



PNU PRINCESS OF
NARADHIWAS
UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์



วารสาร

วิทยาศาสตร์ชีวภาพ การเกษตร และเทคโนโลยี
Journal of Life Science Agriculture and Technology

ISSN 3088-2222 (Online)

มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

ปีที่ 4 ฉบับที่ 2

กรกฎาคม - ธันวาคม 2568



วารสารวิทยาศาสตร์ชีวภาพ การเกษตร และเทคโนโลยี

Journal of Life Science Agriculture and Technology

บทความวิจัย

- การเปรียบเทียบองค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของแหนแดง (*Azolla pinnata*) ในช่วงอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เพื่อประเมินศักยภาพในการใช้เป็นอาหารสัตว์ต้นทุนต่ำ
- การผลิตวุ้นสวรรค์จากลองกอง (*Lansium domesticum* Corr.) และมังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.) คุณภาพต่ำในจังหวัดนราธิวาส
- การเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในผลส้มแขกสดอบแห้งและผลส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด
- องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของฟลาวข้าวกลิ้งสายพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดนราธิวาส
- การศึกษาระยะเวลาและอัตราการฟักไข่ของปลาดุกแอฟริกา (*Clarias gariepinus*) ด้วยความหนาแน่นของไข่ที่แตกต่างกัน
- การเสริมสนทรายในการหมักทางไบโพลัมน้ำมันร่วมกับกลีเซอรินดิบต่อคุณภาพการหมักและองค์ประกอบทางเคมี
- ผลของระดับความเข้มข้นของเอธิฟอนต่อการเร่งการสุกของกล้วยไข่ (*Musa AA group*)

ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2568

วารสารวิทยาศาสตร์ชีวภาพ การเกษตร และเทคโนโลยี รับผิดชอบตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการประเภท บทความวิจัย บทความวิชาการ ทั้งนี้บทความต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารอื่นใดมาก่อนนับจากวันที่ผู้เขียนได้ส่งบทความต้นฉบับนี้มายังกองบรรณาธิการ

วัตถุประสงค์ การจัดทำวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ถือเป็นภารกิจสำคัญของมหาวิทยาลัยในการส่งเสริมให้บุคลากรทั้งภายในและภายนอกหน่วยงานได้เผยแพร่ผลงานวิชาการสู่หน่วยงานภายนอกและความก้าวหน้าทางวิชาการในสาขาต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัย และยังเป็นการสร้างเครือข่ายเผยแพร่ข้อมูลทางวิชาการตลอดจนถ่ายทอดเทคโนโลยี ผลงานทางวิชาการในรูปแบบสื่อออนไลน์ โดยรับผิดชอบตีพิมพ์บทความวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ เกษตร และเทคโนโลยี โดยนำเสนอเป็นบทความวิชาการหรือบทความวิจัยที่เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ และกำหนดตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม - มิถุนายน และ กรกฎาคม - ธันวาคม)

สำนักงาน กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ชีวภาพ การเกษตร และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
เลขที่ 99 ม.8 ต.โคกเคียน อ.เมือง จ.นราธิวาส 96000
โทรศัพท์เคลื่อนที่ 09-9416-9355
<https://li04.tci-thaijo.org/index.php/psj>
E-mail: journal_sci@pnu.ac.th

ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2568

ที่ปรึกษา	กองบรรณาธิการ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรงค์ พลาศัย	กรรมการภายนอก	
รองศาสตราจารย์ ดร.รสสุคนธ์ แสงมณี	ศาสตราจารย์ เกียรติคุณ ดร.ชาญวิทย์ วัชรพุก	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา สะแลแม	ศาสตราจารย์ ดร.สมปอง เตชะโต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพันธุ์ ศิริพันธุ์	ศาสตราจารย์ ดร.ประนอม จันทร์โณทัย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อาจารย์ ดร.อาสสัน ทิเล	ศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มารียะ ยี่สมัน	ศาสตราจารย์ ดร.ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	รองศาสตราจารย์ ดร.สรพงศ์ เบญจศรี	มหาวิทยาลัยทักษิณ
บรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.กนกพร สังขรักษ์	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรารัตน์ วัฒนาพันธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.วสุ ปฐมอารีย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	รองศาสตราจารย์ ดร.ชุกรี หะยีสานแม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์เสาวนิต คูประเสริฐ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนเสฏฐ์ ทองใสเกลี้ยง	กรรมการภายใน	
อาจารย์ ดร.นุรอมาลี คีนามอ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวดี ศรีมีเทียน	มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุไลมาน เจ๊ะอาบู	มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
	อาจารย์ ดร.เปลื้อง บุญแก้ว	มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
	อาจารย์ ดร.ต๋ขนิม สมวงศ์	มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
	อาจารย์ ดร.ภูวรินทร์ สนิท	มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
	อาจารย์ ดร.ฐิตินันท์ ไสระบุตร	มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
กองจัดการ		
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เดชดนัย จุ้ยชุม	นางสาวชมชียะห์ เจ๊ะสาม๊ะ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราฮีม่า วาแมติซา	นางปิยนุช วัจนศิริ	
อาจารย์ ดร. อิบรอฮิม ซาโยะ	นางสาวสุรตนา เทพแซ	
อาจารย์ ดร. มุสลิม รอกา	นางสาวอาภรณ์ นงรัตน์	
นางสาวนฤมล รัตนธานี		
เจ้าของ		
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์		
กำหนดออก		
ปีละ 2 ฉบับ ดังนี้		
ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน		
ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม		
วารสารวิทยาศาสตร์ชีวภาพ การเกษตร และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ เป็นวารสารที่มีผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเนื้อหาบทความเพื่อลงตีพิมพ์อย่างน้อย 2 หน้าต่อบทความ และ บทความหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ที่ปรากฏในวารสารวิทยาศาสตร์ เกษตร และเทคโนโลยี เป็นวรรณกรรมของผู้เขียน บรรณาธิการหรือมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย		

ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2568

สารจากบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์ชีวภาพ การเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นตีพิมพ์ฉบับประจำเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2568 โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการ งานวิจัย และนวัตกรรม ด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (Life Science) สู่หน่วยงานภายนอก และยังเป็นการสร้างเครือข่ายเผยแพร่ข้อมูลวิชาการตลอดจนถ่ายทอดเทคโนโลยี ผลงานวิชาการในรูปแบบสื่อออนไลน์ โดยในฉบับนี้ มีผู้สนใจส่งบทความเพื่อเผยแพร่เป็นจำนวน 7 เรื่อง

บรรณาธิการใคร่ขอขอบพระคุณผู้นิพนธ์ทุกท่านที่ให้ความสนใจส่งผลงานมาตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ชีวภาพ การเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ขอขอบพระคุณอธิการบดีมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ตลอดจนผู้บริหารที่สนับสนุนให้มีการจัดทำวารสารขึ้น ขอขอบพระคุณที่ปรึกษาวารสารที่ช่วยให้คำแนะนำในการจัดทำวารสาร ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ช่วยประเมินคุณภาพของบทความ และขอขอบคุณกองบรรณาธิการทุกท่านที่ร่วมดำเนินการเพื่อให้วารสารสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารวิทยาศาสตร์ชีวภาพ การเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ จะเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัย นักวิชาการ ผู้อ่านและผู้สนใจทุกท่าน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรรัตน์ วัฒนาพันธ์

บรรณาธิการ

ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2568

สารบัญ...

บทความวิจัย	หน้าที่ Page	Research Article
การเปรียบเทียบองค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของแหนแดง (<i>Azolla pinnata</i>) ในช่วงอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เพื่อประเมินศักยภาพในการใช้เป็นอาหารสัตว์ต้นทุนต่ำ ซารินา สือแม มาลีเตาะ บินดอเลาะห์ มุฮัมหมัดเตาฟิด มะสาเลาะห์ ริฎวาน ฮิลาย ชไมพร สิงหพงศ์	1	Comparative Nutritional Composition of <i>Azolla pinnata</i> at Different Harvest Stages for Low-Cost Animal Feed Development Sareena Semae Masitoh Bindoloh Muhammad Tawfid Masaleah Ridwan Hilay Chamaiporn Singhapong
การผลิตวุ้นสวรรค์จากลองกอง (<i>Lansium domesticum</i> Corr.) และมังคุด (<i>Garcinia mangostana</i> Linn.) คุณภาพต่ำในจังหวัดนราธิวาส ตัสนีม สมวงศ์ อารีตา มะดาโอกะ ฟาอิส สามิ	12	Production of Nata de Coco from Low-quality of Langsat (<i>Lansium domesticum</i> Corr.) and Mangosteen (<i>Garcinia mangostana</i> Linn.) in Narathiwat province Tasneem Somwong Areeta Madaok Fais sami
การเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในผลส้มแขกสดอบแห้งและผลส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด นุรอีมาน ซีนานู นุรอามาลี ดีนามอ	27	Comparison of Bioactive Compounds Contents and Antioxidant Activity in Fresh-Dried <i>Garcinia atrovirens</i> and Commercially Available Dried <i>Garcinia</i> Fruits Nur-eman Seena Nuramalee Deenamo
องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของฟลาวข้าวกล้องสายพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดนราธิวาส ภัทธา ฉัตรชัยพันธ์ ราฮีมา วาแมเดีซา สุนีย์ โชตินันนารท อุษา ย้อนโคกสูง โรสลาวาตี โต๊ะแอ	44	Chemical Composition and Physicochemical Properties of Local Brown Rice Flour Varieties from Narathiwat Province Phattra Chatchaiphan Raheema Wamaedeesa Sune Chotineeranart Usa Yonkoksung Roselawatee Toae1

ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2568

สารบัญ...(ต่อ)

บทความวิจัย	หน้าที่ Page	Research Article
การศึกษาระยะเวลาและอัตราการฟักไข่ของปลาดุกแอฟริกา (<i>Clarias gariepinus</i>) ด้วยความหนาแน่นของไข่ที่แตกต่างกัน ธีรัตน์ ภูเบญญาพงศ์ นุร อัยนา ลียานา โมฮัมหมัด อาลี มะซอฟี साल1, ทวี บุญภิรมย์ ดาวพิก หะยีหมัด	55	Study of Hatching Period and Rate of African Catfish (<i>Clarias gariepinus</i>) with Different Egg Densities Teerat Phubenyapong Nur Aina Lyana mohamad Ali Ma'sofee Salae Tawee Boonpirom Taufik Hayimad
การเสริมสตรายในการหมักทางใบปาล์มน้ำมันร่วมกับกลีเซอริน ดิบต่อคุณภาพการหมักและองค์ประกอบทางเคมี นิรันดร์ นกแดง วัฒนา เต็มดี ศิริรัตน์ บัวผัน กนก เขาวาชี	64	Supplementation of Baeckea frutescens in Oil Palm Fronds Ensiled with Crude Glycerin on Fermentation Quality and Chemical Composition Nirandorn Nakdaeng Wattana Temdee Sirirat Buaphan Kanok Chaovapasee
ผลของระดับความเข้มข้นของเอธิฟอนต่อการเร่งการสุกของกล้วย ไข่ (Musa AA group) สมปรารถนา นกแดง อรพรรณ พูนทอง	77	Effect of Ethephon Concentrations on the Ripening of Kluai Khai Banana (Musa AA group) Somprattana Nakdaeng Orapan Poontong

การเปรียบเทียบองค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของแหนแดง (*Azolla pinnata*) ในช่วงอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เพื่อประเมินศักยภาพในการใช้เป็นอาหารสัตว์ต้นทุนต่ำ

Comparative Nutritional Composition of *Azolla pinnata* at Different Harvest Stages for Low-Cost Animal Feed Development

ซารีน่า สือแม^{1*}, มาสีเตาะ บินดอเลาะ¹,

มุฮัมหมัดเตาฟิด มะสาเลาะ², ริฎวัน ฮิเล¹ และ ชไมพร สิงหพงศ์¹

Sareena Semae^{1*}, Masitoh Bindoloh¹,

Muhammad Tawfid Masaleah², Ridwan Hilay¹ and Chamaiporn Singhapong¹

(Received: 9 October 2025; Revised: 21 November 2025; Accepted: 28 November 2025)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของแหนแดง (*Azolla pinnata*) ที่เก็บเกี่ยวในช่วงอายุต่างกัน (7, 14 และ 21 วัน) เพื่อหาช่วงอายุที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ต้นทุนต่ำ การทดลองใช้การออกแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ประกอบด้วย 3 ทรีทเมนต์ ทรีทเมนต์ละ 3 ซ้ำ โดยเก็บข้อมูลผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และวัตถุดิบแห้ง พร้อมวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีนหยาบ ไขมัน (Ether extract) เถ้า วัตถุดิบหยาบ เยื่อใย NDF และ ADF ตามวิธี AOAC International (2016); Van Soest et al. (1991) ผลการศึกษาพบว่าปริมาณผลผลิตสดของแหนแดงที่เก็บเกี่ยวในอายุต่างกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่คุณค่าทางอาหารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณโปรตีนรวมลดลงเมื่ออายุเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น (จาก 19.78 % ที่ 7 วัน เหลือ 14.90 % ที่ 21 วัน) ขณะที่ค่า ADF เพิ่มขึ้นจาก 10.93 % เป็น 54.85 % ปริมาณเถ้าลดลง ส่วนวัตถุดิบหยาบเพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น และพบปริมาณไขมันสูงสุดที่อายุ 14 วัน (1.66 %) สรุปได้ว่า แหนแดงที่เก็บเกี่ยวในช่วงอายุ 7 – 14 วัน มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า เนื่องจากมีโปรตีนมากและเยื่อใยน้อยกว่าการเก็บเกี่ยวที่อายุ 21 วัน โดยไม่กระทบต่อผลผลิตสด ดังนั้น ช่วงอายุ 7 – 14 วันจึงเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บเกี่ยวแหนแดง เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีนราคาถูกสำหรับปศุสัตว์ โดยเฉพาะในระบบการผลิตแบบเกษตรกรรายย่อยที่มุ่งสู่ความยั่งยืน

¹สาขาสัตวศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, นราธิวาส, ประเทศไทย

¹Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Princess of Naradhiwas University, Narathiwat, Thailand

²เอสพีเจ ฟาร์มไถ่เนื้อ, 86/3 ม.3 ต.จอบะ อ.ยี่งอ จ.นราธิวาส ประเทศไทย

²SPJ Broiler Farm, 86/3 Village No. 3, Chobor Subdistrict, Yi-ngo District, Narathiwat Province, Thailand

*Corresponding Author: Sareena.s@pnu.ac.th

คำสำคัญ: *Azolla pinnata* อายุเก็บเกี่ยว องค์ประกอบทางโภชนาการ โปรตีนหยาบ อาหารสัตว์ยั่งยืน

Abstracts

This study aimed to evaluate the yield and nutritional composition of *Azolla pinnata* harvested at different growth stages (7, 14, and 21 days) to determine the optimal harvest age for use as a cost-effective livestock feed. A completely randomized design (CRD) with three treatments and three replications was applied. Fresh weight, dry weight, and dry matter content were measured, and chemical composition—including crude protein, ether extract, ash, organic matter, neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF)—was analyzed using standard AOAC International (2016); Van Soest et al. (1991) methods. Results showed no significant differences in yield parameters across treatments ($p > 0.05$); however, significant changes in nutritional quality were observed ($p < 0.05$). Crude protein decreased with increasing harvest age (19.78% at 7 days to 14.90% at 21 days), while ADF increased significantly (10.93 % to 54.85 %). Ash content declined, whereas organic matter increased over time. The highest lipid content was recorded at 14 days (1.66 %). This study confirms that *Azolla pinnata* harvested at 7–14 days provides a superior nutritional profile with higher protein and lower fiber content compared to 21-day-old plants, without compromising biomass yield. This suggests a more precise harvest window for optimizing both feed quality and production efficiency. These findings support the use of early-harvested azolla as a viable alternative protein-rich feed resource for livestock, particularly in smallholder farming systems seeking low-cost, sustainable solutions.

Keywords: *Azolla pinnata*, harvest age, nutritional composition, crude protein, sustainable livestock feed

Introduction

Azolla pinnata, commonly known as mosquito fern, is a fast-growing aquatic plant found in tropical and subtropical regions. Due to its symbiotic relationship with the nitrogen-fixing cyanobacterium *Anabaena azollae*, azolla has the ability to accumulate significant amounts of protein and other nutrients, making it a promising resource for sustainable agriculture and livestock feeding. Studies have shown that azolla contains 20–33 % crude protein on a dry matter basis, along with essential amino acids, minerals, β -carotene, and vitamins such as A and B12 (Tadavi et al., 2023). Rising feed costs, especially for protein-rich ingredients like soybean meal and fishmeal, have driven the search for alternative, cost-

effective, and locally available feed resources. *Azolla* has been widely studied for its potential as an alternative feed supplement in livestock diets due to its high productivity, environmental adaptability, and low input requirements. In Pakistan, Khan et al. (2023) reported that partial replacement of dietary protein with *Azolla pinnata* (containing 32.8% CP and 13.6% CF) in Sahiwal calves improved feed efficiency and growth performance. Similarly, in Egypt, Fayed et al. (2023) found that replacing up to 25 % of sunflower meal protein with sun-dried azolla in the diets of Zaraibi goats did not compromise milk yield, nutrient digestibility, or animal health. In Thailand, Sirilak and Prapai (2014) evaluated the nutrient composition of *Azolla microphylla* and reported that the optimal protein and mineral content occurred when harvested at 7–14 days of age. Another study by Tadavi et al. (2023) found that inclusion of 9 % azolla meal in layer diets resulted in performance comparable to conventional protein sources, demonstrating the economic potential of azolla-based feed formulations for poultry.

Despite growing interest, one key limitation in azolla utilization is the variation in its nutritional composition across different growth stages. Younger azolla may have higher crude protein and lower fiber content, while more mature plants tend to develop fibrous structures that reduce digestibility and palatability. However, there remains limited information comparing the nutrient composition of azolla harvested at different growth stages under Thai cultivation conditions, where climate and water quality may influence its growth and chemical composition. In this context, the present study was designed to evaluate the yield and nutritional composition of *Azolla pinnata* harvested at three growth stages at 7, 14, and 21 days representing early, mid, and mature phases of development. These harvest ages were selected based on prior studies indicating that protein concentration declines and fiber content increases as azolla matures beyond two weeks of growth. Understanding the influence of harvest age on azolla's nutritional value is essential for optimizing its inclusion in livestock diets and reducing overall feed costs. Therefore, this study aims to evaluate the nutritional composition of *Azolla pinnata* harvested at different growth stages and assess its potential as a cost-effective feed ingredient. The results will provide practical recommendations for smallholder farmers and contribute to the development of sustainable livestock feeding systems using locally available aquatic resources.

Objective

To evaluate the differences in nutritional values of azolla harvested at varying ages

Materials and Methods

Experimental Design

The experiment was arranged in a completely randomized design (CRD) comprising three treatments, each with three replications. The treatments were based on the harvest age of *Azolla pinnata*, as follows; T1: azolla harvested at 7 days of growth, T2: azolla harvested at 14 days of growth and T3: azolla harvested at 21 days of growth. All experimental units were cultivated under uniform environmental conditions, including light intensity, water depth, and nutrient supplementation, to minimize environmental variation.

Cultivation and Harvesting

Azolla was sourced from a local aquatic plant nursery and propagated in plastic trays [specify dimensions 14.5" x 12"] filled with nutrient-enriched water. The trays were maintained under natural sunlight, with regular monitoring of water temperature and pH to ensure consistent growing conditions.

At the designated harvest intervals (7, 14, and 21 days), azolla was harvested from each replication. Fresh weight (FW) was measured immediately after harvesting using a digital balance. The samples were then sun-dried to a constant weight to obtain dry weight (DW). The yields were expressed in grams per square meter (g/m²), and the dry matter content (DM%) was calculated using the following formula:

$$\text{DM (\%)} = (\text{Dry weight/Fresh weight}) \times 100$$

Chemical Analysis

The dried azolla samples were finely ground using a 1-mm sieve and analyzed for proximate composition. The analyses included crude protein (CP), crude fiber (CF), ether extract (EE), and ash, following the standard procedures of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC International, 2016). Nitrogen-free extract (NFE) was calculated by difference. For fiber fractionation, neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were determined using the method of Van Soest et al. (1991).

Statistical Analysis

All collected data were subjected to one-way analysis of variance (ANOVA) to evaluate the effect of harvest age on yield parameters and nutritional composition. When significant differences ($p < 0.05$) were observed, treatment means were compared using Duncan's Multiple Range Test (DMRT). Statistical analyses were performed using SAS package (SAS Institute Inc, 1996) software version.

Results

The yield performance of *Azolla pinnata* at different harvest ages is presented in Table 1. Although there were observable numerical differences among treatments, statistical analysis revealed no significant differences ($p > 0.05$) in any of the measured parameters. Specifically, the total fresh weight tended to decrease with increasing harvest age, with values of 751.9 ± 126.3 , 714.1 ± 98.1 , and 644.4 ± 137.5 g/m² at 7, 14, and 21 days, respectively. Similarly, the net fresh weight gain followed a decreasing trend from 474.1 ± 126.3 g/m² at 7 days to 368.6 ± 137.5 g/m² at 21 days.

Table 1 Yield performance of *Azolla pinnata* at different harvest ages

Parameter	Harvest age (days)			P-value
	7	14	21	
Total fresh weight (g/m ²)	751.9 ± 126.3	714.4 ± 98.1	644.4 ± 137.5	0.57
Net fresh weight gain (g/m ²)	474.1 ± 126.3	436.8 ± 98.1	368.6 ± 137.5	0.57
Dry weight (g/m ²)	52.9 ± 17.8	40.8 ± 15.0	25.0 ± 9.40	0.13
Dry matter content (%)	5.64 ± 0.12	5.26 ± 0.24	5.26 ± 0.60	0.41

1 kg/rai = 0.625 g/m²; mean $\pm$ SD (g/m²)

The dry weight yield also decreased with longer growth duration, from 52.9 ± 17.8 g/m² at 7 days to 25.0 ± 9.40 g/m² at 21 days; however, the difference was not statistically significant ($p = 0.13$). For dry matter content, the values remained relatively constant across all harvest ages, ranging from 5.26% to 5.64 %, with no significant difference observed ($p = 0.41$). These results suggest that while earlier harvesting may numerically provide higher biomass yield, the differences in yield parameters were not statistically significant under the conditions of this study.

The chemical composition

The chemical composition of azolla harvested at 7, 14, and 21 days is presented in Table 2. The results showed that harvest age had a statistically significant effect on most chemical parameters ($p < 0.05$), except for neutral detergent fiber (NDF). The organic matter (OM) content increased significantly with plant age, ranging from 84.89 % at 7 days to 92.90 % at 21 days ($p = 0.004$). This trend is inversely related to ash content, which significantly decreased with age from 13.48 % at 7 days to 7.21 % at 21 days ($p = 0.003$). This indicates that the proportion of mineral matter declines as the plant matures, likely due to dilution effects or changes in tissue composition. The crude protein (CP) content showed a clear and statistically significant decrease with increasing harvest age ($p = 0.001$). The highest CP level was recorded at 7 days (19.78 %), followed by 18.61 % at 14 days, and 14.90 % at 21 days. This decline reflects the reduction in metabolic protein content and increased in structural biomass as the plant ages. For ether extract (EE), the values at 7 and 14 days were not significantly different (1.36 % and 1.66 %, respectively), but both were significantly higher than at 21 days (0.63 %) ($p = 0.010$). This suggests that lipid content is maximized in the early stages of growth and declines as the plant matures.

Table 2 Chemical composition of *Azolla pinnata* harvested at different growth stages

Parameter	Harvest age (days)			P-value
	7 days	14 days	21 days	
Organic matter	84.89 ^b ± 2.16	88.20 ^b ± 0.73	92.90 ^a ± 0.90	0.004
Crude protein	19.78 ^a ± 0.14	18.61 ^b ± 0.14	14.90 ^c ± 0.08	0.001
Ether extract	1.36 ^a ± 0.12	1.66 ^a ± 0.15	0.63 ^b ± 0.50	0.010
Ash	13.48 ^a ± 2.11	10.86 ^a ± 0.64	7.21 ^b ± 0.82	0.003
NDF	34.65 ± 24.03	43.07 ± 3.79	58.21 ± 21.85	0.364
ADF	10.93 ^b ± 1.96	26.43 ^b ± 5.96	54.85 ^a ± 19.02	0.009

Different superscript letters ^{a, b, c} within the same row indicated statistically significant differences ($p < 0.05$)

Although NDF values increased from 34.65 % at 7 days to 58.21 % at 21 days, the difference was not statistically significant ($p = 0.364$), possibly due to high variation among replications. In contrast, acid detergent fiber (ADF) showed a significant increase with age from 10.93 % at 7 days to 54.85 % at 21 days ($p = 0.009$), indicating a higher accumulation of cellulose and lignin in older plants. Early-harvested azolla (7–14 days) had significantly

higher protein and lipid content and lower fiber and lignin levels. Late-harvested azolla (21 days) had higher organic matter and ADF, but lower nutritional value for livestock feed. These results suggest that harvesting between 7 – 14 days provides the most favorable balance of nutrient quality for feed formulation.

