอกลักษณ์และที่มาของสายพันธุ์ ตลอดจนพื้นที่อื่นที่มีลักษณะทางกายภาพ เศรษฐกิจ และสังคม คล้ายคลึงกันให้ก้าวหน้าขึ้น อันจะนำไปสู่การพัฒนามูลค่าทางเศรษฐกิจในการผลิตพริกไทย ตลอดจนเป็นการอนุรักษ์พันธุ์กรรมและส่งเสริมการปลูกพริกไทยสายพันธุ์ปะเหลียน เพราะพริกไทยสายพันธุ์นี้เป็นพืชพื้นเมืองของจังหวัดตรัง และเป็นเครื่องเทศที่มีเอกลักษณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นที่ต้องการของตลาดในประเทศ โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) ศึกษากระบวนการปลูกพริกไทยสายพันธุ์ปะเหลียน ในพื้นที่อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง และ 2) ศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนการปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียน ในพื้นที่อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา

ประชากรที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ คือ เกษตรกรผู้ปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียน ในพื้นที่อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง และกำหนดกลุ่มตัวอย่างในครั้งนี้ คือ เกษตรกรผู้ปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียนทั้งหมด จำนวน 21 ราย เป็นการสุ่มเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) ทั้งนี้เกษตรกรที่เลือกเป็นกลุ่มเป้าหมาย เป็นเกษตรกรที่ปลูกพริกไทยสายพันธุ์ปะเหลียนเป็นอาชีพที่สร้างรายได้ และตั้งใจที่จะอนุรักษ์พันธุ์ของพื้นที่ไว้

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง (Structure interviews) จำนวน 1 ชุด เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วยข้อคำถาม แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

- ส่วนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของเกษตรกร
- ส่วนที่ 2 ระบบการปลูกพริกไทยสายพันธุ์ปะเหลียน
- ส่วนที่ 3 ข้อมูลต้นทุนและผลตอบแทน
- ส่วนที่ 4 ปัญหาและอุปสรรคในการปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูล 2 ประเภท คือ 1) ข้อมูลทุติยภูมิที่ได้มีการรวบรวมไว้แล้วจากแหล่งต่าง ๆ อาทิเช่น ข้อมูลทางวิชาการ เอกสารงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องข้อง เป็นต้น และ 2) ข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการลงพื้นที่เข้าถึงในพื้นที่อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง โดยใช้แบบสอบถามที่ผ่านการทดสอบความเชื่อมั่นในการเก็บรวบรวมจาก

กลุ่มตัวอย่าง ซึ่งได้มีการชี้แจงวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยแล้วจึงสัมภาษณ์

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายข้อมูล และจำแนกข้อมูลตามประเภทของต้นทุนและผลตอบแทน (Pongwichai, 2001) สรุปตารางพร้อมคำอธิบาย

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยประกอบด้วยประเด็นต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของเกษตรกร ระบบการปลูกพริกไทยสายพันธุ์ปะเหลียน ต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตพริกไทย ปัญหาและอุปสรรคในการปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียน โดยมีรายละเอียดของแต่ละประเด็น ดังนี้

ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของเกษตรกร

เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 57.10) มีอายุเฉลี่ย 55.33 ปี จบการศึกษาในระดับปริญญาตรีหรือสูงกว่า (ร้อยละ 42.90) มีสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 3.61 คน ทำการเกษตรเฉลี่ย 1.95 คน รายได้เฉลี่ย 18,095.23 บาทต่อเดือน มีหนี้สิน เฉลี่ย 374,117.64 บาทต่อครัวเรือน เกษตรกรส่วนใหญ่ (ร้อยละ 81.00) เป็นสมาชิกกลุ่มหรือสถาบันการเกษตร โดยเป็นสมาชิก ธ.ก.ส. มากที่สุด รับรู้ข่าวสารเกี่ยวกับการเกษตรจากโทรทัศน์ และมีการติดตามข่าวสารเกี่ยวกับการเกษตรทุกวัน (ร้อยละ 47.60) ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Some basic economic and social information of farmers

(N=21)

Variable	Quantity (person)	Percentage	Average	Standard Deviation (S.D.)
Sex				
- Male	9	42.90	-	-
- Female	12	57.10	-	-
Average age (years)	-	-	55.33	11.98
Education level				
- Elementary education	7	33.30	-	-
- Secondary education	5	23.80	-	-
- Bachelor's degree or higher	9	42.90	-	-
Number of household members (person/household)	-	-	3.61	1.49
Agricultural household Members (person/household)	-	-	1.95	0.66
Income (Baht per month)	-	-	18,095.23	9,549.37
Debt situation				
- Yes	17	81.00	-	-
- No	4	19.00	-	-
Amount of debt (Baht per household)	-	-	374,117.64	301,290.11
Membership in agricultural groups or institutions				
- Yes	17	81.00	-	-
- No	4	19.00	-	-

Table 1 (Continued)

Variable	Quantity (person)	Percentage	Average	Standard Deviation (S.D.)
Farmer groups or institutions* (n=17)				
- Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives (BAAC)	17	100.00	-	-
- Palian Agricultural Cooperative	8	47.10	-	-
- Palian Pepper Conservation Group	2	11.76	-	-
Agricultural information channel				
- Television	9	43.70	-	-
- Neighbor	4	17.90	-	-
- Internet	8	38.40	-	-
Agricultural news frequency				
- Every day	10	47.60	-	-
- 3-4 days a week	4	19.00	-	-
- 1-2 days a week	7	33.30	-	-

* Multiple choices allowed

ระบบการปลูกพริกไทยสายพันธุ์ปะเหลียน

เกษตรกรมีประสบการณ์ในการปลูกพริกไทยมาแล้ว เฉลี่ย 2.57 ปี มีพื้นที่ถือครองทั้งหมดเฉลี่ย 10.52 ไร่ เป็นพื้นที่ปลูกพริกไทยเฉลี่ย 1.71 ไร่ แหล่งพันธุ์พริกไทยตอนเริ่มต้นปลูกครั้งแรกได้มาจากในหมู่บ้าน โดยมุ่งเพื่อจำหน่ายเป็นหลัก เกษตรกรไม่เคยผ่านการอบรมความรู้เกี่ยวกับการปลูกพริกไทย เกษตรกรส่วนใหญ่เคยปลูกยาวพารามาก่อนปลูกพริกไทย ลักษณะการปลูก

พริกไทยเป็นเชิงเดี่ยว ลักษณะของต้นพันธุ์ที่ใช้ปลูกเป็นการปักชำ (ร้อยละ 81.00) มีการใช้ค้างเสาปูน ปลูกระยะ 2x2 เมตร จำนวนต้นพริกไทย เฉลี่ย 1.85 ต้นต่อค้าง ใช้แหล่งน้ำบาดาล ไม่มีการวิเคราะห์ธาตุอาหารดิน ใส่ปุ๋ยอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ เกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งแรกหลังปลูกเฉลี่ย 13.50 เดือน และเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งต่อไปหลังปลูกเฉลี่ย 3.50 เดือน ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Planting system for Palian pepper varieties

(N =21)

Variable	Quantity (person)	Percentage	Average	Standard Deviation (S.D.)
Experience in growing pepper (years)	-	-	2.57	1.63
Total holding area (rai)	-	-	10.52	14.56
Pepper planting area (rai)	-	-	1.71	1.10
Origin of pepper varieties				
- From the village	10	55.00	-	-
- Agricultural cooperatives	11	45.00	-	-
Reasons for growing pepper				
- Sales focus	18	85.71	-	-
Objectives for growing pepper				
- Sales focus	21	100.00	-	-
- Household labor utilization preference	16	76.19	-	-
- Additional income	11	52.38	-	-
Pepper cultivation training				
- No training received	12	57.10	-	-
- Received training	9	42.90	-	-
Previous land use				
- Oil palm	9	42.90	-	-
- Rubber	12	57.10	-	-
Characteristics of pepper cultivation				
- Monoculture	21	100.00	-	-
Planting characteristics				
- Grafted shoots	4	19.00	-	-
- Cuttings	17	81.00	-	-

Table 2 (Continued)

Variable	Quantity (person)	Percentage	Average	Standard Deviation (S.D.)
Number of plants per stand (average)	-	-	1.85	0.35
Pepper water source	-	-	-	-
- Rainwater	1	4.80	-	-
- Pool water	9	42.90	-	-
- Groundwater	11	52.40	-	-

* Multiple choices allowed

ต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตพริกไทย	57,269.64 บาทต่อไร่ ประกอบด้วย ค่าพันธุ์เฉลี่ย
ต้นทุนและผลตอบแทน กรณีปลูกสร้างแปลงพริกไทยใหม่	38,185.98±17,486.49 บาทต่อไร่ ค่าปุ๋ยเคมีเฉลี่ย
(อายุไม่เกิน 1 ปี)	1,266.97±975.10 บาทต่อไร่ ค่าปุ๋ยอินทรีย์เฉลี่ย
การใช้ปัจจัยการผลิตในกรณีปลูกสร้างแปลง	355.25±145.70 บาทต่อไร่ ค่าเสาปูนค้ำเฉลี่ย
พริกไทยใหม่ (อายุไม่เกิน 1 ปี) ผลการวิจัยพบว่า มีต้นทุน	45,755.11±38,662.35 บาทต่อไร่ และมีต้นทุนคงที่เฉลี่ย
ทั้งหมดเฉลี่ย 85,565.48±57,270.67 บาทต่อไร่ ใน	2.17±1.03 บาทต่อไร่ ประกอบด้วย ค่าภาษีที่ดินเฉลี่ย
จำนวนดังกล่าวแยกเป็นต้นทุนผันแปรเฉลี่ย 85,563.31±	2.17±1.03 บาทต่อไร่ ดังแสดงใน Table 3

Table 3 The utilization of production factors in new pepper plot planting (average/rai/year)

(N=16)

Variable	Average	Standard Deviation
Variable Cost (Baht/rai)	85,563.31	57,269.64
Material and equipment costs (Baht/rai)	-	-
- Pepper varieties	38,185.98	17,486.49
- Chemical fertilizers	1,266.97	975.10
- Organic fertilizers	355.25	145.70
- Cement pillars	45,755.11	38,662.35
Fixed cost (Baht/rai)	2.17	1.03
- Land tax	2.17	1.03
Total cost (Baht/rai)	85,565.48	57,270.67

ต้นทุนและผลตอบแทน กรณีแปลงพริกไทยที่ให้ผลผลิตแล้ว (อายุ 1 ปีขึ้นไป)

การใช้ปัจจัยการผลิต ผลผลิต และรายได้ ในกรณีแปลงพริกไทยที่ให้ผลผลิตแล้ว (อายุ 1 ปีขึ้นไป) ผลการวิจัยพบว่า ผลผลิตพริกไทยแห้งเฉลี่ย 127.50 ± 2.30 กิโลกรัมต่อไร่ ราคาจำหน่ายเฉลี่ย 400.00 ± 0.00 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่าผลผลิตเฉลี่ย 48,640.00 ± 920.86 บาทต่อไร่ มีต้นทุนผันแปรเฉลี่ย 2,123.59 ± 1,364.64 บาทต่อไร่ ประกอบด้วย ค่าปุ๋ยเคมีเฉลี่ย

1,289.12 ± 995.15 บาทต่อไร่ ค่าปุ๋ยอินทรีย์เฉลี่ย 384.27 ± 182.11 บาทต่อไร่ ค่าจ้างตัดหญ้าเฉลี่ย 450.20 ± 187.38 บาทต่อไร่ และมีต้นทุนคงที่เฉลี่ย 2.17 ± 1.03 บาทต่อไร่ ประกอบด้วย ค่าภาษีที่ดินเฉลี่ย 2.17 ± 1.03 บาทต่อไร่ จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น เมื่อคำนวณผลตอบแทนพริกไทยแห้งพันธุ์ปะเหลียน พบว่า รายได้สุทธิเฉลี่ย 46,948.00 ± 1,227.65 บาทต่อไร่ และมีกำไรสุทธิเฉลี่ย 46,911.00 ± 1,209.48 บาทต่อไร่ ดังแสดงใน Table 4

Table 4 The utilization of production factors, outputs, and income in the yielded pepper plots (average/rai/year)

Variable	Average	Standard Deviation
Variable cost (Baht/rai)	2,123.59	1,364.64
Material and equipment costs (Baht/rai)	-	-
- Chemical fertilizers	1,289.12	995.15
- Organic fertilizers	384.27	182.11
Wage (Baht/rai)	-	-
- The cost of mowing the lawn	450.20	187.38
Fixed cost (Baht/rai)	2.17	1.03
- Land tax	2.17	1.03
Dry pepper yield (Kg/ rai)	127.50	2.30
Price of dried pepper (Baht/kg)	400.00	0.00
Value of dried pepper (Baht/rai)	48,640.00	920.86
Net income (Baht/rai)	46,948.00	1,227.65
Net profit (Baht/rai)	46,911.00	1,209.48

ปัญหาและอุปสรรคในการปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียน

ปัญหาและอุปสรรคในการปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียนทั้งหมด (ร้อยละ 100.00) ขาดความรู้ในการผลิตตามหลักวิชาการ ซึ่งทั้งหมดยังไม่เคยได้รับความรู้ โดยเฉพาะจากการอบรมให้ความรู้จากแหล่งต่าง ๆ

วิจารณ์ผลการวิจัย

การส่งเสริมการปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียนเพื่อเพิ่มมูลค่าทางด้านเศรษฐกิจ ในพื้นที่อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง สามารถนำมาอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

ระบบการปลูกพริกไทยสายพันธุ์ปะเหลียน

ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรมีประสบการณ์ในการปลูกพริกไทยมาแล้ว เฉลี่ย 2.57 ปี มีพื้นที่ถือครองทั้งหมดเฉลี่ย 10.52 ไร่ เป็นพื้นที่ปลูกพริกไทยเฉลี่ย 1.71 ไร่ แหล่งพันธุ์พริกไทยตอนเริ่มต้นปลูกครั้งแรกได้มาจากในหมู่บ้าน โดยมุ่งเพื่อจำหน่ายเป็นหลัก เกษตรกรไม่เคยผ่านการอบรมความรู้เกี่ยวกับการปลูกพริกไทย เกษตรกรส่วนใหญ่เคยปลูกยางพารามาก่อนปลูกพริกไทย ลักษณะการปลูกพริกไทยเป็นเชิงเดี่ยว ลักษณะของต้นพันธุ์ที่ใช้ปลูกเป็นการปักชำ มีการใช้ค้ำเสาปูน ปลูกระยะ 2x2 เมตร จำนวนต้นพริกไทย เฉลี่ย 1.85 ต้นต่อค้ำ ใช้แหล่งน้ำบาดาล ไม่มีการวิเคราะห์ธาตุอาหารดิน ใส่ปุ๋ยอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ เกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งแรกหลังปลูกเฉลี่ย 13.50 เดือน และเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งต่อไปหลังปลูก เฉลี่ย 3.50 เดือน ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการปลูกพริกไทยในพื้นที่อื่น ๆ เช่น การปลูกในจังหวัดพิษณุโลก จันทบุรี และระยอง ดังการศึกษาของ Chingduang (2012) ที่ได้วิจัยและพัฒนาการผลิตพริกไทยเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน โดยการปลูกพริกไทยของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลกส่วนใหญ่มีพื้นที่ปลูกน้อยกว่า 1 ไร่ และใช้ระยะปลูก 2x2 เมตร ใช้จำนวนกิ่งพันธุ์ 2 กิ่งต่อค้ำ และแตกต่างกับในจังหวัดจันทบุรีและระยอง

ที่เกษตรกรใช้พื้นที่ในการปลูกมากกว่า 5 ไร่ ลักษณะของดินที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นดินร่วน มีความลาดชันไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์ ต้นพริกไทยที่เกษตรกรปลูกในพื้นที่ส่วนใหญ่มีอายุ 5-10 ปี โดยปลูกพริกไทย 400 ค้ำต่อไร่ พันธุ์พริกไทยที่ใช้ปลูกจังหวัดพิษณุโลกเป็นพันธุ์ซีลอน ส่วนจังหวัดจันทบุรีและระยองเป็นพันธุ์ซาลาวัวค การให้น้ำเป็นระบบลากสายยางรด

ซึ่งลักษณะการปลูกพริกไทยของแต่ละพื้นที่เลือกใช้พันธุ์พริกไทยที่มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่นั้น ๆ เหมาะสมกับสภาพดิน โดยมีระบบการปลูกไม่ได้แตกต่างกันมากนัก แต่สภาพภูมิศาสตร์กายภาพของพื้นที่ที่แตกต่างกัน อาจจะส่งผลต่อผลผลิตของแต่ละพื้นที่ ขณะเดียวกันประสบการณ์ความชำนาญ และความรู้ ก็มีส่วนสำคัญในการผลิตให้ได้คุณภาพและปริมาณที่สูงขึ้น

ต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตพริกไทย

การใช้ปัจจัยการผลิตในกรณีปลูกสร้างแปลงพริกไทยใหม่ (อายุไม่เกิน 1 ปี) ผลการวิจัยพบว่า มีต้นทุนทั้งหมดเฉลี่ย $85,565.48 \pm 57,270.67$ บาทต่อไร่ ในจำนวนดังกล่าวแยกเป็นต้นทุนผันแปรเฉลี่ย $85,563.31 \pm 57,269.64$ บาทต่อไร่ ประกอบด้วย ค่าพันธุ์เฉลี่ย $38,185.98 \pm 17,486.49$ บาทต่อไร่ ค่าปุ๋ยเคมีเฉลี่ย $1,266.97 \pm 975.10$ บาทต่อไร่ ค่าปุ๋ยอินทรีย์เฉลี่ย 355.25 ± 145.70 บาทต่อไร่ ค่าเสาปูนค้ำเฉลี่ย $45,755.11 \pm 38,662.35$ บาทต่อไร่ และมีต้นทุนคงที่เฉลี่ย 2.17 ± 1.03 บาทต่อไร่ ประกอบด้วย ค่าภาษีที่ดินเฉลี่ย 2.17 ± 1.03 บาทต่อไร่

การใช้ปัจจัยการผลิต ผลผลิต และรายได้ ในกรณีแปลงพริกไทยที่ให้ผลผลิตแล้ว (อายุ 1 ปีขึ้นไป) ผลการวิจัยพบว่า ผลผลิตพริกไทยแห้งเฉลี่ย 127.50 ± 2.30 กิโลกรัมต่อไร่ ราคาจำหน่ายเฉลี่ย 400.00 ± 0.00 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่าผลผลิตเฉลี่ย $48,640.00 \pm$

920.86 บาทต่อไร่ มีต้นทุนผันแปรเฉลี่ย $2,123.59 \pm 1,364.64$ บาทต่อไร่ ประกอบด้วย ค่าปุ๋ยเคมีเฉลี่ย $1,289.12 \pm 995.15$ บาทต่อไร่ ค่าปุ๋ยอินทรีย์เฉลี่ย 384.27 ± 182.11 บาทต่อไร่ ค่าจ้างตัดหญ้าเฉลี่ย 450.20 ± 187.38 บาทต่อไร่ และมีต้นทุนคงที่เฉลี่ย 2.17 ± 1.03 บาทต่อไร่ ประกอบด้วย ค่าภาษีที่ดินเฉลี่ย 2.17 ± 1.03 บาทต่อไร่ จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น เมื่อคำนวณผลตอบแทนพริกไทยแห่งพันธุ์ปะเหลียน พบว่า รายได้สุทธิเฉลี่ย $46,948.00 \pm 1,227.65$ บาทต่อไร่ และมีกำไรสุทธิเฉลี่ย $46,911.00 \pm 1,209.48$ บาทต่อไร่

ซึ่งผลผลิตดังกล่าวหากเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Chingduang (2012) ที่พบว่าผลผลิตของจังหวัดจันทบุรีและระยองเป็นพันธุ์ซาลาวัด ให้ผลผลิตพริกสดต่อไร่ คือ 2,000-3,000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับพริกไทยสด 100 กก. จะได้เมล็ดพริกไทยดำ 33 กก. หรือในอัตราส่วนที่ 3:1 ซึ่งผลผลิตพริกไทยดำแห่งที่ได้ประมาณ 500-600 กก./ไร่ (Department of Agricultural Extension, 2021) ซึ่งการผลิตในพื้นที่อำเภอปะเหลียนยังถือได้ว่ามีผลผลิตค่อนข้างน้อยกว่าพื้นที่อื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตาม เกษตรกรได้รับราคาที่ค่อนข้างดีกว่าราคาในพื้นที่อื่น ๆ และใช้ปัจจัยการผลิตโดยเฉพาะปุ๋ยที่เน้นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีต้นทุนต่ำกว่าปุ๋ยเคมี และสร้างความปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภค ดังนั้นจึงต้องมีการส่งเสริมการผลิตหรือปลูกพริกในวิธีการดังกล่าว เพื่อลดต้นทุน ขณะเดียวกันต้องส่งเสริมการปลูกให้ถูกหลักทางวิชาการและเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยเห็นว่าการปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียน มีความเหมาะสมในการส่งเสริมปลูกในพื้นที่ เนื่องจากใช้เทคโนโลยีที่เกษตรกรเข้าถึงได้ง่าย มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ และมีความเสี่ยงในการลงทุนค่อนข้างน้อย ประกอบกับคุณลักษณะของพันธุ์พริกที่มี

ความต้องการของตลาด คือ นอกจากเป็นพืชอาหารแล้วยังมีสรรพคุณเฉพาะทางยาที่ตลาดดังกล่าวมีความต้องการ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาครั้งนี้เกษตรกรยังสามารถเพิ่มผลผลิตได้มากกว่านี้ หากเปรียบเทียบกับผลผลิตในพื้นที่อื่น ๆ โดยเกษตรกรพื้นที่ศึกษาผลผลิตพริกไทยแห้งเฉลี่ย 127.50 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่ตัวเลขของ Department of Agricultural Extension (2021) พบว่า ผลผลิตพริกไทยดำแห่งที่ได้ในภาพรวมประมาณ 500-600 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งหากสามารถเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้น จะทำให้มีกำไรเพิ่มขึ้น ดังนั้น ควรมีการส่งเสริมให้ได้รับความรู้ตามหลักวิชาการที่ถูกต้อง โดยการจัดการฝึกอบรมให้ความรู้จากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และควรมีการส่งเสริมการจัดการการผลิตพริกไทยตลอดห่วงโซ่ นั่นคือ ในระดับกลางน้ำที่ควรมีการแปรรูปผลิตภัณฑ์หรือดำเนินการตลาดให้พริกไทยพันธุ์ปะเหลียนเป็นที่รู้จักของตลาดมากยิ่งขึ้น โดยนำหลักการตลาด สร้างผลิตภัณฑ์ เช่น การบรรจุภัณฑ์ การเสริมช่องทางการจำหน่ายให้หลากหลาย เข้าถึงกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นปลายน้ำได้หลากหลายช่องทางมากยิ่งขึ้น เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

การปลูกพริกไทยพันธุ์ปะเหลียนของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอปะเหลียน ซึ่งเป็นพันธุ์พริกไทยที่มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่ เหมาะสมกับสภาพดิน โดยเมื่อพิจารณาถึงต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิต พบว่ามีผลตอบแทนที่คุ้มกับการลงทุน หากเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตในพื้นที่อื่น ๆ เช่น ในภาคกลาง และภาคตะวันออก ที่เป็นพื้นที่ผลิตหลักพบว่า การผลิตในพื้นที่อำเภอปะเหลียนยังถือได้ว่ามีผลผลิตค่อนข้างน้อยกว่าพื้นที่อื่น ๆ ผลผลิตพริกไทยแห้งเฉลี่ย 127.50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งผลผลิตพริกไทยดำแห่งที่ได้ประมาณ 500-600 กก./ไร่ (Department of Agricultural

Extension, 2021) แต่อย่างไรก็ตาม เกษตรกรได้รับราคา ที่ค่อนข้างดีกว่าราคาในพื้นที่อื่น ๆ ที่เป็นภาพรวมของ ประเทศ ซึ่งมีราคาสูงสุดไม่เกิน 130 บาทต่อกิโลกรัม (Department of Agricultural Extension, 2020) ในขณะที่ เกษตรกรพื้นที่ ปะเหลียนสามารถจำหน่ายได้ถึง กิโลกรัมละ 400 บาท และใช้ปัจจัยการผลิต โดยเฉพาะ ปุ๋ยที่เน้นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีต้นทุนต่ำกว่าปุ๋ยเคมี และสร้าง ความปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภค ดังนั้นจึงต้องมีการส่งเสริม การผลิตหรือปลูกพริกในวิธีการดังกล่าวเพื่อลดต้นทุน ขณะเดียวกันต้องส่งเสริมการปลูกให้ถูกหลักทางวิชาการ และเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้ให้ทุนใน การทำวิจัยและเอื้อเฟื้อสถานที่ทำวิจัย ขอขอบคุณ คณาจารย์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลศรีวิชัยทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำในการวิจัย การติดต่อประสานงาน การดำเนินงาน จนงานวิจัยสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Chanthaburi Horticultural Research Center.