Discussion

Yield Performance

Although the yield parameters of *Azolla pinnata* harvested at 7, 14, and 21 days showed numerical differences, statistical analysis indicated no significant differences ($p > 0.05$) in total fresh weight, net fresh weight gain, dry weight, or dry matter content. This suggests that azolla can maintain relatively stable productivity over the 7–21-day harvest period under consistent growing conditions. The highest total fresh weight was recorded at 7 days ($751.9 \pm 126.3 \text{ g/m}^2$), followed by a gradual decline to $644.4 \pm 137.5 \text{ g/m}^2$ at 21 days. A similar trend was observed in net fresh weight gain and dry weight, with the latter decreasing from $52.9 \pm 17.8 \text{ g/m}^2$ at 7 days to $25.0 \pm 9.4 \text{ g/m}^2$ at 21 days. Although these changes were not statistically significant, they may reflect physiological shifts in biomass composition during maturation, such as increased fiber content and reduced water accumulation. Dry matter content remained relatively constant across all treatments, ranging from 5.26 % to 5.64 %, indicating that the proportion of structural biomass did not vary significantly with age. This observation aligns with findings from Haryani et al. (2022) who reported similar dry matter stability in *Azolla microphylla* grown under tropical conditions.

The lack of statistical significance in yield metrics contrasts with some previous studies. For example, Basak et al. (2022) reported that biomass yield peaked at 10–12 days and declined thereafter, particularly under suboptimal nutrient conditions. However, the present study's uniform water and nutrient management may have minimized such variability. Although the numerical yield at 7 days was the highest, from a practical perspective, harvesting between 7 – 14 days may offer an optimal balance between biomass productivity and nutritional quality, as later harvests tend to result in increased lignification and decreased crude protein, as evidenced in Table 2. Moreover, early harvesting allows for faster production cycles and higher cumulative yields over time.

Nutritional values

The results of this study revealed that the nutritional composition of azolla was significantly influenced by its harvest age. As the plant matured from 7 to 21 days, a

consistent decline in CP content was observed, while organic matter and fiber content increased. These findings align with those reported by Basak et al. (2022) who noted that younger azolla contains higher levels of protein and lipids, whereas older azolla tends to accumulate structural carbohydrates and lignified tissues that reduce digestibility. The highest CP content in this study was observed at 7 days of growth (19.78 %), which is comparable to the values reported by Anitha et al. (2016); Alalade and Iyayi (2006) who found protein levels ranging from 21 % to 25 % in young azolla. As the plant aged, protein content decreased to 14.90 % at 21 days, likely due to dilution effects and an increase in cell wall constituents. Mechanistically, the reduction in CP and EE content with increasing age may result from the biosynthetic shift toward complex carbohydrates and fibrous compounds in the cell wall during structural development.

A similar trend was found in ash content, which declined significantly with age, from 13.48 % at 7 days to 7.21 % at 21 days. This observation is consistent with findings from Sirilak and Prapai (2014) who reported that essential mineral concentrations, such as calcium and potassium, were highest in azolla harvested between 7 – 14 days. Ether extract content peaked at 14 days (1.66 %) and was significantly lower at 21 days (0.63 %). This is in line with studies conducted in India, which demonstrated that lipid content in azolla tends to be higher during early to mid-growth stages (Basak et al., 2022). The sharp increase in acid detergent fiber (ADF) with increasing harvest age from 10.93% at 7 days to 54.85 % at 21 days further indicates the accumulation of indigestible fiber in mature plants. These results are supported by Fiogbé et al. (2004), who cautioned against using mature azolla in high proportions due to reduced nutrient availability, especially in non-ruminants.

Overall, the findings suggest that harvesting azolla at 7–14 days provides optimal nutritional quality, particularly in terms of CP, EE, and ash. In contrast, harvesting at 21 days may yield lower-quality feed with higher fiber content, making it more suitable for compost or soil amendment rather than inclusion in high-performance livestock diets. Practically, this implies that azolla harvested within two weeks could serve as a partial substitute for conventional protein sources such as soybean meal or fishmeal in ruminant and aquaculture diets. Therefore, for use in ruminant or poultry feed, azolla should be harvested before significant lignification occurs preferably within 14 days of growth to maximize its nutritional benefits and minimize anti-nutritional factors.

Conclusion

This study evaluated the yield and nutritional composition of azolla harvested at three different growth stages at 7, 14, and 21 days to determine the optimal harvesting time for use as a low-cost and sustainable livestock feed. The results showed that while harvest age had no significant effect on total fresh yield, net biomass gain, or dry matter content, it had a pronounced impact on nutrient composition. CP content significantly declined as the harvest age increased, while ADF increased substantially, indicating reduced feed quality in mature azolla. The highest nutritional value characterized by high protein, low fiber, and balanced mineral content was observed in azolla harvested between 7 and 14 days. OM content increased with age, while ash and ether extract contents decreased, further reinforcing the nutritional superiority of early-harvested azolla.

These findings suggest that harvesting azolla at 7 – 14 days offers the best balance between nutritional quality and biomass productivity. Early harvest not only ensures higher feed value but also supports frequent cropping cycles and efficient land use, making it suitable for smallholder and sustainable livestock production systems. Azolla holds strong potential as a climate-smart, low-input, and nutritionally valuable feed resource. Its adoption in smallholder systems can contribute significantly to reducing feed costs, improving animal productivity, and enhancing the sustainability of livestock farming in tropical regions.

Suggestions

To fully realize the benefits of azolla as a practical feed solution, the following recommendations are proposed; (1) Farmers should adopt a 7 – 14 day harvest cycle to obtain high-protein, digestible biomass; (2) Further in vivo feeding trials are necessary to assess animal performance and feed efficiency; (3) Research on preservation methods such as drying and silage is needed to extend shelf life and availability; (4) Economic feasibility studies should be conducted to support broader adoption among small-scale producers; and (5) azolla cultivation should be integrated into circular farming systems to promote nutrient recycling and ecological resilience.

References

- Alalade, O.A., & Iyayi, E.A. (2006). Chemical composition of azolla (*Azolla pinnata*) Meal for Egg-Type Chicks. *International Journal of Poultry Science*, 5(2), 137 - 141. <https://doi.org/10.3923/ijps.2006.137.141>
- Anitha, K.C., Rajeshwari, Y.B., Prasanna Somerahally Basavaraju & Shilpashree, J. (2016). Nutritional evaluation of azolla as livestock feed. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 4(6), 670 - 674. [https://doi.org/10.18006/2016.4\(Issue6\).670.674](https://doi.org/10.18006/2016.4(Issue6).670.674)
- AOAC International (2016). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*, (20th Ed.). Author.
- Basak, B., Roy, B., & Sarker, S. (2022). Proximate composition of *Azolla pinnata* at different growth stages. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 35(7), 1032 – 1040. <https://doi.org/10.5713/ajas.21.0815>
- Fayed, R.H., Salem, H.M., El-Nameary, Y.A., El-Tarabany, A.A., El-Shennawy, M., & Abo El-Maaty, H.M. (2023). Effect of dietary inclusion of azolla meal on milk yield and blood metabolites in Zaraibi goats. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1101424. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1101424>
- Fiogbé, E. D., Micha, J. C., & Kestemont, P. (2004). Use of azolla as partial protein source in tilapia diets. *Aquaculture Research*, 35(1), 56 – 61. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.00984.x>
- Haryani, H., Norlindawati, A. P., Sharil Azwan, M. Z. & Mohamad Indrashahrin, B. (2022). The Effect of different harvesting days on yield and nutritive value of azolla (*Azolla microphylla*). *Malaysian Journal of Veterinary Research*, 13(2), 17 – 24. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/abs/10.5555/20230329651>
- Khan, A., Ahmad, N., Rehman, Z., Ullah, M., Shah, A. A., & Khan, M. A. (2023). Effects of feeding *Azolla pinnata* on growth performance and nutrient utilization in Sahiwal calves. *Pakistan Journal of Zoology*, 55(1), 101–107. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20220516160542>
- SAS Institute Inc. (1996). *SAS/STAT® user's guide: Version 6* (4th ed.). Author.
- Sirilak, S., & Prapai, W. (2014). Study on nutrient content of *Azolla microphylla* at different growth stages [Master's thesis]. Thammasat University.

- Tadavi, F.R., Patil, K.B., & Kadam, R.L. (2023). Azolla: Nutritional importance in animal feed and it's composition. *The Pharma Innovation Journal*, 12(6S), 115 – 116. www.thepharmajournal.com
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition." *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583 – 3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

การผลิตวุ้นสวรรค์จากลองกอง (*Lansium domesticum* Corr.) และมังคุด
(*Garcinia mangostana* Linn.) คุณภาพต่ำในจังหวัดนราธิวาส
Production of Nata de Coco from Low-quality of Langsat (*Lansium domesticum* Corr.) and Mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn.) in
Narathiwat province

ตัสนีม สมวงศ์^{1*}, อารีตา มะดาโอะ¹ และ ฟาอิส สามิ²

Tasneem Somwong^{1*}, Areeta Madaok¹ and Fais sami²

(Received: 17 October 2025; Revised: 2 December 2025; Accepted: 17 December 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตวุ้นสวรรค์จากลองกอง (*Lansium domesticum* Corr.) และมังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.) ที่มีมูลค่าต่ำของจังหวัดนราธิวาส โดย *Acetobacter xylinum* TISTR 893 ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอัตราส่วนของน้ำผลไม้ทั้ง 2 ชนิด และปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสม เพื่อส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียและผลิตปริมาณวุ้นสวรรค์ได้มากที่สุด ผลการทดลองพบว่า ปริมาณความเข้มข้นน้ำลองกอง 30 % (v/v) และ น้ำมังคุด 10 % (v/v) มีความเหมาะสมที่สุด โดยวิเคราะห์จากน้ำหนักวุ้นสวรรค์ได้เท่ากับ 25.53 ± 0.11 กรัม/100 มิลลิลิตร และ 23.24 ± 0.42 กรัม/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ และเมื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนียมฟอสเฟต และพีเอชที่เหมาะสม พบว่า 9 °Brix ในน้ำลองกอง และ 12 °Brix ในน้ำมังคุด มีความเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อและสร้างวุ้นสวรรค์ได้สูงสุดเท่ากับ 24.50 ± 0.03 และ 22.90 ± 1.04 กรัม/100 มิลลิลิตร ปริมาณแอมโมเนียมฟอสเฟต 0.5 % (w/v) และปรับพีเอชเริ่มต้น 4.0 ในอาหารเลี้ยงเชื้อนั้นมีความเหมาะสมสำหรับการเจริญของแบคทีเรีย วิเคราะห์น้ำหนักของวุ้นสวรรค์ได้เท่ากับ 23.29 ± 0.20 และ 24.62 ± 0.20 กรัม/100 มิลลิลิตร และ 25.53 ± 0.22 และ 27.31 ± 0.10 กรัม/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพของวุ้นสวรรค์

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

¹ Faculty of Science and Technology, Princess of Narathiwat University

² บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

² CPF (Thailand) public company limited

*Corresponding Author: Tasneem.s@pnu.ac.th

ที่ได้จากการหมักในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสภาวะที่เหมาะสมทั้งหมดพบว่า แบคทีเรียสร้างวุ้นสวรรค์ได้ปริมาณมากขึ้น โดยได้ปริมาณวุ้นสวรรค์จากน้ำลองกองเท่ากับ 30.64 ± 0.56 กรัม/100 มิลลิลิตร และน้ำมังคุดเท่ากับ 30.54 ± 0.36 กรัม/100 มิลลิลิตร และเมื่อวิเคราะห์ลักษณะปรากฏทางกายภาพพบว่า วุ้นสวรรค์จากน้ำลองกองจะมีสีน้ำตาลอมเหลือง ส่วนวุ้นสวรรค์จากน้ำมังคุดมีสีขาวนวล และคุณภาพของเนื้อสัมผัส Gel strength ของวุ้นสวรรค์ทั้งสองชนิดพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: *Acetobacter xylinum* วุ้นสวรรค์ ผลไม้

Abstract

This research aims to produce bacterial cellulose from low-quality langsat (*Lansium domesticum* Corr.) and mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn.), in Narathiwat Province, using *Acetobacter xylinum* TISTR 893. This study investigated the optimal ratio between the two types of fruit juices and the relevant factors that promote bacterial growth and maximize bacterial cellulose production. The experimental results indicated that 30 % (v/v) langsat juice and 10 % (v/v) mangosteen juice were the most suitable concentrations, as determined by the weight of the bacterial cellulose. The yields were 25.53 ± 0.11 g/100 mL and 23.24 ± 0.42 g/100 mL, respectively. In addition, an examination of various factors in the culture medium, including total soluble solids, ammonium phosphate concentration, and optimal pH, showed that 9 °Brix in langsat juice and 12 °Brix in mangosteen juice provided the most favorable conditions for bacterial growth, resulting in maximum bacterial cellulose yields of 24.50 ± 0.03 and 22.90 ± 1.04 g/100 mL. 0.5% (w/v) ammonium phosphate concentration combined with an initial pH of 4.0 in the culture medium was found to be optimal for bacterial growth. Under these conditions, the bacterial cellulose weights were 23.29 ± 0.20 and 24.62 ± 0.20 g/100 mL, and 25.53 ± 0.22 and 27.31 ± 0.10 g/100 mL, respectively. Subsequently, the quality of bacterial cellulose produced under optimal culture conditions was analyzed. The results showed increased production, with yields of 30.64 ± 0.56 g/100 mL from langsat juice and 30.54 ± 0.36 g/100 mL from mangosteen juice. Physical examinations showed that bacterial cellulose from langsat juice exhibited a yellowish-brown color, whereas that from mangosteen juice was off-white. The gel strength of cellulose from both fruit juices was similar, indicating comparable textural quality.

Keywords: *Acetobacter xylinum*, bacterial cellulose, fruit

บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีเจริญก้าวหน้าและวิถีการดำเนินชีวิตของคนในปัจจุบันที่เปลี่ยนไปจากในอดีต เช่น การทำงานที่มีการแข่งขัน มีความเร่งรีบ และมีความกดดันที่มากขึ้น รวมถึงการสัมผัสมลพิษทางอากาศอยู่เป็นประจำ สิ่งเหล่านี้อาจจะทำให้ผู้คนเกิดความเครียดและเจ็บป่วยได้ง่าย ปัจจัยดังกล่าวทำให้คนในปัจจุบันมีความสนใจที่จะดูแลสุขภาพมากขึ้น เพื่อให้ร่างกายแข็งแรงและมีภูมิคุ้มกันที่ดี ไม่ว่าจะเป็นการออกกำลังกาย และการเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์แทนการรับประทานขนมหวานที่จะส่งผลเสียต่อร่างกายในระยะยาว วุ้นสวรรค์ (Nata de Coco) หรือแบคทีเรียเซลลูโลส (Bacterial cellulose, BC) เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการรับประทานของคนรักสุขภาพ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากธรรมชาติโดยอาศัยกระบวนการหมักของแบคทีเรียสกุล *Acetobacter aceti* sub sp. *xylinum* หรือ *Gluconobacter xylinus* (Chawla et al., 2009) วุ้นสวรรค์เป็นเส้นใยเซลลูโลส (cellulose microfiber) มีความละเอียดสูง มีโครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยสายโพลีแซคคาไรด์ต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-glycosidic bond มีความเหนียว และแข็งแรง (Dejsungkranont, 2018) นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์วุ้นสวรรค์มีสรรพคุณที่สามารถช่วยแก้ร้อนใน ลดอาการท้องผูกและป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ได้ ปัจจุบันการผลิตวุ้นสวรรค์ไม่ได้ใช้แค่ส่วนผสมขาวในการผลิตเท่านั้น แต่สามารถใช้วัตถุดิบชนิดอื่นในธรรมชาติผลิตวุ้นสวรรค์ได้ เช่น ผลิตภัณฑ์วุ้นสวรรค์จากเปลือกสับปะรด วุ้นสวรรค์จากเปลือกแก้วมังกรเหลือง วุ้นสวรรค์จากมะม่วง วุ้นสวรรค์จากเปลือกมังคุด และวุ้นสวรรค์จากกากลูกหม่อน เป็นต้น (Dejsungkranont, 2018; Promwongpo et al., 2018; Phromthep et al., 2018; Jaturapiree et al., 2019; Somwong et al., 2025) ซึ่งจะได้วุ้นสวรรค์ที่มีสีและรสชาติของผลไม้ที่แตกต่างจากวุ้นสวรรค์ที่ผลิตจากน้ำมะพร้าว

ลองกองและมังคุดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยชนิดหนึ่งที่เกษตรกรให้ความสนใจและนิยมปลูกกันในหลายจังหวัดทางภาคใต้โดยเฉพาะจังหวัดนราธิวาส ลองกองเป็นผลไม้ที่มีรสชาติหวาน เนื้อมีสีขาวใส กลิ่นหอม อุดมไปด้วยวิตามิน B และ C มีฟอสฟอรัส แคลเซียม และมีสารแทนนิน ส่วนมังคุดจะมีรสชาติหวานอมเปรี้ยว เนื้อมีสีขาวนวล ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ มีสารสำคัญชนิด แชนโทนและแทนนิน (Kaewruksa & Lungmann, 2018; Zeng et al., 2024; Saelee et al., 2024) ในฤดูกาลผลไม้ทุก ๆ ปีในพื้นที่จังหวัดนราธิวาสจะมีลองกองและมังคุดปริมาณมาก ซึ่งเกษตรกรจะเลือกคัดสรรผลไม้ที่คุณภาพดีในการจำหน่ายก่อน เนื่องจากผู้บริโภคให้ความสนใจและสามารถขายได้ราคาสูง ส่วนผลไม้ที่คุณภาพต่ำจะขายในราคาที่ถูกลงและขายออกยากกว่า ด้วยลองกองและมังคุดมีอายุการเก็บรักษาสั้น ส่งผลให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย และจะถูกทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะนำลองกองและมังคุดที่คุณภาพต่ำหมักด้วยแบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* TISTR 893 และศึกษาปัจจัยต่างๆในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสม เพื่อสร้างวุ้นสวรรค์ที่มีเส้นใยสูงและมีรสชาติผลไม้รสใหม่ที่ต่างไปจากเดิม เหมาะสำหรับเป็นอาหารว่างแก่ผู้สนใจรับประทานเพื่อการดูแลสุขภาพ อีกทั้งช่วยเพิ่มมูลค่าแก่ลองกองและมังคุดที่มีคุณภาพต่ำได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นสวรรค์
2. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์วุ้นสวรรค์จากน้ำลองกองและน้ำมังคุด

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมหัวเชื้อแบคทีเรียเซลลูโลส

เตรียมอาหารเหลวที่ประกอบด้วย น้ำมะพร้าว 1 ลิตร 50 กรัม (w/v) น้ำตาลทราย 3 กรัม (w/v) แอมโมเนียมฟอสเฟต $[(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4]$ และกรดอะซิติก 10 มิลลิลิตร (v/v) ทำการต้ม 20 นาที และใส่ลงในขวดโหลแก้วใสขนาด 10×17 เซนติเมตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ และตั้งทิ้งไว้จนกว่าอาหารเลี้ยงเชื้อเย็นลง จากนั้นใส่หัวเชื้อ *A. xylinum* TISTR 893 15 % (v/v) และปิดฝาขวดด้วยผ้าขาวบางที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ในที่นี้เพื่อป้องกันการยับเยินของวุ้น แล้วสังเกตการเกิดขึ้นของวุ้นสวรรค์บนผิวหน้าอาหารเพื่อจะนำไปใช้เป็นกล้าเชื้อต่อไป

2. การเตรียมวัตถุดิบ

ชั่งน้ำหนักลองกองและมังคุดที่ปอกเปลือกเรียบร้อยแล้วอย่างละ 500 กรัม เติมน้ำปริมาตร 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปคั้นด้วยเครื่องคั้นแยกกาก เนื่องจากเป็นผลไม้ตามฤดูกาล น้ำผลไม้ทั้ง 2 ชนิดจะถูกบรรจุลงในถุงซิปล็อค แล้วเก็บรักษาไว้ในตู้อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อคงสภาพสดใหม่ ในส่วนของน้ำมะพร้าวนั้นจะใช้แบบสดใหม่ทุกครั้ง โดยก่อนใช้จะกรองสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำมะพร้าวออกด้วยผ้าขาวบางทุกครั้ง ก่อนทำการทดลอง

3. การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำลองกองและน้ำมังคุด

3.1 ศึกษาความเข้มข้นของน้ำลองกองและน้ำมังคุด

ความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอนจะมีผลต่อการผลิตเซลลูโลส เนื่องจากในระหว่างการหมักแบคทีเรียจะผลิตกรดกลูโคนิก ส่งผลให้พีเอชในอาหารเลี้ยงเชื้อลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำผลไม้ที่เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อผลิตวุ้นสวรรค์ ดัดแปลงวิธีการทดลองของ Dejsungkranont (2018) โดยเตรียมความเข้มข้นของน้ำลองกองและน้ำมังคุดอย่างละ 5 ระดับ คือ 10 20 30 40 และ 50 % (v/v) โดยใช้ น้ำมะพร้าวเป็นตัวปรับปริมาตร เนื่องจากในน้ำมะพร้าวมีแร่ธาตุที่สำคัญต่อการเจริญของเชื้อและส่งเสริมการสังเคราะห์วุ้นสวรรค์ได้ดี จากนั้นใส่ส่วนผสมอื่น ๆ ลงไป ได้แก่ น้ำตาลทราย 50 กรัม (w/v) แอมโมเนียมฟอสเฟต $[(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4]$ 3 กรัม (w/v) และ กรดอะซิติก 10 มิลลิลิตร (v/v) นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที พักให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วบรรจุอาหารเหลวที่ได้ลงในขวดแก้วใสขนาด 5×13 เซนติเมตร เติมหหัวเชื้อ *A. xylinum* TISTR 893 10% (v/v) ปิดฝาขวดด้วยผ้าขาวบาง ที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้ว และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน วิเคราะห์ปริมาณวุ้นสวรรค์ที่ได้ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance (Mettler-Toledo, Thailand) ทำการทดลอง 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย

3.2 ศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix)

น้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญต่อการเจริญของแบคทีเรีย งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสมต่อการผลิตวุ้นสวรรค์ โดยทำการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำผลไม้ทั้งลองกองและมังคุดจากข้อที่ 3.1 และศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 4 ระดับ คือ 6 9 12 และ 15 $^{\circ}$ Brix และวัดค่าด้วย Hand refractometer (Atago, India) จากนั้นทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วใส่หัวเชื้อ *A. xylinum* TISTR 893 10% (v/v) ลงไป นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 14 วัน วิเคราะห์ปริมาณวุ้นสวรรค์ที่ได้ด้วยเครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง (Analytical balance (Mettler-Toledo, Thailand) ทำการทดลอง 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย

3.3 ศึกษาปริมาณแอมโมเนียมฟอสเฟตที่เหมาะสม

แอมโมเนียมฟอสเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่จำเป็นต่อการสร้างเอนไซม์และพลังงานในเซลล์รวมถึงรักษาค่า pH ให้เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของปริมาณแอมโมเนียมฟอสเฟตในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีผลต่อการผลิตวุ้นสวรรค์ โดยเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมของน้ำผลไม้จากข้อที่ 3.1-3.2 จากนั้นใส่ปริมาณแอมโมเนียมฟอสเฟต 3 ระดับ คือ 0 0.5 และ 1.0 % (w/v) (Khemacheewakul, 2017) นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วใส่หัวเชื้อ *A. xylinum* TISTR 893 10% (v/v) ลงไป อุณหภูมิบ่มที่ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 14 วัน วิเคราะห์น้ำหนักวุ้นสวรรค์ที่ได้จากการหมักในสภาวะที่เหมาะสม ด้วยเครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง (Analytical balance (Mettler-Toledo, Thailand) ทำการทดลอง 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย

3.4 ศึกษาผลของพีเอช

ค่าพีเอชในอาหารเลี้ยงเชื้อจะมีผลต่อการเจริญของเชื้อเป็นอย่างมาก เนื่องจากพีเอชเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการสังเคราะห์เอนไซม์และการแบ่งเซลล์ งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการสร้างวุ้นสวรรค์ โดยจะเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสภาวะเหมาะสมจากข้อที่ 3.1-3.3 ปรับค่าพีเอชในอาหาร 4 ระดับ คือ 3.5 4.0 4.5 และ 5.0 ด้วยกรดอะซิติก จากนั้นทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วใส่หัวเชื้อ *A. xylinum* TISTR 893 10% (v/v) ลงไป นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 14 วัน ด้วยเครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง (Analytical balance (Mettler-Toledo, Thailand) ทำการทดลอง 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย

4. ขั้นตอนการเก็บเกี่ยววุ้นสวรรค์

ขั้นตอนการเก็บเกี่ยววุ้นสวรรค์ ทำตามวิธีการของ Somwong et al. (2025) โดยนำวุ้นสวรรค์มาล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง นำไปแช่ต่อในน้ำสะอาด 2 ชั่วโมง และทำการเปลี่ยนน้ำจนครบ 6 รอบ จากนั้นนำไปต้มด้วยน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และนำมาล้างให้น้ำสะอาดอีก 1 ครั้ง เพื่อชะล้างกรดอะซิติกที่ติดมากับวุ้น และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดสอบขั้นตอนต่อไป

5. การผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำผลไม้และการเก็บผลผลิตที่ได้รับ

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 2 แบบ แบบที่ 1 คืออาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่น้ำลองกอง โดยเตรียมน้ำมะพร้าว 500 มิลลิลิตร ใส่น้ำลองกอง 30 % (v/v) และแอมโมเนียมฟอสเฟต 0.5 กรัม (w/v) แล้วใส่น้ำตาลกลูโคสปรับ

ให้มีค่าเท่ากับ 9 °Brix และปรับพีเอชในอาหารเลี้ยงเชื้อเท่ากับ 4.0 ส่วนอาหารเลี้ยงเชื้อแบบที่ 2 นั้นจะใส่น้ำมั่งคุด 10 % (v/v) ปรับความหวานให้เท่ากับ 12 °Brix ในน้ำมะพร้าวปริมาตร 500 มิลลิลิตร แอมโมเนียมฟอสเฟต 0.5 กรัม (w/v) พีเอช 4.0 นำอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมไว้ไปฆ่าเชื้อด้วยวิธีการต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที พักให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วบรรจุใส่ขวดแก้วใสขนาด 5 × 13 เซนติเมตร เต็มหัวเชื้อ *A. xylinum* TISTR 893 10 % (v/v) ปิดฝาขวดด้วยผ้าขาวบาง และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 14 วัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะที่ปรากฏทางกายภาพของวุ้นสวรรค์ โดยจะเก็บเกี่ยววุ้นสวรรค์ตามขั้นตอนข้อที่ 4 จากนั้นนำวุ้นสวรรค์ที่ได้มาวางบนแผ่นกระดาษทิชชูเพื่อซับน้ำออกจนพื้นผิวด้านนอกของวุ้นสวรรค์แห้ง และนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง Analytical balance (Mettler-Toledo, Thailand) ส่วนการวัดค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของวุ้นสวรรค์จะวิเคราะห์ด้วยระบบ CIE Lab scale ด้วยเครื่อง Handy colorimeter (ColorFlex Ez45/0L, USA) และวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของเจล (Gel strength) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Ametek Brookfield CTX Texture Analyzer, Germany) ใช้หัววัดขนาด 12.7 มิลลิเมตร Cylinder probe (TA18 sphere) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย

6. การประเมินผลทางสถิติ

การประเมินผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สำเร็จรูป SPSS Version 16 เลือกวิธี one-way ANOVA และวางแผนการทดลองแบบ t-test และ CRD (Completely Randomized Design) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) กำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha=0.05$ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากผลการทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำลองกองและน้ำมั่งคุด

1.1 ปริมาณความเข้มข้นของน้ำลองกองและน้ำมั่งคุดที่เหมาะสม

จากการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเข้มข้นของน้ำลองกองและน้ำมั่งคุดทั้งหมด 4 ระดับ 10 - 50 % (v/v) เพื่อผลิตวุ้นสวรรค์ โดยแบคทีเรีย *A. xylinum* TISTR 893 พบว่า ความเข้มข้นของน้ำลองกองปริมาตร 30 % (v/v) ผลิตวุ้นสวรรค์ได้มากที่สุดเท่ากับ 25.53 ± 0.11 กรัม/100 มิลลิลิตร ส่วนความเข้มข้นของน้ำมั่งคุดที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นสวรรค์เท่ากับ 10 % (v/v) ที่เชื้อสามารถนำไปใช้และผลิตวุ้นสวรรค์ได้สูงสุดเท่ากับ 23.24 ± 0.42 กรัม/100 มิลลิลิตร โดยวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของวัตถุดิบนั้นส่งผลต่อการผลิตปริมาณวุ้นสวรรค์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 1, a) ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปจะเลือกใช้ปริมาณความเข้มข้นของน้ำลองกองและน้ำมั่งคุดที่ 30% (v/v) และ 10 % (v/v) ตามลำดับ

1.2 ผลการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix) ที่เหมาะสม

จากการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ น้ำลองกองและน้ำมั่งคุด โดยปรับความเข้มข้นของน้ำตาลเท่ากับ 6 9 12 และ 15 °Brix เพื่อผลิตวุ้นสวรรค์นั้น ผลการทดลองพบว่า วุ้นสวรรค์จากน้ำลองกองที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเท่ากับ 9 °Brix สามารถผลิตวุ้นสวรรค์ได้สูงสุดเท่ากับ

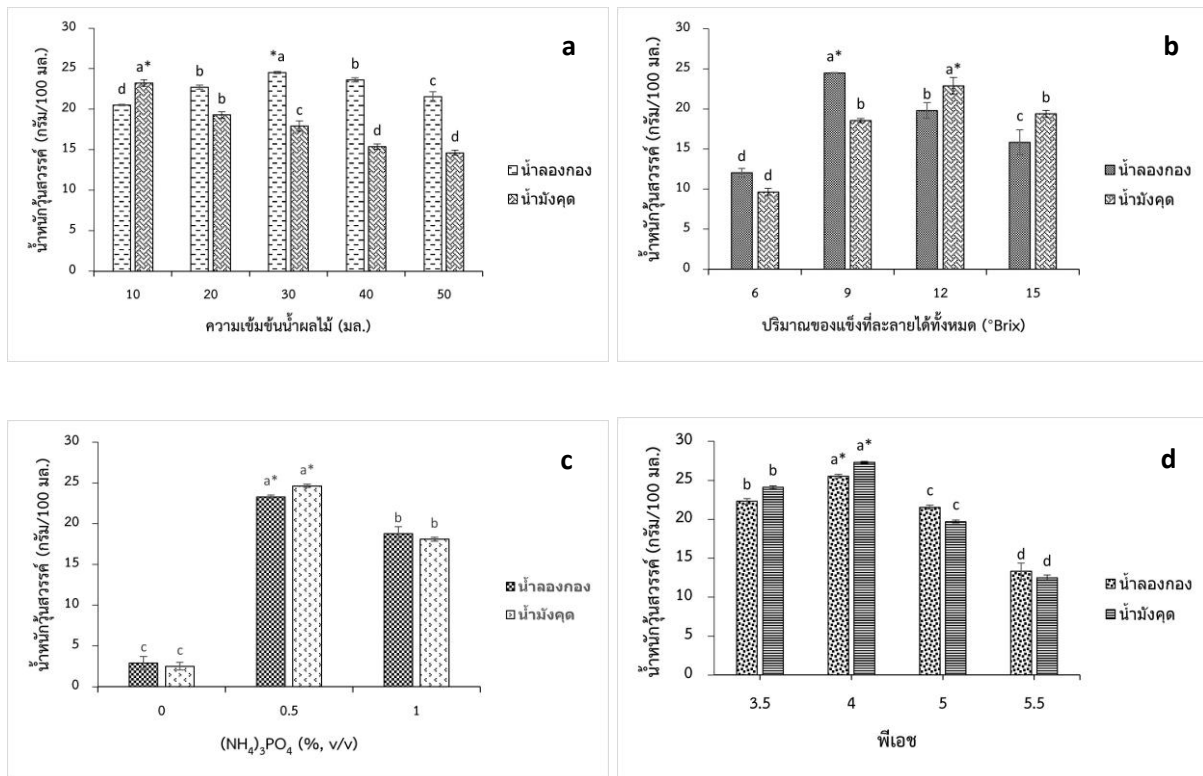
24.50±0.03 กรัม/100 มิลลิลิตร ในขณะที่การผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำมัจจุที่มีความหวานเท่ากับ 12 °Brix ให้ปริมาณวุ้นสวรรค์มากที่สุดเท่ากับ 22.90±1.04 กรัม/100 มิลลิลิตร (ภาพที่ 1, b) ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปจะเลือกกระดบความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 9 และ 12 °Brix ตามลำดับ

1.3 ผลการศึกษาปริมาณแอมโมเนียมฟอสเฟตที่เหมาะสม

จากการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของแอมโมเนียมฟอสเฟตที่เติมลงไปใต้น้ำล่องกองและมัจจุในระดับ 0.5 และ 1.0 % (w/v) เพื่อผลิตวุ้นสวรรค์นั้น พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมฟอสเฟต 0.5 % (w/v) ในน้ำล่องกองและน้ำมัจจุเหมาะสมสำหรับให้แบคทีเรียเจริญและสร้างวุ้นสวรรค์ได้สูงสุดเท่ากับ 23.29±0.20 กรัม/100 มิลลิลิตร และ 24.62±0.20 กรัม/100 มิลลิลิตร ในขณะที่อาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่ได้เติมแอมโมเนียมฟอสเฟต ซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจน แบคทีเรียไม่สามารถเจริญได้ ส่งผลให้ไม่เกิดการผลิตวุ้นสวรรค์ แสดงใน (ภาพที่ 1, c) ซึ่งความเข้มข้นของแอมโมเนียมฟอสเฟต 0.5 % (w/v) นี้จะถูกใช้ในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อขั้นตอนต่อไป

1.4 ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสม

จากการศึกษาค่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำล่องกองและน้ำมัจจุ โดยเปรียบเทียบค่าพีเอชในระดับ 3.5 4.0 4.5 และ 5.0 ภายหลังจากการหมักโดย *A. xylinum* TISTR 893 ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 14 วัน พบว่า เชื้อสามารถผลิตวุ้นสวรรค์ได้มากที่สุดในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 วิเคราะห์จากน้ำหนักของวุ้นสวรรค์ได้เท่ากับ 25.53±0.22 และ 27.31±0.10 กรัม/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 1, d) ในขณะที่อาหารเลี้ยงเชื้อที่ปรับค่าพีเอชน้อยกว่า 4.0 และมากกว่า 4.0 แบคทีเรียสามารถผลิตวุ้นสวรรค์ลดลงโดยน้ำหนักที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังนั้น การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อในครั้งต่อไปจะปรับค่าพีเอชเท่ากับ 4.0



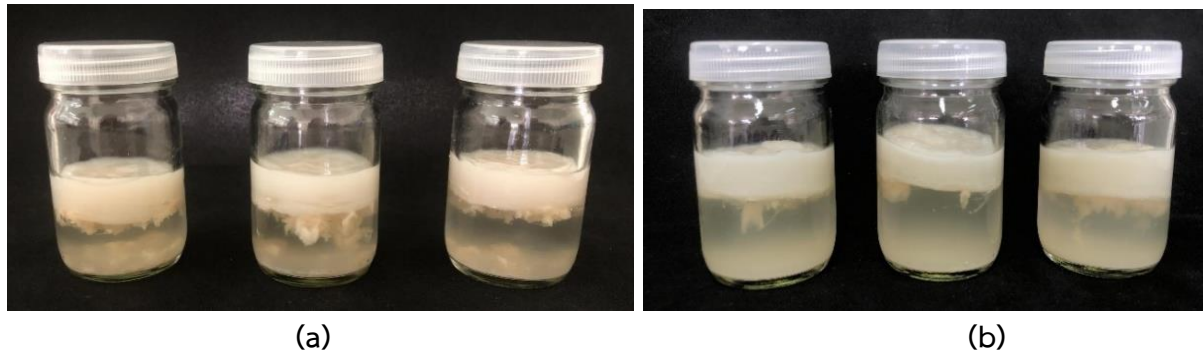
abc different letters in a column are significantly different level ($p < 0.05$)

ภาพที่ 1 ผลของปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างวันสวรรคโดย *A. xylinum* TISTR 893 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสม หลังจากบ่มในระยะเวลา 14 วัน (a) ปริมาณความเข้มข้นของน้ำลองกองและน้ำมังคุด (b) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (c) ปริมาณแอมโมเนียมฟอสเฟต และ (d) พีเอช

2. วิเคราะห์ผลผลิตที่ได้รับ

ผลการศึกษาคุนภาพของวันสวรรคจากน้ำลองกองและน้ำมังคุดที่ผลิตโดย *A. xylinum* TISTR 893 หลังจากกระบวนการหมัก 14 วัน ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสม แสดงใน ภาพที่ 2 และ ตารางที่ 1 พบว่า ปริมาณวันสวรรคของน้ำลองกองเท่ากับ 30.64 ± 0.56 กรัม/100 มิลลิตร และน้ำมังคุดเท่ากับ 30.54 ± 0.36 กรัม/100 มิลลิตร โดยผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากผลไม้ทั้ง 2 ชนิดนี้ มีน้ำตาลฟรักโทสเป็นองค์ประกอบและในอาหารเลี้ยงเชื้อมีการเติมกลูโคสเพื่อปรับความหวานก่อนหมักเหมือนกัน จึงทำให้การสร้างปริมาณวันสวรรคได้ผลใกล้เคียงกัน (Khemacheewakul, 2017) เมื่อวิเคราะห์ทางกายภาพของวันสวรรคทั้งสองชนิด โดยวิเคราะห์จากการวัดค่าสี L^* , a^* , b^* โดยค่า L^* บ่งบอกความสว่าง คือ 0-100 (ดำ-สว่าง) ค่า (a^+) บ่งบอกค่าสีแดง ส่วน (a^-) บ่งบอกค่าสีเขียว ส่วน (b^+) หมายถึงค่าสีเหลือง และ (b^-) หมายถึงค่าสีน้ำเงิน ซึ่งผลการทดลองของวันสวรรคจากน้ำลองกองมีค่าสี L^* , a^* , b^* เท่ากับ 45.17 ± 0.05 , 12.15 ± 0.04 และ 35.51 ± 0.10 ตามลำดับ ในขณะที่วันสวรรคจากน้ำมังคุดมีค่าสี L^* เท่ากับ 50.61 ± 0.06 ซึ่งมากกว่าวันสวรรคจากน้ำลองกอง เนื่องจากวันมีสีเขาวกว่า และค่า a^* เท่ากับ 40.15 ± 0.03 และค่า b^* เท่ากับ -10.25 ± 0.06 เมื่อวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในวันสวรรค

น้ำลองกองและน้ำมังคุด พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 6.31 ± 0.10 และ 6.17 ± 0.42 °Brix และคุณภาพของเนื้อสัมผัส Gel strength ของวุ้นสวรรค์ทั้งสองชนิดพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันเช่นกัน โดยวุ้นสวรรค์จากน้ำลองกองเท่ากับ 33.56 ± 0.15 และ 33.63 ± 0.47 นิวตัน ตามลำดับ



ภาพที่ 2 วุ้นสวรรค์ที่ผลิตโดยแบคทีเรีย *A. xylinum* TISTR 893 ในน้ำลองกอง (a) และ น้ำมังคุด (b)

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของวุ้นสวรรค์น้ำลองกองและน้ำมังคุด

คุณภาพ	น้ำลองกอง	น้ำมังคุด
สี		
L*	45.17 ± 0.05	50.61 ± 0.06
a*	12.15 ± 0.04	40.15 ± 0.03
b*	35.51 ± 0.10	-10.25 ± 0.06
น้ำหนักวุ้นสวรรค์ (กรัม/100 มิลลิลิตร)	30.64 ± 0.56	30.54 ± 0.36
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	6.31 ± 0.10	6.17 ± 0.42
Gel strength (นิวตัน)	33.56 ± 0.15	33.63 ± 0.47

± average of standard deviation

L*: Lightness, axis shows L = 0 (black or total absorption) at the bottom

a*: Red/Green Value, (+) movement represents a shift toward red, (-) movement represents a shift toward green

b*: Blue/Yellow Value, (+) movement represents a shift toward yellow, (-) movement represents a shift toward blue

อภิปรายผล

จากการทดลองผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำลองกองและน้ำมังคุด โดยเชื้อ *A. xylinum* TISTR 893 พบว่าน้ำลองกองที่ความเข้มข้น 30 % (v/v) เชื้อสามารถผลิตวุ้นสวรรค์ได้ดี เนื่องจากในลองกองนั้นมีปริมาณน้ำตาลสูง (Huang et al., 2021) ทำให้เชื้อสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อการเจริญเติบโตและผลิตเซลลูโลสเป็นผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนน้ำมังคุดพบว่า การใช้ความเข้มข้น 10 % (v/v) เชื้อจะผลิตเซลลูโลสดีกว่าการใช้ปริมาณความเข้มข้นสูง ๆ เนื่องจากน้ำมังคุดมีค่าพีเอชเท่ากับ 2.8-3.1 ซึ่งจะมีรสชาติหวานอมเปรี้ยวกว่า

น้ำลองกอง (Matan et al., 2024) และการทดลองยังพบว่า หากใช้ปริมาณน้ำมั่งคุดที่มีความเข้มข้นมากกว่า 10% (v/v) ความเป็นกรดในผลไม้จะส่งผลต่อการเจริญของแบคทีเรียและการสร้างเซลลูโลสได้

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตวันสวรรค ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำผลไม้ ปริมาณแอมโมเนียมฟอสเฟตที่เหมาะสม พีเอชในอาหารเลี้ยงเชื้อพบว่า การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อน้ำลองกอง และน้ำมั่งคุด ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) เท่ากับ 9 - 12 °Brix นั้น จะส่งเสริมการเจริญของ เชื้อและสร้างเซลลูโลสได้สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Promwongpo et al. (2018) ที่ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการหมักเพื่อผลิตเซลลูโลสด้วย *A. xylinum* TISTR 975 จากน้ำมะม่วงสุกสายพันธุ์ น้ำดอกไม้พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในช่วง 8-10 °Brix แบคทีเรียจะสร้างเซลลูโลสได้ดีที่สุด และรายงานของ Bunyakorn (2017) ที่ศึกษาการผลิตวันสวรรคเพื่อการแปรรูปเครื่องดื่มน้ำฟักข้าวพบว่า ปริมาณน้ำตาล 6-10 °Brix เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย *A. xylinum* และผลิตวันสวรรคได้มากกว่า การใช้ความเข้มข้นของน้ำตาลที่ระดับอื่น ซึ่งมีการรายงานว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถใช้แหล่งคาร์บอนที่มี คาร์บอนอะตอมทั้ง C5 และ C6 ได้ เช่น กลูโคส ฟรักโทส มอลโทส ไฮโลส สตาร์ช และ กลีเซอรอล (Khemacheewakul, 2017)

อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการเติมแอมโมเนียมฟอสเฟตที่เป็นแหล่งไนโตรเจนให้แบคทีเรียใช้ในการ เจริญเติบโต พบว่าอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมแอมโมเนียมฟอสเฟตปริมาณ 0.5-1.0 % (w/v) แบคทีเรียจะสร้างวัน สวรรคได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่ได้เติมแหล่งไนโตรเจน เนื่องจาก *A. xylinum* มีกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน โดยจะใช้ฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการเปลี่ยนพลังงานที่อยู่ใน รูป ADP เป็น ATP ในกระบวนการไกลโคไลซิส (Moat et al., 2002) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Promwongpo et al. (2018) ที่พบว่า การเติมแหล่งไนโตรเจนที่มีแอมโมเนียมฟอสเฟตความเข้มข้น 0.5 % (w/v) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ส่งเสริมให้แบคทีเรียเจริญและผลิตเซลลูโลสได้สูงสุด และรายงานวิจัยของ Samappito et al. (2023) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเซลลูโลสจากปลายข้าวเหนียวดำ ซึ่งพบว่าการ เติมแอมโมเนียมฟอสเฟตความเข้มข้น 0.5 % (w/v) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ จะทำให้เชื้อผลิตเซลลูโลสได้สูงสุด และการเติมสารประกอบแหล่งไนโตรเจนที่ระดับความเข้มข้น 0.5-0.6 % (w/v) นั้น เหมาะสมต่อการเจริญ ของแบคทีเรีย *A. xylinum* ซึ่งจะช่วยเร่งกระบวนการหมักวันสวรรคได้เร็วกว่าอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่ได้เติมแหล่ง ไนโตรเจน (Panesar et al., 2009) นอกจากนี้ มีงานวิจัยที่พบว่า หากเติมปริมาณแอมโมเนียมฟอสเฟต มากกว่า 1.0 % (w/v) จะส่งผลให้แบคทีเรียผลิตเซลลูโลสลดลง เนื่องจากปริมาณแหล่งไนโตรเจนที่มากเกินไป แบคทีเรียจะนำไปใช้ทั้งในกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์และใช้ในการเพิ่มจำนวนเซลล์ ส่งผลให้การใช้ แหล่งไนโตรเจนเพื่อสร้างเซลลูโลสลดลงได้ (Panesar et al., 2009; Zahan et al., 2014)

จากการศึกษาผลของพีเอชที่จะส่งผลต่อการผลิตวันสวรรค พบว่าอาหารเลี้ยงเชื้อน้ำลองกองและน้ำ มั่งคุดที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 นั้น เชื้อเจริญเติบโตได้ดีและสร้างวันสวรรคได้สูงสุด ในขณะที่อาหารเลี้ยงเชื้อที่ ปรับค่าพีเอชน้อยกว่าหรือมากกว่า 4.0 จะส่งผลให้แบคทีเรียผลิตวันสวรรคลดลง เนื่องจากในระหว่างกระบวนการ หมักค่าพีเอชในอาหารจะลดลงกว่าเดิม เนื่องจากแบคทีเรียจะผลิตกรดกลูโคนิก กรดแอซิดิก และกรดแลคติก ส่งผลให้การผลิตวันสวรรคลดลง ความเข้มข้นของพีเอชในอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จะส่งผลต่อ

กระบวนการหมักวันสวรรค เนื่องจากค่าพีเอชที่ต่ำหรือสูงเกินไปจะทำให้เอนไซม์เสียสภาพ และจะขัดขวางการไหลของอิเล็กตรอนไปยังสารตั้งต้นที่จำเป็นต่อการสร้างเซลลูโลสในกระบวนการเมทาบอลิซึมของแบคทีเรีย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Samappito et al. (2023) ที่เปรียบเทียบค่าพีเอชในอาหารเลี้ยงเชื้อจากปลายข้าวเหนียวดำ เพื่อให้ *A. xylinum* เพื่อผลิตวันสวรรค พบว่าอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปรับค่าพีเอช 4.0 เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจริญและการสร้างวัน เช่นเดียวกับรายงานผลการทดลองของ Promwongpo et al. (2018) ที่พบว่า *A. xylinum* เจริญได้ดีและสร้างวันได้มากที่สุดเมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื่อน้ำมะม่วงที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 โดยปริมาณกรดที่มากขึ้นหรือกรดลดลงนั้น จะเกี่ยวข้องต่อการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการเมทาบอลิซึมของแบคทีเรียและส่งผลกระทบต่อการผลิตเซลลูโลส (Lestari et al., 2014) และ Raghunathan (2013) รายงานว่าพีเอชที่อยู่ในช่วง 4.0-6.0 นั้นมีความเหมาะสมต่อการเจริญของ *A. xylinum* เพื่อผลิตเซลลูโลสได้ดี

คุณภาพของวันสวรรคจากน้ำลองกองและน้ำมังคุดที่ผลิตโดย *A. xylinum* TISTR 893 หลังจากกระบวนการหมัก 14 วัน ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสม พบว่าวันสวรรคจากน้ำลองกองจะมีสีเข้มกว่าวันสวรรคจากน้ำมังคุด (L^*) เนื่องจากผลลองกองสุกจะมีสีน้ำตาลอมเหลือง ส่วนผลมังคุดจะมีสีขาวนวล ส่งผลให้วันสวรรคที่ได้มีสีต่างกัน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดพบว่า วันสวรรคทั้ง 2 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากในผลไม้ทั้งสองชนิดนี้มีส่วนประกอบของน้ำตาล 3 ชนิดได้แก่ ฟรุคโตส กลูโคส และซูโครส ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 14-37 % (w/w) (Huang et al., 2021; Sealee et al., 2024) ส่วนคุณภาพของเนื้อสัมผัส Gel strength พบว่ามีค่าใกล้เคียงเช่นกัน โดยวันสวรรคจากน้ำลองกองเท่ากับ 33.56 ± 0.15 และ 33.63 ± 0.47 นิวตัน ตามลำดับ โดยทั่วไปวันสวรรคจะนิยมผลิตจากน้ำมะพร้าวเป็นวัตถุดิบหลักเพียงอย่างเดียวเนื่องจากมีสารอาหารและแหล่งคาร์บอนที่จำเป็นต่อการเจริญของแบคทีเรียเพื่อผลิตวันสวรรค (Lapuz et al., 1967) แต่เมื่อนำมาผสมกับน้ำลองกองหรือน้ำมังคุดจะยังส่งผลให้การสร้างเซลลูโลสได้มากขึ้น เพราะในลองกองและมังคุดมีสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โซเดียม และแมกนีเซียม (Yang et al., 2021; Yao et al., 2021) ซึ่งอาจจะช่วยส่งเสริมให้แบคทีเรียนำไปใช้ในการเจริญและสร้างเซลลูโลสได้ดีขึ้น นอกจากนี้ในลองกองและมังคุดมีสารสำคัญที่ช่วยด้านการอักเสบ สารต้านอนุมูลอิสระ และสารต้านมะเร็ง (Aukkanimart et al., 2015; Zeng et al., 2024) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dejsungkranont (2018) รายงานว่า *A. xylinum* ผลิตวันสวรรคจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง ได้ปริมาณเซลลูโลสปริมาณ 28.86-49.87 กรัม แสดงค่าสี L มากกว่า a เนื่องจากวันสวรรคมีสีม่วงอมดำ ซึ่งเป็นผลจากการสะสมรงควัตถุของบีตาไซยานินไว้ในแผ่นวัน และมีปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด 10°Brix และงานวิจัยของ Somwong et al. (2025) รายงานว่า วันสวรรคที่ผลิตจากกากลูกหม่อนให้ปริมาณเท่ากับ 19.5 ± 0.19 กรัม/100 มิลลิตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ $9.20 \pm 0.17^\circ \text{Brix}$ ให้ค่าสีแดง (a) มากกว่าวันสวรรคจากน้ำมะพร้าว และวัดความแข็งแรงเจลได้เท่ากับ 28.27 ± 0.35 นิวตัน ซึ่งจากการรายงานทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่าการผลิตวันสวรรคโดย *A. xylinum* โดยใช้วัตถุดิบที่เหลือทิ้งในธรรมชาติชนิดอื่นๆสามารถทำได้ นอกจากจะเป็นวิธีการแปรรูปอย่างหนึ่งเพื่อเพิ่มมูลค่าแล้ว ยังสามารถสร้างผลิตภัณฑ์วันสวรรคที่มีรสชาติใหม่ ๆ ได้