2015. **Optimizing pepper production to reduce the impact of trade liberalization (FTA)**. [Online]. Available <http://www.oac.go.th/FTA/PDF/Project/pepper.pdf> (March 23, 2020).

Chingduang, S. 2012. **Research and Development of Pepper Production to Increase Competitiveness**. Bangkok: Department of Agriculture. 36 p. [in Thai]

Department of Agricultural Extension. 2020. **Pepper**. [Online]. Available <http://www.agriman.doae.go.th/home/news/2563/49-50> (March 10, 2021).

Department of Agricultural Extension. 2021. **Pepper planting generates an excellent and profitable income**. [Online]. Available <https://www.kubotasolutions.com/knowledge/plants/detail/856> (March 2, 2021).

Khaenamkhaew, D. 2018. Ban Chan black pepper: methods of planting black pepper to promote local careers: case study of Ban Chan community, village No. 4, Kamphaeng Sao subdistrict, Mueang district, Nakhon Si Thammarat province. **Journal of Academic Network of Graduate Studies Rajabhat University, Northern Region** 10(1): 17-32. [in Thai]

Nonsi, P. 1988. **Cultivation of Pepper**. Community Agriculture Book Project. Bangkok: Ruangsang Printing. 72 p. [in Thai]

Pongwichai, R. 2001. **Statistical Data Analysis by Computer**. Bangkok: Chulalongkorn University. 479 p. [in Thai]

การศึกษาระบบการผลิตและการตลาดไก่คออ่อนศรีวิชัยลูกผสม

A Study of Production and Marketing System of Srivijaya Naked Neck Crossbred Chicken

ณปภัช ช่วยชูหนู¹ บัณฑิตา ภู่อทรัพย์มี โปณะทอง² และจรีวรรณ จันทร์คง^{1*}

Napapach Chuaychu-noo¹, Banthita Pooabmee Ponatong² and Jareewan Chankong^{1*}

¹คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80110

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80110

¹Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Sri Thammarat, Thailand 80110

²Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Sri Thammarat, Thailand 80110

*Corresponding author: jareewan.rmutsv@gmail.com

Received: May 07, 2023

Revised: May 30, 2024

Accepted: June 10, 2024

Abstract

The purpose of this research was to study the production and marketing system of Srivijaya naked neck crossbred chicken in Nakhon Sri Thammarat province. Data were collected from a sample of 30 farmers and 12 samples from wholesale, retail merchants, and community restaurants through a structured interview form. The study focused on the cost and return of producing Srivijaya naked neck crossbred chicken in a single generation with an average age of 12 weeks. Farmers earned an average net income per production cycle of 3.09 baht/bird/production cycle, and the average income over cash cost was 18.68 baht/bird/production cycle with a return on investment (ROI) ratio of 2.82. The average total cost of raising Srivijaya naked neck crossbred chicken was 109.41 baht/bird/production cycle, which was separated into fixed and variable costs. The fixed cost consisted of depreciation and opportunity cost, which were non-cash. The largest fixed cost was the opportunity cost of investment. The three important variable costs included feed, with the highest percentage at 72.93 percent, breeding cost, which accounted for 10.97 percent, and non-cash household labor, accounting for 8.96 percent, respectively.

The distribution channel showed that farmers preferred selling Srivijaya naked neck crossbred chicken to community consumers/community restaurants, which accounted for 63.33 percent, followed by merchants in the local area, which accounted for 26.67 percent, and distribution to wholesale/retail merchants, which accounted for 10.00 percent, respectively. Regarding the focus group, together with crossbred chicken farmers, local gathering merchants, wholesalers/retailers, and restaurant operators, a total of 12 participants proposed guidelines for developing the production of commercial Srivijaya naked neck crossbred chicken by using marketing tools (4P's). These guidelines consisted of products that consumers prefer: crossbred chickens that are soft, have a firm texture, and are not sticky, with a body

weight of about 1.2 – 1.5 kilograms. As for the price, the price was considered suitable for the expected quality. Distribution channels should focus on expanding to reach consumers both online and offline. Marketing promotions should include education about the nutritional values of crossbred chicken. In addition, all sectors involved should promote it to create awareness and help increase the demand for native crossbred chicken consumption in the future.

Keyword: Srivijaya naked neck crossbred chicken, production, marketing

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบการผลิตและการตลาดไก่คออ่อนศรีวิชัยลูกผสม ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คออ่อนศรีวิชัยลูกผสม จำนวน 30 ราย และพ่อค้ารวบรวม พ่อค้าส่ง/ปลีกไก่พื้นเมืองลูกผสม ผู้ประกอบการร้านอาหารไก่พื้นเมืองลูกผสม รวมจำนวน 12 ราย โดยใช้แบบสัมภาษณ์เชิงโครงสร้าง ผลการศึกษาด้านต้นทุนผลตอบแทนการผลิตไก่คออ่อนศรีวิชัยลูกผสม ในรอบการผลิต 1 รุ่น อายุเฉลี่ย 12 สัปดาห์ พบว่าเกษตรกรมีรายได้สุทธิต่อรอบการผลิตจำนวน 3.09 บาท/ตัว/รอบการผลิต และรายได้เหนือต้นทุนเงินสด จำนวน 18.68 บาท/ตัว/รอบการผลิต และมีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (ROI) เท่ากับ 2.82 ด้านต้นทุนรวมในการเลี้ยงไก่คออ่อนศรีวิชัยลูกผสม จำนวน 109.41 บาท/ตัว/รอบการผลิต โดยแยกเป็นต้นทุนคงที่ ประกอบด้วย ค่าเสื่อมราคาโรงเรือนและอุปกรณ์ ค่าเสียโอกาสการใช้ที่ดิน และค่าเสียโอกาสเงินลงทุน โดยเป็นค่าเสียโอกาสเงินลงทุนมากที่สุด ด้านต้นทุนผันแปรรวม ประกอบด้วย ค่าอาหารร้อยละ 72.93 ค่าพันธุ์ร้อยละ 10.97 และค่าเสียโอกาสแรงงานครัวเรือนที่ไม่เป็นเงินสดร้อยละ 8.96 ตามลำดับ ด้านช่องทางการจัดจำหน่ายพบว่า กลุ่มเกษตรกรนิยมจำหน่ายไก่พื้นเมืองลูกผสมให้กับผู้บริโภคในชุมชน

ร้านอาหารในชุมชน หรือกลุ่มวิสาหกิจในชุมชนฯ โดยตรงมากที่สุด เนื่องจากความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร และทำการติดต่อซื้อขายไก่พื้นเมืองหลากหลายสายพันธุ์กันมาเป็นระยะเวลายาวนาน รองลงมาคือ จำหน่ายให้แก่พ่อค้ารวบรวมในท้องถิ่น และจำหน่ายให้แก่พ่อค้าส่ง/พ่อค้าปลีกที่มารับซื้อในชุมชน ตามลำดับ ทั้งนี้จากการประชุมกลุ่มย่อยร่วมกับเกษตรกร พ่อค้ารวบรวม พ่อค้าส่ง/พ่อค้าปลีกไก่พื้นเมืองลูกผสม และผู้ประกอบการร้านอาหาร รวมจำนวน 12 ราย เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาการผลิตไก่คออ่อนศรีวิชัยลูกผสมเชิงการค้า โดยใช้เครื่องมือทางการตลาด (4P's) ประกอบด้วย ด้านผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้บริโภคนิยมไก่พื้นเมืองลูกผสมที่มีความนุ่ม แน่น และไม่เหนียว น้ำหนักตัวประมาณ 1.2-1.5 กิโลกรัม ด้านราคา โดยมีระดับราคาที่เหมาะสมกับคุณภาพที่คาดว่าจะได้รับ ส่วนช่องทางการจัดจำหน่าย การเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายที่สามารถเข้าถึงกลุ่มผู้บริโภคได้ทั้งทางออนไลน์และออฟไลน์ รวมทั้งการส่งเสริมการตลาด และการให้ความรู้เกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการที่ดีจากไก่พื้นเมืองลูกผสม อีกทั้งทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องควรช่วยกันประชาสัมพันธ์เพื่อสร้างการรับรู้ เพื่อเพิ่มปริมาณความต้องการบริโภคไก่พื้นเมืองลูกผสมในอนาคต

คำสำคัญ: ไก่คออ่อนศรีวิชัยลูกผสม การผลิต การตลาด

คำนำ

ประเทศไทยมีเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พื้นเมืองทั้งหมด 2,720,316 ราย (Information and Communication Technology Center, Department of Livestock Development, 2021) โดยเฉพาะเกษตรกรรายย่อยที่มีอยู่ทั่วประเทศ ไม่ว่าจะเป็นการเลี้ยงในรูปแบบขังกรงปล่อยลาน หรือกึ่งขังกึ่งปล่อย ซึ่งเป็นคุณสมบัติเบื้องต้นของไก่พื้นเมือง โดยผู้เลี้ยงไม่เสียเวลามากและสามารถพัฒนาเป็นธุรกิจได้ สำหรับเนื้อไก่ที่วางจำหน่ายในตลาดของไทยมี 4 พันธุ์หลัก ได้แก่ ไก่เนื้อ ไก่ซี (ไก่ไข่อตัวผู้) ไก่พื้นเมือง และไก่พื้นเมืองลูกผสม ตามลำดับ (Leotaragul *et al.*, 2009) หากกล่าวถึงการส่งเสริมการเลี้ยงไก่พื้นเมืองให้กับเกษตรกรรายย่อยในพื้นที่ภาคใต้พบว่าจังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นจังหวัดที่มีเกษตรกรประกอบอาชีพการเลี้ยงไก่พื้นเมืองมากที่สุดในพื้นที่ภาคใต้ รองลงมาคือ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรายย่อยที่เลี้ยงไก่ควบคู่กับการประกอบอาชีพเกษตรด้านอื่น ๆ โดยปัญหาของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พื้นเมืองในจังหวัดนครศรีธรรมราช ส่วนใหญ่จะประสบกับปัญหาด้านต้นทุนการผลิต เนื่องจากราคาอาหารสัตว์ที่เพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งปัญหาด้านการตลาด จึงมีข้อเสนอแนะให้มีการรวมตัวกันเป็นชมรมหรือสหกรณ์ผู้เลี้ยงไก่พื้นเมืองในระดับจังหวัด เพื่อแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ในการเลี้ยงไก่พื้นเมืองที่เกษตรกรประสบอยู่

ไก่พื้นเมืองที่นิยมเลี้ยงในพื้นที่ภาคใต้ประกอบด้วย ไก่แดง ไก่คอลอน ไก่ศรีวิชัย และไก่เบตง โดยเฉพาะในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช เกษตรกรนิยมเลี้ยงไก่คอลอนศรีวิชัย ซึ่งเป็นไก่พื้นเมืองที่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงสายพันธุ์มาจากไก่คอลอน โดยศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์นครศรีธรรมราช (Klaibanmai, 2012) มีวัตถุประสงค์ให้ได้ไก่ที่โตเร็ว หน้าอกแน่น กลมและทนร้อนได้ดี ที่อายุ 16 สัปดาห์ มี

น้ำหนัก 1,500-2,000 กรัม ที่อายุ 20 สัปดาห์ น้ำหนักเฉลี่ย 2,200-2,600 กรัม ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าไก่คอลอนศรีวิชัยมีศักยภาพการเจริญเติบโตดี โดยเฉพาะไก่คอลอนศรีวิชัยขาว (ขนสีขาว) ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำไปปรับปรุงเป็นไก่พื้นเมืองลูกผสม เนื่องจากเมื่อทำการชำแหละซากจะมีปัญหาเรื่องตุ่มขนอ่อนใต้ผิวหนังน้อย ดังนั้นหากนำไก่คอลอนศรีวิชัยขาวมาปรับปรุงพันธุ์เป็นไก่พื้นเมืองลูกผสม ซึ่งทำให้มีระยะเวลาเลี้ยงสั้นลง เพียง 10-12 สัปดาห์ ซึ่งในปัจจุบันพบว่าเกษตรกรรายย่อยในพื้นที่อำเภอจุฬาภรณ์ อำเภอชะอวด และอำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช ให้ความสนใจในการเลี้ยง เพื่อนำไปสู่การสร้างอาชีพเสริมและเพิ่มรายได้ โดยไก่คอลอนศรีวิชัยลูกผสมเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจที่สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและลดระยะเวลาในการเลี้ยงเพื่อส่งตลาด แต่ยังคงคุณภาพของเนื้อที่ดีใกล้เคียงกับเนื้อไก่พื้นเมืองพันธุ์แท้ ซึ่งจะช่วยให้นักเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่มีรอบการผลิตที่เร็วยิ่งขึ้น สามารถลดต้นทุนค่าอาหารในการผลิต รวมทั้งเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่นิยมบริโภคเนื้อไก่พื้นเมือง ให้สามารถเลือกเนื้อไก่ที่มีความนุ่มเพิ่มขึ้นและความเหนียวลดลง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบการผลิต การตลาด และแนวทางในการพัฒนาการผลิตไก่คอลอนศรีวิชัยลูกผสมเชิงการค้า โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งในกระบวนการผลิต และการจัดจำหน่ายไก่พื้นเมืองลูกผสม เพื่อนำไปสู่แนวทางในการพัฒนาการจัดการการผลิตไก่คอลอนศรีวิชัยลูกผสมที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่ม สนองตอบความต้องการของตลาดและเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันได้ ซึ่งจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสร้างรายได้เสริมให้แก่เกษตรกรในชุมชน โดยผลการศึกษาที่ได้ใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพการผลิตไก่พื้นเมืองลูกผสมของเกษตรกรในพื้นที่ต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยครั้งนี้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและดำเนินการวิจัย ดังขั้นตอนต่อไปนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการศึกษาครั้งนี้ คือ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งในกระบวนการผลิต และการตลาดไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสม ซึ่งไม่ทราบขนาดของประชากรที่แน่นอน โดยการศึกษาครั้งนี้คัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง ด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) ประกอบด้วยเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสม จำนวน 30 ราย ในพื้นที่อำเภอจุฬาภรณ์ อำเภอลำดวน และอำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นเกษตรกรที่เลี้ยงไก่พื้นเมืองลูกผสม เฉพาะสายพันธุ์ไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสมที่มีอายุมากกว่า 18 ปีขึ้นไป สามารถอ่านออกเขียนได้ และยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย สำหรับพ่อค้ารวบรวมพ่อค้าส่ง/พ่อค้าปลีกไก่พื้นเมืองลูกผสม ผู้ประกอบการร้านอาหารไก่พื้นเมืองลูกผสม รวมจำนวน 12 ราย ในเขตพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ข้อมูลรายชื่อจากสำนักงานปศุสัตว์จังหวัดนครศรีธรรมราช และศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์นครศรีธรรมราช

การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์ และการประชุมกลุ่มย่อย จากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งในกระบวนการผลิต และการจัดจำหน่ายไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสมในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งประกอบด้วย เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พื้นเมืองลูกผสม จำนวน 30 ราย พ่อค้ารวบรวม พ่อค้าส่ง/ปลีกไก่พื้นเมืองลูกผสม ผู้ประกอบการร้านอาหารไก่พื้นเมืองลูกผสม รวมจำนวน 12 ราย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย

1) แบบสัมภาษณ์เชิงโครงสร้าง (Structured Interviews) ซึ่งใช้สัมภาษณ์กลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสม ด้านระบบการผลิตและการตลาดไก่พื้นเมืองลูกผสม โดยมีกรตรวจสอบเครื่องมือโดยทำการตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (Content validity) โดยผู้วิจัยนำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นไปตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน หลังจากนั้นนำมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) และความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ (Wording) เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขก่อนนำไปใช้ในการสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลจริง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปด้านสภาพสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลด้านต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสม

ส่วนที่ 3 ข้อมูลด้านช่องทางการจัดจำหน่ายไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสมของกลุ่มเกษตรกร

ส่วนที่ 4 ข้อมูลอื่น ๆ เช่น ปัญหาในการเลี้ยงไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสม และข้อเสนอแนะ

2) การประชุมกลุ่มย่อย (Focus group) ในการระดมความคิดเห็นเกี่ยวกับระบบการผลิต ความเป็นไปได้ทางการตลาด รูปแบบ แนวทางในการพัฒนาด้านการผลิตและการตลาดไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสมเชิงการค้า

การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive method) เป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยวิธีการทางสถิติอย่างง่าย เพื่ออธิบายถึงสภาพทั่วไปด้านการผลิตและการตลาดของไก่พื้นเมืองลูกผสม โดยนำข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content analysis)

2) การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative method) เป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยวิธีการทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Pongvichai, 2008) ด้านต้นทุนและผลตอบแทนไก่พื้นเมืองลูกผสม โดยวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนและผลตอบแทนที่เป็นไปตามหลักทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งต้องมีการประเมินค่าใช้จ่ายทั้งที่เป็นเงินสดและไม่เป็นเงินสด เช่น ค่าแรงงาน ค่าเสื่อมราคาโรงเรือนและอุปกรณ์ให้ถูกต้องตามความเป็นจริงที่สุด โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

ผลการวิจัย

การศึกษาระบบการผลิต ต้นทุนและผลตอบแทนของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสม

การศึกษาระบบการผลิต ต้นทุนและผลตอบแทนของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสม จำนวน 30 ราย ในรอบการผลิต 1 รุ่น อายุเฉลี่ย 12 สัปดาห์ พบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสมส่วนใหญ่เลี้ยงในรูปแบบปล่อยลาน และกึ่งขังกึ่งปล่อย ส่วนการเลี้ยงไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสมถือเป็นอาชีพเสริมเพื่อสร้างรายได้เพิ่มให้กับครัวเรือน โดยเกษตรกรมีระยะเวลาใน

การเลี้ยงไก่ประมาณ 1-2 ชั่วโมง/วัน แรงงานครัวเรือนในการเลี้ยงไก่ 1-2 คน/ครัวเรือน จำนวนโรงเรือนของเกษตรกร 1-2 โรงเรือน/ครัวเรือน ส่วนพื้นที่ของโรงเรือนจะใช้แกลบรอง อายุการใช้งานของโรงเรือน 5-10 ปี ด้านประสบการณ์ในการเลี้ยงไก่ส่วนใหญ่ ไม่เกิน 5 ปี เกษตรกรส่วนใหญ่ได้รับความรู้ด้านการเลี้ยงไก่มาจากครอบครัว เพื่อนและญาติ รวมทั้งความรู้จากเจ้าหน้าที่ของรัฐ (เช่น สำนักงานปศุสัตว์อำเภอ สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด และมหาวิทยาลัยในพื้นที่)

ด้านการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนของการผลิตไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสม ในจังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า อายุเฉลี่ย 12 สัปดาห์ น้ำหนักเฉลี่ย 1.5-1.6 กิโลกรัม/ตัว ราคาจำหน่ายไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสมมีชีวิตเฉลี่ย 75 บาท/กิโลกรัม พบว่าเกษตรกรผู้ผลิตไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสม มีรายได้สุทธิต่อรอบการผลิต จำนวน 3.09 บาท/ตัว/รอบการผลิต และรายได้เหนือต้นทุนเงินสดจำนวน 18.68 บาท/ตัว/รอบการผลิต และมีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (ROI) เท่ากับ 2.82 ด้านต้นทุนรวมในการเลี้ยงไก่คอก่อนศรีวิชัยลูกผสม เป็นจำนวน 109.41 บาท/ตัว/รอบการผลิต โดยแยกเป็นต้นทุนคงที่ประกอบด้วย ค่าเสื่อมราคาโรงเรือนและอุปกรณ์ ค่าเสียโอกาสการใช้ที่ดิน และค่าเสียโอกาสเงินลงทุน ซึ่งไม่เป็นเงินสด จำนวน 5.79 บาท โดยเป็นค่าเสียโอกาสเงินลงทุนมากที่สุด ด้านต้นทุนผันแปรรวมจำนวน 103.62 บาท สำหรับต้นทุนผันแปรที่สำคัญ ประกอบด้วย ค่าอาหาร คิดเป็นร้อยละ 72.93 ค่าพันธุ์ คิดเป็นร้อยละ 10.97 และค่าเสียโอกาสแรงงานครัวเรือนที่ไม่เป็นเงินสดคิดเป็นร้อยละ 8.96 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Cost-benefit of Srivijaya naked neck crossbred chicken (Baht/bird/production cycle)

Item	Value in cash (Baht)	Value non-cash (Baht)	Percentage
1. Fixed cost			
1.1 Depreciation of poultry structure and equipment		1.87	1.71
1.2 Opportunity cost for land use		1.58	1.44
1.3 Opportunity cost for capital		2.35	2.14
Total fixed cost		5.79	
2. Variable cost			
2.1 Breed	12.00		10.97
2.2 Feed	79.80		72.93
2.3 Drug and Vaccine	0.50		0.46
2.4 Floor laying materials	0.30		0.27
2.5 Structure repairs and equipment	0.42		0.38
2.6 Others such as water and electricity bills	0.80		0.73
2.7 Household opportunity cost		9.80	8.96
Total variable cost	103.62		
Total cost	109.41		100.00
Total cash cost	93.82		
Total income	112.50		
Net income	3.09		
Income over cash cost	18.68		
Return on Investment (ROI)	2.82		

Source: from interviews and author calculations

การศึกษาช่องทางการจัดจำหน่ายไก่คอลลอนศรีวิชัยลูกผสม

ด้านการศึกษาช่องทางการจัดจำหน่ายไก่คอลลอนศรีวิชัยลูกผสม ซึ่งเป็นการศึกษาเพื่อแสดงการเคลื่อนย้ายของสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นจากตัวอย่างเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัยลูกผสม ในจังหวัดนครศรีธรรมราช และผู้ประกอบการด้านไก่พื้นเมืองลูกผสม พบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัยลูกผสมนิยมจำหน่ายในรูปแบบไก่มีชีวิต มีราคาขายเฉลี่ย 70-80 บาทต่อกิโลกรัม ขึ้นอยู่กับช่วงเทศกาลและความต้องการในตลาด ทั้งนี้พบว่ากลุ่มเกษตรกรนิยมจำหน่ายไก่คอลลอนศรีวิชัยลูกผสมให้กับผู้บริโภคในชุมชน ร้านอาหารในชุมชน หรือกลุ่มวิสาหกิจ

ในชุมชนฯ โดยตรงมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 63.33 เนื่องจากความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร และทำการติดต่อซื้อขายไก่พื้นเมืองหลากหลายสายพันธุ์กันมาเป็นระยะเวลายาวนาน รองลงมาคือ จำหน่ายให้แก่พ่อค้ารวบรวมในท้องถิ่น คิดเป็นร้อยละ 26.67 และจำหน่ายให้แก่พ่อค้าส่ง/พ่อค้าปลีกที่มารับซื้อในชุมชน คิดเป็นร้อยละ 10.00 ตามลำดับ ทั้งนี้จากการสัมภาษณ์เกษตรกรพบว่า หากเกษตรกรดำเนินการรวมกลุ่มทั้งในด้านการผลิต และการจำหน่ายไก่พื้นเมืองลูกผสมในรูปแบบไก่ชำแหละ ตลอดจนการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ไก่พื้นเมืองลูกผสมแปรรูป จะส่งผลให้ได้รับราคาที่สูงขึ้นกว่าการจำหน่ายในรูปแบบไก่มีชีวิต ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Distribution channel of Srivijaya naked neck crossbred chicken

Distribution channel	Frequency	Percentage
Wholesale merchants / Retail merchants	3	10.00
Local gathering merchants i.e. Community consumers / Community restaurants	8	26.67
	19	63.33
Total	30	100

Source: from interviews and author calculations

การศึกษาแนวทางการพัฒนาการผลิตและการตลาดไก่คอลลอนศรีวิชัยลูกผสมเชิงการค้า

จากการประชุมกลุ่มย่อย (Focus group) ร่วมกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการตลาด ประกอบด้วย เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พื้นเมืองลูกผสม พ่อค้ารวบรวม พ่อค้าส่ง/พ่อค้าปลีกไก่พื้นเมืองลูกผสม ผู้ประกอบการร้านอาหาร รวมจำนวน 12 ราย ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าในปัจจุบันตลาดสดทั่วไปมีไก่ที่นิยมจำหน่าย ประกอบด้วย ไก่เนื้อ (ไก่กระทง) ไก่ซี (ไก่ไข่ตัวผู้) ไก่พื้นเมือง และไก่พื้นเมืองลูกผสม ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการทำเมนูอาหารต่าง ๆ เช่น แกงไก่ ไก่ต้ม ไก่ย่าง เป็นต้น ทั้งนี้มีกลุ่มเกษตรกรทำการผลิต