สรุป

จากการทดลองการผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำลองกองและน้ำมังคุดที่มีคุณภาพต่ำ โดยแบคทีเรีย *A. xylinum* TISTR 893 พบว่าเชื้อสามารถเจริญได้ดี ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเข้มข้นของน้ำลองกอง 30 % (v/v) และในน้ำมังคุด 10 % (v/v) ที่ผสมในน้ำมะพร้าว นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยต่างๆส่งผลต่อการเจริญของเชื้อและการสร้างเซลลูโลสได้เช่นกัน โดยอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมน้ำตาลให้มีปริมาณ Total soluble solid เท่ากับ 9 และ 12 °Brix แอมโมเนียมฟอสเฟต 0.5% (w/v) และปรับพีเอชเท่ากับ 4.0 นั้นจะช่วยส่งเสริมให้เชื้อเจริญดีและสร้างปริมาณเซลลูโลสได้สูงสุด นอกจากนี้ วุ้นสวรรค์ที่ผลิตจากน้ำลองกองและน้ำมังคุดจะมีสีและกลิ่นรสผลไม้ ซึ่งแตกต่างจากวุ้นสวรรค์ที่ทำมาจากน้ำมะพร้าวอย่างเดียว จึงทำให้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ น่าสนใจสำหรับอาหารว่างของคนรักสุขภาพ และในอนาคตจะพัฒนาผลิตภัณฑ์วุ้นสวรรค์ลองกองและมังคุด ผสมกับโยเกิร์ตหรือเครื่องดื่ม เพื่อให้รับประทานง่ายและเป็นการสร้างมูลค่าให้กับผลไม้ในท้องถิ่น

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทดลองนี้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการสร้างวุ้นสวรรค์และคุณภาพของวุ้นสวรรค์ที่ได้จากน้ำลองกองและน้ำมังคุดเท่านั้น ในวิจัยครั้งหน้าผู้วิจัยควรทำการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผู้บริโภคชิมและประเมินคะแนนความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์วุ้นสวรรค์ที่ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับการสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และห้องปฏิบัติการสำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้

รายการอ้างอิง (References)

- Aukkanimart, R., Boonmars, T., Sriraj, P., Songsri, J., Laummaunwai, P., Warasawapati, S., Boonyarat, C., Rattanasuwan, P., & Boonjaraspinyo, S. (2015). Anthelmintic, anti-inflammatory and antioxidant effects of *Garcinia mangostana* extract in hamster opisthorchiasis. *Experimental Parasitology*, 154(10), 5-13. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2015.03.007>
- Bunyakorn, M. (2017). Production of Nata de Coco for processing of a gac drink mixed with nata de coco and dehydrated sweetened nata de coco. *KKU Science Journal*, 45(3), 501 - 512. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ/article/view/249727>

- Chawla, P.R., Bajaj, I.B., Survase, S.A., & Singhal, R.S. (2009). Microbial cellulose: fermentative production and applications. *Food Technology and Biotechnology*, 47(2), 107 - 124. <https://ftb.com.hr/archives/212-microbial-cellulose-fermentative-production-and-applications>
- Dejsungkranont, M. (2018). A study on the optimum condition for bacterial cellulose production from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose) using response surface methodology. *Khonkaen Agricultural Journal*, 46(2), 213 - 226. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj/article/view/250058>
- Huang, H., Li, Mingxing., Wang, Yi., Wu, Xiaoxiao., Shen, Jing., Xiao, Zhangang., Zhao, Yueshui., Du, Fukuan., Chen, Yu., Wu, Zhigui., Ji, Huijiao., Zhang, Chunyuan., Li, Jing., Wen, Qinglian., Kaboli, P.J., Cho, H. C., Wang, S., Wang, Y., He, Y., & Wu, Xu. (2021). Excessive intake of longan arillus alters gut homeostasis and aggravates colitis in mice. *Frontier in Pharmacology*, 12, 640417. <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2021.640417/full>
- Jaturapiree, A., Chaichana, E., Saowapark, T., Chuenpraphai, B., & Jaturapiree, P. (2019). Production and characterization of bacterial cellulose produced by *Acetobacter xylinum* TISTR 975 from pineapple peel juice. *RMUTP Research Journal*, 13(1), 180 - 192. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/RMUTP/article/view/142843/133373>
- Kaewruksa, K.C., & Lungmann, P. (2018). Product development of jelly from longkong falling grade. (*Lansium domesticum*, Corr.). *Burapha Science Journal*, 23(2), 767 - 778. <https://scijournal.buu.ac.th/index.php/sci/article/view/1922>
- Khemacheewakul, J. (2017). Factors affecting production of cellulose by *Acetobacter* sp. and fermentation technology. *RMUTSB Academic Journal*, 5(1), 91-103. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsb-sci/article/view/99825>
- Lapuz, M.M., Gallardo, E.G., & Palo, M.A. (1967). The nata organism cultural requirements, characteristics and identity. *Philippine Journal of Science*, 96(2), 91 - 108. https://philjournalsci.dost.gov.ph/wp-content/uploads/2025/09/PJS_Vol_97_No_2_Jun_1968.pdf
- Lestari, P., Elfrida, N., Suryani, A., & Suryadi, Y. (2014). Study on the production of bacterial cellulose from *Acetobacter xylinum* using agro-waste. *Jordan Journal of Biological Science*, 7(1), 75 - 80. <https://jjbs.hu.edu.jo/files/v7n1/binder7n1.pdf>

- Matan, N., Kongchoosi, N., Sinthupachee, A., & Chaidech, P. (2024). Nutritional and bioactive compound analysis of mangosteen fruit in hill and flat land plantations, during both the season and off-season, in provinces along the gulf of Thailand and the Andaman Sea. *NFS Journal*, 36, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2024.100182>
- Moat, A. G., Foster, J. W. & Spector, M. P. (2002). *Microbial Physiology* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Panesar, P.S., Chavan, Y.V., Bera, M.B., Chand, O., & Kumar, H. (2009). Evaluation of *Acetobacter* strain for the production of microbial cellulose. *Asian Journal of Chemistry*, 21(10), 99 - 102. https://www.researchgate.net/publication/237311423_Evaluation_of_Acetobacter_Strain_for_the_Production_of_Microbial_Cellulose
- Phromthep, K., Katakul, S., Tokhamolthom, J., Thaisong, N.P., & Thaweeseang, N. (2018). Production of bacterial cellulose from mangosteen pericarp juice. *RMUTP Research Journal*, 9(2), 169 - 177.
- Promwongpo, C., Yokhanit, W., & Khemacheewakul, J. (2018). A study of the optimal fermentation conditions for Nata de Coco production by *Acetobacter xylinum* TISTR 975 from Mango juice. *KMUTT Research and Development Journal*, 40(2), 271-282.
- Ranghunathan, D. (2013). Production of Microbial Cellulose from the new bacterial strain isolated from temple wash water. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2(12), 275 - 290. <https://ijcmas.com/vol-2-12/D.Raghunathan.pdf>
- Saelee, N., Castro, M. R., Panpipat, W., & Chaijan, M. (2024). Nutritional characterization of whole Mangosteen pulp with seeds and Its application as an alternate functional ingredient in crackers. *Foods*, 13, 2987. <https://doi.org/10.3390/foods13182987>
- Samappito, J., Boonchalad, P. & Tabthaisong, O. (2023). The production of bacterial cellulose from sweet fermented broken black glutinous rice. *The Journal of KMUTNB*, 33(2), 248-562. <https://ojs.kmutnb.ac.th/index.php/kjournal/article/view/5036>
- Somwong, T., Deenamo, N., & Wathanayon, W. (2025). A study on the optimum conditions for producing bacterial cellulose and its antioxidant properties from mulberry pomace by *Acetobacter xylinum*. *Recent Science and Technology*, 17(3), 262167.
- Yang, E.Y., Han, Y.S., & Sim, K.H. (2021). Characterization of nutritional, physiochemical and mineral compositions of aril and seed of longan fruit (*Dimocarpus longan* L.). *International Food Research Journal*, 28(1), 91 - 101. <https://doi.org/10.47836/ifrj.28.1.09>

- Yao, L.S., Solihin, M.I., Chompoorat, P., Ying, L.L., & Phing, P.L. (2021). Quality assessment of mangosteen in different maturity stages by hand-held near-infrared spectroscopy. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 25(5), 751-765. https://mjas.analis.com.my/mjas/v25_n5/pdf/Low_25_5_5.pdf
- Zahan, K.A., Pae, N., & Muhamad, I.I. (2014). Process Parameters for fermentation in a rotary disc reactor for optimum microbial cellulose production using response surface methodology. *Bio Resources*, 9(1), 1858 - 1872. https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2016/06/BioRes_09_2_1858_Zahan_PM_Process_Parameters_Fermentation_RDR_4976.pdf
- Zeng, S., Wang, K., Liu, X., Hu, Z., & Zhao, L. (2024). Potential of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) in functional food: A review of molecular mechanism-directing health benefit properties. *Food Chemistry*, 437(1), 137812. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137812>

การเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในผลส้มแขกสดอบแห้ง และผลส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด

Comparison of Bioactive Compounds Contents and Antioxidant Activity in Fresh-Dried *Garcinia atroviridis* and Commercially Available Dried Garcinia Fruits

นุรอีมาน ซีน่า¹ และ นุรามาลี ดีนามอ^{2*}

Nur-eman Seená¹ and Nuramalee Deenamo^{2*}

(Received: 17 October 2025; Revised: 5 December 2025; Accepted: 17 December 2025)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ สารฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์ แทนนิน ตลอดจนเพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในผลส้มแขกสดอบแห้งและผลส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งเตรียมสารสกัดด้วยวิธีการแช่ชิ้นส้มแขกทั้งสองแบบในเอทานอลความเข้มข้น 95% โดยปริมาตร ในอัตราส่วน ส้มแขกกับตัวทำละลาย 1:4 เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง นำสารสกัดที่ได้มากรองและทำให้เข้มข้นโดยการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ส่วนการทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันใช้วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity ซึ่งแสดงผลในรูปของค่าร้อยละความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของ DPPH (%Scavenging activity; %SA) และค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ใช้ในการกำจัดอนุมูลอิสระของ DPPH ลดลงร้อยละ 50 (IC₅₀) ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดผลส้มแขกสดอบแห้งมีปริมาณสารสำคัญทั้ง 3 ชนิด และค่า %SA สูงกว่าสารสกัดผลส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่า ค่า IC₅₀ ของสารสกัดจากส้มแขกทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ 1.30 และ 1.23 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จากผลการวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตขึ้นส้มแขกแห้งที่เหมาะสมมีผลต่อปริมาณสารสำคัญและสมบัติการต้านออกซิเดชันเพื่อกำจัดอนุมูลอิสระ

คำสำคัญ: ผลส้มแขก สารสำคัญ ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ผลส้มแขกสดอบแห้งและผลส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด

¹ห้องชันสูตรโรค โรงพยาบาลยี่งอเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส

¹Medical Laboratory, Yi-ngo Hospital 80th Anniversary Commemoration, Yi-ngo District, Narathiwat Province

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

²Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University

*Corresponding Author: nuramalee.d@pnu.ac.th

Abstract

The objective of this study was to compare the contents of bioactive compounds, including total phenolics, flavonoids and tannins, as well as to evaluate the antioxidative activity in fresh-dried *Garcinia atroviridis* fruits and commercially available dried garcinia fruits. Extracts were prepared by macerating slices of both types of fruits in 95% (v/v) ethanol at a sample-to-solvent ratio of 1:4 (w/v) for 7 days at room temperature. The obtained extracts were filtered and concentrated by evaporating the solvents under reduce pressure using a rotary evaporator. Then, the contents of total phenolics, flavonoids, and tannins were determined by measuring absorbance with UV-visible spectrophotometer. The antioxidative activity was evaluated using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity assay. The results were expressed as the percentage of DPPH radical scavenging activity (%SA) and the 50% inhibitory concentration (IC₅₀). The results showed that the extract of fresh-dried garcinia fruit contained significantly higher amounts of all three bioactive compounds and exhibited higher %SA values than the extract of commercially dried garcinia ($p < 0.05$). However, the IC₅₀ values of both extracts were found to be comparable, at 1.30 and 1.23 $\mu\text{g/ml}$, respectively. These findings indicate that. The appropriate manufacturing process of dried *Garcinia atroviridis* slices affects the content of bioactive compounds and antioxidant properties to scavenge free radicals.

Keywords: *Garcinia atroviridis* fruit, Bioactive compounds, Antioxidant activity, Fresh-dried and commercially available dried garcinia fruits

บทนำ

ส้มแขก (*Garcinia atroviridis*) เป็นพืชยืนต้นจัดอยู่ในวงศ์ Clusiaceae หรือ Guttiferae ซึ่งอยู่ในตระกูลเดียวกับมังคุด ชะมวง มะดัน มะพูด พะวา ดังหนใบเล็ก ดังหนใบใหญ่ โกงวัน ตัวและบุนนาคน้ำ (Khawniam & Te-chato, 2014) มีถิ่นกำเนิดและปลูกทั่วไปในประเทศไทย พม่า มาเลเซีย ศรีลังกาและอินเดีย (Shahid et al., 2022) โดยในประเทศไทยนิยมปลูกกันมากทางภาคใต้และมักเรียกชื่อพื้นเมืองหลายชื่อตามแหล่งที่ปลูก เช่น ส้มควาย (ตรัง) ส้มพะงุน (ปัตตานี) อาแซกะลูโก (ยะลา นราธิวาส) ผลส้มแขกมีลักษณะผลเดี่ยวคล้ายฟักทองขนาดเล็กใกล้เคียงกับผลกระท้อน ผิวเรียบสีเขียว เมื่อแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองแก่ เปลือกผลเป็นร่องตามแนวขั้วผลไปยังปลายผลประมาณ 8-10 ร่อง ที่ขั้วผลมีกลีบเลี้ยงติดอยู่ 2 ชั้น ชั้นละ 4 กลีบ เนื้อแข็งมีรสเปรี้ยวจัด ในผลมีเมล็ดแข็ง 2-3 เมล็ด เนื้อของผลส้มแขกนิยมนำมาตากแห้งและนำมาใช้เป็นเครื่องปรุงเพื่อเพิ่มรสเปรี้ยว (Tun Norbrillinda et al., 2025) และสร้างความสมดุลของรสชาติอาหารหลายเมนู เช่น แกงส้ม แกงเลียง ต้มเนื้อ ต้มปลา น้ำแกงขมจีน และน้ำพริก เป็นต้น นอกจากนี้ส้มแขกยังมีการนำไปใช้ประโยชน์เป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปต่างๆ ได้แก่ ชาส้มแขก (Srisuk & Soontornnon,

2018; Kongchaian et al., 2020) ผลิตภัณฑ์ก็มีเยลลี่จากน้ำสกัดส้มแขก (Suteebut et al., 2024) และ แยมส้มแขกแคลอรีต่ำ (Tayeh et al., 2019) เป็นต้น อีกทั้งส้มแขกมีรายงานวิจัยว่าพบสารสำคัญที่มี คุณสมบัติทางยาและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Chuaijit et al., 2024) ซึ่งมีความสำคัญในบริบททั้งการบริโภคในรูปแบบอาหารและเป็นสมุนไพรตามตำราพื้นบ้านของภูมิภาคนี้อีกด้วย

ส้มแขกเป็นแหล่งสารพฤกษเคมี (phytochemicals) สำคัญหลายชนิด ได้แก่ สารประกอบในกลุ่ม ฟีนอลิก (phenolic compound) สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) สารในกลุ่มเทอร์ปีนอยด์ (terpenoid) พรินิลเทตแซนโทน (prenylated xanthone) และกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรด แอสคอร์บิก (ascorbic acid) กรดซิตริก (citric acid) กรดมาลิก (malic acid) กรดโดดีคาโนอิก (dodecanoic acid) กรดออกตาดีคาโนอิก (octadecanoic acid) และกรดเพนตาดีคาโนอิก (pentadecanoic acid) เป็นต้น ซึ่งกรดเหล่านี้จะมีผลทำให้ส้มแขกมีรสเปรี้ยว โดยเฉพาะกรดไฮดรอกซีซิตริก (Hydroxycitric Acid หรือ HCA) ซึ่งมีสรรพคุณช่วยลดไขมันส่วนเกินได้ เนื่องจากสารนี้มีคุณสมบัติในการ ยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการขัดขวางการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นไขมัน ส่งผลทำให้สามารถลดการสร้างและ สะสมไขมันในร่างกาย (Tomar et al., 2019) จากรายงานวิจัยหลายฉบับพบว่าสารสำคัญเหล่านี้มีฤทธิ์ทาง ชีวภาพที่แตกต่างกัน เช่น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งเนื้องอกและการเกิดเซลล์มะเร็ง ลดการอักเสบและ บรรเทาอาการปวด ป้องกันโรคอ้วน ลดระดับน้ำตาลในเลือด และยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรียก่อโรคบาง ชนิด (Hamidon et al., 2017; Kovilein et al., 2020; Fu et al., 2021; Venn-Watson et al., 2020; Lim et al., 2020) นอกจากส่วนผลแล้ว พบว่าส่วนประกอบอื่น ๆ ก็สามารถนำมาใช้เป็นยาสมุนไพรได้ด้วย เช่น สารสกัดจากใบและรากเมื่อเคี้ยวจนงวดใช้รักษาอาการปวดหู (ไพโรจน์ ผลประสิทธิ์, 2541 อ้างถึงใน Khawniam & Te-chato, 2014) ถ้านำทุกส่วนมาต้มรวมกันใช้เป็นยาพอกโลหิตและขับเสมหะได้ (สมพร จันทรเดช, 2538 อ้างถึงใน Khawniam & Te-chato, 2014) จะเห็นได้ว่าส้มแขกมีประโยชน์หลายอย่างทั้งใน เชิงการแพทย์และอาหาร

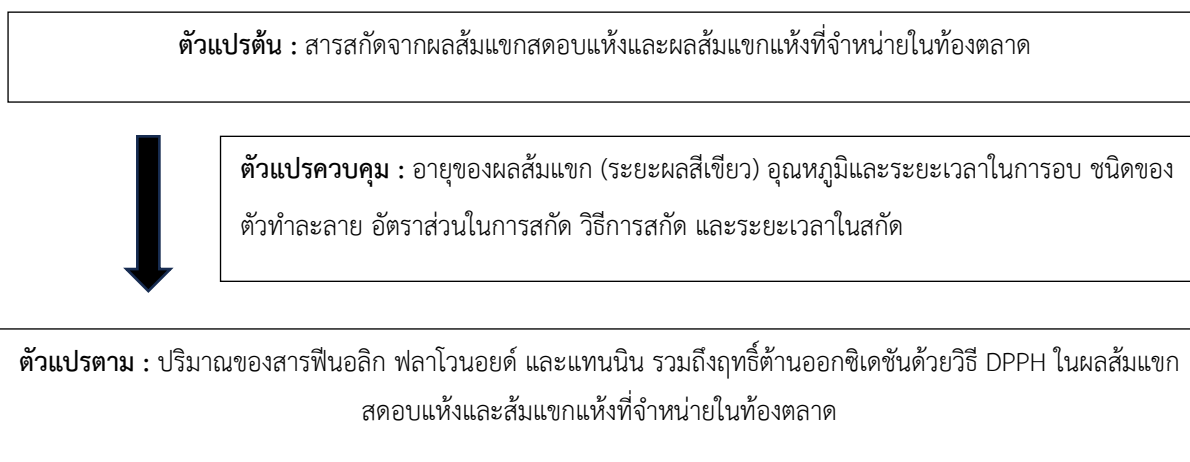
ส่วนใหญ่การบริโภคส้มแขกมักจะนำมาแปรรูปเป็นลักษณะชิ้นแห้ง ใช้เป็นส่วนประกอบในการทำอาหารและนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยผู้บริโภคสามารถหาซื้อได้ทั่วไปในตลาดชุมชนของจังหวัด นราธิวาสและพื้นที่ใกล้เคียงหรือร้านค้าออนไลน์ อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคก็ยังมีข้อสงสัยเกี่ยวกับคุณภาพของผล ส้มแขกแห้งที่วางจำหน่ายในท้องตลาดว่าผ่านมาตรฐานการบริโภคหรือไม่ หากมีข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ คุณภาพของเนื้อส้มแขกชิ้นแห้งในตลาดโดยรวมก่อนตัดสินใจซื้อก็เป็นสิ่งที่ดี ส่งผลต่อความปลอดภัยในการ บริโภคส้มแขกแห้ง ซึ่งปัจจัยทางกายภาพในการพิจารณาหลายด้าน เช่น สี รสชาติ ความสะอาด ความแห้ง แหล่งที่ผลิตและกระบวนการผลิตที่ได้มาตรฐาน เป็นต้น นอกจากนี้พบว่าผู้บริโภทยังขาดข้อมูลเชิงปริมาณของ สารสำคัญในส้มแขกแห้ง เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาคุณภาพด้านคุณประโยชน์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจ อย่างยิ่งในการศึกษาสารสำคัญต่าง ๆ ได้แก่ สารฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน รวมถึงฤทธิ์ต้าน ออกซิเดชันจากผลส้มแขกที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดนราธิวาส โดยการเปรียบเทียบปริมาณสารดังกล่าวในผลสดที่ นำมาอบแห้งและผลตากแห้งหรืออบแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกบริโภค การ นำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากส้มแขก และเพื่อเพิ่มรายได้แก่เกษตรกรในท้องถิ่นต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ สารฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน ในผลส้มแขกสดอบแห้งและผลส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด

2. เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากผลส้มแขกทั้งสองชนิดด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างสารสกัดจากผลส้มแขก: นำผลส้มแขกสดจากสวนของเกษตรกรในหมู่ที่ 5 ตำบลกาลิสา อำเภอร่องแงะ จังหวัดนราธิวาส มาล้างทำความสะอาด นำผลส้มแขกสดมาหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ แล้วนำไปแช่และอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนแห้งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และนำไปแช่อีกครั้งหลังอบเสร็จ (ส่วนผลส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด ได้ผ่านขั้นตอนการหั่นเป็นชิ้นบางและทำให้แห้งแล้ว จึงไม่ต้องนำมาอบ สามารถใช้ได้เลย โดยได้เก็บตัวอย่างของส้มแขกแห้งจากร้านค้าย่อย จำนวน 3 ร้าน ของตลาดชุมชนแห่งหนึ่ง ซึ่งตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส) จากนั้นนำส้มแขกสดอบแห้ง (Fresh-dried garcinia fruit) และส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด (Commercially available dried garcinia fruit) มาสกัดโดยวิธีการแช่ในตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้น 95 % โดยปริมาตร ในอัตราส่วนส้มแขกกับตัวทำละลาย 1:4 ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน นำมารองแยกสารสกัดออกจากกาก แล้วนำสารสกัดที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกเพื่อให้สารสกัดเข้มข้นด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator) ยี่ห้อ Heidolph รุ่น Hei-Vap Precision จากนั้นนำสารสกัดบรรจุในขวดสีชา ปิดฝาให้สนิท และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

2. การวัดสี (Color Measuring): นำชิ้นของผลส้มแขกสดอบแห้งและผลส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด มาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter รุ่น CR-400 ผลของการวัดสีที่ได้แสดงในรูป L^* a^* b^* โดยที่

-แกน L^* บ่งบอกถึง ความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว

แกน a^* บรรยายแกนสี จากสีเขียว ($-a^*$) จนถึงสีแดง ($+a^*$)

แกน b^* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน ($-b^*$) จนถึงสีเหลือง ($+b^*$)

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ

3.1 การหาปริมาณสารฟีนอลิกรวม: การหาปริมาณสารฟีนอลิกในสารสกัดผลส้มแขก โดยดัดแปลงตามวิธีของ Torres et al. (1987) as cited in Deenamo et al. (2024) นำสารสกัดผลส้มแขกสดอบแห้งและผลส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด มาเจือจางด้วยเอทานอล 95 % โดยปริมาตร ให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม ใช้ตัวอย่างละ 50 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ เติม Folin-Ciocalteu reagent 200 ไมโครลิตร เขย่าเบา ๆ และบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที แล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 1,000 ไมโครลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อให้เกิดสี แล้วนำไปป็นเหียงด้วยเครื่องปั่นเหียงตกตะกอน หลังจากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร (OD_{760}) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์สารฟีนอลิกรวมในสารสกัดส้มแขก โดยเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้กับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก ซึ่งปริมาณสารฟีนอลิกรวมที่ได้จะแสดงในหน่วยมิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของส้มแขกมีหน่วยเป็นกรัม (mg of gallic acid equivalent/g.dw)