ป้อนเข้าสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง และสม่ำเสมอตลอดปี โดยปริมาณการผลิตจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ยิ่งโดยเฉพาะในช่วงเทศกาล (ปีใหม่ ตรุษจีน และสงกรานต์) ปริมาณความต้องการไก่พื้นเมืองและไก่พื้นเมืองลูกผสมจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลด้านการศึกษาแนวทางการพัฒนาการผลิตและความต้องการทางการตลาด เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาการผลิตไก่คอลลอนศรีวิชัยลูกผสมเชิงการค้า โดยใช้เครื่องมือทางการตลาด (4P's) ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์ ราคา ช่องทางการจัดจำหน่าย และการส่งเสริมการตลาด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ด้านผลิตภัณฑ์ พบว่าพ่อค้ารวบรวม/พ่อค้าส่ง/พ่อค้าปลีก นิยมซื้อไก่พื้นเมืองลูกผสมมีชีวิต ที่มีลักษณะเข้าเกณฑ์ ดังต่อไปนี้ แข็งเหลือง ปากเหลือง ออกใหญ่ กลมน้ำหนักตัวประมาณ 1.5-1.8 กิโลกรัม เมื่อนำไปชำและไก่พื้นเมืองลูกผสมจะมีน้ำหนักลดลง ประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผู้บริโภคและผู้ประกอบการร้านอาหาร นิยมไก่พื้นเมืองลูกผสมที่มีเนื้อนุ่ม แน่น และไม่เหนียว น้ำหนักตัวประมาณ 1.2-1.5 กิโลกรัม สำหรับทำเมนู ต้ม ผัด แกง และทอด ส่วนผู้ประกอบการร้านอาหารข้ามไก่ นิยมไก่พื้นเมืองและไก่พื้นเมืองลูกผสม น้ำหนักตัวประมาณ 1.8-2.5 กิโลกรัม ด้านเมนูอาหารที่เหมาะสมกับการใช้ไก่พื้นเมืองลูกผสมเป็นวัตถุดิบ ควรเป็นเมนูที่เน้นใช้เนื้อไก่ ที่มีความนุ่ม และไม่เหนียวจนเกินไป หากเป็นเมนูที่ต้องอาศัยระยะเวลาในการปรุงนาน หรือเน้นให้ลักษณะเนื้อไก่มีความเหนียว การใช้ไก่พื้นเมืองลูกผสมอาจไม่เหมาะสมนัก

ด้านราคา พบว่าพ่อค้ารวบรวม/พ่อค้าส่ง/พ่อค้าปลีก จะรับซื้อไก่พื้นเมืองลูกผสมมีชีวิต จากกลุ่มเกษตรกร ในราคา 70-80 บาท/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับไก่พื้นเมืองพันธุ์แท้ ซึ่งมีราคาซื้อ 75-95 บาท/กิโลกรัม แต่เกษตรกรมีระยะเวลาในการเลี้ยงที่ยาวนานกว่า (ประมาณ 16 สัปดาห์) ทำให้ต้นทุนการเลี้ยงที่สูงขึ้น ส่งผลต่อสัดส่วนกำไรลดลง แต่ทั้งนี้ระดับราคาทั้งไก่พื้นเมืองและไก่พื้นเมืองลูกผสมยังขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของความนิยมในตลาด โดยช่วงที่มีความต้องการซื้อมากที่สุด คือ ช่วงเทศกาลปีใหม่ ตรุษจีน สงกรานต์ เป็นต้น ช่วงนี้ระดับราคาไก่จะสูงขึ้น โดยรับซื้อและจะนำไปจำหน่ายต่อทั้งกับพ่อค้าส่ง พ่อค้าปลีก หรือผู้บริโภคโดยตรง โดยบวกราคาเพิ่ม อยู่ที่ประมาณ 20-30 บาท/กิโลกรัม ทั้งนี้การตั้งระดับราคาที่เหมาะสมกับคุณภาพที่ได้รับ จะส่งผลต่อความต้องการซื้อของผู้บริโภค

ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย พบว่าพ่อค้ารวบรวมจะรับซื้อไก่พื้นเมืองลูกผสมจากกลุ่มเกษตรกร แล้วนำไปจำหน่ายต่อทั้งกับพ่อค้าส่ง พ่อค้าปลีก ผู้ประกอบการร้านอาหาร หรือผู้บริโภคโดยตรง โดยทำ

การติดต่อทางโทรศัพท์หรือทางไลน์ เพื่อความสะดวก รวดเร็ว และซื้อขายกันในพื้นที่ชุมชน กลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ หรือบ้านของเกษตรกรผู้เลี้ยงรายใหญ่ ทั้งนี้การเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายทั้งในรูปแบบออนไลน์และออฟไลน์ จะส่งผลให้ผู้บริโภคเข้าถึงสินค้ามากขึ้น

ด้านการส่งเสริมการตลาด พบว่าพ่อค้ารวบรวมจะมีการติดต่อสมาชิกที่ทำการติดต่อค้าขายกันเป็นประจำ โดยพยายามหาช่องทางการจำหน่ายรูปแบบใหม่ให้กับกลุ่มสมาชิก มีการให้ความช่วยเหลือกลุ่มเกษตรกรในด้านของคำแนะนำ การให้วัคซีน หรืออาหารเสริมต่าง ๆ เป็นต้น รวมทั้งในส่วนของผู้ประกอบการร้านอาหาร เช่น ร้านอาหารแกง ร้านอาหารข้ามไก่ ได้จัดทำเมนูอาหารที่มีความเหมาะสมกับการใช้ไก่ลูกผสมพื้นเมืองซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก นอกจากนี้มีการนำเสนอภาพเมนูอาหารเกี่ยวกับไก่พื้นเมืองและไก่พื้นเมืองลูกผสม เพื่อสร้างการรับรู้และเป็นการประชาสัมพันธ์แก่ผู้บริโภค ทั้งนี้หากทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องช่วยกันประชาสัมพันธ์ เพื่อสร้างการรับรู้ ทั้งเรื่องคุณค่าทางโภชนาการที่ดีจากไก่พื้นเมืองและไก่พื้นเมืองลูกผสม สายพันธุ์ไก่พื้นเมืองและไก่พื้นเมืองลูกผสม คุณค่าและประโยชน์ เพื่อเพิ่มปริมาณความต้องการบริโภคไก่พื้นเมืองและไก่พื้นเมืองลูกผสมต่อไปในอนาคต

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาระบบการผลิต ต้นทุนและผลตอบแทนของการผลิตไก่คอลอนศรีวิชัยลูกผสม ของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พื้นเมืองลูกผสม ในจังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าไก่คอลอนศรีวิชัยลูกผสม อายุเฉลี่ย 12 สัปดาห์ น้ำหนักเฉลี่ย 1.5-1.7 กิโลกรัม/ตัว ราคาจำหน่ายไก่มีชีวิตเฉลี่ย 75 บาท/กิโลกรัม เกษตรกรผู้ผลิตไก่คอลอนศรีวิชัยลูกผสม มีรายได้สุทธิต่อการประกอบการผลิต จำนวน 3.09 บาท/ตัว/รอบการผลิต และรายได้เหนือต้นทุนเงินสด จำนวน 18.68 บาท/ตัว/รอบการผลิต และมีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (ROI) เท่ากับ

2.82 ด้านต้นทุนรวมในการเลี้ยงไก่คอกอ่อนศรีวิชัยลูกผสม เป็นจำนวน 109.41 บาท/ตัว/รอบการผลิต โดยแยกเป็น ต้นทุนคงที่ ประกอบด้วย ค่าเสื่อมราคาโรงเรือนและ อุปกรณ์ ค่าเสียโอกาสการใช้ที่ดิน และค่าเสียโอกาสเงินลงทุน ซึ่งไม่เป็นเงินสด จำนวน 5.79 บาท โดยเป็นค่าเสียโอกาสเงินลงทุนมากที่สุด ด้านต้นทุนผันแปรรวม จำนวน 103.62 บาท สำหรับต้นทุนผันแปรที่สำคัญ ประกอบด้วย ค่าอาหาร คิดเป็นร้อยละ 72.93 ค่าพันธุ์ คิดเป็นร้อยละ 10.97 และค่าเสียโอกาสแรงงานคร้วเรือนที่ไม่เป็นเงินสด คิดเป็นร้อยละ 8.96 ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าต้นทุนการผลิต ทั้งในไก่พื้นเมืองพันธุ์แท้ และไก่พื้นเมืองลูกผสมที่มี สัดส่วนสูงนี้มาจากค่าอาหารสัตว์ ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Chankong and Chauychu-noo (2021) ทำการศึกษาต้นทุนในการเลี้ยงไก่ดำเขาหลัก ซึ่งเป็น ไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงในพื้นที่ตำบลน้ำผุด อำเภอเมือง จังหวัด ตรัง พบว่าต้นทุนมากที่สุด คือ ค่าอาหารสัตว์ ค่าเสียโอกาส แรงงานคร้วเรือน และค่าพันธุ์ ตามลำดับ รวมทั้ง งานวิจัยของ Siripokakit and Inkaew (2017) ซึ่งทำการ ศึกษาต้นทุนในการเลี้ยงไก่ประดู่หางดำ ในพื้นที่จังหวัด เชียงใหม่ พบว่าต้นทุนที่สำคัญ 3 รายการ ได้แก่ ค่าอาหารสำเร็จรูป (ร้อยละ 43.65) ค่าลูกไก่ (ร้อยละ 23.52) และค่าแรงงาน (ร้อยละ 11.87) และในงานวิจัย ของ Prapasawat *et al.* (2012) พบว่าการเลี้ยงไก่โดย ส่วนใหญ่ต้นทุนที่สำคัญที่สุด คือ ต้นทุนค่าอาหารสัตว์ เช่นกัน ดังนั้นหากเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พื้นเมืองและ ไก่พื้นเมืองลูกผสมในแต่ละพื้นที่ที่มีการบริหารจัดการ ต้นทุนค่าอาหารสัตว์ที่ดี หรือมีแนวทางในการลดต้นทุน ค่าอาหารสัตว์ลงจะส่งผลต่อรายได้สุทธิที่เพิ่มขึ้น

ด้านช่องทางการจัดจำหน่ายไก่คอกอ่อนศรีวิชัย ลูกผสมในจังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยง ไก่พื้นเมืองลูกผสม นิยมจำหน่ายในรูปแบบไก่มีชีวิต มีราคาขายเฉลี่ย 70-80 บาทต่อกิโลกรัม ขึ้นอยู่กับช่วง เทศกาลและความต้องการในตลาด ทั้งนี้พบว่ากลุ่ม เกษตรกรนิยมจำหน่ายไก่คอกอ่อนศรีวิชัยลูกผสม ให้กับ ผู้บริโภคในชุมชน ร้านอาหารในชุมชน หรือกลุ่มวิสาหกิจ

ในชุมชนฯ โดยตรงมากที่สุด เนื่องจากความสะดวก ในการติดต่อสื่อสาร และทำการติดต่อซื้อขายไก่พื้นเมือง หลากหลายสายพันธุ์กันมาเป็นระยะเวลายาวนาน รองลงมาคือ จำหน่ายให้แก่พ่อค้ารวบรวมในท้องถิ่น และจำหน่ายให้แก่พ่อค้าส่ง/พ่อค้าปลีกที่มารับซื้อใน ชุมชน ตามลำดับ ซึ่งช่องทางการจัดจำหน่ายไก่คอกอ่อน ศรีวิชัยลูกผสมในจังหวัดนครศรีธรรมราช มีลักษณะ ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Saenkhunthow *et al.* (2016) ซึ่งทำการศึกษาการผลิตและการตลาดไก่พื้นเมืองในพื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม พบว่าวิถีตลาดไก่พื้นเมืองในพื้นที่ ดังกล่าว เกษตรกรส่วนใหญ่ทำการผลิตเพื่อบริโภคใน คร้วเรือน เหลือจึงจำหน่ายเป็นไก่มีชีวิต โดยเน้นจำหน่าย ให้กับผู้บริโภคในชุมชนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 46.60 รองลงมาคือ พ่อค้าผู้รวบรวมในชุมชน ร้อยละ 29.49 เครือข่ายเกษตรกร ร้อยละ 24.28 ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พื้นเมืองในจังหวัด มหาสารคามทำหน้าที่เป็นทั้งผู้ผลิต รวบรวม ซ้ำแหละ และจำหน่ายให้กับผู้บริโภคโดยตรง แต่ทั้งนี้มีความ แตกต่างจากงานวิจัยของ Wongsuthavas and Sombun (2009) ซึ่งศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ไก่พื้นเมืองเชิงพาณิชย์ในพื้นที่จังหวัดสกลนคร พบว่า ผู้รวบรวมและจำหน่ายไก่พื้นเมืองในจังหวัดสกลนคร ส่วนใหญ่มีการรวบรวมไก่พื้นเมืองในชุมชนมาขาย ที่ตลาดสด โดยเกษตรกรบางรายเป็นทั้งผู้รวบรวมและเป็น ผู้ซ้ำแหละ โดยวิธีการรวบรวม คือ ตระเวนรวบรวมซื้อ ตามหมู่บ้าน โดยราคาขายไก่พื้นเมืองเฉลี่ยที่กิโลกรัมละ 100-120 บาท อีกทั้งจากการศึกษาช่องทางการจัด จำหน่ายไก่พื้นเมืองในพื้นที่ภาคใต้ จากงานวิจัยของ Chauychu-noo *et al.* (2022) ที่ได้ทำการศึกษาระบบ การจัดจำหน่ายไก่แดง ซึ่งเป็นไก่พื้นเมืองพันธุ์ดั้งเดิม ของไทยที่นิยมเลี้ยงในพื้นที่ภาคใต้ โดยพบว่าเกษตรกร ผู้เลี้ยงไก่แดงนิยมจำหน่ายให้แก่พ่อค้ารวบรวม ในท้องถิ่น มากที่สุด ร้อยละ 68.33 รองลงมาคือ จำหน่ายให้แก่ พ่อค้าส่ง/พ่อค้าปลีกที่มารับซื้อในชุมชน ร้อยละ 20.00 และ ช่องทางอื่น ๆ เช่น จำหน่ายให้ร้านอาหารในชุมชน

ร้อยละ 11.67 ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า เส้นทางการตลาดไก่พื้นเมืองส่วนใหญ่ประกอบด้วย เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พื้นเมือง ผู้รวบรวม ผู้จัดจำหน่าย และผู้บริโภค ทั้งนี้ผู้รวบรวม ผู้ชำแหละ และผู้จัดจำหน่าย อาจเป็นบุคคลเดียวกัน โดยทำหน้าที่ออกไปรวบรวมไก่พื้นเมืองในหมู่บ้าน หรือชุมชนใกล้เคียง เพื่อนำมาชำแหละ และจำหน่ายให้กับผู้บริโภคต่อไป จะเห็นได้ว่าประเด็นด้านการพัฒนาช่องทางการจัดจำหน่ายไก่พื้นเมือง ตลอดจนการส่งเสริมการจัดการการตลาดไก่พื้นเมืองที่ดี จะเป็นแนวทางสำคัญในการส่งเสริมการผลิตไก่พื้นเมืองของเกษตรกรผู้ผลิตเชิงพาณิชย์ในอนาคต

ด้านการศึกษาแนวทางในการพัฒนาการผลิตและการตลาดไก่คอลอนศรีวิชัยลูกผสมเชิงการค้า ร่วมกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการตลาด ประกอบด้วย เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พื้นเมืองลูกผสม พ่อค้ารวบรวม พ่อค้าส่ง/พ่อค้าปลีก ผู้ประกอบการร้านอาหาร พบว่าในปัจจุบันไก่พื้นเมืองลูกผสมยังคงเป็นที่ต้องการของตลาด แต่ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับรูปแบบผลิตภัณฑ์ หรือเมนูที่นำไปประกอบอาหารอีกด้วย โดยการเลือกใช้ไก่พื้นเมือง และไก่พื้นเมืองลูกผสมเพื่อนำมาทำผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นหากนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นเฉพาะอย่าง ควรต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของซาก ลักษณะความเหนียวนุ่ม และระยะเวลาในการเลี้ยง อีกทั้งจากการประชุมกลุ่มย่อย พบว่าผู้บริโภคบางกลุ่มยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับไก่พื้นเมืองลูกผสม ทั้งนี้จึงควรส่งเสริมด้านการประชาสัมพันธ์ข้อมูลทางวิชาการเกี่ยวกับไก่พื้นเมืองลูกผสม เพื่อสร้างการรับรู้ และเพิ่มปริมาณความต้องการบริโภคไก่พื้นเมืองลูกผสม ซึ่งจะเชื่อมโยงไปถึงกระบวนการวางแผนการผลิตและการจัดจำหน่ายของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการผลิตและการตลาดไก่พื้นเมืองลูกผสมเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลด้านการผลิตและการตลาดของไก่คอลอนศรีวิชัยลูกผสม ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลอนศรีวิชัยลูกผสม จำนวน 30 ราย ผลการศึกษาด้านต้นทุนผลตอบแทนการผลิตไก่คอลอนศรีวิชัยลูกผสม พบว่าเกษตรกรผู้ผลิตไก่คอลอนศรีวิชัยลูกผสม มีรายได้สุทธิต่อรอบการผลิต จำนวน 3.09 บาท/ตัว/รอบการผลิต และรายได้เหนือต้นทุนเงินสด จำนวน 18.68 บาท/ตัว/รอบการผลิต และมีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (ROI) เท่ากับ 2.82 ด้านต้นทุนรวมในการเลี้ยงไก่คอลอนศรีวิชัยลูกผสม เป็นจำนวน 109.41 บาท/ตัว/รอบการผลิต โดยแยกเป็นต้นทุนคงที่ประกอบด้วย ค่าเสื่อมราคาโรงเรือนและอุปกรณ์ ค่าเสียโอกาสการใช้ที่ดิน และค่าเสียโอกาสเงินลงทุน ซึ่งไม่เป็นเงินสด จำนวน 5.79 บาท โดยเป็นค่าเสียโอกาสเงินลงทุนมากที่สุด ด้านต้นทุนผันแปรรวมจำนวน 103.62 บาท สำหรับต้นทุนผันแปรที่สำคัญ ประกอบด้วย ค่าอาหาร คิดเป็นร้อยละ 72.93 ค่าพันธุ์ คิดเป็นร้อยละ 10.97 และ ค่าเสียโอกาสแรงงานครัวเรือนที่ไม่เป็นเงินสด คิดเป็นร้อยละ 8.96 ตามลำดับ ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ทั้งนี้พบว่ากลุ่มเกษตรกรนิยมจำหน่ายไก่คอลอนศรีวิชัยลูกผสมให้กับผู้บริโภคในชุมชน ร้านอาหารในชุมชน หรือกลุ่มวิสาหกิจในชุมชนฯ โดยตรงมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 63.33 เนื่องจากความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร และทำการติดต่อซื้อขายไก่พื้นเมืองหลากหลายสายพันธุ์กันมาเป็นระยะเวลายาวนาน รองลงมาคือจำหน่ายให้แก่พ่อค้ารวบรวมในท้องถิ่น คิดเป็นร้อยละ 26.67 และจำหน่ายให้แก่พ่อค้าส่ง/พ่อค้าปลีกที่มารับซื้อในชุมชน คิดเป็นร้อยละ 10.00 ทั้งนี้จากการประชุมกลุ่มย่อย จากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งใน

กระบวนการผลิต และการตลาดไค้ค้อล่อนศรีวิชัยลูกผสม เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาการผลิตไค้ค้อล่อนศรีวิชัยลูกผสมเชิงการค้า โดยใช้เครื่องมือทางการตลาด (4P's) ประกอบด้วย ด้านผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้บริโภคนิยมไค้พื้นเมืองลูกผสมที่มีความนุ่ม แน่น และไม่เหนียว น้ำหนักตัวประมาณ 1.2-1.5 กิโลกรัม ด้านราคา โดยมีระดับราคาที่เหมาะสมกับคุณภาพที่คาดว่าจะได้รับ ส่วนช่องทางการจัดจำหน่าย การเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายที่สามารถเข้าถึงกลุ่มผู้บริโภคได้ และการส่งเสริมการตลาด ทั้งในเรื่องของการให้ความรู้เกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการที่ดีจากไค้พื้นเมืองลูกผสม อีกทั้งทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องควรช่วยกันประชาสัมพันธ์เพื่อสร้างการรับรู้ เพื่อเพิ่มปริมาณความต้องการบริโภคไค้พื้นเมืองลูกผสมในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในประเด็นหัวข้อ “การศึกษาระบบผลิตและการตลาดไค้ค้อล่อนศรีวิชัยลูกผสม” มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. เกษตรกรผู้เลี้ยงไค้พื้นเมืองและไค้พื้นเมืองลูกผสมแต่ละครัวเรือนจะต้องคำนึงถึงการจัดการต้นทุนและผลตอบแทนอย่างเหมาะสม โดยเฉพาะการจัดการต้นทุนค่าอาหาร ซึ่งเป็นต้นทุนหลักในการเลี้ยงไค้ ตัวอย่างเช่น การควบคุมปริมาณการให้อาหารต่อมื้อที่เพียงพอ ไม่มากจนเกินไป หรือเหลือทิ้งค้างในรางอาหาร ตลอดจนคำนึงถึงโภชนาการของอาหารที่ให้ในแต่ละช่วงอายุที่เหมาะสม หรืออีกหนึ่งทางเลือกที่เกษตรกรสามารถประกอบสูตรอาหารเพื่อใช้ในการเลี้ยงให้ตรงกับความต้องการของไค้พื้นเมือง โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นภาคใต้ เช่น กากปาล์ม น้ำมัน กากมะพร้าว ต้นสาकु แหนแดง เป็นต้น เพื่อลดต้นทุนค่าอาหารลง ทั้งนี้การบริหารจัดการที่ดีเพื่อลดต้นทุนการผลิตจะส่งผลต่อการเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรอย่างมีประสิทธิภาพ

2. การพัฒนาหรือควบคุมปริมาณน้ำหนักของไค้พื้นเมืองลูกผสม เพื่อส่งขายทั้งในรูปแบบไค้มีชีวิตและไค้ชำแหละให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับความต้องการของผู้บริโภค เพื่อใช้ในการปรุงอาหารในเมนูต่าง ๆ ควรอยู่ระหว่าง 1.2-1.5 กิโลกรัม ซึ่งเป็นช่วงน้ำหนักของไค้พื้นเมืองที่เป็นที่ต้องการของตลาดในพื้นที่ภาคใต้ เกษตรกรที่รวมกลุ่มสามารถวางแผนการผลิต เพื่อให้ได้ระดับน้ำหนัก และปริมาณผลผลิตเพียงพอในแต่ละช่วงเวลา

3. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อไค้พื้นเมืองลูกผสมทั้งในรูปแบบของผลิตภัณฑ์พร้อมปรุงและพร้อมทาน เพื่ออำนวยความสะดวกต่อผู้บริโภคให้สามารถรับประทานอาหารที่มีส่วนประกอบของไค้พื้นเมืองลูกผสมที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีได้อย่างทันที

ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

ทั้งนี้หากมีผู้สนใจที่จะศึกษาต่อเกี่ยวกับประเด็นดังกล่าวผู้วิจัยขอเสนอแนะให้ศึกษาพฤติกรรมการเลือกซื้อเนื้อไค้พื้นเมืองลูกผสม ตลอดจนแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไค้พื้นเมืองลูกผสมในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในตลาด ที่ผู้ผลิตและผู้ประกอบการสามารถสร้างมูลค่าเพิ่ม และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเกษตรกรผู้เลี้ยงไค้พื้นเมืองลูกผสม ผู้ประกอบการ ผู้บริโภค และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการตลาดไค้พื้นเมืองลูกผสมทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดประชุมกลุ่มและตอบแบบสัมภาษณ์เป็นอย่างดี รวมทั้งขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณกองทุนส่งเสริม

วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปี พ.ศ. 2565 ภายใต้โครงการวิจัย ศักยภาพการผลิตและการตลาดไก่คออ่อนศรีวิชัยลูกผสม และขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินโครงการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- Chankong, J. and N. Chauychu-noo. 2021. Production potential and economic, society and environmental impacts of Khaolak black bone chicken, Trang province. **Prawarnu Agricultural Journal** 18(1): 80-87. [in Thai]
- Chuaychu-noo, N., B. Ponatong, P. Kakulpim and J. Chankong. 2022. Cost-benefit analysis and distribution channel of Dang chicken in Southern region. **Prawarnu Agricultural Journal** 19(1): 59-65. [in Thai]
- Information and Communication Technology Center, Department of livestock development. 2021. **Database system for farmers**. [Online]. Available <https://opendata.nesdc.go.th/dataset/d7681470-0120-47ab-8315-5cd28b9539c8/resource/1b116b37-ce19-415d-ae04-dd734add184f/download/-2564.pdf> (March 11, 2022). [in Thai]
- Klaibanmai, S. 2012. **Production Performance and Carcass Quality of Srivichai Crossbred Chickens under Semi-natural Rearing Conditions**. 10 p. *In* Research Report. Bangkok: Bureau of Animal Breeding, Department of Livestock Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [in Thai]
- Leotaragul, A., C. Prathum and S. Morathop. 2009. **Guidance for Customers Perception of Pradu Hangdum Chiangmai Chicken**. 64 p. *In* Research Report. Bangkok: The Thailand Research Fund (TRF). [in Thai]
- Pongvichai, S. 2008. **Statistical Data Analysis by Computer**. 19th. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House. 479 p. [in Thai]
- Prapasawat, C., S. Laothong, A. Leotaragul, P. Rattanachawanon and C. Prasert. 2012. **Economic Development of Native Chicken (Chee-Tha Pra) to Response for Career of Farmers and Consumers**. 43 p. *In* Research Report. Bangkok: The Thailand Research Fund (TRF). [in Thai]
- Saenkhunthow, U., C. Prasert and K. Nonta. 2016. **Study on the system of production and marketing of Thai native chicken in Mahasarakham province**. [Online]. Available <http://region4.dld.go.th/webnew/images/stories/vichakarn/04-2-04-60.pdf> (April 5, 2020). [in Thai]

Siripokakit, K. and A. Inkaew. 2017. **Raising Model of Pradu-hangdum for Stability in the Community and a Supplemental Income with a System of Organic Management Zero Waste.** 80 p. *In* Research Report. Bangkok: The Thailand Research Fund (TRF). [in Thai]

Wongsuthavas, S. and K. Sombun. 2009. **Feasibility Study of the Using of Native Chicken or Native Hybrid Chicken for Commercial in Community Level: Sakon Nakhon Province.** 67 p. *In* Research Report. Bangkok: The Thailand Research Fund (TRF). [in Thai]

พลวัตของตลาดและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการค้าไก่พื้นเมืองในจังหวัดพัทลุง Market Dynamics and Efficiency Analysis of Native Chicken Trade in Phatthalung Province

ดำรงศรีรักษ์ รักบุรี^{1*} บัญชา สมบูรณ์สุข¹ และสุธา วัฒนสิทธิ์²

Damrongrak Rakburi^{1*}, Buncha Somboonsuk¹ and Sutha Watanasit²

¹สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

²สาขาวิชานวัตกรรมการผลิตสัตว์และการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

¹Department of Innovation Agricultural and Management, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand 90112

²Animal Production Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand 90112

*Corresponding author: dum_stcc@hotmail.com

Received: December 07, 2023

Revised: June 10, 2024

Accepted: July 18, 2024

Abstract

This study aimed to examine the general characteristics of the native chicken trade, including the marketing structure, behavior, and operational results in Phatthalung Province's native chicken market. Data were collected from three groups of native chicken traders: 6 local collectors, 4 provincial collectors, and 16 retail chicken traders. Questionnaires were employed for data collection, followed by descriptive and quantitative data analysis. The study revealed that many sellers characterize the live chicken market structure and relatively few buyers, whereas the carcass chicken market has many buyers but few sellers. Local collectors' analysis of the live chicken market indicated a marketing margin of 8.40 Baht per kilogram. Price and technical marketing efficiency are reported at 112.24 and 9.17, respectively. Provincial collectors experience a marketing margin of 17.59 Baht per kilogram, and price marketing efficiency and technical marketing efficiency at 124.73 and 5.04, respectively. Retailers purchasing carcass chicken directly from farmers report a marketing margin of 63.04 Baht per kilogram, and price marketing efficiency and technical marketing efficiency at 191.41 and 3.12, respectively. Retailers who buy chicken from collectors see a marketing margin of 59.29 Baht per kilogram, and price marketing efficiency and technical marketing efficiency at 179.05 and 2.21, respectively.

Keywords: native chicken, market structure, marketing margin, marketing efficiency

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้านี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา ลักษณะทั่วไปของการซื้อขายไก่พื้นเมือง โครงสร้าง การตลาด พฤติกรรมตลาด และผลการดำเนินงาน การตลาดไก่พื้นเมืองในจังหวัดพัทลุง โดยเก็บรวบรวม ข้อมูลจากผู้ประกอบการค้าไก่พื้นเมือง 3 กลุ่ม คือ ผู้รวบรวมระดับท้องถิ่น จำนวน 6 คน ผู้รวบรวมระดับ จังหวัด จำนวน 4 คน ผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละ จำนวน 16 คน ใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล แล้ววิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาและเชิงคุณภาพ จาก การศึกษาพบว่า การซื้อขายไก่พื้นเมืองในตลาด จำแนก เป็นไก่มีชีวิตและไก่ชำแหละ โครงสร้างตลาดไก่มีชีวิตเป็น แบบตลาดผู้ขายมากกว่า ผู้ซื้อที่น้อยราย โครงสร้างตลาด ไก่ชำแหละเป็นตลาดผู้ซื้อมากกว่า ผู้ขายน้อยราย ผลการ ดำเนินงานตลาดไก่มีชีวิตของผู้รวบรวมระดับท้องถิ่น ส่วน เหลื่อมการตลาด 8.40 บาทต่อกิโลกรัม ประสิทธิภาพ การตลาดจากราคา และประสิทธิภาพการตลาดทาง เทคนิค 112.24 และ 9.17 ตามลำดับ ผู้รวบรวมระดับ จังหวัด ส่วนเหลื่อมการตลาด 17.59 บาทต่อกิโลกรัม ประสิทธิภาพการตลาดจากราคา และประสิทธิภาพ การตลาดทางเทคนิค 124.73 และ 5.04 ตามลำดับ ผล การดำเนินงานตลาดไก่ชำแหละของผู้ค้าปลีกซื้อไก่จาก เกษตรกร ส่วนเหลื่อมการตลาด 63.04 บาทต่อกิโลกรัม ประสิทธิภาพการตลาดจากราคา และประสิทธิภาพ การตลาดทางเทคนิค 191.41 และ 3.12 ตามลำดับ ผู้ค้า ปลีกซื้อไก่จากผู้รวบรวม ส่วนเหลื่อมการตลาด 59.29 บาทต่อกิโลกรัม ประสิทธิภาพการตลาดจากราคา และ ประสิทธิภาพการตลาดทางเทคนิค 179.05 และ 2.21 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ไก่พื้นเมือง โครงสร้างตลาด ส่วนเหลื่อม การตลาด ประสิทธิภาพการตลาด

บทนำ

ในปี พ.ศ. 2565 ปริมาณการผลิตไก่ของประเทศ ไทย ทั้งหมดจำนวน 498,862,811 ตัว จำแนกเป็นไก่เนื้อ หรือไก่กระທงมากที่สุดจำนวน 300,362,008 ตัว (ร้อยละ 60.21) รองลงมา ไก่พื้นเมือง ไก่ไข่ ไก่ป๋วย่าและพ่อแม่พันธุ์ ไก่เนื้อ ไก่ป๋วย่าและพ่อแม่พันธุ์ไก่ไข่ และไก่ลูกผสมพื้นเมือง (ไก่สามสาย) จำนวน 117,367,900, 66,986,334, 11,525,405, 1,520,154 และ 1,101,010 ตัว คิดเป็น ร้อยละ 23.53, 13.43, 2.31, 0.30 และ 0.22 ตามลำดับ (Department of Livestock Development, 2023) ปริมาณ การผลิต ไก่พื้นเมือง 1 ใน 5 ของการผลิตไก่ทั้งหมด ปี พ.ศ. 2561 ปริมาณการผลิตไก่พื้นเมืองของจังหวัดพัทลุง จำนวน 1,768,669 ตัว ปี พ.ศ. 2563 และ 2565 ปริมาณการผลิต 1,956,895 และ 2,142,889 ตัว (Department of Livestock Development, 2023) จากปี พ.ศ. 2561 ถึงปี พ.ศ. 2565 การผลิตไก่พื้นเมืองเพิ่มขึ้น ร้อยละ 21.16 การเพิ่มขึ้นของ ไก่พื้นเมืองอาจจะเป็ผลมาจากการส่งเสริมการเลี้ยง หรือปริมาณความต้องการของตลาดหรือผู้บริโภคเพิ่มขึ้น โอกาสในการสร้างรายได้ของเกษตรกร เมื่อปริมาณการ บริโภคไก่พื้นเมืองมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ผู้บริโภคให้การ ยอมรับว่าเนื้อไก่พื้นเมืองมีรสชาติอร่อยกว่าเนื้อไก่กระທง (Wattanachant *et al.*, 2004) มีความเชื่อว่าปลอดภัยจาก สารเคมีตกค้างในเนื้อมากกว่าเนื้อไก่กระທง (Wanichapichat, 2002) เนื้อไก่พื้นเมืองมีความแน่น (Firmness of texture) ปริมาณคอลลาเจนสูงกว่าแต่มี ปริมาณไขมันต่ำกว่าไก่ลูกผสมพื้นเมือง (Jaturasitha *et al.*, 2003)

ลักษณะการซื้อขายไก่พื้นเมือง Yuangket (2017) รายงานว่า เกษตรกรขายไก่รุ่นมีชีวิตให้กับผู้ค้าคนกลาง และผู้บริโภคในท้องถิ่น หลังจากนั้นผู้ค้าคนกลางนำไป เชือดเป็นไก่ชำแหละแล้วขายให้กับผู้บริโภคที่อยู่ในเมือง รูปแบบการซื้อขายดังกล่าวไม่สามารถกระจายสินค้าได้

อย่างทั่วถึง อีกทั้งเมื่อเกิดโรคระบาดเพื่อหลีกเลี่ยงจากการสูญเสียไก่ เกษตรกรจะขายไก่ก่อนถึงช่วงฤดูการระบาดของโรค (Ndathi *et al.*, 2012) ซึ่งสินค้าที่ออกไปสู่ผู้บริโภคไม่มีคุณภาพ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาระบบตลาดไก่พื้นเมือง เพื่อใช้ผลการวิจัยเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาการเลี้ยงและการตลาดไก่พื้นเมือง การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทั่วไปของการซื้อขายไก่พื้นเมือง โครงสร้างการตลาด พฤติกรรมตลาด และผลการดำเนินงานตลาดไก่พื้นเมืองในจังหวัดพัทลุง

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นแบบผสมผสาน (Mixed method research) ประกอบด้วยการวิจัยเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณเก็บรวบรวมข้อมูลกลุ่มเป้าหมายที่เป็นผู้ประกอบการธุรกิจการค้าไก่พื้นเมืองในจังหวัดพัทลุง โดยมีรายละเอียดดังนี้

การเก็บรวบรวมข้อมูล

สัมภาษณ์ผู้ประกอบการธุรกิจการค้าไก่พื้นเมือง 3 กลุ่ม คือ 1) ผู้รวบรวมระดับท้องถิ่น จำนวน 6 คน 2) ผู้รวบรวมระดับจังหวัด จำนวน 4 คน 3) ผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละ จำนวน 16 คน โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างใช้แบบเจาะจง (Purposive sampling) สัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth interview) กลุ่มตัวอย่างในประเด็นต่าง ๆ ได้แก่ ต้นทุนการตลาด ผลตอบแทน กระบวนการรวบรวมไก่มีชีวิต การเชือดไก่ การขายไก่ชำแหละ และการสังเกตแบบไม่มีส่วนร่วม (Non-participant observation) ในขณะที่ผู้รวบรวมระดับท้องถิ่น และผู้รวบรวมระดับจังหวัดซื้อไก่มีชีวิต การเชือดไก่และขายไก่ชำแหละของผู้ค้าปลีก

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ในการวิเคราะห์ลักษณะทั่วไปของตลาดไก่พื้นเมือง โดยใช้การวิเคราะห์เอกสาร และสรุปความจากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการค้าไก่พื้นเมือง และสังเกตแบบไม่มีส่วนร่วม ข้อมูลหลักที่นำเสนอ คือ การซื้อขายไก่มีชีวิต และการซื้อขายไก่ชำแหละ

การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis) โดยการนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์โครงสร้างตลาด พฤติกรรมตลาด และผลการดำเนินงานตลาด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. โครงสร้างการตลาด (Market structure) พิจารณาตาม Preechusak (2013) คือ 1) วิเคราะห์จำนวนผู้ซื้อและผู้ขายในตลาดว่ามีจำนวนมากน้อยเพียงใด 2) ความแตกต่างของสินค้า (Product differentiation) พิจารณาจากตัวสินค้าและบริการต่าง ๆ 3) อุปสรรคในการเข้าสู่ตลาด (Barriers to entry) คือ ความยากง่ายในการเข้ามาทำธุรกิจ
2. พฤติกรรมการตลาด (Market conduct) พิจารณาเกี่ยวกับนโยบายการกำหนดราคา นโยบายด้านสินค้า และนโยบายการกำจัดคู่แข่งขั้นของผู้ค้าในตลาด (Preechusak, 2013)
3. ผลการดำเนินงานตลาด (Market performance) โดยวิเคราะห์ส่วนเหลือการตลาด (Market margin) ประสิทธิภาพการตลาดจากราคา (Pricing efficiency) และประสิทธิภาพการตลาดทางเทคนิค (Technical efficiency) ตามสูตรคำนวณของ Suksard *et al.* (2000-2002) ดังนี้

ส่วนเหลือจากการตลาด = ราคาขายปลีก - ต้นทุนการผลิต

ประสิทธิภาพการตลาดทางเทคนิค = สัดส่วนมูลค่าขายต่อส่วนเหลือจากการตลาด - สัดส่วนมูลค่าขายต่อต้นทุนการตลาด

$$\text{ประสิทธิภาพการตลาดจากราคา} = \frac{\text{ราคาสินค้า}}{\text{ต้นทุนหรือส่วนเหลือจากการตลาด}} \times 100$$

นอกจากนี้ การเชือดไก่เกิดการสูญเสียน้ำหนัก สูตรคำนวณค่าการสูญเสียน้ำหนัก ดัดแปลงมาจาก Suwanlee (2003)

$$\text{ค่าสูญเสียน้ำหนักระหว่างฆ่า} = \frac{(W_1 \times P_a) + [(W_c - W_b - W_1) \times P_a] - (V_c - V_b)}{W_b}$$

W_1 หมายถึง น้ำหนักไก่มีชีวิตที่สูญเสียไประหว่างเชือด หน่วยเป็นกิโลกรัม P_a หมายถึง ราคาจำหน่ายไก่มีชีวิตที่เกษตรกรได้รับ หน่วยเป็นบาทต่อกิโลกรัม W_c หมายถึง น้ำหนักไก่มีชีวิตรวม หน่วยเป็นกิโลกรัม W_b หมายถึง น้ำหนักซากไก่ หน่วยเป็นกิโลกรัม V_c หมายถึง มูลค่าไก่มีชีวิตรวม หน่วยเป็นบาทต่อตัว V_b หมายถึง มูลค่าซากไก่ หน่วยเป็นบาทต่อตัว

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การวิจัยนี้ได้สัมภาษณ์ผู้ประกอบการค้าไก่พื้นเมืองในจังหวัดพัทลุง ช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2565 ได้ผลการวิจัยแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ 1) ลักษณะทั่วไปของตลาดไก่พื้นเมือง 2) โครงสร้างตลาดไก่พื้นเมือง 3) พฤติกรรมตลาด 4) ผลการดำเนินงานตลาดไก่พื้นเมือง รายละเอียดดังนี้

ลักษณะทั่วไปของตลาดไก่พื้นเมือง

ผลผลิตไก่พื้นเมืองในพื้นที่จังหวัดพัทลุง ส่วนใหญ่ มาจากระบบการเลี้ยงแบบครบวงจร (Comprehensive system) และการเลี้ยงแบบประณีต (Intensive system) การซื้อขายไก่พื้นเมืองในตลาดจำแนกเป็นไก่มีชีวิตและไก่ชำแหละ มีรายละเอียดการซื้อขาย ดังต่อไปนี้

1. การซื้อขายไก่มีชีวิต

เกษตรกรขายไก่รุ่นมีชีวิตโตเต็มวัยร้อยละ 100.00 ขายผ่านพ่อค้าคนกลางเกษตรกรที่เลี้ยงไก่แบบประณีต ร้อยละ 95.83 ขายให้ผู้รวบรวมระดับจังหวัด เป็นผู้ซื้อประจำ ซื้อขายกันหน้าฟาร์ม ร้อยละ 100.00 ผู้ซื้อเป็นผู้คัดไก่ตัวที่ไม่สมบูรณ์ออก ผู้ซื้อเป็นผู้กำหนดราคา ร้อยละ 100.00 ราคาไก่เฉลี่ย กิโลกรัมละ 71.12 บาท เกษตรกรที่เลี้ยงไก่แบบครบวงจร ร้อยละ 88.76 ขายไก่ให้กับผู้รวบรวมระดับท้องถิ่น และผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละ เป็นผู้ซื้อประจำ การซื้อขายมีทั้งผู้ซื้อมารับไก่ที่ฟาร์ม เกษตรกรนำไปส่งให้ผู้ซื้อ และทั้งเกษตรกรไปส่งและผู้ซื้อมารับที่ฟาร์มสลับกันแล้วแต่ความสะดวกของแต่ละฝ่าย ร้อยละ 44.97, 40.38 และ 14.20 ตามลำดับ ผู้ซื้อเป็นผู้กำหนด ร้อยละ 98.22 ราคาไก่เฉลี่ย กิโลกรัมละ 68.60 บาท ผู้ซื้อและผู้ขายร่วมกันจัดขึ้นมาตรฐานสินค้าน้ำหนักไก่ 1.40-2.00 กิโลกรัมต่อตัว สอดคล้องกับรายงานของ Yakubu (2010) เกษตรกร ร้อยละ 62.40 ขายไก่ที่โตเต็มวัยเพราะเป็นที่ต้องการของตลาด ขายให้ผู้ซื้อประจำ ร้อยละ 67.46

2. การซื้อขายไก่ชำแหละ

ผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละซื้อไก่มีชีวิตทั้งจากเกษตรกรและผู้รวบรวม นำไก่ไปผ่านกระบวนการเชือด ทำให้เป็นซากไก่หรือไก่ชำแหละแล้วขายให้ผู้บริโภคในตลาดสด ผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละเป็นทั้งผู้รวบรวมไก่ โรงเชือด และค้าปลีกไก่ชำแหละอยู่ในบุคคลเดียวกัน สอดคล้องกับรายงานของ Relucio (2021) เกษตรกรขายไก่มีชีวิตให้กับพ่อค้าคนกลาง หลังจากนั้นนำไปเชือดเป็น

ไก่ชำแหละแล้วขายให้กับผู้บริโภคในตลาดสด ผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละจะเชือดไก่เพียงพอเพื่อขายในแต่ละวัน กรณีขายไก่ไม่หมดหรือเชือดไก่เผื่อไว้ขายในวันพรุ่ง (ผู้ค้าบางรายไม่เชือดไก่ในวันพรุ่ง) ผู้ค้าจะเก็บรักษาซากไก่ไว้ในตู้แช่เย็นหรือถังแช่น้ำแข็งเพื่อป้องกันการเน่าเสียและสูญเสียคุณภาพราคาไก่ชำแหละในตลาดนัดท้องถิ่น 125-135 บาทต่อกิโลกรัม ในตลาดสดเทศบาล 130-140 บาทต่อกิโลกรัม ไก่ชำแหละขายในรูปของไก่กลมไม่เอาเครื่องในออก ขายไก่ทั้งตัวหรือครึ่งตัว บริการลับเป็นชิ้นตามความต้องการของลูกค้า

โครงสร้างตลาดไก่พื้นเมือง (Market structure)

1. โครงสร้างตลาดไก่พื้นเมืองมีชีวิต เป็นตลาดผู้ขายมากมาย ผู้ซื้อทั้งน้อยราย เกษตรกรมากมายขายไก่มีชีวิต ผู้ค้าที่ซื้อไก่เฉพาะกลุ่มผู้รวบรวมไก่มีชีวิต ไก่พื้นเมืองมีชีวิตไม่ความแตกต่างกัน การเข้าออกตลาดของผู้ซื้อรายใหม่ค่อนข้างยาก เพราะเป็นการซื้อขายในลักษณะผู้ซื้อประจำ ผู้ซื้อต้องมีความรู้ความชำนาญในการป้องกันไก่เสียชีวิตและลดการสูญเสียน้ำหนักในขณะขนส่ง สอดคล้องกับรายงานของ Nochai (2011) โครงสร้างตลาดทุเรียนระดับฟาร์มในจังหวัดจันทบุรี เป็นตลาดผู้ขายมากมาย ผู้ซื้อน้อยราย แต่รายงานของ Office of Agricultural Economics (2014) โครงสร้างการตลาดแพะเนื้อ เป็นตลาดแข่งขันสมบูรณ์ (Pure competition) เพราะมีผู้ขายและผู้ซื้อมากมาย การเข้าออกตลาดทำได้ง่าย แต่ผู้ซื้อจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับแพะเนื้อ

2. โครงสร้างตลาดไก่พื้นเมืองชำแหละ เป็นตลาดผู้ซื้อมากมาย ผู้ขายน้อยราย ผู้บริโภคมากมายซื้อไก่ชำแหละ ผู้ค้าที่ขายไก่ชำแหละเฉพาะกลุ่มผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละในตลาดสด โดยสภาพของไก่ชำแหละจะมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน การเข้าออกตลาดของผู้ค้ารายใหม่ค่อนข้างยาก ผู้ดูแลตลาดจะไม่รับผู้ค้ารายใหม่เข้ามาในตลาดกรณีผู้ค้ารายเดิมยังขายสินค้าอยู่ในตลาด ผู้ค้าต้องมีความรอบรู้ความชำนาญในการเก็บรักษาไก่ชำแหละให้คงความสด รายงานของ Phothiralert (2001) โครงสร้างตลาดปลานิล

ในจังหวัดขอนแก่น มีลักษณะตลาดแบบผู้ขายน้อยราย และระดับผู้ค้าปลีกโครงสร้างตลาดค่อนข้างเข้าใกล้ตลาดแข่งขัน Office of Agricultural Economics (2009) โครงสร้างตลาดเนื้อโคชำแหละเป็นลักษณะผู้ซื้อน้อยรายและผู้ขายมากมาย ผู้ค้าที่ซื้อโคมีชีวิตเพื่อนำไปฆ่าชำแหละนั้นจะมีค่อนข้างน้อย จำกัดเฉพาะบุคคลบางกลุ่ม

พฤติกรรมการตลาด (Market conducts)

1. นโยบายการกำหนดราคา (Pricing policies) ไก่มีชีวิต ผู้ซื้อที่มีอำนาจต่อราคาเหนือกว่าผู้ผลิต การซื้อขายระหว่างผู้รวบรวมด้วยกัน ร่วมกันกำหนดราคา ผู้รวบรวมระดับจังหวัดขายไก่ให้ผู้ค้าต่างจังหวัด ผู้ขายเป็นผู้กำหนดราคา ผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละขายไก่ชำแหละให้ผู้บริโภค ผู้ขายเป็นผู้กำหนดราคา สอดคล้องกับรายงานของ Relucio (2021) การซื้อขายไก่พื้นเมืองจากฟาร์มถึงผู้บริโภคคนสุดท้าย ผู้ซื้อเป็นผู้กำหนดราคา เว้นแต่ผู้ค้าปลีกขายไก่ให้ผู้บริโภค ผู้ขายเป็นผู้กำหนดราคา