3.2 การหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวม: การหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวมด้วยวิธี aluminium chloride colorimetry โดยดัดแปลงจากวิธีของ Zhishen et al. (1999) as cited in Deenamo et al. (2024) นำสารสกัดผลส้มแขกทั้งสองแบบมาเจือจางด้วยเอทานอล 95 % โดยปริมาตร ให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม ใช้ตัวอย่างละ 500 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ เติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ (AlCl_3) ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และโซเดียมอะซิเตต (CH_3COONa) ความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 500 ไมโครลิตร จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร (OD_{430}) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้สารละลายแควอซิตินเป็นสารละลายมาตรฐาน ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมหาได้จากการนำค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายแควอซิติน

3.3 การหาปริมาณแทนนินรวม: การหาปริมาณแทนนินรวม โดยดัดแปลงจากวิธีของ Sze-Tao et al. (2001) as cited in Deenamo et al. (2024) นำสารสกัดผลส้มแขกทั้งสองแบบ มาเจือจางด้วยเอทานอล 95% (v/v) ให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม ใช้ตัวอย่างละ 500 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ ผสมกับสารละลายวานิลลิน (vanillin) ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 500 ไมโครลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นร้อยละ 37 โดยปริมาตร ปริมาตร 250 ไมโครลิตร จากนั้นบ่มในที่

มืดเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร (OD_{500}) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ปริมาณแทนนินรวมหาได้จากการนำค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแทนนิก ซึ่งปริมาณสารแทนนินที่ได้จะแสดงในหน่วยมิลลิกรัมของกรดแทนนิกต่อน้ำหนักแห้งของสั้มแขกมีหน่วยเป็นกรัม (mg of tannic acid equivalent/g.dw)

3.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity: การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH โดยดัดแปลงตามวิธีของ Perezet al. (2007) as cited in Deenamo et al. (2022) เริ่มด้วยการผสมน้ำสารสกัดผลสั้มแขกทั้งสองแบบ มาเจือจางด้วยเอทานอล 95 % โดยปริมาตร ให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม ใช้ปริมาตร 500 ไมโครลิตร จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร (OD_{515}) นำค่า OD_{515} ที่ได้มาคำนวณค่า %Scavenging activity (%SA) ตามสมการที่ 1 ดังนี้

$$\%Scavenging\ activity = \frac{(A_0 - A_s) \times 100}{A_0} \quad \text{สมการที่ 1}$$

โดยที่ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม (ใช้เอทานอลแทนสารตัวอย่าง)

A_s คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % SA กับความเข้มข้นของสารสกัด (โดยเทียบกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์) และนำไปคำนวณฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งจะแสดงเป็นค่า IC_{50} คือ ความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50 %

3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ: ทำการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ เก็บผลการทดลองและประมวลผลข้อมูลทั้งหมดด้วยโปรแกรม SPSS โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Independent-sample t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลการวิจัย

1. ผลน้ำหนักแห้งและค่าสีของเนื้อสั้มแขกสดอบแห้งและสั้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด

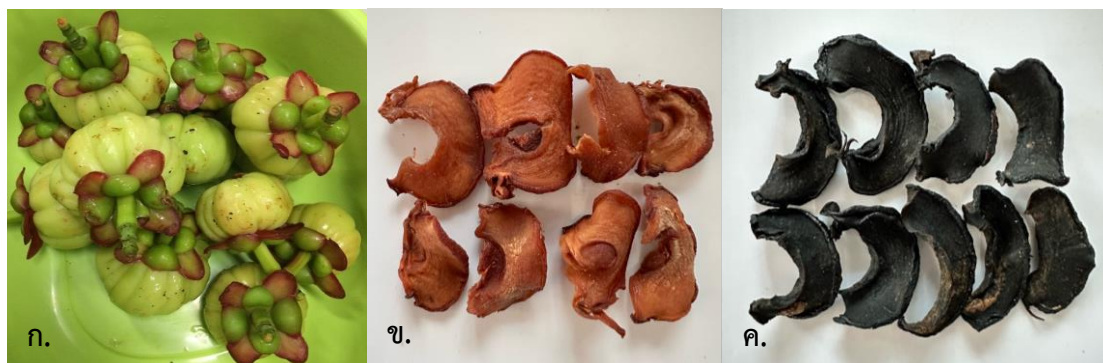
สั้มแขกผลสด (เปลือกสีเขียว) ดังภาพที่ 1(ก.) หั่นเป็นชิ้นบาง ๆ แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากน้ำหนักสด 98.50 กรัม เหลือน้ำหนักแห้งคงที่ 50 กรัม ซึ่งคิดร้อยละน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 50.76 และมีความชื้นร้อยละ 17.20 ส่วนสั้มแขกแห้งในตลาด นำไปใช้เลย ไม่ได้นำไปอบก่อนใช้ มีความชื้นร้อยละ 10.95 (ค่าร้อยละความชื้นแสดงในตารางที่ 1) ซึ่งมีความชื้นต่ำกว่าสั้มแขกสดอบแห้ง อาจจะเป็นไปได้ว่าผู้ผลิตสั้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาดได้ทำให้แห้งด้วยตู้อบที่อุณหภูมิสูงกว่าหรืออบซ้ำหลายรอบหรือตากแดดซ้ำหลายรอบ และใช้เวลานานกว่า จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าสี (L^* a^* และ b^*) พบว่า เนื้อสั้มแขกสดอบแห้ง มีค่า L^* (ความสว่าง) ค่า a^* (สีเขียว-แดง) และค่า b^* (สีน้ำเงิน-เหลือง) สูงกว่าสั้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด (แสดงค่าดังตารางที่ 1)

โดยเมื่อพิจารณาจากลักษณะสีที่มองด้วยตาเปล่าทางกายภาพ เนื้อส้มแขกสดอบแห้งมีสีเหลืองอมน้ำตาลในขณะที่เนื้อส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาดมีลักษณะสีที่เข้มกว่า คือ สีน้ำตาลเข้มเกือบดำ แสดงดังภาพที่ 1 (ข.-ค.) จากนั้นนำเนื้อส้มแขกแห้งทั้งสอง อย่างละ 50 กรัม มาสกัดโดยวิธีการแช่ (Maceration) ในเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร ในอัตราส่วนส้มแขกกับตัวทำละลาย 1:4 ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน นำมากรองแยกสารสกัดออกจากกาก แล้วนำสารสกัดที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator) ดังภาพที่ 2 (ก.-ง.) จนสารสกัดปริมาตรลดลงเหลือ 20 มิลลิลิตร เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญต่อไป

ตารางที่ 1 ค่าสีและความชื้นของส้มแขกสดอบแห้งและส้มแขกแห้งในท้องตลาด

ชนิดของส้มแขก	ค่าสี			ร้อยละความชื้น
	L*	a*	b*	
ส้มแขกสดอบแห้ง	35.20±1.89	18.52±0.53	23.93±0.75	17.20±2.18
ส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด	17.54±0.62	1.73±0.03	0.86±0.15	10.95±0.85

หมายเหตุ การวัดสีแสดงในค่า L* a* b* (±SD) โดยที่ L* คือความสว่างมีค่า 0-100 (ดำ-ขาว), a* คือ ค่าสีเขียว (-a*) จนถึงสีแดง (+a*) และ b* คือ ค่าสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*) ซึ่งทุกข้อมูลจะแสดงในรูปแบบค่า means ± SD



ภาพที่ 1 ลักษณะส้มแขก โดยผลสด (ก.) ผลสดอบแห้ง (ข.) และผลแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด (ค.)



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการสกัดส้มแขกด้วยเอทานอล ความเข้มข้น 95% โดยปริมาตร โดยวิธีการแช่ (ก.) สารสกัดที่ได้หลังจากแช่ 7 วัน (ข.) การกรองแยกกาก (ค.) และระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator) (ง.)

2. ผลของปริมาณสารสำคัญในสารสกัดเนื้อส้มแขกสดอบแห้งและส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด

จากการนำสารสกัดส้มแขกทั้งสองแบบมาวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญต่าง ๆ ได้แก่ สารฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน รวมถึงทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่เหมาะสม โดยใช้เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่นเฉพาะ และทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ ซึ่งให้ผลดังนี้

2.1 ผลของปริมาณสารฟีนอลิกรวม ในสารสกัดจากเนื้อส้มแขกอบแห้งและส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric และเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก ($y=0.0133x$, $R^2=0.9999$) พบว่าสารสกัดจากเนื้อส้มแขกสดอบแห้ง มีปริมาณสารฟีนอลิกรวมสูงกว่าสารสกัดจากเนื้อส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสารสกัดจากเนื้อส้มแขกสดอบแห้งและส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาดมีปริมาณสารฟีนอลิกรวมเท่ากับ 37.92 ± 7.59 และ 8.09 ± 1.00 mg.gallic acid equivalent/g.dw ตามลำดับ ดังภาพที่ 3 (ก.)

2.2 ผลของปริมาณสารฟลาโวนอยด์ ในสารสกัดจากเนื้อส้มแขกอบแห้งและส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี aluminium chloride colorimetry และเทียบกับกราฟมาตรฐานเคอซีติน ($y=0.0357x$, $R^2=0.9993$) พบว่าสารสกัดจากเนื้อส้มแขกสดอบแห้งมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์สูงกว่าสารสกัดจากเนื้อส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสารสกัดจากเนื้อส้มแขกสดอบแห้งและส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด มีปริมาณฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 12.01 ± 2.40 และ 2.40 ± 0.32 mg. quercetin equivalent /g.dw ตามลำดับ ดังภาพที่ 3 (ข.)

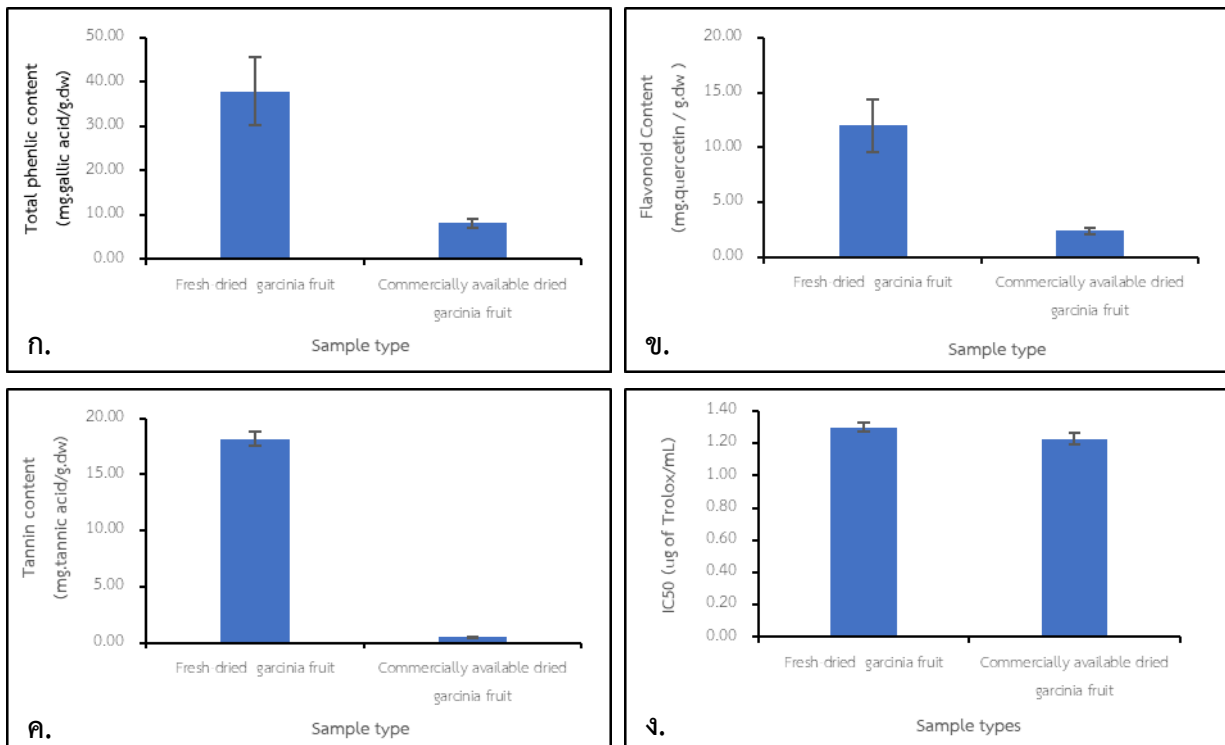
2.3 ผลของปริมาณสารแทนนิน ในสารสกัดจากเนื้อส้มแขกอบแห้งและส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแทนนิก ($y=0.0242x$, $R^2=0.9799$) พบว่าสารสกัดจากเนื้อส้มแขกสดอบแห้งมีปริมาณสารแทนนินสูงกว่าสารสกัดจากเนื้อส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสารสกัดจากเนื้อส้มแขกสดอบแห้งและส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด มีปริมาณแทนนิน เท่ากับ 18.16 ± 0.63 และ 0.51 ± 0.04 mg. tannic acid equivalent /g.dw ตามลำดับ ดังภาพที่ 3 (ค.)

2.4 ผลของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ในสารสกัดจากเนื้อส้มแขกอบแห้งและส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด เมื่อวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร (OD_{515}) ด้วยวิธีการคำนวณเป็นร้อยละของความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของ DPPH (%SA) โดยใช้สมการที่ 1 และนำค่า %SA ที่ได้มาหาความเข้มข้นของสารสกัดด้วยการเทียบกับกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ ($y=22.516x + 25.27$, $R^2=0.9864$) ซึ่งแสดงข้อมูลในตารางที่ 2 นอกจากการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันจะพิจารณาจากค่า %SA แล้วยังแปรผลในรูปของค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50% (IC_{50}) โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %Scavenging activity กับความเข้มข้นของสารสกัด (ค่าที่เทียบจากกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์) จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้สารสกัดจากเนื้อส้มแขกสดอบแห้งและส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาดปริมาณเดียวกัน พบว่า ค่า OD_{515} ค่า %SA และค่าความเข้มข้นของสารสกัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อใช้ปริมาตรของสารสกัดส้มแขกทั้งสองแบบเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า OD_{515} ของอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงแตกต่างกัน เนื่องจากปริมาตรของสารสกัดแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารสกัด ดังนั้นถ้าสารสกัดมีความเข้มข้นสูงก็จะสามารถจับอนุมูลอิสระของ DPPH ได้ดี ส่งผลทำให้ค่า OD_{515} ที่ปรากฏลดลง (ปฏิกิริยาเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเหลือง) อีกทั้งยังผลทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงด้วยเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบผลการยับยั้งอนุมูลอิสระ พบว่าสารสกัดจากเนื้อส้มแขกสดอบแห้งมีค่า %SA สูงกว่าสารสกัดส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด ในขณะที่เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของสารสกัดใช้ในการกำจัดอนุมูลอิสระของ DPPH ลดลงร้อยละ 50 (IC_{50}) ในการวิเคราะห์นี้ พบว่า ค่า IC_{50} ของสารสกัดส้มแขกสดอบแห้งและสารสกัดส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด เท่ากับ 1.30 ± 0.03 และ 1.23 ± 0.04 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การยับยั้งอนุมูลอิสระของ DPPH ให้ลดลงร้อยละ 50 นั้น ต้องใช้สารสกัดส้มแขกสดอบแห้งในปริมาณที่สูงกว่าสารสกัดผลส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด ดังแสดงในรูปที่ 3 (ง.)

ตารางที่ 2 ค่าความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ค่า %Scavenging activity (%SA) และค่าความเข้มข้นของสารสกัดเมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox ในสารสกัดส้มแขก อบแห้งและส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด

ปริมาณ ของสาร สกัด (μL)	ส้มแขกสดอบแห้ง		ความเข้มข้น ของสารสกัด (μg Trolox/mL)	ส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด		ความเข้มข้น ของสารสกัด (μg Trolox/mL)
	OD ₅₁₅	%SA		OD ₅₁₅	%SA	
50	0.281±0.029	47.04±5.54	0.97±0.25	0.307±0.004	42.14±0.76	0.75±0.03
100	0.246±0.015	53.52±2.75	1.25±0.12	0.276±0.010	47.99±1.93	1.01±0.09
150	0.196±0.012	62.96±2.33	1.67±0.10	0.224±0.011	57.67±2.02	1.44±0.09
200	0.162±0.007	69.50±1.33	1.96±0.06	0.206±0.008	61.19±1.58	1.60±0.07
250	0.143±0.09	73.08±1.69	2.12±0.08	0.186±0.013	64.84±2.46	1.76±0.11

หมายเหตุ ข้อมูลทั้งหมดในตารางนี้แสดงในรูปแบบค่า means ± SD



ภาพที่ 3 ปริมาณสารสำคัญ 3 ชนิด ได้แก่ ปริมาณสารฟีนอลิกรวม (ก.) ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (ข.) ปริมาณสารแทนนิน (ค.) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแสดงผลในค่า IC₅₀ (ง.) ซึ่งทุกข้อมูลจะแสดงในรูปแบบค่า means $\pm$ SD

อภิปรายผล

จากการศึกษาสารสำคัญ ได้แก่ สารฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน รวมถึงฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีบางประการของเนื้อส้มแขกแห้งเป็นชิ้นบางแล้วผ่านกระบวนการทำให้แห้งที่มีการใช้ประโยชน์ทั่วไป ซึ่งตัวอย่างของชิ้นส้มแขกแห้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้นำมาจากแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือ 1) ส้มแขกสดอบแห้ง (Fresh-dried garcinia fruit) ใช้ผลส้มแขกสดจากต้นแล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตในห้องปฏิบัติการวิจัย และ 2) ส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด (Commercially available dried garcinia fruit) ซึ่งใช้ตัวอย่างชิ้นส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในร้านค้าย่อยของตลาดชุมชนของจังหวัดนราธิวาส จากการทดลองนี้ พบว่า แบบที่ 1 ผลส้มแขกสดที่มีเปลือกสีเขียว เมื่อนำมาแห้งเป็นชิ้นบางแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนแห้ง จะได้ลักษณะของชิ้นเนื้อส้มแขกสีน้ำตาลเหลือง ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมส้มแขกสามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของตัวอย่างได้ เช่น การคัดเลือกอายุของผล ขนาดของผล ความหนาของชิ้น อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง ความชื้น และความสะอาดปลอดภัยของกระบวนการผลิต เป็นต้น ในขณะที่แบบที่ 2 ส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาดนั้น ส่วนใหญ่จะมีลักษณะของชิ้นเนื้อส้มแขกสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ ขนาดและความหนาของชิ้นไม่สม่ำเสมอ ไม่ทราบระยะของการอบหรือตากแดด ไม่ทราบแหล่งที่มา กระบวนการผลิต และการเก็บรักษา จึง

ทำให้ตัวอย่างส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด ไม่สามารถควบคุมคุณภาพได้ ดังนั้นหากผู้วิจัยต้องการศึกษาสารสำคัญในส้มแขกเพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงคุณภาพ จะต้องมีการควบคุมแหล่งที่มาและกระบวนการแปรรูปส้มแขกอบแห้งอย่างละเอียด จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าเนื้อผลส้มแขกสดอบแห้งที่ได้มีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 17.20 ส่วนเนื้อผลส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด มีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 10.95 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า อาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการอบแห้งหรือตากแห้งที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Srisuk and Soontornnon (2018) รายงานไว้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ โดยผลการอบที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ ได้แก่ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 8 ชั่วโมง มีค่าความชื้นร้อยละ 8.37 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบ 7 ชั่วโมง มีค่าความชื้นร้อยละ 8.45 และที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 5 ชั่วโมง มีค่าความชื้นร้อยละ 8.31 ตามลำดับ เนื่องจากการอบที่อุณหภูมิสูงทำให้น้ำในสารตัวอย่างหรือวัตถุดิบเปลี่ยนสถานะของของเหลวเป็นไอได้เร็วขึ้น ส่งผลทำให้มวลของน้ำในชิ้นเนื้อส้มแขกมีการระเหยเร็วขึ้น แต่หากใช้อุณหภูมิสูงจนเกินไปอาจจะทำให้เกิดผิวเปลือกแข็ง (Case Hardening) ขึ้นได้ มีรายงานวิจัยของ Karo-Karo et al. (2019) ได้สนับสนุนว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพส้มแขกอบแห้ง คือ ระยะเวลาสุกของผลและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง โดยสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ส้มแขกอบแห้งคุณภาพดีที่สุด คือ การใช้ส้มแขกผลดิบและอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะเดียวกันกับการทดลองนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสีทางกายภาพของชิ้นเนื้อส้มแขกสดอบแห้งกับส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด มีสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยส้มแขกสดอบแห้งที่มีการควบคุมกระบวนการอบแห้งทำให้ได้ชิ้นเนื้อส้มแขกมีสีน้ำตาลอ่อนกว่าคือ มีค่าความสว่าง (ค่า L^*) อยู่ในช่วง 33.89-37.36 ค่าสีเขียว-แดง (a^*) อยู่ในช่วง 18.16-19.23 และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง อยู่ในช่วง 23.22-24.71 ซึ่งค่าสีทั้ง 3 ค่านี้สูงกว่าชิ้นส้มแขกแห้งในตลาด มีค่า L^* อยู่ในช่วง 16.83-17.94 ค่า a^* อยู่ในช่วง 1.70-1.76 และค่า b^* อยู่ในช่วง 0.70-1.00 ทำให้ชิ้นส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด มีสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ระดับความสุกของผล วิธีการอบแห้ง กระบวนการแปรรูป และการเก็บรักษาที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าความสว่างและลักษณะสีของชิ้นส้มแขก เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน รวมถึงฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ในสารสกัดจากเนื้อของส้มแขกแห้ง 2 แบบ พบว่า สารสกัดจากเนื้อส้มแขกสดอบแห้งมีปริมาณสารสำคัญทั้ง 3 ชนิด สูงกว่าส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งอาจเกี่ยวกับอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง ที่มีผลต่อปริมาณสารสำคัญในส้มแขกแห้ง เนื่องจากส้มแขกอบแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาดมักผ่านการอบที่อุณหภูมิสูง ส่งผลทำให้สารสำคัญที่ไวความร้อน (heat-labile compounds) สลายตัวเมื่อได้รับความร้อน (Babaei Rad et al., 2025) ตลอดจนผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันก็สอดคล้องกับปริมาณสารสำคัญนี้ด้วย โดยสารสกัดจากเนื้อส้มแขกสดอบแห้งมีคุณสมบัติในการป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ ทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระได้สูงกว่าสารสกัดจากเนื้อส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด แต่กลับพบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งออกซิเดชันในรูปค่า IC_{50} มีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ 1.30 และ 1.23 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าแสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50% จากค่า IC_{50} ของสารสกัดจากเนื้อส้มแขกแห้งทั้งสองแบบที่ได้จากผลงานวิจัยนี้มีความแตกต่างกันไม่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับความแตกต่างของ %SA อันเนื่องมาจากส้มแขกมีสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในเชิง

ชีวภาพหลายชนิดที่มีปริมาณสูง เช่น เควอเซติน (Quercetin) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) กรดไฮดรอกซีซิตริก (Hydroxycitric acid) กรดเพนตาดีคาโนอิก (Pentadecanoic acid) แคมพ์เฟอร์อล (Kaempferol) นารินเจนิน (Naringenin) ฟูกูจีไซด์ (Fukugiside) และมอเรลโลฟลาโวน (Morelloflavone) เป็นต้น (Shahid et al., 2022) แต่ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาเพียง 3 ชนิด ได้แก่ สารฟีนอลิกรวม สารฟลาโวนอยด์ และแทนนินเท่านั้น ซึ่งอาจทำให้ยังไม่สามารถสรุปผลของปริมาณสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) ต่อ %SA และค่า IC_{50} ได้ชัดเจน โดยอาจใช้ข้อมูลนี้เป็นแนวทางพิจารณาความสัมพันธ์เบื้องต้นได้ อย่างไรก็ตามผลการวิจัยสารสำคัญทั้งสามนี้ก็มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Salim (2023) ที่ได้รายงานว่าส้มแขกคือแหล่งของสารฟีนอลิกรวม (total phenolic content; TPC) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (ค่า EC_{50}) ในธรรมชาติที่ดีและมีคุณภาพ ซึ่งเมื่อสกัดด้วยเมทานอล พบว่า ในส่วนเนื้อส้มแขกสูงกว่าในใบ และยังมีงานวิจัยของ Abdullah et al. (2013) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนินกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในใบและลำต้นส้มแขก สกัดโดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เฮกเซน เอทิลอะซิเตท และเมทานอล พบว่า เอทิลอะซิเตทสามารถสกัดสารฟีนอลิกรวม ในใบและลำต้นส้มแขกได้ดีที่สุด รองลงคือฟลาโวนอยด์และแทนนิน ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการใช้เมทานอลและเฮกเซน และพบปริมาณสารสำคัญเหล่านี้ในใบสูงกว่าลำต้น ส่วนสารสกัดที่ได้กลับมีผลทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างต่ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาวะการสกัดที่เหมาะสมมีผลต่อการศึกษาปริมาณสารสำคัญในพืช นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Chatatikun et al. (2020) รายงานว่า เมื่อนำเปลือกของส้มแขกมาสกัดด้วยน้ำ ตรวจพบสารสำคัญหลายชนิด ได้แก่ สารฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์ สามารถต้านอนุมูลอิสระของ DPPH และ ABTS และยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างเมลานิน ซึ่งเปลือกส้มแขกอาจจะสามารถใช้เป็นแหล่งของสารฟอกสีผิวที่มีศักยภาพสำหรับลดภาวะจุดต่างด่างได้ ยิ่งไปกว่านั้นได้มีการค้นพบอนุพันธ์ของสารเอสเทอร์ในผลส้มแขก (*Garcinia atroviridis*) ที่สำคัญ 2 ชนิด ได้แก่ 2-(butoxycarbonylmethyl)-3-butoxycarbonyl-2-hydroxy-3-propanolide และ 1,1-dibutyl methyl hydroxycitrate สารทั้งสองสามารถยับยั้งการเจริญของเนื้องอก และไม่เป็นพิษต่อเซลล์ ซึ่งเป็นผลอันดีต่อการนำสารสกัดจากพืชธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในการรักษาโรค และช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคร้ายต่อไปได้ (Mackeen et al., 2012; Abdul Razak et al., 2024)

สรุป

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ผลการเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ สารฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน ที่ใช้สภาวะการสกัดด้วยวิธีการแช่ในเอทานอล ในผลส้มแขกสดอบแห้งที่เตรียมจากงานวิจัยนี้มีสารฟีนอลิก เท่ากับ 37.92 mg.gallic acid equivalent/g.dw มีสารฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 12.01 mg. quercetin equivalent /g.dw และมีแทนนิน เท่ากับ 18.16 mg. tannic acid equivalent /g.dw มีในปริมาณที่สูงกว่าผลส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด คือ มีสารฟีนอลิก เท่ากับ 8.09 mg.gallic acid equivalent/g.dw มีสารฟลาโวนอยด์ 2.40 mg. quercetin equivalent /g.dw และมีแทนนิน เท่ากับ

0.51 mg. tannic acid equivalent /g.dw ตามลำดับ รวมถึงผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในสารสกัดส้มแขกสดอบแห้งที่ความเข้มข้น เท่ากับ 0.97-2.12 $\mu\text{g.Trolox/mL}$ มีค่า %SA ในช่วง 47.04-73.08 ซึ่งมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของ DPPH สูงกว่า ในขณะที่เมื่อใช้สารสกัดส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาดในช่วงปริมาณเท่ากัน จะมีความเข้มข้นต่ำกว่า คือ 0.75-1.76 $\mu\text{g.Trolox/mL}$ มีค่า %SA ในช่วง 42.14-64.84 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพส้มแขกอบแห้ง มีหลายประการ ทั้งที่มาจากธรรมชาติของส้มแขกและกระบวนการแปรรูปส้มแขก ดังนั้นในการศึกษาผลการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมีของส้มแขกแห้ง ควรเริ่มต้นจากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตส้มแขกแห้งคุณภาพดีก่อน หาวีธีลดปัจจัยเสี่ยงของการเก็บตัวอย่างส้มแขกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด หาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสำคัญจากเนื้อส้มแขกแห้ง และควรวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ร่วมกับวิธีอื่นด้วย เช่น ABTS FRAP ORAC TRAP เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องมีการวิเคราะห์สาระสำคัญอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง กับ %SA และค่า IC_{50} เพื่อเป็นข้อมูลเชื่อมโยงความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านออกซิเดชันในส้มแขก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำโครงการวิทยาศาสตร์และอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ และปัจจัยด้านสาธารณูปโภคต่าง ๆ ตลอดจนขอบคุณผู้เกี่ยวข้องที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์

รายการอ้างอิง (References)

- ไพโรจน์ ผลประสิทธิ์. (2541). การะติดพันที่มีต่อ “ส้มแขกและสะละ”. *วารสารเคหะการเกษตร*, 22, 63.
- สมพร จันทรเดช. (2538). *ส้มแขก*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Abdullah, A.R., Bakhari, N.A., & Osman, H. (2013). Study on the relationship of the phenolic, flavonoid and tannin content to the antioxidant activity of *Garcinia atroviridis*. *Universal Journal of Applied Science*, 1(3), 95-100. <http://doi.org/10.13189/ujas.2013.010304>
- Abdul Razak, N.Q., Gan, C-Y., & Shafie, M.H. (2024). Unlocking the potential of *Garcinia atroviridis* fruit polysaccharides: A synergistic approach for obesity and hypertension management. *Food Bioscience*, 57, 103553. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103553>
- Babaei Rad, S., Mumivand, H., Mollaei, S., & Khadivi, A. (2025). Effect of drying methods on phenolic compounds and antioxidant activity of *Capparis spinosa* L. fruits. *BioMed Central Plant Biology*, 25, 133. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06110-y>

- Chatatikun, M., Supjaroen, P., Promlat, P., Chantarangkul, C., Waranuntakul, S., Nawarat, J., Tangpong, J., & Chiabchalard, A. (2020). Antioxidant and tyrosinase inhibitory properties of an aqueous extract of *Garcinia atroviridis* Griff. ex. T. Anderson fruit pericarps. *Pharmacognosy Journal*, 12(1), 71-78. <https://doi.org/10.5530/pj.2020.12.12>
- Chuaijit, S., Punsawad, C., Winoto, V., Plaingam, W., Kongkaew, I., Phetcharat, A., Ichikawa, T., Kubo, M., Kawakami, F., Tedasen, A., & Chatatikun, M. (2024). Leaf extract of *Garcinia atroviridis* promotes anti-heat stress and antioxidant effects in *Caenorhabditis elegans*. *Frontiers in Pharmacology*, 15, 1331627. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1331627>
- Deenamo, N., Binhayeeding, N., Yusoh, R., Pi, N., Tohnabo, S., & Maleekan, A. (2022). The effect of herbal tea infusion time on active constituents contents in three herbal plant. *Pridiyathorn Science Journal*, 1(2), 70 - 85. <https://li04.tci-thaijo.org/index.php/psj/article/view/1149>
- Deenamo, N., Taleh, S., Auma, K., Awae, N., Maleekan, A., & Sirisom, T. (2024). Effect of harvesting times of the HomKradung-Nga cultivar rice seedlings on active substance contents and antioxidant activity to be used for processing into tea products. *Journal of Advanced Development in Engineering and Science*, 14(41), 103 - 118. <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/pitjournal/article/view/1996>
- Fu, W.C., Li, H.Y., Li, T.T., Yang, K., Chen, J.X., Wang, S.J., Liu, C.H., & Zhang, W. (2021). Pentadecanoic acid promotes basal and insulin-stimulated glucose uptake in C2C12 myotubes. *Food & Nutrition Research*, 65, 4527. <https://doi.org/10.29219/fnr.v65.4527>
- Hamidon, H., Susanti, D., Taher, M., & Zakaria, Z.A. (2017). *Garcinia atroviridis*-A review on phytochemicals and pharmacological properties. *Marmara Pharmaceutical Journal*, 21, 38 - 47. <https://doi.org/10.12991/marupj.259879>
- Khawniam, T., & Te-chato, S. (2014). Effect of shoot size and period of culture in liquid medium on direct shoot organogenesis from leaf of somkhag. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 42(3), 341 - 346. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/wichcha/article/view/259361>
- Karo-Karo, T., Julianti, E., & Nurminah, M. (2019). Physicochemical properties of Gelugur powder (*Garcinia atroviridis*). *The 4th International Conference on Biological Sciences and Biotechnology. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 305, 012033. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/305/1/012033>

- Kongchaian, A., Keawboonlert, N., Boonrak, T., Lookyee, S., Buasri, K., Surongkul, N., & Tangpong, J. (2020). Anti-hyperlipidemia and anti-obesity properties of *Garcinia atroviridis* and *Camellia sinensis* extracts in high-fat diet mice. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 17(10), 1126 – 1138. <https://doi.org/10.48048/wjst.2020.10717>
- Kovilein, A., Kubisch, C., Cai, L., & Ochsenreither, K. (2020). Malic acid production from renewables: A review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 95, 513 - 526. <https://doi.org/10.1002/jctb.6269>
- Lim, W.F., Nasir, S.M., Teh, L.K., James, R.J., Izhar, M.H., & Salleh, M. Z. (2020). The methanolic extract of *Garcinia atroviridis* (MeGa) reduces body weight and food intake, and improves lipid profiles by altering the lipid metabolism: a rat model. *Turkish journal of biology = Turk biyoloji dergisi*, 44(6), 437 – 448. <https://doi.org/10.3906/biy-2005-2>
- Mackeen, M.M., Mooi, L.Y., Amran, M., Mat, N., Lajis, N.H., & Ali, A.M. (2012). Noncytotoxic and antitumor-promoting activities of garcinia acid esters from *Garcinia atroviridis* griff. ex T. anders, (Guttiferae). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 28, 5 pages. <https://doi.org/10.1155/2012/829814>
- Perez, M.B., Calderon, N.L., & Croci, C.A. (2007). Radiation-induced enhancement of antioxidant activity in extracts of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Food Chemistry*, 104, 585 - 542. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.009>
- Salim, S.M. (2023). Antioxidant activity of *Garcinia atroviridis* Griff. ex T. Anderson. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 21(2), 325-331. <https://doi.org/10.22124/CJES.2023.6498>
- Shahid, M., Law, D., Azfaralariff, A., Mackeen, M.M., Chong, T.F., & Fazry, S. (2022). Phytochemicals and biological activities of *Garcinia atroviridis*: a critical review. *Toxics*, 10, 656. <https://doi.org/10.3390/toxics10110656>
- Srisuk, S., & Soontornnon, P. (2018). *Production development of garcinia tea*. (Research report on the project of developing *Garcinia* products to increase income for the Tasap village housewives' agricultural group), Yala Rajabhat University.
- Suteebut, N., Jitsai, K., Jiratassanapat, L., U-chupaj, J., Chayaprasert, W., & Saetang, D. (2024). Gummy jelly product from water extract of *Garcinia* mixed with Indian gooseberry and fingerroot. *Science and technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal*, 16(24), 112 - 126. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSTNSRU/article/view/253095>

- Sze-Tao, K.W., Schrimpf, J.E., Teuber, S.S., Kenneth, H.R., & Shridhar, K.S. (2001). Effects of processing and storage on walnut (*Juglans regia* L) tannins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(13), 1215 - 1222. <https://doi.org/10.1002/jsfa.932>
- Tayeh, N., Tuankaji, T., & Alee, H. (2019). Development of local halal food product: low calorie garcinia cambogia jam. *Journal of Science and Technology*, 4(2), 54 - 65. <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.05.28.009>
- Tomar, M., Rao, R.P., Dorairaj, P., Koshta, A., Suresh, S., Rafiq, M., Kumawat, R., Paramesh, R., Babu, U.V., & Venkatesh, K.V. (2019). A clinical and computational study on anti-obesity effects of hydroxycitric acid. *Royal Society of Chemistry Advances*, 9, 18578-18588. <https://doi.org/10.1039/c9ra01345h>
- Torres, A.M., Mau-Lastovicka, T., & Rezaaiyan, R. (1987). Total phenolics and high performance liquid chromatography of phenolic acids of avocado. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 35, 921 - 925. <https://doi.org/10.1021/jf00078a018>
- Tun Norbrillinda, M., Norra, I., & Helmi, M.M. (2025). The effect of adding Garcinia atroviridis on pH, color and antioxidant properties of roselle tisane. *Food Research*, 9(Suppl. 1), 76-86. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.9\(S1\).079](https://doi.org/10.26656/fr.2017.9(S1).079)
- Venn-Watson, S., Lumpkin, R., & Dennis, E.A. (2020). Efficacy of dietary odd-chain saturated fatty acid pentadecanoic acid parallels broad associated health benefits in humans: Could it be essential? *Scientific Reports*, 10, 8161. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64960-y>
- Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). Determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 6, 555- 559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)

องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของฟลาวข้าวกล้องสายพันธุ์พื้นเมือง จังหวัดนราธิวาส

Chemical Composition and Physicochemical Properties of Local Brown Rice Flour Varieties from Narathiwat Province

ภัทธา ฉัตรชัยพันธ์¹, ราฮีมา วาแมเดีซา¹, สุนีย์ โชตินีรนารท²,

อุษา ย้อนโคกสูง² และ โรสลาวาตี โต๊ะแอ^{1*}

Phattra Chatchaiphan¹, Raheema Wamaedeesa¹, Sunee Chotineeranart²,

Usa Yonkoksung² and Roselawatee Toae^{1*}

(Received: 25 November 2025; Revised: 10 December 2025; Accepted: 28 November 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของฟลาวข้าวกล้องสายพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดนราธิวาส ได้แก่ หอมกระดังงา และซิบูกันตัง เปรียบเทียบกับฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิสายพันธุ์ทางการค้า (หอมมะลิ 105) โดยทำการเตรียมฟลาวจากข้าวกล้องทั้ง 3 สายพันธุ์ด้วยวิธีไม่แห้งและทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ แป้ง โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และอะไมโลส รวมถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่า ฟลาวข้าวกล้องซิบูกันตังมีปริมาณแป้งสูงสุด (ร้อยละ 84.22) และมีค่าความแตกต่างในทางสถิติ ปริมาณโปรตีนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณไขมัน เถ้า และเยื่อใยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า ปริมาณอะไมโลสของฟลาวข้าวกล้องหอมกระดังงา ซิบูกันตัง และหอมมะลิ 105 ทางการค้า มีปริมาณอะไมโลสเท่ากับร้อยละ 39.85 40.93 และ 24.27 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความหนืด พบว่า ฟลาวข้าวกล้องหอมกระดังงา ซิบูกันตัง และหอมมะลิ 105 ทางการค้า มีเวลาที่เกิดความหนืดสูงสุดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า มีค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดสุดท้าย ค่าการยุบตัว ค่าความคงตัว และค่าการคืนตัวสูงที่สุด ขณะที่ฟลาวข้าวกล้องหอมกระดังงาและซิบูกันตัง มีอุณหภูมิที่เกิดความหนืดสูงกว่าฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า

คำสำคัญ: องค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ ฟลาวข้าวกล้อง ข้าวพันธุ์พื้นเมือง

¹คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

¹Faculty of Agriculture, Princess of Naradhiwas University

²ศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ปทุมธานี

²National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC), National Science and Technology

Development Agency, Pathum Thani

*Corresponding author: roselaawatee.t@pnu.ac.th

Abstract

This research aimed to investigate the chemical composition and physicochemical properties of brown rice flours derived from local rice varieties of Narathiwat Province such as Hom Gra Dang Ngah and Seebu Gantung, compared with commercial Jasmine brown rice flour (Jasmine 105). Brown rice flour from all three varieties was prepared using a dry-milling method, and the chemical composition was analyzed, including starch, protein, fat, ash, fiber, and amylose, as well as the pasting characteristics using a Rapid Visco Analyzer (RVA). The results showed that the Seebu Gantung brown rice flour contained the highest starch content (84.22%), with a statistically significant difference. Protein contents among the three samples were not significantly difference. In contrast, the fat, ash and fiber contents of the local brown rice flours were significantly difference from those of the commercial Jasmine 105 brown rice flours. The amylose contents of Hom Gra Dang Ngah, Seebu Gantung, and commercial Jasmine 105 brown rice flours were 39.85%, 40.93%, and 24.27%, respectively. Considering the pasting properties, the pasting times did not differ significantly among the three brown rice flours. The commercial Jasmine 105 brown rice flour had the highest peak viscosity, trough viscosity, breakdown, final viscosity, and setback. In contrast, the Hom Gra Dang Ngah and Seebu Gantung brown rice flours had higher pasting temperatures than the commercial Jasmine 105 brown rice flour.

Keywords: chemical composition, physicochemical properties, brown rice flour, local rice varieties

บทนำ

ประเทศไทยมีแหล่งผลิตข้าวที่สำคัญซึ่งกระจายตามภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศหลายพื้นที่ เป็นผลให้มีความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวสูง โดยเฉพาะข้าวพันธุ์พื้นเมืองซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรได้คัดเลือกและเก็บรักษาพันธุ์ สืบทอดกันมาหลายชั่วอายุคน ลักษณะเด่น คือ มีความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูประจำถิ่น สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ลักษณะเช่นนี้เป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้ปลูกข้าวเนื่องจากใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ (เบญจวรรณ, 2555 อ้างถึงใน ประพฤติ พรหมสมบูรณ์ และคณะ, 2559) จึงทำให้แต่ละภูมิภาคมีข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สำคัญและขึ้นชื่อที่แตกต่างกัน เช่น ข้าวสังข์หยดของจังหวัดพัทลุง ข้าวเหลืองประทิวของจังหวัดชุมพร ข้าวหอมมะลิสุรินทร์ของจังหวัดสุรินทร์ และข้าวฮางหอมทองสกลทวาปีของจังหวัดสกลนคร เป็นต้น (กรมทรัพย์สินทางปัญญา, 2562) เช่นเดียวกับจังหวัดนราธิวาสที่มีข้าวพื้นเมืองที่สำคัญ ได้แก่ ข้าวหอมกระดังงา และข้าวชิบูกันตัง ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกและรับประทานกันอย่างแพร่หลายในพื้นที่ โดยในปี พ.ศ. 2565 จังหวัดนราธิวาสมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีรวม 29,356 ไร่ ลดลงจากปี 2564 จำนวน 5,756 ไร่ และในฤดูปลูก 2567/2568 มีการขึ้นทะเบียนปลูกลดลงเหลือเพียง 8,811 ไร่

(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567) อันเป็นผลจาก พื้นที่เพาะปลูกประสบปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก รวมทั้งข้าวหอมกระดังงาและข้าวสีบูกันตังมีลักษณะเมื่อหุงสุกค่อนข้างร่วนแข็ง จึงไม่เป็นที่นิยมในตลาดทั่วไป ทำให้มีราคาตลาดต่ำ เกษตรกรจึงหันไปปลูกพืชเศรษฐกิจอื่นทดแทน ส่งผลให้พื้นที่เพาะปลูกลดลงอย่างต่อเนื่อง

แม้ว่าข้าวพื้นเมืองจะมีข้อจำกัดด้านความนิยมบริโภค แต่มีจุดเด่นด้านกลิ่นหอม คุณค่าทางโภชนาการ และความเหมาะสมต่อการปลูก ตลอดจนมีความสำคัญทางการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช (สุภาชิต ชุกกลิ่น และคณะ, 2563) โดยเฉพาะในแง่ของคุณค่าทางโภชนาการหรือปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีของข้าวพื้นเมือง ซึ่งจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ สภาพการปลูก การเก็บเกี่ยว ตลอดจนกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องหรือข้าวสาร (สุภาชิต ชุกกลิ่น และคณะ, 2563; สุทธิรัตน์ ขาวปากกรอ และปิยวรรณ ไกรนร, 2561) ทั้งนี้ หากนำมาแปรรูปเป็นข้าวกล้อง (brown rice) ซึ่งได้จากการนำข้าวเปลือกมากะเทาะเปลือกออกเพียงครั้งเดียว โดยไม่ผ่านการขัดสี พบว่า มีคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ร่างกายนำไปใช้ได้ยากกว่าข้าวขาว และอุดมไปด้วยแร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ รวมทั้งกากใยอาหารที่มีมากกว่าในข้าวขาวถึง 3 เท่า (HDmall, 2024) และมีรายงานว่า การรับประทานข้าวกล้องแทนข้าวขาวเป็นประจำจะมีผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดต่ำลง และลดความเสี่ยงต่อการเกิดเบาหวานชนิดที่ 2 ได้ (เนตรนภา จิตตะระ, 2561) ทั้งนี้ เมื่อนำเมล็ดข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกหรือขัดสีมาเข้าสู่กระบวนการบดหรือโม่ให้เป็นผงจะได้ฟลาวข้าว (rice flour) ที่ยังคงคุณค่าทางโภชนาการสูงเช่นเดิม แต่หากนำฟลาวข้าวที่ได้ไปสกัดองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ เป็นต้น ออกจนเหลือแต่ส่วนที่เป็นแป้งเป็นหลักจะได้แป้งบริสุทธิ์หรือสตาร์ชข้าว (rice starch) ที่มีลักษณะเป็นผงเนื้อละเอียด สีขาว ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของฟลาวข้าวและสตาร์ชข้าวแตกต่างกัน (สุทธิณี สีสั่งข์, 2563)

นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของข้าวอีกชนิด คือ ปริมาณอะไมโลส (amylose) ที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของข้าว เช่น ลักษณะเมล็ดข้าวหลังหุงสุก ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืด (viscosity) เป็นต้น โดยข้าวที่มีอะไมโลสสูงในระหว่างการทำหุงต้มจะดูดน้ำได้มากกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือมีความร่วนมากขึ้น ส่วนข้าวเหนียวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำเมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะมีความเหนียว (สุภากาญจน์ พรหมจันทร์ และคณะ, 2566) ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการแปรรูป การรับประทาน และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าว เช่น ข้าวสุก ขนมจากข้าว หรืออาหารต่างๆ ที่ใช้แป้งข้าวเป็นวัตถุดิบหลัก (Sangwongchai et al., 2023) ดังนั้น การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของฟลาวข้าวกล้องสายพันธุ์พื้นเมืองนราธิวาสทั้ง 2 สายพันธุ์ (หอมกระดังงาและสีบูกันตัง) โดยเปรียบเทียบกับข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า จึงมีความสำคัญในการสร้างฐานข้อมูลพื้นฐานที่เชื่อถือได้ เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวพื้นเมืองนราธิวาสให้มีคุณภาพสูงขึ้น หรือส่งเสริมการใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ เพื่อยกระดับคุณค่าและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ข้าวพื้นเมืองในเชิงพาณิชย์ ตลอดจนช่วยอนุรักษ์ข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดนราธิวาสให้คงอยู่สืบไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของฟลาวข้าวกล้องสายพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดนราธิวาส
2. เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของฟลาวข้าวกล้องสายพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดนราธิวาสกับข้าวกล้องทางการค้า

วิธีการวิจัย

1. วัตถุดิบ

ข้าวกล้องสายพันธุ์พื้นเมืองนราธิวาส 2 สายพันธุ์ ได้แก่ หอมกระดังงา และชีบูกันตัง ชื้อจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบางขุนทองพัฒนา ตำบลบางขุนทอง อำเภอตากใบ จังหวัดนราธิวาส บรรจุในถุงแบบสุญญากาศ ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า ชื้อจากห้างสรรพสินค้าบิ๊กซีสาขานราธิวาส นำมาคัดเมล็ดที่สมบูรณ์ ไม่แตกหัก และเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2. การเตรียมฟลาวข้าวกล้อง

นำข้าวกล้องทั้ง 3 สายพันธุ์ (หอมกระดังงา ชีบูกันตัง และหอมมะลิ 105 ทางการค้า) มาไม่แห้งด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์ให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ตัวอย่างฟลาวข้าวกล้องถูกจัดเก็บในถุงบรรจุปิดสนิทและเก็บไว้ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจนกว่าจะทำการวิเคราะห์

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3.1 ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใย ได้ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน AOAC (1990) โดยรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แต่ละองค์ประกอบมีดังนี้ โปรตีนใช้วิธี Kjeldahl ร้อยละของโปรตีนถูกคำนวณโดยการคูณด้วยไนโตรเจนแฟกเตอร์ด้วย 5.95 ไขมันใช้วิธีการสกัดด้วยการใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลายใน Soxhlet apparatus

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณแป้งด้วยวิธีเอนไซม์ ทำตามวิธี AOAC Method 996.11 และ AACC Method 76-13.01 โดยใช้ชุดตรวจ Megazyme total starch kit (Megazyme International Ireland) วิเคราะห์ปริมาณแป้งของตัวอย่างข้าวกล้อง โดยชั่งตัวอย่างประมาณ 0.1 กรัม ผสมกับเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 และสารละลายเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (thermostable alpha-amylase) 300 unit ซึ่งละลายใน MOPS buffer 50 มิลลิโมลาร์ (pH 7.0) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร จากนั้นทำเจลาตินไนซ์ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที เติมโซเดียมอะซิเตดบัฟเฟอร์เข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ (pH 4.5) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (amylglucosidase, AMG) 20 unit บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปรับปริมาตรตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นและแยกส่วนใสโดยนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที ทำการวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เกิดขึ้นหลังการย่อยด้วย GOPOD reagent นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานกลูโคสความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (McCleary et al., 2015)