2. นโยบายด้านสินค้า (Product policies) ผู้ค้าที่เป็นผู้ซื้อไก่มีชีวิตแต่ละรายมีนโยบายทำให้สินค้าแตกต่างกันตามทัศนะของผู้ขาย เช่น ผู้รวบรวมไก่บางรายซื้อไก่มีชีวิตทั้งตัวที่ผสมและอ้วน หลังจากนั้นนำไก่ตัวผสมมาขุนให้อ้วนก่อนขาย กรณีไก่อ่อนบนต้นไม้ซึ่งจับไถยาก ผู้รวบรวมไก่บางรายบริการจับไก่ให้ ผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละพยายามสร้างความแตกต่างให้กับสินค้า ด้วยการขายไก่ชำแหละร่วมกับชุดเครื่องเคียงที่ใช้ในการปรุงอาหารเมนูไก่พื้นเมือง อย่างเช่น ขายกะทิ หยกกล้วย เป็นต้น และขายไก่ชำแหละพร้อมชุดเครื่องปรุง อย่างเช่น ไก่บ้านต้มขมิ้น ไก่บ้านต้มข่า ผัดเผ็ดไก่บ้าน เป็นต้น ส่วนรายงานของ Phothiralert (2001) พฤติกรรมของผู้ค้าปลานิลประเภทต่าง ๆ ทำให้เกิดความแตกต่างของสินค้าในแง่ของการให้บริการเงินเชื่อแก่ลูกค้า ทำให้เกิดความผูกพันกันระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายเป็นลักษณะการค้าแบบเจ้าประจำ ส่วนผู้ค้าปลีกจะเน้นให้บริการด้านการชำแหละปลาให้สามารถนำไปปรุงอาหารได้ทันทีตามความต้องการของผู้บริโภค

3. การกำจัดคู่แข่ง (Coercive conduct) ทั้งตลาดไก่มีชีวิตและไก่ชำแหละ ไม่ปรากฏผู้ค้าไก่รายใดมีนโยบายกำจัดคู่แข่งด้วยวิธีการลดราคาสินค้าเพื่อตัดราคาคู่แข่ง หรือให้ลูกค้ามาซื้อสินค้าของตนเพิ่มมากขึ้น และการใช้อิทธิพลในการสร้างอุปสรรคในการเข้าสู่ตลาดของผู้ค้ารายใหม่ Office of Agricultural Economics (2009) รายงานว่าตลาดเนื้อโคชำแหละผู้ค้ารายใหม่เข้าตลาดเพื่อทำธุรกิจนี้ค่อนข้างยาก ต้องเสี่ยงกับอิทธิพลของผู้ค้ารายเดิม

โครงสร้างตลาดไก่มีชีวิตเป็นตลาดผู้ขายมากกว่ารายผู้ซื้อถึงน้อยราย จึงส่งผลต่อพฤติกรรมตลาดด้านนโยบายการกำหนดราคา เกษตรกรจำนวนมากเป็นผู้ขายแต่ปริมาณที่ขายน้อยจึงไม่มีอิทธิพลใด ๆ ในการกำหนดราคา ถูกกำหนดโดยพลังของอุปสงค์และอุปทานของสินค้าในตลาด เกษตรกรเป็นเพียงผู้ยอมรับราคาที่กำหนดมาแล้ว (Beierlein and Woolverton, 1994) การเข้าสู่การผลิตไก่พื้นเมืองของเกษตรกรเป็นไปอย่างเสรี อีกทั้งเมื่อราคาไก่เพิ่มสูงขึ้นมีสินค้าทดแทน เช่น เนื้อหมู เนื้อวัว ไก่เนื้อ ไก่ลูกผสมพื้นเมือง เป็นต้น ตลาดไก่พื้นเมืองมูลค่าการตลาดไม่มาก เป็นการประกอบอาชีพของคนในชุมชน ระดับตำบล หรืออำเภอ จึงไม่มีการใช้อิทธิพลสร้างอุปสรรคเข้าสู่ตลาดของผู้ค้ารายใหม่

โครงสร้างตลาดไก่ชำแหละเป็นตลาดผู้ขายน้อยราย ผู้ซื้อทุกราย ส่งผลให้เกิดการร่วมมือกันของตลาดผู้ขายน้อยราย (Cartel) โดยการกำหนดราคาแบบรวมหัวกันตกลง

ราคา (Collusion) หรือรวมหัวกันผูกขาดทั้งโดยเปิดเผยและไม่เปิดเผย หรืออาจจะตกลงกันในเรื่องปริมาณของสินค้า เพื่อให้ราคาคงอยู่ในระดับสูง (Phuthong, n.d.) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า แต่ละตลาดจะมีผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละ 2-3 ราย ราคายาจะเท่ากันทั้งหมด แต่ระหว่างตลาดราคายาไม่เท่ากัน ปรับราคาให้ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของตลาด อาจเป็นเพราะมูลค่าของตลาดไม่มากผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละจึงมิได้แข่งขันกันที่ค่อนข้างรุนแรง (Cut throat competition) เพื่อแย่งชิงลูกค้าให้มาซื้อสินค้าของตนเองมากที่สุด

ผลการดำเนินงานตลาดไก่พื้นเมือง (Market performance)

1. ต้นทุนการรวบรวมไก่พื้นเมืองมีชีวิต เป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค้าขายไก่มีชีวิต มีความแตกต่างกันไปตามประเภทของผู้ค้า ผู้รวบรวมระดับท้องถิ่น ผู้รวบรวมระดับจังหวัด และผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละ ต้นทุนการตลาด 4.15, 7.64 และ 4.81 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ รายละเอียดต้นทุนการตลาดแสดงไว้ใน Table 1 Richard and Thomson (2014) ได้รายงานว่าต้นทุนการรวบรวมไก่พื้นเมืองในเขตลูซกา ประเทศแซมเบีย 30.44 คลาซาต่อตัว ขายไก่ให้กับผู้ค้าส่ง และผู้ค้าปลีก 33.13 และ 36.63 คลาซาต่อตัว ตามลำดับ

Table 1 The marketing costs of live native chicken traders (Baht/kilogram)

Item	Local collector		Provincial collector		Retailer whole chicken	
	Cash	Non-cash	Cash	Non-cash	Cash	Non-cash
Fixed costs	-	0.85	-	0.58	-	1.10
- Depreciation of chicken-raising house	-	0.07	-	0.03	-	0.19
- Depreciation of vehicle	-	0.36	-	0.26	-	0.57
- Depreciation of chicken-raising equipment	-	0.04	-	0.03	-	0.04
- Opportunity cost	-	0.35	-	0.26	-	0.29
- Land use cost	-	0.02	-	0.01	-	-

Table 1 (Continued)

Item	Local collector		Provincial collector		Retailer whole chicken	
	Cash	Non-cash	Cash	Non-cash	Cash	Non-cash
Variable costs	3.30	-	7.06	-	3.71	
- Feed cost	0.37	-	0.61	-	0.94	-
- Fuel cost	0.36	-	1.75	-	0.81	-
- Wage	-	1.99	-	2.14	-	1.67
- Cost of water supply	0.03	-	0.01	-	0.05	-
- Cost of electricity	0.03	-	0.01	-	0.05	-
- Cost of a telephone	0.15	-	0.07	-	0.19	-
- Animal movement fees	0.07	-	0.21	-	-	-
- Cost of weight loss	0.30	-	2.27	-	-	-
Cash and non-cash costs	1.31	2.85	4.92	2.72	2.04	2.77
Total costs		4.15		7.64		4.81

Table 2 Performance of the native chicken market by different types of traders (Baht/kilogram)

Item	Local collector	Provincial collector	Retailers buy from farmers	Retailers buy from aggregators
	Price of purchasing live chickens	68.60	71.12	68.96
Selling price of live chicken	77.00	88.71	-	-
Selling price of carcass chicken	-	-	132.00	134.29
Marketing margin	8.40	17.59	63.04	59.29
- Returns	4.25	9.95	20.78	19.65
- Marketing costs	4.15	7.64	42.26	39.73
* Collecting cost			4.81	-
* Slaughter cost			29.69	31.34
* Retail cost			8.39	8.39

Table 2 (Continued)

Item	Local collector	Provincial collector	Retailers buy from farmers	Retailers buy from aggregators
Marketing margin	8.40	17.59	63.04	59.29
- Returns	4.25	9.95	20.78	19.65
- Marketing costs	4.15	7.64	42.26	39.73
* Collecting cost			4.81	-
* Slaughter cost			29.69	31.34
* Retail cost			8.39	8.39
Pricing efficiency	112.24	124.73	191.41	179.05
Selling price per cost	1.12	1.21	1.91	1.79
Selling price per marketing margin	9.17	5.04	3.12	2.21
Technical efficiency	8.05	3.83	1.21	0.42
Return rat (%)	6.19	13.99	30.13	26.20

2. ประสิทธิภาพการตลาดจากราคา (Pricing efficiency) ไม้พื้นเมืองมีชีวิตที่ซื้อขายโดยผู้รวบรวมระดับจังหวัด ประสิทธิภาพการตลาดจากราคาดีกว่าที่ซื้อขายโดยผู้รวบรวมระดับท้องถิ่น (124.73 เปรียบเทียบ 112.24) เพราะราคาขายของผู้รวบรวมระดับจังหวัดสูงกว่าผู้รวบรวมระดับท้องถิ่น สอดคล้องกับรายงานของ Ayieko *et al.* (2014) ราคาที่ผู้บริโภครายจ่ายเพิ่มขึ้น 1 ซิลลิงเคนยา ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางการตลาด ร้อยละ 4 โดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ ไม้ชำแหวะที่ผู้ค้าปลีกซื้อจากเกษตรกรประสิทธิภาพการตลาดจากราคาดีกว่าที่ผู้ค้าปลีกซื้อจากผู้รวบรวม (191.41 เปรียบเทียบ 179.05) เมื่อพิจารณาระหว่างไม้มีชีวิตกับไม้ชำแหวะ ประสิทธิภาพการตลาดจากราคาของไม้ชำแหวะดีกว่าไม้มีชีวิต (Table 2)

3. ประสิทธิภาพการตลาดทางเทคนิค (Technical efficiency) ค่าประสิทธิภาพการตลาดทางเทคนิคของผู้ค้าไม้มีชีวิตสูงกว่าไม้ชำแหวะ (Table 2) แสดงว่าผู้ค้าไม้มีชีวิตมีโอกาสผูกขาดในการดำเนินการค้าในตลาดสูงกว่าผู้ค้าไม้ชำแหวะ Ayieko *et al.* (2014)

รายงานว่าการซื้อขายไม้พื้นเมือง 8 ช่องทาง ประสิทธิภาพการตลาดเฉลี่ย 2.29 แต่ช่องทางการตลาดที่เกษตรกรขายไม้ให้กับผู้บริโภคโดยตรงประสิทธิภาพการตลาดเฉลี่ย 5.29 เพราะต้นทุนการตลาดต่ำสุด อีกทั้งราคาที่ผู้บริโภครายสุดท้ายได้รับก็ต่ำสุดด้วย Daniel (2002) รายงานว่า ระบบตลาดที่มีประสิทธิภาพสามารถกระจายสินค้าจากผู้ผลิตไปยังลูกค้าด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุด และราคาที่ลูกค้ารายสุดท้ายจ่ายยุติธรรมรวมทั้งทุกฝ่ายที่เข้ามาในกิจกรรมการผลิตและการตลาด

สรุปผลการวิจัย

1. ลักษณะทั่วไปของตลาดไม้พื้นเมือง เกษตรกรที่เลี้ยงไม้แบบประณีต ขายไม้มีชีวิตให้ผู้รวบรวมระดับจังหวัด ราคาไม้เฉลี่ยกิโลกรัมละ 71.12 บาท เกษตรกรที่เลี้ยงไม้แบบครบวงจร ขายไม้ให้กับผู้รวบรวมระดับท้องถิ่นและผู้ค้าปลีกไม้ชำแหวะ ราคาไม้เฉลี่ยกิโลกรัมละ 68.60 บาท ผู้ค้าปลีกไม้ชำแหวะขายไม้ให้ผู้บริโภคในตลาดสดในรูปแบบ

ของไก่กลมไม่เอาเครื่องในออก ราคาไก่ชำแหละในตลาดนัด
ท้องถิ่น 125-135 บาทต่อกิโลกรัม ในตลาดสดเทศบาล 130-
140 บาทต่อกิโลกรัม

2. โครงสร้างตลาดไก่พื้นเมือง (Market structure) โครงสร้างตลาดไก่มีชีวิต เป็นตลาดผู้ขายมาก ราย ผู้ซื้อก็น้อยราย สินค้าไม่มีความแตกต่างกัน การเข้า ออกตลาดของผู้ค้ารายใหม่ค่อนข้างยาก ผู้ค้าต้องมีความรู้ ความชำนาญในการป้องกันไก่เสียชีวิต โครงสร้างตลาดไก่ชำแหละ เป็นตลาดผู้ซื้อจากราย ผู้ขายน้อยราย ลักษณะ สินค้าไม่มีความแตกต่างกัน การเข้าออกตลาดของผู้ค้า รายใหม่ค่อนข้างยาก ผู้ค้าต้องมีความรู้เกี่ยวกับการเก็บ รักษาไก่ชำแหละ

3. พฤติกรรมตลาด (Market conducts) พฤติกรรมตลาดไก่มีชีวิต ผู้ซื้อมีอำนาจต่อรองราคา มากกว่าเกษตรกรและสร้างความแตกต่างของสินค้าด้วยการ ให้บริการต่าง ๆ ผู้ค้าไม่มีนโยบายกำจัดคู่แข่ง พฤติกรรม การตลาดไก่ชำแหละ ผู้ขายเป็นผู้กำหนดราคาและสร้างความแตกต่างของสินค้าด้วยการให้บริการ ผู้ค้าไม่มี นโยบายกำจัดคู่แข่ง

4. ผลการดำเนินงานตลาดไก่พื้นเมือง (Market performance) ส่วนเหลือการตลาดของผู้รวบรวมระดับ ท้องถิ่น ผู้รวบรวมระดับจังหวัด ผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละที่ซื้อ ไก่มีชีวิตจากเกษตรกร และผู้ค้าปลีกไก่ชำแหละซื้อไก่ มีชีวิตจากผู้รวบรวมระดับท้องถิ่นและระดับจังหวัด 8.40, 17.59, 63.04 และ 59.29 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. การซื้อขายไก่พื้นเมือง ผู้ค้าปลีกควรจ้างให้ โรงเชือดที่ได้มาตรฐานเป็นผู้เชือดไก่ โดยที่ตนเองยังไม่ ต้องลงทุนมากนัก และสามารถลดเวลาในเรื่องของการเชือด ไม่ต้องเชือดทุกวัน อาจจะเชือดสัปดาห์ละครั้ง หรือ สัปดาห์ละ 2 ครั้ง ตามความจุของตู้แช่เย็น ซึ่งจะนำไปสู่การ เข้าไปขายในตลาดระดับสูง กรณีเชือดเองโรงเชือด ควรได้รับการปรับปรุงให้ได้มาตรฐาน เพื่อขยายตลาด ให้กว้างขวางขึ้น แม้ว่าต้นทุนจะเพิ่มมากขึ้น จากอุปกรณ์

เชือด การแช่เย็น (Chill) ตลอดจนการเก็บรักษา จะทำให้ การวางแผนการกระจายสินค้าไปสู่ผู้บริโภคมีประสิทธิภาพ เพิ่มขึ้น

2. ด้านโครงสร้างตลาด โครงสร้างตลาดไก่มีชีวิต ผู้ขายจากราย ผู้ซื้อน้อยราย เกษตรกรไม่มีอำนาจในการ กำหนดราคา เป็นเพียงผู้รับทราบราคาเท่านั้น ดังนั้น เกษตรกรต้องสร้างเครือข่ายการเลี้ยงไก่พื้นเมือง ให้เข้มแข็ง โดยการรวมกันซื้อและขาย เพื่อให้สามารถ มีอำนาจต่อรองราคา เพื่อกำหนดราคาอยู่บนฐาน ของต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์

3. ด้านพฤติกรรมตลาด ผู้รวบรวมระดับท้องถิ่น ควรขยายเฉพาะไก่ตัวที่อ้วน โดยการนำไปขุนให้อ้วนก่อนขาย หรือซื้อเฉพาะไก่ตัวที่อ้วน เหมือนกับผู้รวบรวมระดับ จังหวัด พร้อมทั้งพัฒนาการเลี้ยงของเกษตรกร ส่งเสริมให้ เกษตรกรเลี้ยงไก่พื้นเมืองแบบประณีตเพิ่มขึ้น และเลี้ยง ภายใต้อาหารมาตรฐานฟาร์มของกรมปศุสัตว์ ส่วนของไก่ชำแหละ ผู้ค้าปลีกควรพัฒนาบรรจุภัณฑ์ให้สวยงามและสะอาด เหมือนกับบรรจุภัณฑ์ที่วางจำหน่ายในตลาดโมเดิร์นเทรด และซูเปอร์มาร์เก็ต

4. จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการตลาด จากราคา ประสิทธิภาพการตลาดทางเทคนิคของไก่ชำแหละ ดีกว่าไก่มีชีวิต ดังนั้น เกษตรกรควรปรับปรุงรูปแบบการขาย จากขายไก่มีชีวิตมาเป็นการขายไก่ชำแหละให้กับผู้บริโภค ในชุมชน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มผู้ค้าไก่พื้นเมืองในจังหวัดพัทลุง ทั้งผู้ค้าไก่มีชีวิตและผู้ค้าไก่ชำแหละ ที่อนุเคราะห์ให้ข้อมูล เพื่อประกอบการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณเกษตรกร เลี้ยงไก่พื้นเมืองที่แนะนำและนัดหมายผู้ค้าไก่พื้นเมืองเพื่อ การสัมภาษณ์ และขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาการ จัดการทรัพยากรเกษตรเขตร้อน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ให้คำแนะนำและสนับสนุน การทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Ayieko., D.M.O., E.K. Bett and L.W. Kabuage. 2014. An analysis of the efficiency of indigenous chicken marketing channels in Makueni County, Kenya. **The Journal of Agriculture and Development** 3(2): 26-34.
- Beierlein, J.G. and M.W. Woolverton. 1994. **Agribusiness Marketing: The Management Perspective.** New Jersey: Prentice Hall, Inc. 298 p.
- Daniel, M. 2002. **Agriculture Economic, First Edition (in Bahasa Indonesia).** Jakarta: Bumi Aksara. 100 p.
- Department of Livestock Development. 2023. **Data on the number of livestock in Thailand 2023.** [Online]. Available <https://region6.dld.go.th/webnew/pdf/it6565.pdf> (January 12, 2023). [in Thai]
- Jaturasitha, S., S. Khiaosa-ard, A. Phongphaew, A. Leotaragul, S. Saitong, S. Apichatsrunkoon, V. Leangwunta and N. Longani. 2003. Effect of Strain, Sex, Weight and Muscle on Fat Quality of Thai Native and Crossbred Chickens (Gai Baan Thai). pp. 127-136. *in Proceedings of 42th Academic Conference of Kasetsart University.* Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]
- Ndathi, A., E. Muthiani., E. Kirwa., P. Kibet and H. Cheruiyot. 2012. **Constraints and opportunities in indigenous chicken production and marketing in Mashuru and Loitoktok Divisions of Kajiado district.** [Online]. Available <http://www.kari.org/fileadmin/publications/10thProceedings/Volone/ConstraintOpportune.pdf> (November 8, 2023).
- Nochai, R. 2011. **Structure Conduct Performance on Marketing of Durian in Chanthaburi Province.** 67 p. *In* Research Report. Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. [in Thai]
- Office of Agricultural Economics. 2009. **Study of the Beef Cattle Marketing System.** 89 p. *In* Report Research. Bangkok: Office of Agricultural Economics. [in Thai]
- _____. 2014. **Study of Meat Goat Marketing.** 67 p. *In* Research Report. Bangkok: Office of Agricultural Economics. [in Thai]
- Phothiralert, N. 2001. **Analysis of the Tilapia Market System in Mueang District, Khon Kaen Province.** Master Thesis. Khon Kaen University. 109 p. [in Thai]

- Phuthong, B. n.d. **Market structure, market pricing and price discrimination.** Bangkok: Suan Sunandha Rajabhat University. [Online]. Available https://elcls.ssru.ac.th/bunyaporn_ph/mod/resource/view.php?id=93 (November 8, 2023).
- Preechasak, P. 2013. **Principles of Microeconomics.** 4th Ed. Bangkok: Thammasat University. 437 p. [in Thai]
- Relucio, J.A. 2021. Value chain analysis of native chicken in selected Barangay of Partido. **Technium** 3: 50-66.
- Richard, B. and K. Thomson. 2014. An Analysis of the value chain for indigenous Chickens in Zambia's Lusaka and Central provinces. **Journal of Agricultural Studies** 2: 32-52.
- Suksard, S., N., Chonlapap W. Hoamuangkaew and S. Jarusombuti. 2000-2002. Marketing system of hardboard in Thailand. **Thai Journal of Forestry** 19-21: 31-41.
- Suwanlee, S. 2003. **Marketing of Beef Cattle and Buffalo.** 34 p. *In* Research Report. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University. [in Thai]
- Wanichapichat., W. 2002. **Native Chicken (Local Chicken) Good Stuff Exists.** pp. 1-17. *In* Training documents: The Development of Indigenous Chicken production for a comprehensive breeders quality. Songkhla: Faculty of Natural Resources, Prince of Songkhla University. [in Thai]
- Wattannachant, S., S. Benjakul and D.A. Ledward. 2004. Composition color and texture of Thai indigenous and broiler muscles. **Poult. Sci.** 83: 123-128.
- Yakubu, A. 2010. Indigenous chicken flocks of Nasarawa State, Nigeria their characteristics, husbandry and productivity. **Tropical and Subtropical Agro Ecosystems** 12: 69-76.
- Yuangket. A. 2017. **Extension of Native Chickens Production and Marketing by Farmers in Danchang District, Suphan Buri Province.** Master Thesis. Sukhothai Thammathirat Open University. 117 p. [in Thai]

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร
ในอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี

Factors Related to Farmers' Decision to Use Rice Seeds
in Mueang District, Suphanburi Province

ปทุมมมาลย์ นาคสมพันธ์* เชิดพงษ์ ชีระจิตต์ และจิรัฏฐินาฏ ถังเงิน

Pathumman Naksomphan*, Cherdpong Kheerajit and Jirattinart Thungngern

สาขาการจัดการเกษตรและชุมชน คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

Agriculture and Community Management, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen

Kasetsart University, Nakhon Pathom, Thailand 73140

*Corresponding author: Pathumman.na@ku.th

Received: March 22, 2024

Revised: July 03, 2024

Accepted: July 26, 2024

Abstract

This research aimed to study 1) the socio-economic of farmers in Mueang district, Suphan Buri province 2) knowledge levels of farmers about rice seeds 3) marketing mix factors in farmers' selection of rice seed purchasing decision 4) problems and suggestions to used rice varieties 5) factors related to farmers' decision to use rice seeds. Data was collected from 400 farmers who were rice growers in 2023 in Mueang district, Suphan Buri province, using questionnaires and analyzed using descriptive statistics and tested the hypothesis by Chi-Square.

The results showed that 1) Most of the population was female. Age average was 54.96 years, graduate at the primary school. They were experience in rice growing at the average of 22.39 years. Farmers chose to grow paddy rice as the main plant. The most popular variety was RD41. Rice growing area average was 22.69 rai. Most of them were rental places. Farmers used rice seeds rate at 28.94 kg. /rai. Rice seeds sown in flooded field. The average cost of rice production was 4,562 Baht/rai. The average yield was 906kg./rai. The average selling price of the produce was 10,204 Baht/ton. The average return from growing rice was 4,731 Baht/rai, 2) The knowledge level of farmers is at a moderate level, 3) Marketing mix factors found that farmers gave important to high yields variety, followed by promotion, 4) The most common problems that farmers encounter were product problems including the quality and price of rice seeds, farmers needs government to controls quality, and market prices of rice seeds. and 5) Related factor to used rice varieties of farmers were planting objective, soil type, water source,

rice seeds sellers, cost (rice seeds price), yields, knowledge level of farmers, and effect from people in the community. The factor was significant related to used rice varieties at 0.05 level.

Keywords: rice seeds, factors to use rice seeds, rice marketing mix

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ข้อมูลพื้นฐานด้านเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกร 2) ระดับความรู้เรื่องเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร 3) ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร 4) ปัญหาและข้อเสนอแนะ 5) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว เก็บข้อมูลจากเกษตรกรผู้ปลูกข้าวรอบนาปี พ.ศ. 2566 จำนวน 400 คน โดยใช้แบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา และทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ Chi-Square

ผลการวิจัยพบว่า 1) เกษตรกรที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 54.96 ปี จบการศึกษาระดับประถมศึกษา ประสบการณ์ในการปลูกข้าวเฉลี่ย 22.39 ปี เกษตรกรเลือกปลูกข้าวเจ้าเป็นหลัก โดยพันธุ์ที่นิยมปลูกได้แก่ กข41 ขนาดพื้นที่ปลูกเฉลี่ย 22.69 ไร่ โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เช่า ใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวเฉลี่ย 28.94 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งหวานในนาน้ำต้ม ต้นทุนการผลิตข้าวเฉลี่ย 4,562 บาทต่อไร่ ปริมาณผลผลิตเฉลี่ย 906 กิโลกรัมต่อไร่ ราคาขายผลผลิตเฉลี่ย 10,204 บาทต่อตัน ผลตอบแทนจากการปลูกข้าวเฉลี่ย 4,731 บาทต่อไร่ 2) ระดับความรู้ของเกษตรกรอยู่ในระดับปานกลาง 3) ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด พบว่าเกษตรกรให้ความสำคัญในด้านผลิตภัณฑ์ที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงมากที่สุด รองลงมาคือด้านการส่งเสริมการขาย 4) ปัญหาที่เกษตรกรพบมาก คือปัญหาด้านผลิตภัณฑ์ ได้แก่ คุณภาพ และราคาเมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งเกษตรกรมีความต้องการให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้ามาควบคุมมาตรฐาน และราคาตลาดเมล็ดพันธุ์ข้าว 5) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร พบว่าลักษณะดิน

ปลูก แหล่งน้ำที่ใช้ แหล่งซื้อเมล็ดพันธุ์ข้าว ราคาเมล็ดพันธุ์ข้าว ปริมาณผลผลิต ผลตอบแทน ระดับความรู้ และการประชาสัมพันธ์ผ่านเพื่อนบ้านและผู้นำชุมชน มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ: เมล็ดพันธุ์ข้าว ปัจจัยต่อการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว ส่วนประสมทางการตลาดข้าว

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศมีอาชีพปลูกข้าว พื้นที่การปลูกข้าวต่อปีสูงถึง 63 ล้านไร่ และเป็นประเทศผู้ส่งออกข้าวที่สำคัญของโลก (Office of Agricultural Economics, 2022) แต่ในปัจจุบัน ประเทศไทยกำลังประสบปัญหาในด้านคุณภาพ และปริมาณผลผลิตข้าว ซึ่งส่งผลกระทบต่อรายได้ของเกษตรกรต่ำกว่าประเทศอื่น ๆ ในเขตอาเซียน โดยสาเหตุของปัญหา อาจเกิดมาจากรูปแบบการผลิตข้าวของเกษตรกรไม่แตกต่างจากรูปแบบดั้งเดิมที่เคยมีในอดีต โดยความรู้และกรรมวิธีในการผลิตข้าวได้มาจากการถ่ายทอดจากรุ่นสู่รุ่น ส่งผลให้กรรมวิธีในการผลิตข้าว บางส่วนของเกษตรกรล้าหลังและไม่เหมาะสม อีกทั้งเกษตรกรยังไม่สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีสมัยใหม่ได้มากเท่าที่ควร ส่งผลให้ขาดความรู้และทักษะในหลาย ๆ ด้าน เช่น การนำเทคโนโลยีการจัดการที่มีคุณภาพมาประยุกต์ใช้ การเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมทั้งต่อสภาพพื้นที่และสภาพแวดล้อม การรวมกลุ่มเกษตรกร เพื่อสร้างเครือข่ายของผู้ผลิตข้าวสำหรับแลกเปลี่ยนความรู้ ข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และการเข้าถึงแหล่งเมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งช่วยให้เกษตรกรสามารถพัฒนากระบวนการ

ผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2564–2565 ต้นทุนการผลิตข้าวในรอบนาปีสูงถึง 4,172 บาทต่อไร่ (Land Development Department, 2022) ในขณะที่ปริมาณผลผลิตข้าวในประเทศไทยเฉลี่ย 446 กิโลกรัมต่อไร่ ต่ำกว่าประเทศคู่แข่งอื่น ๆ เช่น ประเทศจีน (ผลผลิตข้าวเฉลี่ย 1,099 กิโลกรัมต่อไร่) เวียดนาม (ผลผลิตข้าวเฉลี่ย 862 กิโลกรัมต่อไร่) และอินเดีย (ผลผลิตข้าวเฉลี่ย 593 กิโลกรัมต่อไร่) (Rice Department, 2021)

จากปัญหาด้านคุณภาพและปริมาณผลผลิตข้าวของเกษตรกรไทย รัฐบาลจึงมีนโยบายในการบรรจุแผนพัฒนา ภายใต้ยุทธศาสตร์ข้าวไทยด้านการผลิตปี พ.ศ. 2563–2567 โดยมีเป้าหมายในการพัฒนาเกษตรกรให้มีความเข้มแข็งพึ่งพาตนเองได้ โดยเน้นย้ำในเรื่องของการผลิตพันธุ์ข้าว เพื่อพัฒนาผลผลิตให้ได้ปริมาณและคุณภาพดี มีคุณสมบัติตรงต่อความต้องการของตลาด และมีมาตรฐานในการบริหารจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ให้มีประสิทธิภาพสูงเพียงพอต่อความต้องการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร โดยในปี พ.ศ. 2566 กรมการข้าวมีนโยบายส่งเสริมด้านเมล็ดพันธุ์ข้าวผ่านทางโครงการส่งเสริมการเปลี่ยนพันธุ์ข้าว เพื่อให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนมาใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวคุณภาพดี (Rice Seed Division, 2022)

จังหวัดสุพรรณบุรีเป็นจังหวัดที่มีการประกอบอาชีพเกษตรกรรมโดยเฉพาะข้าว ซึ่งมีพื้นที่ปลูกสูงถึง 1,908,000 ไร่ คิดเป็น 41.44 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งจังหวัด (Royal Irrigation Department, 2018) สามารถผลิตข้าวได้เฉลี่ย 694 กิโลกรัมต่อไร่ ในปี พ.ศ. 2566 อำเภอเมืองสุพรรณบุรีมีพื้นที่ปลูกข้าวมากถึง 278,365 ไร่ คิดเป็น 1 ใน 3 ของอำเภอที่มีการปลูกข้าวสูงที่สุดของจังหวัดสุพรรณบุรี พันธุ์ข้าวที่เกษตรกรอำเภอเมืองสุพรรณบุรีปลูกมีความหลากหลายของสายพันธุ์เป็นอย่างมาก (Mueang Suphanburi District Agricultural Extension Office, 2023) ซึ่งการจัดการการผลิตมีความแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัย

จึงต้องการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกันของเกษตรกรในอำเภอเมืองจังหวัดสุพรรณบุรี รวมไปถึงต้นทุน และผลตอบแทน เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมให้เกษตรกรเลือกใช้พันธุ์ข้าวที่มีความเหมาะสม และสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการคาดการณ์ความต้องการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นส่วนหนึ่งในการเพิ่มความมั่นคงทางรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้ผลิตข้าว การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคมของเกษตรกร 2) ศึกษาปัจจัยด้านความรู้เรื่องเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร 3) ศึกษาปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร และ 4) เพื่อทราบปัญหาและข้อเสนอแนะของเกษตรกร ในอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คือ แบบสอบถาม เก็บรวบรวมข้อมูล และดำเนินการโดยศึกษาข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการเกี่ยวกับ แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ เกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่ขึ้นทะเบียนกับกรมส่งเสริมการเกษตรปี พ.ศ. 2566 ในอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี จำนวนทั้งสิ้น 400 คน

2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล เริ่มจากการกำหนดกรอบเนื้อหา และคำถามให้สอดคล้องกับกรอบแนวคิดงานวิจัย ศึกษารูปแบบคำถามจากทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC) โดยเสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่านที่มีความเชี่ยวชาญด้านเมล็ดพันธุ์ข้าว และด้านพื้นที่ (อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี) ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ จากนั้นทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ โดย

การนำแบบสอบถามไปสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าว นอกพื้นที่เป้าหมาย ได้แก่ อำเภอบางปลาม้า 15 คน และ อำเภ่อู่ทอง 15 คน รวมทั้งสิ้น 30 คน และนำข้อมูลที่ได้มาทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability test) ด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Cronbach, Alpha) จากโปรแกรมสำเร็จรูป แบบสอบถามประกอบด้วยคำถาม 4 ส่วน โดยส่วนที่ 1-4 มีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาเท่ากับ 0.77, 0.70, 0.93 และ 0.92 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแบบสอบถามมีความเชื่อมั่นในระดับสูง ซึ่งประกอบด้วยข้อคำถามดังนี้

2.1 ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ สังคม และสภาพการผลิตข้าวของเกษตรกร สภาพทางเศรษฐกิจและสังคม ประกอบด้วยคำถามเกี่ยวกับ เพศ อายุ ระดับการศึกษา จำนวนแรงงานภาคการเกษตร การเป็นสมาชิกของสถาบันเกษตรกร การเข้าร่วมการอบรมด้านการผลิตข้าว และลักษณะการปลูกข้าวของเกษตรกร ซึ่งประกอบด้วยคำถามเกี่ยวกับประสบการณ์ในการปลูกข้าว วัตถุประสงค์ในการผลิตข้าว จำนวนพื้นที่ปลูกข้าว สภาพพื้นที่เพาะปลูกข้าว ลักษณะดิน แหล่งน้ำที่ใช้ วิธีการปลูกข้าว แหล่งข้อมูลด้านเมล็ดพันธุ์ข้าว แหล่งที่มาของเมล็ดพันธุ์ พันธุ์ข้าว ราคาเมล็ดพันธุ์ อัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ ระยะการเก็บเกี่ยว แหล่งจำหน่าย ปริมาณผลผลิต ต้นทุน และผลตอบแทน (Surat Thani Rice Seed Center, 2023)

2.2 ปัจจัยด้านความรู้ เรื่องเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร เป็นคำถามแบบ 4 ตัวเลือก เกี่ยวกับความรู้และความเข้าใจที่เกษตรกรมีต่อเมล็ดพันธุ์ข้าว จำนวน 15 ข้อ (Preeyarat *et al.*, 2013)

2.3 ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อพันธุ์ข้าวของเกษตรกร เป็นคำถามเกี่ยวกับปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ราคา การจัดจำหน่าย และการส่งเสริมการขาย โดยกำหนดเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) แบบมาตราลิเคิร์ต (Likert scale) 5 ระดับ (Nikorn *et al.*, 2017) โดยกำหนดคะแนน ดังนี้

ระดับความถี่ต่อการตัดสินใจ	ระดับคะแนน
มากที่สุด	5
มาก	4
ปานกลาง	3
น้อย	2
น้อยที่สุด	1

2.4 ปัญหาและข้อเสนอแนะแนวทางในการเลือกใช้พันธุ์ข้าวของเกษตรกร เก็บข้อมูลในด้านเมล็ดพันธุ์ข้าว ด้านการตลาด ด้านข้อมูลข่าวสาร และปัญหาอื่น ๆ โดยแบ่งระดับของปัญหาที่เกษตรกรพบในการเลือกใช้พันธุ์ข้าวเป็น 5 ระดับ เช่นเดียวกับข้อ 2.3

3. เก็บรวบรวมข้อมูล โดยการสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่ขึ้นทะเบียนกับกรมส่งเสริมการเกษตร ปี พ.ศ. 2566 ในอำเภอมือง จังหวัดสุพรรณบุรี จำนวน 400 คน จากประชากรทั้งสิ้น 8,792 คน โดยใช้สูตรการหาขนาดตัวอย่างของ Yamane (1973)

4. นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมแบบสอบถามจากเกษตรกร มาตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อมูล และทำการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Science) ทั้ง 4 ส่วน ดังนี้

4.1 วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ สังคม และสภาพการผลิตข้าวของเกษตรกรในรูปแบบร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 วิเคราะห์ปัจจัยด้านความรู้เรื่องเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร การวัดระดับความรู้ของเกษตรกรในเรื่องเมล็ดพันธุ์ข้าว มีเกณฑ์การให้คะแนน คือ ตอบผิดได้ 0 คะแนน และตอบถูกได้ 1 คะแนน จากนั้นนำค่าคะแนนที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ขนาดความกว้างอันตรภาคชั้น จากคำถาม 15 ข้อ 15 คะแนน ซึ่งประกอบด้วยคำถามด้านคุณภาพเมล็ดพันธุ์ คุณสมบัติของพันธุ์ข้าว และอัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ เป็นต้น โดยแบ่งช่วงคะแนนเป็น 3 ระดับ (Papob *et al.*, 2018)

คะแนน 0-5 คะแนน หมายถึง ระดับความรู้ต่ำ
 คะแนน 6-10 คะแนน หมายถึง ระดับความรู้ปานกลาง
 คะแนน 11-15 คะแนน หมายถึง ระดับความรู้มาก

4.3 วิเคราะห์ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด (ผลิตภัณฑ์ ราคา การจัดจำหน่าย และการส่งเสริมการขาย) (Nikorn *et al.*, 2017) ในการเลือกซื้อพันธุ์ข้าวด้วยร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้วิธีการคำนวณหาค่าน้ำหนักค่าเฉลี่ยโดยใช้สูตร

$$\text{อันดับภาคชั้น} = \frac{\text{พิสัย}}{\text{จำนวนชั้น}}$$

$$= \frac{\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}} = \frac{5 - 1}{5} = 0.8$$

การแปลผลข้อมูลใช้วิธีการนำค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในแต่ละประเด็นมาเทียบเกณฑ์ ดังนี้

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.21-5.00 หมายถึง ระดับความสำคัญต่อการเลือกซื้อพันธุ์ข้าวมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.41-4.20 หมายถึง ระดับความสำคัญต่อการเลือกซื้อพันธุ์ข้าวมาก

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.61-3.40 หมายถึง ระดับความสำคัญต่อการเลือกซื้อพันธุ์ข้าวปานกลาง

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.81-2.60 หมายถึง ระดับความสำคัญต่อการเลือกซื้อพันธุ์ข้าวต่ำ

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.00-1.80 หมายถึง ระดับความสำคัญต่อการเลือกซื้อพันธุ์ข้าวต่ำที่สุด

4.4 ปัญหาและข้อเสนอแนะแนวทางในการเลือกใช้พันธุ์ข้าวของเกษตรกร วิเคราะห์โดยใช้สถิติ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.4.1 การแปลความหมายระดับปัญหาในการเลือกเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร ใช้วิธีการนำค่าเฉลี่ยปัญหาในแต่ละประเด็นมาเทียบเกณฑ์ (จัดช่วงเหมือนข้อ 4.3)

4.4.2 การแปลความหมายระดับความจำเป็นในการส่งเสริมการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร ใช้วิธีการนำค่าเฉลี่ยปัญหาในแต่ละประเด็นมาเทียบเกณฑ์ (จัดช่วงเหมือนข้อ 4.3)

4.5 หาความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Chi-Square โดยหาปัจจัยด้านสังคม เศรษฐกิจ ลักษณะการปลูกข้าว ความรู้เกี่ยวกับเมล็ดพันธุ์ข้าว และปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร

ผลการวิจัย

จากการศึกษาปัจจัยด้านข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจสังคม และสภาพการผลิตข้าวของเกษตรกร สามารถเมื่อแบ่งกลุ่มพันธุ์ข้าวตามตลาดการผลิต (Land Development Department, 2022) ดังนี้

1) จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 คน มีเกษตรกรเพศหญิงจำนวน 213 คน (ร้อยละ 53.30) เพศชาย 187 คน (ร้อยละ 46.70) มีอายุเฉลี่ย 54.96 ปี (ร้อยละ 47.80) จบการศึกษาระดับประถมศึกษาจำนวน 199 คน (ร้อยละ 49.80) เป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกรจำนวน 198 คน (ร้อยละ 49.50) และเคยอบรมเรื่องการผลิตข้าวจำนวน 202 คน (ร้อยละ 50.50) สมาชิกส่วนใหญ่ในครัวเรือนที่ทำกรเกษตรมี 2 คนต่อครัวเรือน (ร้อยละ 48.30) ซึ่งเกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามมีประสบการณ์ในการปลูกข้าวเฉลี่ย 22.39 ปี เกษตรกรเลือกปลูกข้าวเจ้าเป็นหลักโดยพันธุ์ที่นิยมปลูกที่สุด ได้แก่ กข41 เนื่องจากเป็นพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมต่อสภาพพื้นที่ และสภาพอากาศของอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี พื้นที่ปลูกข้าว เฉลี่ย 22.69 ไร่ โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เช่า ปลูกข้าวในพื้นที่ราบลุ่มจำนวน 217 คน (ร้อยละ 54.30) การแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารด้านเมล็ดพันธุ์ เกษตรกรมักได้รับข่าวสารจากเพื่อนบ้านและญาติเป็นหลัก เกษตรกรใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวในอัตราเฉลี่ย 28.94 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งหว่านในนาจำนวน 357 คน (ร้อยละ 89.30) เน้นเก็บเกี่ยวข้าวด้วยวิธีการนบอายุข้าว เกษตรกรที่ผลิตข้าวในรอบนาปี พ.ศ. 2566 มีต้นทุนการผลิตข้าวเฉลี่ย 4,562 บาทต่อไร่ เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในปี พ.ศ. 2560 ซึ่งมี

ต้นทุนการผลิตข้าว 4,225 บาทต่อไร่ (Thitipat and Supattra, 2017) โดยปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยสถิติ Chi-Square เพื่อทดสอบสมมติฐาน พบว่าปัจจัยดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร (Table 1) ในขณะที่ปัจจัยในส่วนของเป้าหมายในการปลูกข้าว

ลักษณะดินปลูก แหล่งน้ำที่ใช้ในการปลูกข้าว แหล่งซื้อเมล็ดพันธุ์ข้าว ราคาเมล็ดพันธุ์ข้าว การใช้เครื่องมือในการเพาะปลูก ปริมาณผลผลิต การจัดจำหน่าย ราคาขาย และผลตอบแทนจากการปลูกข้าว พบว่าปัจจัยดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Table 1 Socio-economic factor to farmer's decision to used rice seeds

Factors	χ^2	Sig.	Factors	χ^2	Sig.
Gender	4.40	0.22 ^{ns}	Age	15.90	0.20 ^{ns}
Education attainment	24.20	0.15 ^{ns}	Number of agricultural workers	13.91	0.31 ^{ns}
Agricultural organization members	27.60	0.15 ^{ns}	Agricultural training	15.50	0.22 ^{ns}
Experience in growing rice	14.13	0.29 ^{ns}	Goals for growing rice	96.20	0.00*
Agricultural land area holding	18.59	0.99 ^{ns}	Area characteristics	8.72	0.46 ^{ns}
Potting soil	20.10	0.02*	Water source for farming	71.60	0.00*
Information	57.06	0.26 ^{ns}	Source of grain seeds	125.00	0.00*
Grain seed price	50.70	0.00*	Grain seed utilization rate	71.60	1.00 ^{ns}
Seeding	16.03	0.07 ^{ns}	Use of tools for cultivation	21.01	0.05 ^{ns}
Harvest	4.71	0.86 ^{ns}	Average yield per rai	40.10	0.00*
Average distribute per rai	29.80	0.00*	Average price per rai	45.41	0.00*
Average cost per rai	16.36	0.17 ^{ns}	Average return per rai	22.20	0.04*

ns = not significant, * Statistically significant level at 0.05

2) ปัจจัยด้านความรู้เกี่ยวกับเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร อยู่ในระดับปานกลาง (คะแนน 5-10 คะแนน) จำนวน 328 คน (ร้อยละ 82.00) รองลงมาคือระดับน้อย (คะแนน 0-5 คะแนน) จำนวน 46 คน (ร้อยละ 11.50) และระดับมาก (คะแนน 11-15 คะแนน) จำนวน

26 คน (ร้อยละ 6.50) เมื่อทดสอบสมมติฐาน พบว่าความรู้มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (Table 2)

Table 2 The farmer knowledge level to farmer's decision to used rice seeds

Factor	\bar{x}	S.D.	χ^2	Sig.
Knowledge level	1.95	0.42	152.50	0.00*

* Statistically significant level at 0.05

3) ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด ได้แก่ ผลผลิต ราคา การจัดจำหน่าย และการส่งเสริมการขาย พบว่าเกษตรกรให้ความสำคัญในด้านผลผลิตที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงมากที่สุด รองลงมาคือ ด้านการส่งเสริมการขาย เมื่อทดสอบสมมติฐาน พบว่าส่วนประสมทางการตลาด มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของ

เกษตรกร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 ใน 2 ด้าน ได้แก่ ด้านผลผลิต และด้านการส่งเสริมการขาย แต่ด้านราคาและด้านการจัดจำหน่าย ไม่พบความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร (Table 3)

Table 3 Factors marketing mix in farmers' selection of rice seed

Marketing mix	\bar{x}	S.D.	χ^2	Sig.
Product	4.18	0.70	82.33	0.01*
Price	3.76	0.82	28.90	0.88 ^{ns}
Place or Distribution	3.87	0.81	30.20	0.46 ^{ns}
Promotion	3.44	0.82	165.00	0.04*

ns = not significant, * Statistically significant level at 0.05

4) ปัญหา พบว่าเกษตรกรมีปัญหาด้านผลผลิต ทั้งคุณภาพ และราคาเมล็ดพันธุ์ข้าวในระดับมาก รองลงมาคือ ปัญหาด้านตลาด และการรับข้อมูลข่าวสาร

โดยเกษตรกรพบปัญหาในระดับปานกลาง เมื่อทดสอบสมมติฐาน พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร (Table 4)

Table 4 The rice seeds problem to farmer's decision to used rice seeds

Marketing mix	\bar{x}	S.D.	χ^2	Sig.
Product	3.42	0.83	115.00	0.13 ^{ns}
Market	3.17	0.94	29.88	0.19 ^{ns}
Information	2.87	1.01	23.47	0.49 ^{ns}

ns = not significant

5) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกรในอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ประกอบด้วย เป้าหมายในการผลิตข้าว ลักษณะดินปลูกข้าว แหล่งน้ำที่ใช้ในการปลูกข้าว แหล่งซื้อเมล็ดพันธุ์ข้าว ราคาเมล็ดพันธุ์ข้าว การจำหน่ายผลผลิต ปริมาณผลผลิตข้าว ราคาขายผลผลิตผลตอบแทนจากการปลูกข้าว ระดับความรู้ ส่วนประสมทางการตลาดด้านผลิตภัณฑ์ และด้านส่งเสริมการขาย (Table 5)

Table 5 Factor to farmer's decision to used rice seeds

Factor	χ^2	P-Value
Goals for growing rice	96.20	0.00*
Potting soil	20.10	0.02*
Water source for farming	71.60	0.00*
Source of grain seeds	125.00	0.00*
Grain seed price	50.70	0.00*
Average distribute per rai	29.80	0.00*
Average yield per rai	40.10	0.00*
Average price per rai	45.41	0.00*
Average return per rai	22.20	0.04*
Knowledge level	152.50	0.00*
Product	82.33	0.01*
Promotion	165.00	0.04*

* Statistically significant level at 0.05

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกรในอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี มีประเด็นการอภิปรายผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

1) ปัจจัยด้านข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคลเช่น เพศ อายุ ระดับการศึกษา ไม่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยในการศึกษาพฤติกรรมการซื้อเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรในพิจญ์โลก (Nikorn *et al.*, 2017) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร ได้แก่ เป้าหมายในการผลิตข้าว เนื่องจากเกษตรกรมีเป้าหมายผลิตข้าวเพื่อขาย เพื่อเก็บเมล็ดพันธุ์ และเพื่อบริโภค จึงเลือกปลูกข้าวพันธุ์ที่ต่อบัตถุประสงค์ในการผลิตข้าวของตน ซึ่งส่งผลต่อการใช้เครื่องมือในการเพาะปลูกข้าว เพราะเกษตรกรบางส่วนเลือกวิธีการปักดำกับการปลูกข้าวที่ผลิตเป็นเมล็ดพันธุ์เพื่อให้ง่ายต่อการจัดการ ในขณะที่เกษตรกรที่ผลิตเพื่อขายให้โรงสีมักใช้เครื่องพ่นในการหว่านข้าว เพราะประหยัดต้นทุน ลักษณะดินปลูกข้าว และแหล่งน้ำที่ใช้ในการปลูกข้าวถือเป็นปัจจัยที่สำคัญ เพราะพันธุ์ข้าวมีความเหมาะสมต่อสภาพดินปลูกที่แตกต่างกัน และอายุข้าวที่แตกต่างส่งผลต่อปริมาณ และระยะเวลาการใช้น้ำในระบบการผลิตข้าว แหล่งที่มาของเมล็ดพันธุ์ข้าวและราคาเมล็ดพันธุ์ข้าว สอดคล้องกับการเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว (Sasiwimon, 2014) เนื่องจากข้าวบางพันธุ์มีการเพาะปลูกน้อยส่งผลให้เมล็ดพันธุ์ข้าวหายาก รวมไปถึงมีราคาสูงเกษตรกรบางส่วนจึงเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้เอง หรือซื้อจากศูนย์ข้าวชุมชนในพื้นที่ เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ส่วนของปริมาณผลผลิต ราคาขาย และผลตอบแทน สอดคล้องกับการตัดสินใจเลือกพันธุ์ข้าว (Preeyarat *et al.*, 2013) เพราะข้าวที่ให้ผลผลิตสูง และขายได้ราคาดี ส่งผลต่อผลตอบแทนของเกษตรกร