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส ทำการวิเคราะห์ตามวิธี Juliano (1971) โดยนำฟลาวข้าว 100 มิลลิกรัม ใส่ใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร หมุน flask ให้แบ่งกระจายตัว เติมน้ำกลั่นไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ต้มในอ่างน้ำ ควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 10 นาที ทำให้เย็น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น นำสารละลายแบ่งมาทำปฏิกิริยาให้เกิดสี โดยดูตุน้ำแบ่งมา 5 มิลลิลิตร ใส่ใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร ซึ่งมีกรดอะซิติกเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน (ไอโอดีน 0.2 มิลลิลิตร และ โพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 มิลลิลิตร ในตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที ทำแบลนด์ด้วยสารเคมีดังเดิม ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงจากกราฟมาตรฐาน (Standard Curve) โดยกราฟมาตรฐานทำได้โดยชั่ง อะไมโลสบริสุทธิ์ 40 มิลลิกรัม ทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์อะไมโลสในตัวอย่างดังขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้น ปิเปตสารละลายอะไมโลส มาตรฐานใส่ใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร ปริมาตร 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ เติมน้ำกลั่นไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ เติมน้ำกลั่นไฮดรอกไซด์ 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ทิ้งไว้ 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงมาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับร้อยละของ ปริมาณอะไมโลส

4. คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ เตรียมตัวอย่างฟลาวข้าวกล้างเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก และชั่งน้ำ กลั่นให้มีน้ำหนักรวม 28 กรัม นำไปวัดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer รุ่น 4500 (Warriewood, Australia) ตามวิธีของ Newport Scientific (1995) ด้วยโปรไฟล์ Std1 กล่าวคือใช้ความเร็วในการกวนของ มอเตอร์ 10 วินาทีแรกอยู่ที่ 960 รอบต่อนาที หลังจากนั้นจะลดลงมาอยู่ที่ 160 รอบต่อนาทีจนสิ้นสุดการ ทดลอง ควบคุมให้อุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 นาที เพิ่มอุณหภูมิขึ้นจนถึง 95 องศาเซลเซียสที่นาที่ 4:42 รักษาให้อุณหภูมิคงที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2.5 นาที จากนั้นจึงลด อุณหภูมิลงมาที่ 50 องศาเซลเซียส ที่นาที่ 11:00 และรักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็น เวลานาน 2 นาที วิเคราะห์ผลด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Thermocline for windows และบันทึกค่า ต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิที่เกิดความหนืด (Pasting temperature, °C) ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RVU) ค่าความคงตัว (Final viscosity, RVU) ค่าความหนืดสุดท้าย (Trough, RVU) ค่าการยุบตัว (Breakdown, RVU) และค่าการคืนตัว (setback)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomize design, CRD) โดยทำการวิเคราะห์ 2 ข้าง วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดลองเปรียบเทียบสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟลาวข้าวด้วย โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 23 ถ้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นำมา เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

ผลการวิจัย

1. องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวข้าวกล้องสายพันธุ์พื้นเมือง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวข้าวกล้องสายพันธุ์พื้นเมืองนราธิวาส 2 สายพันธุ์ ได้แก่ หอมกระดังงา และซิบูกันตัง เปรียบเทียบกับฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า พบว่า ฟลาวข้าวกล้องแต่ละสายพันธุ์มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงดังตารางที่ 1 โดยฟลาวข้าวกล้องซิบูกันตังมีปริมาณแป้งและอะไมโลสสูงที่สุด (ร้อยละ 84.22 และ 40.93 โดยน้ำหนักแห้ง) ขณะที่ฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้ามีความชื้น โปรตีน ไขมัน เกล็ด และเยื่อใย สูงที่สุด (ร้อยละ 9.40 8.40 2.94 1.32 และ 0.82 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟลาวข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดนราธิวาสกับฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า พบว่าฟลาวข้าวกล้องหอมกระดังงาและซิบูกันตัง มีปริมาณแป้งและอะไมโลสสูงกว่าฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า คิดเป็นร้อยละ 39.85 40.93 และ 24.27 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของฟลาวข้าว

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวข้าวกล้องสายพันธุ์พื้นเมืองนราธิวาสเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิ 105 ทางการค้า

สายพันธุ์	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)						
	ความชื้น	แป้ง	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	อะไมโลส
หอมกระดังงา	8.28±0.11 ^b	81.53±0.30 ^b	8.32±0.05 ^a	2.23±0.01 ^c	0.73±0.03 ^b	0.65±0.01 ^b	39.85±0.02 ^b
ซิบูกันตัง	8.06±0.22 ^b	84.22±0.13 ^a	7.98±0.2 ^b	2.63±0.00 ^b	0.81±0.00 ^b	0.58±0.02 ^c	40.93±0.60 ^a
หอมมะลิ 105 ทางการค้า	9.40±0.06 ^a	80.96±0.43 ^b	8.40±0.02 ^a	2.94±0.10 ^a	1.32±0.05 ^a	0.82±0.03 ^a	24.27±0.02 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยใช้ DMRT

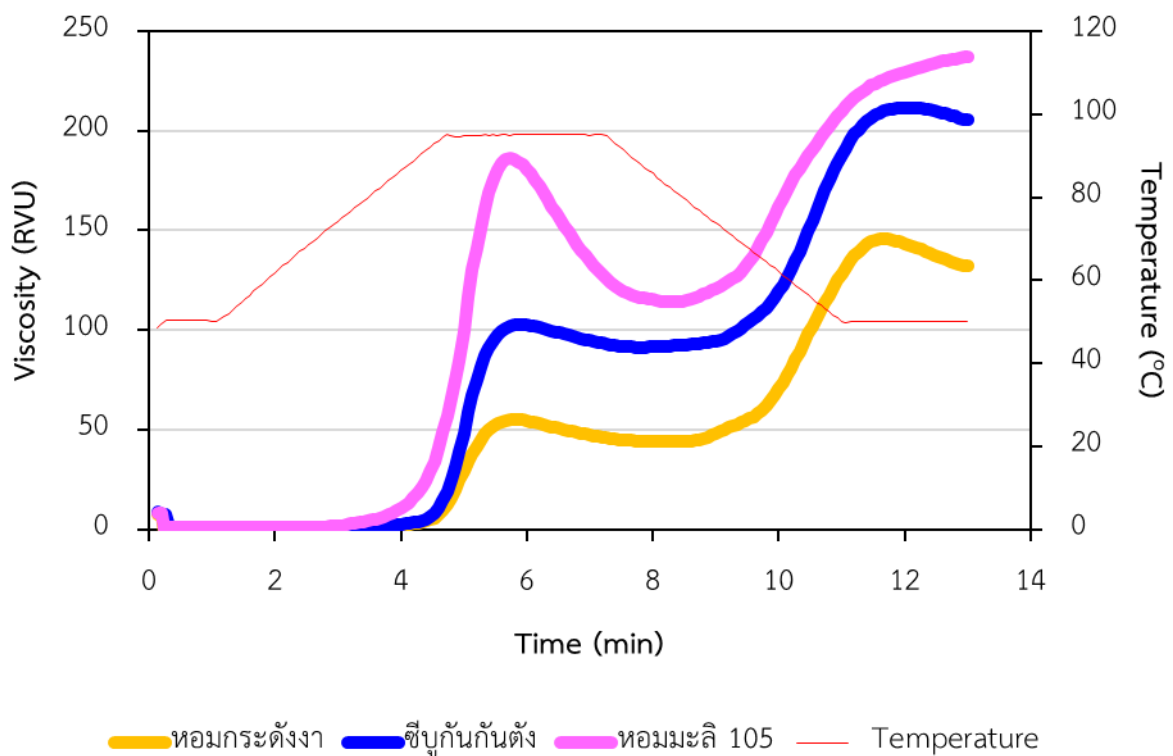
2. ลักษณะความหนืดของฟลาวข้าวกล้อง

เมื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของฟลาวข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองนราธิวาส ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA) เปรียบเทียบกับฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า แสดงผลดังตารางที่ 2 และภาพที่ 1 พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของฟลาวข้าวกล้องทั้ง 3 สายพันธุ์ มีความแตกต่างกัน โดยฟลาวข้าวกล้องหอมกระดังงาและซิบูกันตัง มีอุณหภูมิที่เกิดความหนืด (pasting temperature) สูงกว่าฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า (93.68 92.93 และ 87.20 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) ขณะที่ ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ค่าการยุบตัว (breakdown) ค่าความคงตัว (final viscosity) และค่าการคืนตัว (setback) ของฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า มีค่ามากกว่าฟลาวข้าวกล้องซิบูกันตังและหอมกระดังงา

ตารางที่ 2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของฟลาวข้าวกล้องหอมกระดังงาและซีบูกันตังเปรียบเทียบกับฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

สายพันธุ์	ความหนืด สูงสุด (RVU)	ความหนืด ต่ำสุด (RVU)	ค่าการ ยุบตัว (RVU)	ค่าความ คงตัว (RVU)	ค่าการคืน ตัว (RVU)	เวลาที่เกิด ความหนืด (min)	อุณหภูมิที่เกิด ความหนืด (°C)
หอมกระดังงา	55 ± 1 ^c	44 ± 0 ^c	11 ± 0 ^b	132 ± 1 ^c	88 ± 1 ^b	5.80 ± 0 ^{ab}	93.68 ± 0 ^a
ซีบูกันตัง	103 ± 2 ^b	91 ± 0 ^b	11 ± 0 ^b	206 ± 5 ^b	115 ± 4 ^a	5.94 ± 0 ^a	92.93 ± 0 ^b
หอมมะลิ 105 ทางการค้า	186 ± 2 ^a	114 ± 1 ^a	72 ± 1 ^a	237 ± 2 ^a	123 ± 1 ^a	5.73 ± 0 ^b	87.20 ± 0 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยใช้ DMRT



ภาพที่ 1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของฟลาวข้าวกล้องหอมกระดังงาและซีบูกันตัง เปรียบเทียบกับฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

อภิปรายผล

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าฟลาวข้าวกล้องพื้นเมืองของจังหวัดนราธิวาสทั้ง 2 สายพันธุ์ ได้แก่ หอมกระดังงาและซิบูกันตัง มีองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ที่แตกต่างจากฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า โดยพบว่าฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใยสูงกว่าข้าวพื้นเมืองนราธิวาสทั้ง 2 สายพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Chumpool et al. (2019) ว่าข้าวหอมมะลิมีองค์ประกอบสารอาหารโดยรวมสูงกว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองทั่วไป เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ให้มีคุณภาพเมล็ดและคุณค่าทางโภชนาการที่ดีต่อการบริโภค รวมถึง Oppong et al. (2021) ได้รายงานไว้ว่า ฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใยสูงกว่าข้าวกล้องหอมมะลิจังหวัดนครศรีธรรมราช ขณะที่เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแป้งด้วยวิธีเอนไซม์ พบว่า ฟลาวข้าวกล้องซิบูกันตัง มีปริมาณที่สูงกว่าฟลาวข้าวกล้องหอมกระดังงา และหอมมะลิ 105 ทางการค้า (ร้อยละ 84.22 81.53 และ 80.96 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) ทั้งนี้คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดข้าวหรือปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีของข้าว มีผลมาจากพันธุ์ สภาพการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องหรือข้าวสารนั่นเอง (สุภาชาติ ชุกกลิน และคณะ, 2563)

เมื่อพิจารณาปริมาณอะไมโลสของฟลาวข้าวกล้องหอมกระดังงาและซิบูกันตังที่มีปริมาณสูงกว่าฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า (ร้อยละ 39.85 40.93 และ 24.27 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) โดย Juliano (1971) ได้จัดประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลสออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า อะไมโลสต่ำ ข้าวเจ้าอะไมโลสปานกลาง และข้าวเจ้าอะไมโลสสูง โดยมีปริมาณอะไมโลสเป็นองค์ประกอบร้อยละ 0-9 10-19 20-25 และมากกว่า 25 ดังนั้น ข้าวกล้องหอมกระดังงาและซิบูกันตังของจังหวัดนราธิวาสจึงจัดอยู่ในกลุ่มของข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ขณะที่ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า จัดอยู่ในกลุ่มข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความความหนืดของฟลาวข้าวกล้องทั้ง 3 สายพันธุ์ ด้วยเครื่อง RVA ชี้ให้เห็นว่าฟลาวข้าวกล้องหอมกระดังงาและซิบูกันตังมีอุณหภูมิที่เกิดความหนืด (pasting temperature) สูงกว่าฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของแป้งกลุ่มอะไมโลสสูง เนื่องจากโครงสร้างของเม็ดแป้งมีลักษณะเป็นสายโพลิเมอร์อะไมโลสและอะไมโลเพคตินเพิ่มขึ้น รวมถึงมีการเกิดคอมเพล็กซ์ระหว่างอะไมโลสและไขมัน (amylose-lipid complex) มากขึ้น ซึ่งโครงสร้างเชิงซ้อนเหล่านี้ต้องการพลังงานความร้อนสูงขึ้นในการละลาย ส่งผลให้อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) สูงขึ้นตามไปด้วย (Dorantes-Campuzano et al., 2022) นอกจากนี้การพบว่า ฟลาวข้าวกล้องหอมมะลิ 105 มีค่าการยุบตัว (breakdown) และค่าการคืนตัว (setback) สูงที่สุดแสดงถึงความเปราะในช่วงให้ความร้อนและความสามารถในการคืนตัวของแป้งหลังการทำให้เย็น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของศิริกาญจนา ศิริรินทร์ และณัฐธพงศ์ เพชรอำไพ (2567) ที่รายงานไว้ว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีค่าความข้นหนืดของเจลแป้งข้าว (Gel Consistency: GC) ต่ำ ลักษณะของเนื้อสัมผัสข้าวจะเป็น

ข้าวที่มีความแข็งอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงเป็นข้าวแข็ง ส่วนพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจะมีค่าความชื้นหนืดของเจลแข็งข้าวสูง (Gel Consistency: GC) ลักษณะของเนื้อสัมผัสข้าวจะเป็นข้าวที่มีความแข็งอยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำเป็นข้าวอ่อนนุ่ม

ผลการศึกษานี้จึงชี้ให้เห็นว่า พลาข้าวกล้องสายพันธุ์พื้นเมืองนราธิวาสทั้ง 2 สายพันธุ์ ได้แก่ หอมกระดังงาและชีบูกันตัง มีลักษณะเฉพาะด้านปริมาณแป้งและอะไมโลสที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในผลิตภัณฑ์แปรรูปฟังก์ชัน เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว ข้าวเกรียบ ผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยว และเบเกอรี่ที่ต้องการโครงสร้างแข็งแรง ในขณะที่ข้าวหอมมะลิ 105 ทางการค้าเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความนุ่มและคืนตัวเป็นเจลได้ดี เช่น ขนมหวานและผลิตภัณฑ์อาหารที่มีเนื้อนุ่ม

สรุป

พลาข้าวกล้องสายพันธุ์พื้นเมืองนราธิวาส ได้แก่ หอมกระดังงา และชีบูกันตัง มีองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดแตกต่างจากพลาข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยพลาข้าวกล้องหอมกระดังงาและชีบูกันตังมีปริมาณอะไมโลสมากกว่าร้อยละ 25 จึงจัดอยู่ในกลุ่มข้าวอะไมโลสสูง และจากผลของลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่พบว่ามีอุณหภูมิที่เกิดความหนืดของพลาข้าวกล้องพื้นเมืองนราธิวาสทั้ง 2 ชนิด สูงกว่าพลาข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ทางการค้า แสดงถึงความเสถียรของแป้ง ทำให้เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ต้องการโครงสร้างแข็งแรงและมีความคงตัวสูง

ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาเชิงผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่า เนื่องจากพลาข้าวพื้นเมืองอะไมโลสสูงเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ ขนมขบเคี้ยวอบหรือทอด เบเกอรี่ที่ต้องการการคืนตัวเจลต่ำ
2. ควรศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพิ่มเติม เช่น ฟีนอลิก สารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณแป้งทนย่อยต่อเอนไซม์ เพื่อสนับสนุนคุณสมบัติของข้าวพื้นเมืองให้เป็นอาหารฟังก์ชัน (Functional Food)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์และบุคลากรคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน สนับสนุนและเอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับทำงานวิจัย ส่งผลให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รายการอ้างอิง (References)

AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington. VA.

- Chumpool, J., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., & Uttapap, D. (2019). Characteristics of physicochemical properties and starch structures of pigmented rice flours. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124, 1180 – 1186. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.245>
- Dorantes-Campuzano, M.F., Cabrera-Ramírez, A.H., Rodríguez-García, M.E., Palacios-Rojas, N., Preciado-Ortiz, R.E., Luzardo-Ocampo, I., & Gaytán Martínez, M. (2022). Effect of maize processing on amylose-lipid complex in pozole, a traditional Mexican dish. *Applied Food Research* 2, 100078. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100078>
- HDmall. (2024, November 25). ข้าวกล้อง ข้อมูล สารอาหาร พลังงาน ประโยชน์. HDmall Blog. <https://hdmall.co.th/blog/health/brown-rice/>
- Juliano, B.O. (1971). A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Science Today*, 16(10), 334 – 338.
- McCleary, B.V., Sloane, N., & Draga, A. (2015). Determination of total dietary fibre and available carbohydrates: a rapid integrated procedure that simulates in vivo digestion. *Starch / Stärke*, 67, 860 – 883. <https://doi.org/10.1002/star.201500017>
- Newport Scientific. (1995). *Operation manual for the series 4 Rapid Visco Analysis*. Newport Scientific Pty. Ltd.
- Oppong, D., Panpipat, W., & Chaijan, M. (2021). Chemical, physical, and functional properties of Thai indigenous brown rice flours. *PLoS ONE*, 16(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255694>
- Sangwongchai, W., Tananuwong, K., Krusong, K., Natee, S. & Thitisaksakul, M. (2023). Starch Chemical Composition and Molecular Structure in Relation to Physicochemical Characteristics and Resistant Starch Content of Four Thai Commercial Rice Cultivars Differing in Pasting Properties. *Polymers*, 15, 574. <https://doi.org/10.3390/polym15030574>
- กรมทรัพย์สินทางปัญญา. (2562). ข้าว GI ไทย. <https://www.ipthailand.go.th/images/2284/GIRiceBook2562.pdf>
- เนตรนภา จิตตะระ. (2561). การศึกษาเปรียบเทียบผลของการรับประทานข้าวกล้องหอมนิลกับข้าวขาวหอมมะลิต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดผู้ที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2. [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.

- ประพฤติ พรหมสมบุญ, ทรงศักดิ์ จันทร์อุดม, อนุสรณ์ วิเศษสิงห์, สุธัญญา พรหมสมบุญ และคัชชา กาญจนจันทร์. (2559). การรวบรวมพันธุ์และศึกษาลักษณะทางการเกษตรของข้าว (*Oryza sativa* L.) พันธุ์พื้นเมืองไทย. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 34(3), 126-132. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal/article/view/181006>
- ศิริกาญจนา ศิริรินทร์ และณัฐธพงศ์ เพชรอำไพ. (2567). การศึกษาปริมาณสารอะไมโลสที่มีผลต่อค่าความชื้นหนืดของเจลแป้งและลักษณะเนื้อสัมผัสข้าวหลากสายพันธุ์ในพื้นที่ปลูกจังหวัดนครสวรรค์. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 16(32), 1-11. <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/SWUJournal/issue/view/1389>
- สุทธินิ สีสั่ง (2563). *คุณสมบัติของแป้งที่มีผลต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ*. กลุ่มวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำกองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง.
- สุทธิรัตน์ ขาวปากกรอ และปิยวรรณ ไกรนรา. (2561). ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดนราธิวาสและยะลา 8 สายพันธุ์. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 23(2), 1123 - 1134. <https://journal.lib.buu.ac.th/index.php/science/article/view/5522>
- สุภาภรณ์ พรหมจันทร์, ชยุต ศรีฮากัญ, จิรวัดน์ สนิทชน และศุภฤชญา เหมะธูลิน. (2566). คุณสมบัตินทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องและแป้งข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. *วารสารแก่นเกษตร*, 51(4), 769 - 780. <https://doi.org/10.14456/kaj.2023.57>
- สุภาจิต ชุกกลิ่น, อีระพงศ์ หมวดศรี และผกามาส ปุรินทรภิบาล. (2563). คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องพื้นเมืองตรัง. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 12(2), 285 - 296. <https://www.repository.rmutsv.ac.th/handle/123456789/1016>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2567). *พันธุ์ข้าวนาปี : เนื้อที่เพาะปลูก ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ รายจังหวัด ปีเพาะปลูก 2566/67*. <https://oae.go.th/uploads/files/2025/05/16/8603bc59f061a039.pdf>

การศึกษาระยะเวลาและอัตราการฟักไข่ของปลาดุกแอฟริกา (*Clarias gariepinus*) ด้วยความหนาแน่นของไข่ที่แตกต่างกัน

Study of Hatching Period and Rate of African Catfish (*Clarias gariepinus*) with Different Egg Densities

ธีรัตน์ ภูเบญญาพงศ์¹, นูร์ อัยนา ลียาน่า โมฮัมหมัด อาลี²,
มะซอफी साल¹, ทวี บุญภิรมย์¹ และ ตาวฟิก หะยีหมัด^{3*}

Teerat Phubenyapong¹, Nur Aina Lyana mohamad Ali²,
Ma'sofee Salae¹, Tawee Boonpirom¹ and Taufik Hayimad^{3*},

(Received: 9 October 2025; Revised: 17 December 2025; Accepted: 25 December 2025 2025)

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อทดสอบผลของความหนาแน่นของไข่ปลาดุกแอฟริกา (*Clarias gariepinus*) ต่อระยะเวลาฟักและอัตราการฟักไข่ การศึกษาครั้งนี้ได้ทดลอง ณ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยี นราธิวาส ระหว่างวันที่ 1-5 เมษายน พ.ศ. 2568 จำนวนน้ำหนักรไข่ปลาดุกที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ 5 (T1) 10 (T2) และ 20 (T3) กรัม โดยแต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ โดยไข่ปลาจะถูกนำมาผสมกับน้ำเชื้อปลาดุกจำนวน 0.5 มิลลิลิตร ทุกชุดการทดลอง จากนั้น ไข่ที่ได้รับการผสมจะถูกนำไปวางในตู้ปลาที่มีการให้อากาศอย่างเหมาะสมต่อการฟักไข่ตลอดการทดลอง ผลของการทดลองพบว่าระยะเวลาในการฟักออกเป็นตัวของปลาดุกอยู่ระหว่าง (23.30-23.50 ชั่วโมง) ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับอัตราการฟักนั้นพบว่า ชุดการทดลองที่ 3 (T3) มีอัตราการฟักสูงที่สุดคือ 88.54 ± 0.39 % ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จากชุดการทดลองอื่น ๆ (T1 $71.99\pm0.62\%$ และ T2 83.11 ± 1.56 %) สรุปได้ว่า ในการฟักไข่ของปลาดุกแอฟริกา นั้น ยิ่งมีน้ำหนักรไข่มากขึ้น อัตราการฟักของไข่จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

คำสำคัญ: ปลาดุกแอฟริกา อัตราการฟัก ระยะเวลาการฟัก ชีวิตวัยระบบสืบพันธุ์

¹วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยี นราธิวาส มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ นราธิวาส ประเทศไทย

¹Narathiwat College of Agriculture and Technology, Princess of Naradhiwas University, Narathiwat, Thailand

²หน่วยตรวจสอบและกำหนดคุณภาพภายใน กรมอาชีวศึกษาและวิทยาลัยชุมชน ปูตราจายา ประเทศมาเลเซีย

²Examination and Assessment Division, Department of Polytechnic and Community College Education, Putrajaya, Malaysia

³คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ นราธิวาส ประเทศไทย

³Faculty of Agriculture, Princess of Naradhiwas University, Narathiwat, Thailand

*Corresponding author: taufik.h@pnu.ac.th

Abstract

This study aims to investigate the effects of different egg densities on the hatching period and rate of African catfish (*Clarias gariepinus*) eggs. The experiment was conducted at Narathiwat College of Agriculture and Technology during 1st-5th April, 2025. African catfish eggs were used in quantities of 5 (T1), 10 (T2) and 20 (T3) g with 3 replicates, mixed with 0.5 cc of male African catfish sperm then incubated in aquariums with mild aeration throughout experimental period. The results showed that the incubation period was not significantly different among treatments (23.30-23.50 hrs). From the hatching rate point of view, T3 treatment showed the highest hatch rate (88.54 ± 0.39 %) which was significantly different from other treatments, T1 (71.99 ± 0.62 %) and T2 (83.11 ± 1.56 %). In conclusion, it was found that the highest egg weight of African catfish resulted in a significantly highest hatching rate.

Keywords: African catfish, hatching rate, egg incubation, reproductive biology

Introduction

Aquaculture has been fast-growing industry in recent years owing to its economic importance, essential protein resources and environmental sustainability (Pomeroy et al., 2014). Fish farming has been the main portion in both production and exportation, involving over a million individuals operating in this business worldwide (Oyinlola et al., 2018). According to Araujo *et al.* (2022), total fish production globally was assumed to be 177.8 million tons with production from fisheries and aquaculture were 90.3 and 87.5 million tons respectively. The latest authors pointed out further that freshwater fish played a major role in this sector. African catfish (*Clarias gariepinus*) is a commercial catfish species in Thailand and other countries in Southeast Asia owing to its well-adaptability to deteriorated water quality, fast growing, great resistance to pathogens and relatively simple culture techniques (Patta et al., 2024; Julius et al., 2025).