2) ความรู้มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 สอดคล้องกับปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว (Surat Thani Rice Seed Center, 2023) เกษตรกรที่มีความรู้ในด้านเมล็ดพันธุ์ทราบถึงความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมต่อการปลูกข้าว รวมถึงการจัดการเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตสูง และคุณภาพดี อีกทั้งยังสามารถเลือกใช้พันธุ์ข้าวที่ขายได้ราคาสูง ส่งผลต่อรายได้จากการผลิตข้าว

3) ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดมีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 ในด้านผลิตภัณฑ์ที่ให้ผลผลิตสูง สอดคล้องกับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ (Chonrats *et al.*, 2022) เพราะเกษตรกรต้องการเมล็ดพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงเป็นอันดับแรกก่อนมองคุณสมบัติในด้านอื่น ๆ ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดรองลงมา คือ ด้านการส่งเสริมการขาย ในขณะที่ด้านราคาและการจัดจำหน่าย ไม่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจในการเลือกซื้อเมล็ดพันธุ์ ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยในการเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Nikorn *et al.*, 2017) พบว่า ปัจจัยด้านราคา และการจัดจำหน่ายมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจในการเลือกซื้อเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

4) ปัญหาไม่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 แต่ปัญหาที่เกษตรกรพบมาก คือ ปัญหาด้านผลิตภัณฑ์ ได้แก่ คุณภาพ และราคาเมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในการเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ประสบปัญหาเดียวกัน (Nikorn *et al.*, 2017) จากปัญหาที่เกษตรกรพบทำให้เกษตรกรบางส่วนเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ปลูกในรอบถัดไป หรือซื้อเมล็ดพันธุ์จากนาเพื่อนบ้าน ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์มีการปนจากพันธุ์อื่น มีโรคและแมลงติดมากับเมล็ดพันธุ์ส่งผลต่อคุณภาพของผลผลิต

5) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร ได้แก่ เป้าหมายในการผลิตข้าว ลักษณะดินปลูกข้าว แหล่งน้ำที่ใช้ในการปลูกข้าว แหล่งซื้อเมล็ดพันธุ์ข้าว ราคาเมล็ดพันธุ์ข้าว การจำหน่ายผลผลิต ปริมาณผลผลิตข้าว ราคาขายผลผลิต ผลตอบแทนจากการปลูกข้าว ระดับความรู้ ส่วนประสมทางการตลาดด้านผลิตภัณฑ์ และด้านส่งเสริมการขาย แสดงว่าปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ด้านพื้นที่สภาพแวดล้อมในการปลูกข้าว และราคาเมล็ดพันธุ์ ประกอบกับความรู้ที่เกษตรกรมีอยู่ล้วนมีความสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร เช่นเดียวกับผลตอบแทนที่เกษตรกรจะได้รับ คือ ปริมาณผลผลิต ราคาขาย และผลตอบแทน

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกรในอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ด้วยแบบสอบถาม จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 คน โดยใช้สถิติ Chi-Square วิเคราะห์ข้อมูล สามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

1) เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุค่อนข้างสูง และมีประสบการณ์ในการปลูกข้าวเฉลี่ยเกิน 20 ปี โดยเกษตรกรส่วนใหญ่เช่าพื้นที่เพื่อปลูกข้าว เนื่องจากเกษตรกรไม่มีที่ดินทำกินเป็นของตนเอง ข้อมูลข่าวสารที่เกษตรกรได้รับมาจากเพื่อนบ้านและญาติเป็นหลัก ในด้านการซื้อขายเมล็ดพันธุ์ มักซื้อจากร้านค้าเป็นหลัก เนื่องจากใกล้บ้าน ซึ่งซื้อในราคาสูง และซื้อในปริมาณมาก เพราะมีการใช้เมล็ดพันธุ์สูงมากกว่าที่กรมการข้าวแนะนำ ให้ใช้ รูปแบบการปลูกข้าวยังเป็นรูปแบบเดิม คือ หว่าน ด้วยเครื่องพ่นในน่าน้ำตม และอาศัยการนับวันตามอายุข้าวเพื่อกำหนดวันเก็บเกี่ยวผลผลิต มีต้นทุนการผลิตข้าวเฉลี่ย 4,562 บาทต่อไร่ ปริมาณผลผลิตเฉลี่ย 906 กิโลกรัมต่อไร่ ราคาขายผลผลิตเฉลี่ย 10,204 บาทต่อตัน ผลตอบแทนจากการปลูกข้าวเฉลี่ย 4,731 บาทต่อไร่

2) ระดับความรู้ของเกษตรกร อยู่ในระดับปานกลาง โดยข้อคำถามที่เกษตรกรตอบถูกน้อยที่สุด คือ อัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรไม่ทราบถึงอัตราเมล็ดพันธุ์ที่เหมาะสม ทำให้เกิดการขาดแคลนเมล็ดพันธุ์ และราคาเมล็ดพันธุ์สูง เกษตรกรบางส่วนจึงเลือกซื้อเมล็ดพันธุ์จากนาเพื่อนบ้าน ซึ่งอาจเกิดการปนของพันธุ์ข้าวเมล็ดพันธุ์หญ้า โรค แมลง และทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

3) ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด พบว่าเกษตรกรให้ความสำคัญในด้านผลิตภัณฑ์ที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงมากที่สุด รองลงมาคือ ด้านการส่งเสริมการขาย โดยเฉพาะการประชาสัมพันธ์ผ่านเพื่อนบ้านและผู้นำชุมชน

4) ปัญหาที่เกษตรกรพบมาก คือ ปัญหาด้านผลิตภัณฑ์ ได้แก่ คุณภาพ และราคาเมล็ดพันธุ์ข้าว รองลงมาคือ ด้านการตลาด และการรับข้อมูลข่าวสารของเกษตรกร

5) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 คือ เป้าหมายในการผลิตข้าว สภาพพื้นที่ ได้แก่ ลักษณะดิน และแหล่งน้ำ ด้านเมล็ดพันธุ์ แหล่งซื้อขาย และราคาล้วนมีผลต่อการตัดสินใจ ด้านผลผลิต ปริมาณ ราคาขาย และผลตอบแทนจากการปลูกข้าวจัดเป็นปัจจัยอันดับต้น ๆ ที่เกษตรกรให้ความสำคัญ เช่นเดียวกับระดับความรู้ด้านเมล็ดพันธุ์ ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดด้านผลิตภัณฑ์ และด้านการส่งเสริมการขาย

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

จากการเก็บข้อมูลเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่าเกษตรกรมองเห็นเป้าหมายในการผลิตข้าว สภาพพื้นที่ปลูก ปริมาณผลผลิต และรายได้ในการผลิตข้าว เป็นปัจจัยหลักในการเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว ดังนั้น จึงควรปรับปรุงพันธุ์ข้าวใหม่ ๆ และส่งเสริมการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ตรงตามความต้องการของเกษตรกร

ความรู้ของเกษตรกรอยู่ในระดับปานกลาง โดยส่วนใหญ่เกษตรกรไม่ทราบถึงอัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่เหมาะสม นอกจากนี้พบว่าเกษตรกรมีการเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่ได้รับการรับรองพันธุ์จากกรมการข้าว ดังนั้นเกษตรกรควรศึกษา และหาข้อมูลอัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่เหมาะสม หรือการปฏิบัติในการเกษตรกรรม เพื่อลดต้นทุนการผลิตที่เสียไปจากการใช้เมล็ดพันธุ์ในอัตราสูง

ด้านส่วนประสมทางการตลาด เกษตรกรให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ที่ให้ผลผลิตสูง และมีการส่งเสริมการขาย เพราะเกษตรกรส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ การเข้าถึงข่าวสารด้านเมล็ดพันธุ์ใหม่ ๆ จึงต้องผ่านทางผู้นำชุมชน และเพื่อนบ้านเป็นหลัก จึงควรแนะนำส่งเสริม หรือประชาสัมพันธ์ผ่านทางผู้นำชุมชน เพื่อให้เกษตรกรได้รับข้อมูลมากขึ้น

ปัญหาเมล็ดพันธุ์ข้าวราคาสูง ควรส่งเสริมให้มีการพัฒนาตลาด เพื่อให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงแหล่งซื้อเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพได้

2. ข้อเสนอแนะสำหรับเจ้าหน้าที่

เจ้าหน้าที่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในพื้นที่ต้องดำเนินการส่งเสริมความรู้ให้กับเกษตรกร ภายใต้กระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน ตามแนวคิดของ Cherdpong and Flor (2013) ที่ระบุว่า ระดับการมีส่วนร่วมของเกษตรกร จะมีผลต่อระดับความรู้ ทักษะคิด และการปฏิบัติของเกษตรกร หากเกษตรกรมีส่วนร่วมในกิจกรรมการส่งเสริมมากเท่าไร ระดับความรู้ ทักษะคิด และการปฏิบัติของเกษตรกรจะยิ่งมีประสิทธิผลมากยิ่งขึ้นด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องการส่งเสริมความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของข้าว ความเหมาะสมต่อพื้นที่ก่อนนำมาปลูก ความรู้ด้านพัฒนาการผลิตข้าวเพื่อเป็นเมล็ดพันธุ์ข้าวที่นำไปปลูกต่อได้ และควรประชาสัมพันธ์พันธุ์ข้าวใหม่ ๆ ที่เหมาะสมกับพื้นที่ของเกษตรกร

ด้านการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่ได้คุณภาพ และมาตรฐานเมล็ดพันธุ์ ทางกรมการข้าวควรมีมาตรการในการควบคุมให้เหมาะสม และประชาสัมพันธ์ข้อกำหนด

หรือกฎระเบียบที่ควบคุมด้านการผลิต และจำหน่ายเมล็ดพันธุ์ข้าวให้เกษตรกร ร้านค้า และตัวแทนจำหน่ายทราบ

เพื่อแก้ปัญหาเมล็ดพันธุ์ข้าวราคาสูง ภาครัฐควรมีนโยบายส่งเสริมให้มีการพัฒนาตลาด โดยการจัดทำความร่วมมือทางการค้า เช่น การทำข้อตกลงความร่วมมือทางการค้า (Business matching) กับผู้ประกอบการเมล็ดพันธุ์ข้าว เพื่อให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงแหล่งซื้อเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพได้

3. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งถัดไป

ควรศึกษาแบบเจาะจงพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรนิยมปลูก เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมในการเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว และศึกษาลักษณะ ความต้องการของเกษตรกรในพื้นที่อื่น ๆ เพื่อให้ทราบถึงความต้องการส่วนใหญ่

เอกสารอ้างอิง

- Cherdpong, K. and A.G. Flor. 2013. Participatory development communication for natural resources management in Ratchaburi province, Thailand. **Social and Behavioral Sciences** 103(2013): 703-709.
- Chonrats, P., K. Kulapa and D. Apichart. 2022. Factors affecting farming decision to purchase maize seed of farmers in Soi Dao district, Chanthaburi province. **Journal of Social Science Panyapat** 4(4): 41-56. [in Thai]
- Land Development Department. 2022. **Farmer Economic Return Analysis**. 118 p. /In Research Report. Bangkok: Land Development Department. [in Thai]

- Mueang Suphanburi District Agricultural Extension Office. 2023. **Mueang Suphanburi District Agricultural Extension Office Plan, Suphanburi Provincial Agricultural Extension Office 2023-2027**. [Online]. Available <http://mueang.suphanburi.doe.go.th/images/agri%20dev%20plan/plan%20data%2066%2070%201%20aug%202022/20mueangsuphanburi.pdf> (October 22, 2023). [in Thai]
- Nikorn, J., P. Ajchara and C. Achara. 2017. Maize Seed Buying Behavior of Farmers in Phitsanulok Province. pp. 3910-3918. *In Proceedings of the 14th KU-KPS Conference*. Nakhon Pathom: Kamphaeng Saen Kasetsart University. [in Thai]
- Office of Agricultural Economics. 2022. **In-season rice field: agricultural land area, harvested area, yield and average yield per rai country level, region level and province level 2021-2022 at 15% humidity**. [Online]. Available <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/rice%20varieties%2064.pdf> (October 22, 2023). [in Thai]
- Papob, J., K. Phutthisun, S. Phahol and F. Saisakul. 2018. Factors affecting farming at the household level in accordance with the philosophy of sufficiency economy of farmers in U-mong municipality, Meuang district, Lamphun province. **Journal of Agricultural Research and Extension** 36(1): 55-67. [in Thai]
- Preeyarat, J., S. Sunan and N. Pornchulee. 2013. Decision Making in Varieties Selection for Rice Production by Farmers in Mueang District of Kamphaeng Phet Province. pp. 11-18. *In The 4th STOU Graduate Research Conference*. Bangkok: Sukhothai Thammathirat Open University. [in Thai]
- Rice Department. 2021. **Projects under the Thai Rice Strategy for Production 2020-2024**. 100 p. *In Research Report*. Bangkok: Rice Department. [in Thai]
- Rice Seed Division. 2022. **Manual for the Operation of the Rice Seed Modification Project 2022**. 20 p. *In Research Report*. Bangkok: Rice Department. [in Thai]

- Royal Irrigation Department. 2018. **Report on the master plan for watershed development in Suphanburi province.** [Online]. Available <http://opm.rid.go.th/backend/web/filemanager-uploads/source/opm-main/.pdf> (February 15, 2023). [in Thai]
- Sasiwimon, S. 2014. **Good Rice Seed Adoption of Farmers in Suphanburi Province.** Diploma Thesis. Kasetsart University. 149 p. [in Thai]
- Surat Thani Rice Seed Center. 2023. **Factors Affecting the Demand for Rice Seeds of Farmers in the Pak Phanang River Basin.** 44 p. *In* Research Report. Surat Thani: Surat Thani Rice Seed Center. [in Thai]
- Thitipat, M. and S. Supattra. 2017. Farmers opinions on utilization of *Trichoderma harzianum*, controlling the fungal diseases in rice field, Bangplama district, Suphanburi province. **King Mongkut's Agricultural Journal** 35(1): 35-43. [in Thai]
- Yamane, T. 1973. **Statistic: An Introductory Analysis.** 3rd. New York: Harper and Row. 1130 p.

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

บทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร ปีที่ 41 ฉบับที่ 1-3 ได้รับความอนุเคราะห์พิจารณาความถูกต้องทางวิชาการของบทความจากผู้ทรงคุณวุฒิจากหลากหลายสถาบัน/หน่วยงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ดังรายนามต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

- รองศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.วศิน เจริญตันธนกุล
- รองศาสตราจารย์ ดร.สิริวัฒน์ สาครวาสี
- รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ พวงงามชื่น
- รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร จันทน์ฉาย
- รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร อมรเลิศพิศาล
- รองศาสตราจารย์ ดร.บงกชมาศ เอกเอี่ยม
- รองศาสตราจารย์ ดร.รภััสสรณ์ คงธนจารุอนันต์
- รองศาสตราจารย์ ดร.ระวี คณเฑาะบุรีรักษ์
- รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ หวังเจริญ
- รองศาสตราจารย์ ดร.แหลมไทย อาษานอก
- รองศาสตราจารย์ ดร.อารีย์ เชื้อเมืองพาน
- รองศาสตราจารย์ทิพสุคนธ์ พิมพ์พิมล
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หยาดฝน ทะนงการกิจ
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สพ.ญ.ดร.กฤดา ชูเกียรติศิริ
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รภััสสรณ์ คงธนจารุอนันต์
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล งามสมสุข
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลวรรณ ศุภวิญญู
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา นาคประสม
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ กางโสภา
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ ใบไม้
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา คงจรรยา
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทองเลียน บัวจุม
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิสรา กิจเจริญ
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนตรนภา อินสลด
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรารธนา ยศสุข
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี อารีศรีสม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชณี พุทธา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชเนีย บังเมฆ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักขณา พันธุ์แสนศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาสนา วิรุณรัตน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรภา ศุภรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริกุล ตูลาสมบัติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาพร ตงศิริ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธีระ เหมฮัก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร แสงศรีจันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์วัลย์ เมฆกมล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ก่องกาญจน์ ดุลยไชย
อาจารย์ ดร.ดวงใจ น้อยวัน
อาจารย์ ดร.ขจรเกียรติ ศรีนวลสม

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภมิตร เมฆฉาย
รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพันธุ์ ประภาติกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ศรีวิชัยลำพันธ์
รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญา พูลลาภ
รองศาสตราจารย์อรชร มณีสงฆ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีสุวรรณ นฤนาทวงศ์สกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวาลี ชมภูรัตน์ ธฤติธนเกียรติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูชาติ สันธทรัพย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย แสงชโยสวัสดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงวนศักดิ์ ธนาพรพูนพงษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ นิลสำราญจิต

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

รองศาสตราจารย์ ดร.เสาวภา ไชยวงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉราวดี บุญคุ้ม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ เชื้อมชัยตระกูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุลีพร ถนอมศิลป์

มหาวิทยาลัยพะเยา

รองศาสตราจารย์ ดร.รัชนาพร โชคชัยศิริ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญฤทธิ์ สิ้นค้างาม

มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศิริ คำขันแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรภิจ คำวงศ์ปิ่น

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ พิเศษ ดร.ยงยุทธ โอสภสภ
รองศาสตราจารย์ ดร.ศกร คุณวุฒิมุขิธรณ
รองศาสตราจารย์ ดร.วีระภาส คุณรัตน์ศิริ
รองศาสตราจารย์ ดร.วราห์ เทพาหุดี
รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติยา พงศ์พิสุทธา
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุวเรศ เรืองพานิช
รองศาสตราจารย์ ดร.มังกร โจรจน์ประภากร
รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ศักดิ์ ศิริษะภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.กรรณิการ์ ดวงมัลย์
รองศาสตราจารย์ ดร.วีระภาส คุณรัตน์ศิริ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรประพันธ์ ส่งเสริม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พฤทธิ ราชรักษ์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร.มาฆะสิริ เขาวกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.วิภารัตน์ เชื้อขวด ชัยสิทธิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.วันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ
รองศาสตราจารย์ ดร.วันดี ทาตระกูล
รองศาสตราจารย์ ดร.นิติพงศ์ จิตร์โกชน
รองศาสตราจารย์ ดร.จรัณธร บุญญาณภาพ
รองศาสตราจารย์ ดร.มาฆะสิริ เขาวกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพร กงบังเกิด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร อุดอ้าย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชิดศักดิ์ ทัพใหญ่
อาจารย์ ดร.กฤษฎา ภาณุมนต์วาที

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สีสังข์
รองศาสตราจารย์ ดร.สินีนุช คุรุขเมือง แสนเสริม
รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ พันธวิศิษฐ์
รองศาสตราจารย์ ดร.จินดา ขลิบทอง
รองศาสตราจารย์บำเพ็ญ เขียวหวาน

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

รองศาสตราจารย์ชฎาพร ทีฆาอุตมากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาลัย อารีรักษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.กิติพงษ์ อัครตรกุล

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รองศาสตราจารย์ ดร.พิทักษ์ ศิริวงศ์

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิตา ฟูเฒ่า

มหาวิทยาลัยบูรพา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จริยวดี สุริยพันธุ์

มหาวิทยาลัยมหิดล

อาจารย์ สพ.ญ พืชราภรณ์ ขำพิมพ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนวดี พรหมจันทร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ ดร.มนต์ชัย ดวงจินดา

รองศาสตราจารย์ ดร.สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา

รองศาสตราจารย์ ดร.สังคม เตชะวงศ์เสถียร

รองศาสตราจารย์ ดร.นุชรี ศรี

รองศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ มาศวรรณ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชุลีมาศ บุญไทย อิวาย

รองศาสตราจารย์ ดร.จรงค์ หงษ์งาม

รองศาสตราจารย์ ดร.คุณเดช สุริหาร

รองศาสตราจารย์ ดร.ไกรเลิศ ทวีกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี กฤษณะภูติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชานนท์ ลาภจิตร

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์ ดร.อภิเดช แสงดี

รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา หลวงอินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวงศ์ พูนผล

รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา สมตระกูล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนัชญา สังข์ศรีอินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรยา โชติถนอม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พินคม ศรีบุญลือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภัสสร บุขหมั่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญญธร ศรีวิเชียร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.สุรีพร เกตุงาม

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนาทิพย์ แหลมคม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู
รองศาสตราจารย์ ดร.สุดา จักรทอง
รองศาสตราจารย์ ดร.นริศ ท้าวจันทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง
รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิวิมล สุขบท
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนูญ ศิริบุษงค์

มหาวิทยาลัยทักษิณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทิยา พนมจันทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.กรวิมลวิชัย บัญพิสุทธินันท์
รองศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ พูลศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สนิทเดช จินตนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รองศาสตราจารย์ ดร.วรรุฒิ เกิดปราง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรีพร เชื้อเจ็ดตน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา ภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มาโนช ขำเจริญ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.สุทธิดล ปิยะเดชสุนทร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรุณรัตน์ สกุลนามรัตน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

รองศาสตราจารย์ ดร.ชิตี ศรีตันทิพย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพร พัชรประภิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนชัย ไพรินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุรียา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงฤทัย อ่างรังโชติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา บุญเลิศนิรันดร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.ปรวัฒน์ วิสูตรศักดิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารักษ์ อีรอำพน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ศาสตราจารย์ ดร.ภคพงศ์ ปวงสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.สนธิสุข อีระชัยชยุติ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิราภรณ์ ชัยวัง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสิทธิ์ ปัญญาใหญ่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา ทะพิงค์แก

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

รองศาสตราจารย์ ดร.ปาจรีย์ ผลประเสริฐ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แดนชัย เครืองเงิน

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

รองศาสตราจารย์ นฤมล อัครเกษมณี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังคณา ธรรมสัจการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรกริช อนันตศรีณย์

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 41(3): 253-260

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ คณารีย์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรณรงค์ สิริปิยะสิงห์

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ภัคดีโต

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์นารถ นาถวรานันต์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

รองศาสตราจารย์ ดร.สุขสมาน สักโยคะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.บัญญัติ ศิริชนาวงศ์

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร เป็นวารสารราย 4 เดือน กำหนดออกปีละ 3 ฉบับ โดยเริ่มฉบับที่ 1 ในเดือนมกราคม ฉบับที่ 2 ในเดือนพฤษภาคม และฉบับที่ 3 ในเดือนกันยายน มีจุดประสงค์หลักเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ และองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตรทั่วประเทศ โดยมีการเผยแพร่ออนไลน์ (Journal Online) ในรูปวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (ISSN 2985-0118 (Online)) สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตร เรื่องที่จะตีพิมพ์ในวารสาร นอกจากบทความวิจัยแล้ว บทความทางวิชาการอื่น ๆ ที่เป็นการแสดงความคิดใหม่ หรือสมมุติฐานใหม่ที่มีหลักฐานอ้างอิง หรือเป็นการแสดงความคิดเห็นอย่างกว้างขวางหรือลึกซึ้งในสาขาวิชาการใดสาขาวิชาการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร หรือเป็นการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ก็มีสิทธิ์ได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องกับบทความนั้น 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 ครอบคลุมภาพ ตาราง และเอกสารอ้างอิงต้องไม่เกิน 10 หน้า
- 2. ชื่อเรื่อง** ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกระชับและตรงกับเนื้อเรื่อง ขนาดตัวอักษร 18 ตัวหนา
- 3. ชื่อผู้แต่ง และสถานที่ติดต่อ** ต้องมีชื่อเต็ม-นามสกุลเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 15 ตัวหนา และระบุหน่วยงานหรือสถาบันที่สังกัด ของผู้แต่งหลักและผู้แต่งร่วมทุกคน และ E-mail address ของผู้แต่งหลักไว้ด้วย ขนาดตัวอักษร 12 ตัวปกติ
- 4. บทคัดย่อ (Abstract)** บทความวิจัย/บทความทางวิชาการอื่น ๆ จะต้องมีย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด โดยเขียนให้กะทัดรัด ตรงประเด็น และให้สาระสำคัญ
- 5. คำสำคัญ (Keywords)** ต้องมีคำสำคัญทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา อย่างละไม่เกิน 5 คำ
- 6. เนื้อเรื่อง**
 - (1) คำนำ** อธิบายความสำคัญของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการวิจัย อาจรวมการตรวจเอกสารเข้าไว้ด้วย ในการอ้างอิงเอกสารให้เขียนชื่อผู้แต่ง และปีที่ตีพิมพ์ อยู่ในวงเล็บเดียวกัน หรือเขียนชื่อผู้แต่ง แล้วเขียนปีที่ตีพิมพ์ ไว้ในวงเล็บแล้วแต่กรณี **เฉพาะภาษาอังกฤษ** ดังนี้ “.....โรคใบหงิกมีพบทั่วไปในประเทศบังคลาเทศ จีน อินเดีย อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา ไต้หวัน ไทย (Boccardo and Milne, 1984; Ling *et al.*, 1978) ในประเทศไทยนั้น นอกจากก่อความเสียหายกับข้าวปลูกทั้งชนิด Japonica และ Indica (*Oryza sativa*) พันธุ์ต่างๆ แล้ว Thawat (2001) ยังพบว่า ทำความเสียหายได้กับข้าวไร่และข้าวป่าต่างๆ.....”
 - (2) อุปกรณ์และวิธีการ/วิธีดำเนินการวิจัย** อธิบายเครื่องมือ พร้อมระบุวิธีการวิจัย วิธีการเก็บข้อมูล ระยะเวลาและปีที่ทำการวิจัย รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ให้บรรยายโดยสรุปและไม่จำเป็นต้องระบุวิธีการที่เป็นที่รู้จักทั่วไป
 - (3) ผลการวิจัย** ไม่จำเป็นต้องแสดงวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ แต่ให้เสนอในรูปของตาราง และรูปภาพโดยสรุปหลังจากวิเคราะห์ทางสถิติแล้ว ทั้งนี้ **คำอธิบายและรายละเอียดต่าง ๆ ของตารางและรูปภาพ ต้องเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น** โดยมีความชัดเจน กะทัดรัด และมีหมายเลขกำกับด้านบนของตารางและด้านล่างของรูปภาพ และเมื่ออ้างอิงในเนื้อหาให้ใช้เป็นคำว่า Table และ Figure
 - (4) การวิจารณ์ผล การสรุปผล และข้อเสนอแนะ** ควรวิจารณ์ผลการวิจัยพร้อมทั้งสรุปประเด็น และสาระสำคัญของงานวิจัย หรือให้ข้อเสนอแนะบนพื้นฐานของผลการวิจัย

หมายเหตุ: หน่วยวัดตามระบบต่างๆ ให้ใช้ตัวย่อตามมาตรฐานในการเขียนที่กำหนดไว้ เช่น เซนติเมตร = ซม. ตารางเมตร = ตร.ม. มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม = มก./กก. แต่ถ้าเป็นหน่วยวัดที่มีพยางค์เดียวให้ใช้คำเต็มตามปกติ เช่น เมตร กรัม ลิตร
- 7. กิตติกรรมประกาศ** เพื่อแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ทุนวิจัย หรือผู้ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิจัย
- 8. เอกสารอ้างอิง** รายชื่อเอกสารที่ใช้เป็นหลักในการค้นคว้าวิจัยและมีการอ้างอิงในเนื้อหา ต้องแสดงเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น กรณีที่อ้างอิงจากเอกสารภาษาไทยหรือภาษาอื่น ๆ ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษ โดยมีวงเล็บกำกับท้ายเอกสาร [in Thai] หรือภาษาอื่น ๆ ตามคำแนะนำวิธีการเขียน ดังนี้

การเขียนเอกสารอ้างอิง

การเขียนอ้างอิงภายในเนื้อหา

ในการอ้างอิงเอกสารให้ใช้นามสกุลผู้แต่ง และปีที่ตีพิมพ์ อยู่ในวงเล็บเดียวกัน หรือเขียนนามสกุลผู้แต่ง แล้วเขียนปีที่ตีพิมพ์ ไว้ในวงเล็บแล้วแต่กรณี โดยเป็นภาษาอังกฤษ ดังนี้

“.....โรคใบหงิกมีพบทั่วไปในประเทศบังคลาเทศ จีน อินเดีย อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา ไต้หวัน ไทย (Boccardo and Milne, 1984; Ling *et al.*, 1978) ในประเทศไทยนั้น นอกจากก่อความเสียหายกับ ข้าวปลูกทั้งชนิด Japonica และ Indica (*Oryza sativa*) พันธุ์ต่างๆ แล้ว Thawat (2001) ยังพบว่า ทำความเสียหายได้กับข้าวไร่และข้าวป่าต่างๆ.....”

1. บทความจากวารสารวิชาการมาตรฐาน

1.1 ผู้เขียนคนเดียวหรือหลายคน

ชื่อผู้เขียนบทความคนที่ 1./ผู้เขียนบทความคนที่ 2./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 J. Sci. Technol.* 27(1): 91-100. [in Thai]

Nadeem, M.Y. and M. Ibrahim. 2002. Phosphorus management in wheat-rice cropping system. *Pak. J. Soil Sci.* 21(4): 21-23.

Chowdhury, M.A.H., R. Begum, M.R. Kabit and H.M. Zakir. 2002. Plant and animal residue decomposition and transformation of S and P in soil. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 5(7): 736-739.

2. หนังสือ

2.1 ผู้เขียนคนเดียวหรือหลายคน

ชื่อผู้แต่งคนที่ 1./ผู้แต่งคนที่ 2./และผู้แต่งคนสุดท้าย./ปีที่พิมพ์./ชื่อหนังสือ./ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)./สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์./
จำนวนหน้า.

Peyachoknagu, S. 2000. *Pan Thu Vis Sa Wa Kum*. Bangkok: Kasetsart University Press. 256 p. [in Thai]

Aksornkoe, S. 1999. *Ecology and Management of Mangroves*. Bangkok: Kasetsart University Press. 198 p.

Rajeshwar, K. and J.G. Ibanez. 1997. *Environmental Electrochemistry*. San Diego: Academic Press. 327 p.

2.2 บทหนึ่งในหนังสือ

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่พิมพ์./ชื่อบทความ./น./เลขหน้าที่ปรากฏเรื่อง./ใน/ชื่อผู้รับผิดชอบ./ชื่อหนังสือ./รายละเอียดอื่นๆ (ถ้ามี).
//ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)/สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.

Hill, S.E. 1996. Emulsions. pp. 153-185. *In* Hall, G.M. (ed.). *Methods of Testing Protein Functionality*. London: Chapman & Hall.

Jacober, L.F. and A.G. Rand. 1982. Biochemical of Seafood. pp. 347-365. *In* Martin, R.E., G.J. Flick, C.E. Hebard and D.R. Ward (eds.). *Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products*. Westport: AVI Inc.

2.3 หนังสือที่มีผู้รับผิดชอบในหน้าที่เป็นผู้รวบรวม ผู้เรียบเรียง หรือบรรณาธิการ

ชื่อผู้รับผิดชอบ/(หน้าที่รับผิดชอบ)/ ปีที่พิมพ์./ชื่อเรื่อง./ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)./สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์./จำนวนหน้า.

Tosirichok, K. (Editor). 1994. *Karn Rak Sa Doi Sa Moon Pri*. 1st. Bangkok: Mayik Publisher. 172 p. [in Thai]

Byrappa, K. and M. Yoshimura. (eds.). 2001. *Handbook of Hydrothermal Technology*. New Jersey: Noyes Publication. 854 p.

3. เอกสารอื่นๆ

3.1 วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง./ปีที่พิมพ์./ชื่อวิทยานิพนธ์./ระดับของวิทยานิพนธ์./ชื่อสถาบันการศึกษา./จำนวนหน้า.

Soitongcome, P. 1987. **Tannin Extraction from Rhizophora's Bark for Retanning.** Master Thesis. Kasetsart University. 113 p. [in Thai]

Saiklao, W. 2002. **Adaptive Bandwidth Allocation Control for Virtual Paths in Broadband Networks.** Doctoral Dissertation. Georgia Institute of Technology. 86 p.

3.2 รายงานการประชุมวิชาการ รายงานการสัมมนา ปาฐกถา รายงานประจำปี

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่พิมพ์./ชื่อบทความ./น./เลขหน้าที่ปรากฏเรื่อง./ใน/ชื่อการประชุม./รายละเอียดอื่นๆ (ถ้ามี)./ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)./สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

Summadee, P. and B. Leenanon. 2013. Production of Probiotic Kefir Product. p. 109-116 *In Proceedings of the 12th MJU Annual Conference (Poster).* Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]

Coates, J. 2013. Clinical Trial for Canine Degenerative Myelopathy. pp. 29-31. *In Proceedings of ACVIM Specialty Symposium (Pre-forum) 12-15 June 2013.* Seattle: American College of Veterinary Internal Medicine (ACVIM).

3.3 รายงานผลการวิจัย

ชื่อผู้เขียนงานวิจัย./ปีที่พิมพ์./ชื่องานวิจัย./จำนวนหน้า./ใน/รายงานผลการวิจัย./สถานที่พิมพ์:ชื่อหน่วยงาน.

Pooprompan, P., K. Duangsong and R. Sribaopern. 2001. **DNA fingerprinting of Thai native orchid *Vanda coerulea*.** 62 p. *In Research Report.* Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]

Theraumpon, N. 2003. **Automatic Classification of White Blood Cells in Bone Marrow Images.** 74 p. *In Research Report.* Chiang Mai: Chiang Mai University.

3.4 บทความจากวารสาร

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่ตีพิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./ปีที่ของนิตยสาร(เล่มที่): เลขที่หน้าที่อ้างอิง.

Srinuansom, K. 2018. Half-artificial breeding of *Monopterus albus*. **Maejo Vision** 18(4): 33-37. [in Thai]

3.5 บทความจากหนังสือพิมพ์

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่ตีพิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อหนังสือพิมพ์./ (เดือน/วันที่/ปี): เลขที่หน้าที่อ้างอิง.

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./ปีที่ตีพิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร/ ปีที่:หน้าเริ่มต้น-สิ้นสุด. Doi:/xxxxxxxxxxxx

Rodcharoen, E., N.L. Bruce and P. Pholpunthin. 2017. *Cirolana phuketensis*, a new species of marine isopod (Crustacea, Isopoda, Cirolanidae) from the Andaman sea coast of Thailand. **ZooKeys** 695(2): 1-17. DOI: 10.3897/zookeys.695.13771.

- ไม่มีเลข DOI (Digital Object Identifier)

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่ตีพิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./ ปีที่:หน้าเริ่มต้น-สิ้นสุด./[Online]./Available [http://www.xxxxxxxxxx/\(วันที่สืบค้น\).](http://www.xxxxxxxxxx/(วันที่สืบค้น))

Hasler, K., S. Bröring, S.W.F. Omta and H.W. Olf. 2015. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. **European Journal of Agronomy** 69: 41-51. [Online]. Available <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001> (March 20, 2020)

4. แหล่งข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

ผู้แต่งหรือผู้รับผิดชอบ./ปีที่บันทึกข้อมูล./ชื่อเรื่อง./[ระบบออนไลน์]./แหล่งที่มา/ระบุแหล่งการติดต่อเครือข่าย หรือการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล ชื่อแฟ้มข้อมูล/(เดือน/วันที่/ปี ที่ค้นข้อมูล).

Maythyanon, T., N. Piriyanroj and S. Soponarit. 2004. Novel vortex-fluidized bed combustor with two combustion chambers for rice-husk fuel. **SJST** 26(6): 875-893. [Online]. Available <http://www2.psu.ac.th/PresidentOffice/EduService/Journal/Firstpage.htm> (September 22, 2005). [in Thai]

National Economic and Social Development Board (NESDB). 2001. **Input-output tables of Thailand**. [Online]. Available <http://www.nesdb.go.th> (August 8, 2001).

Singh, M. and R.P. Singh. 2001. **Siderophore producing bacteria-as potential biocontrol agents of mushroom disease**. [Online]. Available <http://www.uio.no/conferences/June2000.htm#Samuels> (July 3, 2001).

Guide for Authors

Manuscripts submitted for publication should be of high academic merit and are accepted on condition that they are contributed solely to the Journal of Agricultural Research and Extension. Manuscripts, parts of which have been previously published in conference proceedings, may be accepted if they contain additional material not previously published and not currently under consideration for publication elsewhere.

Submission of a multi-authored manuscript implies the consent of all the participating authors. All manuscripts considered for publication will be peer-reviewed by at least 2 independent referees.

Submission checklist

Manuscript submission must include title page, abstract, keywords, text, tables, figures, acknowledgments, reference list and appendices (if necessary). The title page of this file should include the title of the article, full names, official name and affiliations of all authors, E-mail address, telephone and fax numbers and full postal address of the corresponding author.

Preparation and Submission of Manuscripts

Authors submitting manuscripts for consideration for publication should follow the following guidelines.

1. Manuscript texts must be written using high-quality language. For non-native English language authors, the article should be proof-read by a language specialist before it is sent to Journal.
2. Manuscript texts should not exceed than 10 pages and the combined number of figures and tables. The inclusion of more figures and tables will reduce the word allowance, and vice versa.
3. The manuscript text and tables should be created using Microsoft Word.
4. Manuscript texts should be prepared single column, with sufficient margins (1.0 inch) for editorial and proof-reader's marks. 15 pt TH Sarabun NEW font should be used throughout and all pages numbered consecutively.
5. Abstracts should not exceed than 200 words. About 5 keywords should also be provided.
6. All measures in the text should be reported in abbreviation
7. Tables and figures should each be numbered consecutively.
8. Acknowledgments should be as brief as possible, in a separate section before the references, not in the text or as footnotes.
9. Citations of published literature in the text should be given in the form of author and year in parentheses; (Hoffmann *et al.*, 2001), or, if the name forms part of a sentence, it should be followed by the year in parenthesis; Hoffmann *et al.* (2001). All references mentioned in the reference list must be cited in the text, and vice versa. The references section at the end of the manuscript should list all and only the references cited in the text in alphabetical order of the first author's surname. The following are examples of reference writing.

Reference to a journal article:

Chowdhury, M.A.H., R. Begum, M.R. Kabir and H.M. Zakir. 2002. Plant and animal residue decomposition and transformation of S and P in soil. **Pak. J. Bio. Sci.** 5: 736-739.

Reference to article or abstract in a conference proceedings:

Coates, J. 2013. Clinical Trial for Canine Degenerative Myelopathy. pp. 29-31. **In Proceedings of ACVIM Specialty Symposium (Pre-forum) 12-15 June 2013.** Seattle: American College of Veterinary Internal Medicine (ACVIM).

Reference to a book:

Rajeshwar, K. and J.G. Ibanez. 1997. **Environmental Electrochemistry.** San Diego: Academic Press. 327 p.

Reference to an edited book:

Hill, S.E. 1996. Emulsions. pp. 153-185. **In** Hall, G.M. (ed.). **Methods of Testing Protein Functionality.** London: Chapman & Hall.

Reference to journal online:

Rodcharoen, E., N.L. Bruce and P. Pholpunthin. 2017. *Cirolana phuketensis*, a new species of marine isopod (Crustacea, Isopoda, Cirolanidae) from the Andaman sea coast of Thailand. **ZooKeys** 695(2): 1-17. DOI: 10.3897/zookeys.695.13771.

Hasler, K., S. Bröring, S.W.F. Omta and H.W. Olf. 2015. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. **European Journal of Agronomy** 69: 41-51. [Online]. Available <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001> (March 20, 2020)

Reference to an electronic data source (used only when unavoidable): Supplier/Database name (Database identifier or number)/Item or accession number (Access date) should be included National Economic and Social Development Board (NESDB). 2001. **Input-output tables of Thailand.** [Online]. Available <http://www.nesdb.go.th> (August 8, 2001).

10. Submission of manuscript must conform to the format of the Journal of Agricultural Research and Extension and cover letter to the editor. All should be directed to the editor at the <http://tc-thaijo.org/index.php/MJUJN/index>

การส่งต้นฉบับ การตรวจสอบเบื้องต้น และการแก้ไข

1) ส่งไฟล์ต้นฉบับ ให้มีรายละเอียดครบตรงตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ และส่งพร้อมใบลงทะเบียนวารสาร โดยส่งผ่านระบบ ThaiJo ของวารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร หรือลิ้งค์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index> เท่านั้น

2) กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความในเบื้องต้น ในกรณีที่ต้องแก้ไขจะแจ้งให้เจ้าของบทความทำการแก้ไข ก่อนนำส่งต่อให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาในลำดับต่อไป สำหรับบทความที่ไม่ได้รับการพิจารณาให้ดำเนินการต่อจะส่งต้นฉบับคืนให้เจ้าของบทความ

3) บทความที่ได้รับการพิจารณาจากกองบรรณาธิการให้ดำเนินการต่อ จะได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ อย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน ที่เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องกับบทความนั้น ๆ และบทความที่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะส่งข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ พร้อมทั้งต้นฉบับให้เจ้าของบทความปรับปรุงแก้ไข

4) บทความที่ได้รับการตีพิมพ์จะมีการเผยแพร่ออนไลน์ (Journal Online) ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index>

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

- Honorable Consultants:** President of Maejo University
Asst. Prof. Pawin Mono chai
Vice Director The Office of Agricultural Research and Extension –
Academic Service
Vice Director The Office of Agricultural Research and Extension –
Research Affairs
- Editor-in Chief:** Assoc. Prof. Dr. Kriangsak Sri-Ngernyuang
- Associate Editor:** Asst. Prof. Dr. Witchaphart Sungpalee
- Assistant Editor:** Asst. Prof. Dr. Sutteera Hermhuk
Dr. Chuthamat Atnaseo
- Editorial Board:**
- | | |
|--|-----------------------------|
| Prof. Emeritus Dr. Anurak Panyanuwat | Chiang Mai University |
| Prof. Emeritus Dr. Aree Wiboonpongse | Chiang Mai University |
| Prof. Emeritus Dr. Danai Boonyakiat | Chiang Mai University |
| Prof. Emeritus Dr. Sanchai Jaturasitha | Chiang Mai University |
| Prof. Dr. Dokrak Marod | Kasetsart University |
| Prof. Dr. Uthairat Na-Nakorn | Kasetsart University |
| Prof. Dr. Pranom Chantaranothai | Khon Kaen University |
| Prof. Dr. Prisarn Sithigorngul | Srinakharinrawit University |
| Prof. Dr. Siriwat Wongsiri | Maejo University |
| Prof. Dr. Tanongkiat Kiatsiriroat | Chiang Mai University |
| Prof. Chalernpol Sampet | Chiang Mai University |
| Assoc. Prof. Dr. Wallratat Intarucamporn | Chiang Mai University |
| Assoc. Prof. Dr. Boonmee Siri | Khon Kaen University |
| Assoc. Prof. Dr. Wandee Wattanachaiyingcharoen | Naresuan University |
| Assoc. Prof. Dr. Jaruntorn Boonyanuphap | Naresuan University |
| Assoc. Prof. Dr. Yanin Opatpatanakit | Maejo University |
| Assoc. Prof. Dr. Prasert Janyasupab | Maejo University |
| Assoc. Prof. Dr. Aphinun Suvarnaraksha | Maejo University |
| Assoc. Prof. Aomtip Mekruksawannich-Kampe | Maejo University |
| Assoc. Prof. Prawit Puddhanon | Maejo University |
| Asst. Prof. Dr. Piyawan Suttiprapan | Chiang Mai University |
| Asst. Prof. Dr. Piyanch Niamsup | Maejo University |
| Asst. Prof. Teerapong Sawangpanyangkura | Maejo University |
- Operation committee:** Mrs. Thipsuda Pookmanee Ms. Rungsima Ampawan
Ms. Ampar Sansai Ms. Ranrana Kayun
- PR and Publishing:** Mr. Prinya Painusa

Journal of Agricultural Research and Extension is a publication of the Office of Agricultural Research and Extension, Maejo University, and is intended to make available the results of technical work in the agricultural and related social sciences. Articles are contributed by MJU faculty members as well as by relevant general public. The paper must be considered by at least 3 peer reviewers. **Journal of Agricultural Research and Extension** is published three times per year, the first issue is on January, the second and the third issue are on May and September, respectively. Contact with the Journal should be addressed to:

The Editor, Journal of Agricultural Research and Extension
Academic Services Administration Division, Office of Agricultural Research and Extension
Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

Tel: +66-53-87-3411 Fax: +66-53-87-3418
E-mail: Mju_journal@maejo.mju.ac.th
Web site: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/MJUN/index>



**JOURNAL OF
AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION**
Office of Agricultural Research & Extension Maejo University

Vol. 41 No. 3 September – December 2024

ISSN 2985-0118 (Online)

Comparison Studies of Cultivation Technology of CBD and Superfood Hemp Varieties

Wachira Ketpet, Puthapong Manokam, Nantaporn Taejasoi, Pheravut Wongsawad
Prapatporn Tipparat, Sirisupaporn Khamsukdee, Chanakan Srimaueang and Sasitthep Chaichom 1-20

Effect of Different Substrates on Growth Performance of White Water Rumpet (*Cryptocoryne albida*) in Hydroponic System

Benyakorn Labantao, Chanutdharm Sotinbowonkrit, Warangkana Kasam and Nongnuch Laohavisit 21-31

Study of Planting Soils and Pot Sizes on Growing Water Bamboo for Urban Agriculture

Apisit Chittawanij and Tanawat Yemo 32-38

Effect of Chitosan on Rice Growth under Drought Stress at Different Growth Stages

Thidarat Siriboon, Kanchana Chomsang, Samphan Tatiwong and Adsadawut Suwannachat 39-47

Microbe-assisted Modified Biochar from Rice Straw for Plant Growth Promotion and Soil Amendment

Mujalin Pholchan, Tippapha Pisitkul, Piyanuch Niomsap, Srikanjana Klayraung
Nongkran Pongtrakul, Surasak Kuimalee and Chackapong Chaiwong 48-66

Species Diversity and Increment Rate of Bamboos in Community Forest Areas in Phrae Province

Kritsada Phongkaranyaphat, Lamthai Asanok, Pittayatorn Inkaew and Wannabon Singyoocharoen 67-79

Classification of Thai Rice Varieties using DNA Variation in Drought Tolerance-Related Genes

Kanokwan Janphen, Chotipa Sakulsingharoj, Yuppayao Kophimai and Saengtong Pongjaroenkit 80-92

Selection of Pure Strain of *Ophiocordyceps sinensis* from Dried Fruiting Bodies Sourced from China

Suwannachom Chatnarin, Wichitra Daengprok, Pawinee Areesrisom and Mongkol Thirabunyanon 93-102

Study on Chemical Compositions of Essential Oil from *Dendrobium chrysotoxum* Lindl. Fresh Flowers by GC-MS/MS TQ

Ruengthip Kawaree, Nalin Wongkattiya and Tipsuda Tangtragoon 103-112

Development of gentle hair spa treatment products from Thai herbal extracts

Sanipon Chanburee and Thanapon Kitpot 113-126

Drying Kinetics of *Zingiber cassumunar* Roxb. by Far-Infrared Radiation under Vacuum Condition

Setthawat Thanimkarn, Chavakorn Muksan and Chalotorn Sakmas 127-139

Ready-to-Consume Gamat Sea Cucumber Soup

Chutinut Sujarit and Luksamee Vittaya 140-149

Study on Quality Changes of Ready-to-Drink Dragon Blood (*Peristrophe bivalvis* (L.) Merr.) Tea During Storage

Pasuree Rittilert 150-161

Applying of Software for Nam Dok Mai Mangoes Classification Using Color Average Technique

Withaya Boonsuk, Jim Yernnan, Watthana Sriwarom and Sakchai Srisuk 162-177

Microencapsulation of Lingzhi extract (*Ganoderma lucidum*) for Controlled Release of Antioxidants in Simulated Gastrointestinal Tract of Poultry

Piyaphat Petwattanapha, Tonglian Buwjoom, Buaream Maneewan, Amporn Khamfongkrua
Pricha Rattang and Sureerat Thuekeaw 178-189

A Survey of Coronaviruses in Birds in Thailand

Charoenchai Tothaisong, Pakaphol Sinlapanon, Kirana Noradechanon
Ananporn Supataragul and Nattakarn Thippamom 190-203

Cost and Return of Palian Pepper Cultivation in Palian District, Trang Province

Napassawan Liammimitr and Rattana Unjan 204-215

A Study of Production and Marketing System of Srivijaya Naked Neck Crossbred Chicken

Napapach Chuaychu-noo, Banthita Poosabmee Ponatong and Jareewan Chankong 216-228

Market Dynamics and Efficiency Analysis of Native Chicken Trade in Phatthalung Province

Damrongrak Rakkuri, Buncha Somboonsuk and Sutha Watanasit 229-239

Factors Related to Farmers' Decision to Use Rice Seeds in Mueang District, Suphanburi Province

Pathumman Naksomphan, Cherdpong Kheerajit and Jirattinart Thungngern 240-252

AGRI-RESEARCH
& EXTENSION
JOURNAL