C. gariepinus has been introduced to Thailand in late the 80s to early 90s and since then become main economic species instead of walking catfish, *C. batrachus* and broadhead catfish, *C. macrocephalus* (Wattanutchariya & Panayotou, 1981; Low et al., 2021). Even though African catfish culture techniques are well-documented and established but there has been paucity of research development since the 2000s and also several aspects of *C. gariepinus* need to be improved such as reproductive biology, larval rearing and seedstock improvement to sustain this fish according to the United Nation's Sustainable Development Goals (SDGs). A better understanding on the reproductive point of view would develop

breeding program, shorten time management, and increase yield production (Julius et al., 2025). According to Barasa and Ouma (2024), the constraint of African catfish breeding is the quality of larval production and high mortality occurring during the hatching period. Egg density is another unnoticed factor that is crucially important to larval quality, hatching rate, and hatching period. Moreover, catfish egg is adhesion egg which means the eggs adhere to substrate and clump in one particular area caused low hatching and larval growth rates (Azizah et al., 2019). Therefore, it is very important to determine the optimal density of catfish seed production. There has been scarce information related to these topics for catfish (Ferosekhan et al., 2021). The present study objective is to determine the effect of egg density on hatching period and hatching rate of African *C. gariepinus* to fulfill fundamental reproductive biology data on this species.

Materials and methods

Location and broodstock acquisition and preparation

A study of the difference of egg density on hatch period and rate was conducted at Narathiwat College of Agriculture and Technology (NCAT), Narathiwat, Thailand during 1st-5th April, 2025. Two males and females African catfish broodstock (body weight ranged from 600-800 g) were purchased from the local market then transferred to the freshwater hatchery, NCAT for acclimatization and quarantine for 3 days. During the acclimatization period, the broodstock were not fed and water quality was controlled following Otoh et al. (2024); temperature 26-28 °C, dissolved oxygen > 5 ppm and pH 7.2-7.8 by using YSI 556. In order to obtain egg used in the experiment, female broodstock were weighed for hormone usage calculation then the specimens were injected with Suprefact E with domperidone at the concentration of 1 ml and domperidone 5 mg per 1 kg fish weight, respectively. For male broodstock, no injection was administered and milt acquisition were obtained from dissecting and squeezing the testis (figure 1).

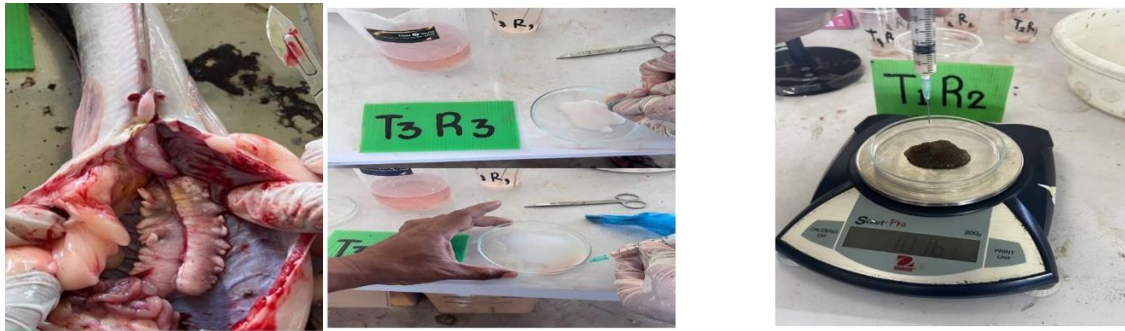


Figure 1 male African catfish testis and milt preparation

Experimental Design

In this study there were 3 treatments of different egg weights namely; T1 5g, T2 10g, and T3 20g, with 3 replicates. After injection 12 hours, female broodstock with swollen belly were squeezed at the abdomen to release eggs into a glass tray, and weighed according to the treatment. Coincidentally, male broodstock were dissected to obtain milt then squeezed into a glass. Then 0.5 ml of milt was injected using 1 ml syringe per treatment. Eggs and milt were mixed altogether by using chicken a feather in the glass then placed on a frame of blue net attached to PVC pipe as substrate in an aquarium glass size 60 x 40 x 30 cm (Length x width x depth) to observe the hatching period and hatching rate. Water quality parameters were monitored according to Otoh et al. (2024); temperature 26-28 °C, dissolved oxygen > 5 ppm and pH 7.2-7.8 by using YSI 556. Hatching period was started immediately after placing the egg in the aquarium until the first larva hatched from the egg, and hatching rate was assessed by the formula according to Julius et al. (2025).

$$\text{Hatching rate (\%)} = \frac{\text{Number of newly-hatched larvae}}{\text{Number of eggs in each replication}} \times 100$$

Data Analysis

Hatching period and hatching rate data were analyzed by using One-way ANOVA to determine the significance level. Data were analyzed for variance (F test) at 95 % confidence level. If the analysis of variance was found to be significantly different ($P < 0.05$), Duncan's multiple region test was operated to determine differences between treatments.

Results and Discussions

The present study obtained the results that there was an effect of egg weight on hatching rate (Table 1). There was no significant difference in hatching period on African catfish, *Clarius gariepinus* among treatments. Hatching period of present study (23.30-23.50 hr) are considered to be less than Borode et al. (2002) and Julius et al. (2025) which were 19.20 and 21.00 hr, respectively. It could imply that there were other parameters affected on hatching period such as environmental factor i.e. temperature, salinity and dissolved oxygen. Phelps et al. (2007); Hayimad et al. (2022) indicated that environmental parameter in particular temperature would affect the ovulation of broodstock, delay embryonic development or even prolong incubation period. The latest authors emphasized further that the fluctuation of temperature could cause disturbance and stress in molecular level of aquatic animals. It could be assumed that the fluctuation of temperature probably played significant role on prolong hatching period of African catfish in this study.

Table 1 Hatching period and hatching rate and standard deviation of African catfish (*Clarias gariepinus*) eggs

Parameter	5g (TR1)	10g (TR2)	20g (TR3)
Incubation period (h)	23.50±0.28 ^a	23.30±0.19 ^a	23.30±0.22 ^a
Number of eggs	1,404.60±15.17	3,254.30±32.29	7,042.60±41.59
Number of larvae	1,011.17±15.17	2,704.65±32.29	6,235.52±41.59
Hatching rate (%)	71.99±0.62 ^a	83.11±1.56 ^b	88.54±0.39 ^c

The total number of hatched larvae was determined 24 hours after the egg started hatching by counting newly-hatched larvae. Unfertilized eggs that turned whitish were collected and siphoned out. The hatching rate of *C. gariepinus* egg was significantly different between treatments. The results showed that treatment 3, was the highest hatching rate (88.54±0.39%) which was significant difference ($P < 0.05$) from other treatments. Hatching rates of the present study in all treatments were higher than Kucska et al. (2022) which temperature lower in the experiment lower than (25 ± 1 °C) the present study and Maradun et al. (2018) studies were around 55.1-66.7 % and 78.67 % respectively. The present study result on hatching rate was not inconsistent with Azizah et al. (2019) study which lower stocking density of catfish egg produced higher hatching rate, namely at standard water quality parameters the hatching rate at the lower egg density (60 g) was 91.3 ± 0.42 % while

at the higher density (70 g) was 80.8 ± 0.68 %. The latest authors reported that egg stocking density significantly affected to hatching rate because the embryo needs spaces for movement, exchange oxygen and develop to next phase. It could be implied that the density of the present study too low and have too much space consequently adversely affected to the hatch rate. Hatching rate of African catfish was varied from 11.2-92.3% depending on various factors such as water temperature, dissolved oxygen level and pH (Kucharczyk et al., 2020). From the present study observation, egg stocking density also affected the hatch rate of African catfish egg so that optimum egg stocking density needs to be investigated deeper in order to boost hatchery production of African catfish.

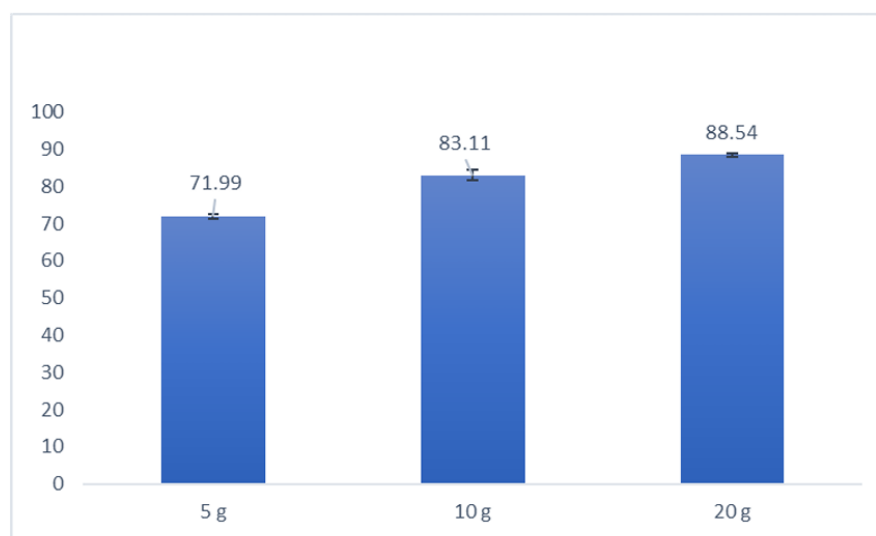


Figure 2 Hatching rate with standard deviation of African catfish, *Clarias gariepinus* with different egg weights

The rate of hatching or hatchability is normally influenced by yolk nutrients in the egg which are spent during embryonic development (Ferosekhan et al., 2021). In present study, all of the broodstock were unfed throughout the acclimatization period, which means the changes in the hatching rate among different egg weight treatments may not be directly affected by the parental diet. However, according to Ferosekhan et al. (2021), there is a high possibility of reduced endogenous nutrient flow to egg. This action is primarily regulated by $17\text{-}\beta$ estradiol and to a lesser extent by testosterone (Lubzens et al., 2010). The ability to synthesize these steroid sex hormones declines in maternal animals, resulting in insufficient production or synthesis of vitellogenin and phosvitin during ageing (Blythe et al., 1994; Lu et al., 1979). This might be a reason for the lower hatching rate witnessed in the present study if compared to Azizah et al. (2019) study.

Conclusion

A study of hatching period and hatching rate of African catfish (*Clarias gariepinus*) with different egg weights showed no difference in hatching period among treatments but there were significant differences in hatching rate. From the study, during egg incubation, temperature was monitored to avoid temperature fluctuation during the hatching period. During broodstock acclimatized period, the specimens need to be fed ad libitum to avoid poor larval quality and hatchability. Nonetheless, present study indicated that there must be more research related to egg weight such as higher egg weight treatment and egg weight with suitable milt concentration.

Acknowledgement

Authors would like to thank you Mr. Mahama-Robee Sabuding and Afnan Saleh, Narathiwat College of Agriculture and Technology student for their help and enthusiastic assistant during experimental period.

References

- Araujo, G.S., Silva, J. W. A., Cotas, J., & Pereira, L. (2022). Fish farming techniques: current situation and trends. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10, 1598. <https://doi.org/10.3390/jmse10111598>
- Azizah, S.N., Susilowati, T., Yuniarti, T., Harwanto, D., & Basuki, F. 2019. The Effect of Different Stocking Density of Eggs on The Production of Sangkuriang Catfish Seeds (*Clarias gariepinus* Burchell 1822) by Using Filtration System. 4th International Conference on Tropical and Coastal Region Eco Development, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 246, 012062. <https://doi:10.1088/1755-1315/246/1/012062>
- Barasa, J.E., & Ouma, D.F. (2024). Towards sustainability in seed supply for African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) culture in Kenya: lessons from Asian catfish industry. *Aquaculture Research Volume 1341858*, 1 - 21. <https://doi.org/10.1155/2024/1341858>
- Borode, A.O., Balogun, A.M., & Omoyeni, B.A. (2002). Effect of salinity on embryonic development, hatchability, and growth of African catfish, *Clarias gariepinus*, eggs and larvae, *Journal of Applied Aquaculture*, 12(4), 89 - 93, https://doi.org/10.1300/J028v12n04_08

- Blythe, W.G., Helfrich, L.A., Libey, G., & Beal, W.E. (1994). Induced maturation of striped bass *Morone saxatilis* exposed to 6, 9, and 12 months photothermal regimes. *Journal of the World Aquaculture Society*, 25(2), 183 – 192. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1994.tb00180.x>
- Ferosekhan, S., Giri, A. K., Sahoo, S. K., Radhakrishnan, K., Pillai, B. R., Giri, S. S., & Swain, S. K. (2021). Maternal size on reproductive performance, egg and larval quality in the endangered Asian catfish, *Clarias magur*. *Aquaculture*, 00, 1 - 12. <https://doi.org/10.1111/are.15385>
- Hayimad, T., Vedamanikam, V. J., Abol-Munafi, A. B., Shazilli, N. A., Cheloh, N., & Ikhwanuddin, M. (2022). Effect of temperature on hatching rate and incubation period of spotted Babylon snail (*Babylonia areaolata*) egg capsules. *Journal of Technological and Innovative Agriculture*, 1(1), 28 - 37. https://www.researchgate.net/publication/362655244_Effects_of_Temperature_on_Hatching_Rate_and_Incubation_Period_of_Spotted_Babylon_Snail_Babylonia_areolata_Egg_Capsules
- Julius, O.O., Julius, O.T., & Oluwasusi. V.O. (2025). Comparative studies on reproductive parameters of parents and hybrids of *Clarias gariepinus* (African mud catfish). *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 25(01), 2328 - 2334. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.25.1.0312>
- Kucskaa, B., Quyen, N. N., Szabo, T., Gebremichael, A., Alebachew, G. W., Bogo, W., Horvath, L., Csorbai, B., Urbanyi, B., Kucharczyk, D., Keszte, S., & Müller, T. (2022). The effects of different hormone administration methods on propagation successes in African catfish (*Clarias gariepinus*). *Aquaculture Reports*, 26, 101311.
- Kucharczyk, D., Nowosad, J., Wyszomirska, E., Cejko, B.I., Arciuch-Rutkowska, M., Juchno, D., & Boro' N,A., (2020). Comparison of artificial spawning effectiveness of hCG, CPH and GnRH α in combination with dopamine inhibitors in a wild strain of ide *Leuciscus idus* (L.) in hatchery conditions. *Animal Reproduction Sciences*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106543>.
- Low, B.W., Liew, J.H., Tan, H.H., Ahmad, A. Zeng, Y., & Yeo, D.C. (2021). The invasion and impacts of the African sharptooth catfish (Clariidae: *Clarias gariepinus*) in the Malay Peninsula. *Freshwater Biology*. 2022;67, 1925 – 1937. <https://doi.org/10.1111/fwb.13984>

- Lu, K.H., Hopper, B.R., Vargo, T.M., & Yen, S.S. (1979). Chronological changes in sex steroid, gonadotropin and prolactin secretion in aging female rats displaying different reproductive states1. *Biology of Reproduction*, 21(1), 193 – 203. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.21.1.193>
- Lubzens, E., Young, G., Bobe, J., & Cerdà, J. (2010). Oogenesis in teleosts: how fish eggs are formed. *General and Comparative Endocrinology*, 165(3), 367– 389. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.05.022>
- Maradun, H. F., Umar, F., Ibrahim, A., Mubarak, A., Zarau, I. J., & Muhammad, S. A. (2018). Effect of Different Doses of Ovulin Hormone on the Induced Breeding Performance of *Clarias gariepinus*. *Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 5(1), 1 - 5.
- Otoh, A. J., Udoh J. P., & Okoko A. C. (2024). Egg quality and fecundity of *Clarias gariepinus* broodstock cultured at different water depths in indoor concrete tanks. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research* 26 (6), 29-35. <https://doi.org/10.9734/ajfar/2024/v26i6773>.
- Oyinlola, M.A., Reygondeau, G., Wabnitz, C.C., Troell, M., & Cheung, W.W. (2018). Globalestimation of areas with suitable environmental conditions for mariculture species. *PLoS ONE* 13 (1), e0191086. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191086>
- Patta, C., Panthum, T., Thatukan, C., Wongloet, W., Chalermwong, P., & Wattanadilokchatkun, P. (2024). Questioning inbreeding: Could out breeding affect productivity in the North African catfish in Thailand? *PLoS ONE* 19(5). e0302584. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302584>
- Pomeroy, R., Dey, M.M., & Plesha, N. (2014). The social and economic impacts of semi-intensive aquaculture on biodiversity, *Aquaculture Economics & Management*, 18(3), 303 - 324. <https://doi.org/10.1080/13657305.2014.926467>
- Phelps, R.P., Hastey, R., Pendetar, A., Linley, L., Papanikos, N., & Dunham, R. A. (2007). Effectsof temperature on the induced spawning of channel catfish and the production of channelxblue catfish hybrid fry. *Aquaculture* 273, 80 – 86. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.09.019>
- Wattanutchariya, S., & Panayotou, T. (1981). The Economics of Aquaculture: The Case of Catfish in Thailand. *Proceedings of Aquaculture Economics Research in Asia a workshop held in Singapore, 2-5*, 26 - 34. <https://portals.iucn.org/library/node/21835>

การเสริมสนทรายในการหมักทางใบปาล์มน้ำมันร่วมกับกลีเซอรินดิบต่อคุณภาพการหมักและองค์ประกอบทางเคมี

Supplementation of *Baekkea frutescens* in Oil Palm Fronds Ensiled with Crude Glycerin on Fermentation Quality and Chemical Composition

นิรันดร์ นกแดง¹, วัฒนา เต็มดี¹, ศิริรัตน์ บัวผัน² และ กนก ชาวภาณี^{1*}

Nirandorn Nakdaeng¹, Wattana Temdee¹, Sirirat Buaphan² and Kanok Chaovapasee^{1*}

(Received: 17 November 2025; Revised: 20 December 2025; Accepted: 25 December 2025)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพการหมักของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบโดยมีการเสริมสนทราย (*Baekkea frutescens* L.) ที่ระดับต่าง ๆ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม คือ การเสริมสนทรายที่ระดับ 0 7 และ 14 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักสด) โดยทุกกลุ่มทดลองมีการเติมกลีเซอรินดิบที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ หมักในถุงพลาสติกในสภาวะไร้อากาศเป็นเวลา 21 วัน ผลการศึกษาพบว่าพืชหมักทุกกลุ่มมีลักษณะทางกายภาพที่ดี มีสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นหอมเปรี้ยว (Pleasant fermented odor) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพิ่มขึ้นตามระดับของสนทรายที่เพิ่มขึ้น (4.41 4.86 และ 5.15 ตามลำดับ, $p < 0.01$) อย่างไรก็ตาม คุณภาพการหมักโดยรวมยังอยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีปริมาณกรดแลกติกสูง (6.04–6.14 เปอร์เซ็นต์) และมีปริมาณกรดบิวทีริกต่ำ (0.03–0.06 เปอร์เซ็นต์) ในทุกกลุ่มทดลอง ในด้านคุณค่าทางโภชนาการ พบว่าการเสริมสนทรายส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ดีขึ้น โดยที่ระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายเป็นกรด (ADF) ลดลงต่ำที่สุด (38.42 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับ

¹คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส 96000

¹Faculty of Agriculture, Princess of Naradhiwas University, Muang, Narathiwat, 96000, Thailand

²ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

²Department of Animal science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, 73140, Thailand

*Corresponding Author: kanok.c@pnu.ac.th

กลุ่มควบคุม (41.78 เปอร์เซ็นต์) ($p < 0.01$) และมีปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายเป็นกลาง (NDF) ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (59.58 และ 61.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ, $p < 0.05$) นอกจากนี้ การเสริมสนทรายที่ระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ ยังส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (NFE) และโภชนาที่่อยได้ทั้งหมด (TDN) มีค่าสูงที่สุด (54.10 และ 59.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ, $p < 0.05$) สรุปได้ว่าการเสริมสนทรายที่ระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกลีเซอรินดิบ สามารถช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาโดยลดปริมาณเยื่อใยและเพิ่มค่าพลังงานได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการหมัก

คำสำคัญ: ทางใบปาล์มน้ำมัน สนทราย คุณภาพพืชหมัก ลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี

Abstract

The objective of this study was to investigate the physical characteristics, chemical composition, and fermentation quality of oil palm fronds ensiled with crude glycerin and supplemented with *Baekkea frutescens* L. at various levels. The experiment was arranged in a Completely Randomized Design (CRD). The treatments consisted of *Baekkea frutescens* supplementation at 0, 7, and 14% (fresh weight basis), with 10% crude glycerin added to all treatment groups. The samples were ensiled in plastic bags under anaerobic conditions for 21 days. The results showed that all silages exhibited good physical characteristics, appearing dark brown with a pleasant fermented odor. The pH values significantly increased with increasing levels of *Baekkea frutescens* (4.41, 4.86, and 5.15, respectively; $p < 0.01$). However, the fermentation quality remained satisfactory, characterized by high lactic acid concentrations (6.04–6.14%) and low butyric acid content (0.03–0.06%) across all treatments. Regarding nutritive value, *Baekkea frutescens* supplementation significantly improved chemical composition. The 14% supplementation level resulted in the lowest Acid Detergent Fiber (ADF) content (38.42%) compared to the control group (41.78%) ($p < 0.01$) and significantly reduced Neutral Detergent Fiber (NDF) content compared to the control (59.58% vs. 61.74%, $p < 0.05$). Furthermore, the 14% supplementation level yielded the highest Nitrogen-Free Extract (NFE) and Total Digestible Nutrients (TDN) (54.10% and 59.03%, respectively, $p < 0.05$). In conclusion, supplementing *Baekkea frutescens* at 14% with crude glycerin can improve nutritive value by reducing fiber content and enhancing energy value without adversely affecting fermentation quality.

Keywords: Oil Palm Fronds, *Baekkea Frutescens*, Silage Quality, Physical Characteristics, Chemical Composition

บทนำ

ในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วย 3 จังหวัด ได้แก่ นราธิวาส ปัตตานี และยะลา ภาครัฐได้มีการส่งเสริมการเลี้ยงปศุสัตว์อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะโคเนื้อ แพะเนื้อ และแพะนม เพื่อเป็นแหล่งรายได้เสริมและใช้ประกอบพิธีกรรมทางศาสนาอิสลาม อย่างไรก็ตาม รูปแบบการเลี้ยงส่วนใหญ่ยังคงเป็นแบบปล่อยไล่ทุ่งหรือผูกล่ามในพื้นที่ธรรมชาติ ร่วมกับการตัดหญ้าสดหรือการใช้วัสดุในท้องถิ่น เช่น ทางใบปาล์มน้ำมัน เป็นอาหารเสริม ปัญหาสำคัญที่เกษตรกรต้องเผชิญคือการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์คุณภาพดีในช่วงฤดูฝนและช่วงน้ำท่วมขัง ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสมรรถภาพการผลิตของสัตว์พืชมัก (Silage) เป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยอาศัยกระบวนการหมักภายใต้สภาวะไร้อากาศ ซึ่งแบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic Acid Bacteria) จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (WSC) ให้เป็นกรดอินทรีย์ โดยเฉพาะกรดแลคติก เพื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย เช่น เชื้อรา *Enterobacter* และ *Clostridium* ช่วยให้สามารถเก็บรักษาคุณค่าทางโภชนาการได้ยาวนาน (Zhang et al., 2020; Fan et al., 2021) อย่างไรก็ตาม ปัจจัยความสำเร็จขึ้นอยู่กับปริมาณ WSC ในพืชตั้งต้น ซึ่งต้องมีเพียงพอต่อการทำงานของแบคทีเรีย

ทางใบปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Fronds) เป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีปริมาณมากในพื้นที่และมีความเป็นอาหารหยาบเนื่องจากหาได้ง่ายและราคาถูก แต่มีข้อจำกัดทางโภชนาการที่สำคัญคือ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ต่ำ และมีโครงสร้างลิกโนเซลลูโลสสูง โดย Kusmiati et al. (2024); Mookiah et al. (2020) รายงานว่าทางใบปาล์มน้ำมันมีโปรตีนหยาบต่ำเพียง 2.23–5.33 เปอร์เซ็นต์ และมีผนังเซลล์ (NDF) สูงถึง 69.50–76.09 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการย่อยได้ ดังนั้น การทำพืชมักจากทางใบปาล์มน้ำมันจึงจำเป็นต้องเติมแหล่งพลังงานที่ย่อยง่ายเพื่อช่วยกระตุ้นกระบวนการหมักกลีเซอรินดิบ (Crude Glycerin) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตราคาถูกที่มีกลีเซอรอลเป็นองค์ประกอบหลัก 80-90 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนกากน้ำตาลเพื่อส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติกได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Orrico Junior et al., 2017)

นอกจากการเสริมแหล่งพลังงานแล้ว การควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในพืชมักยังเป็นสิ่งสำคัญ สนทราย (*Baekkea frutescens* L.) เป็นพืชสมุนไพรท้องถิ่นในพื้นที่ชายแดนใต้ที่ยังมีการใช้ประโยชน์น้อย ภายในใบและลำต้นมีน้ำมันหอมระเหย (Essential Oils) ที่ประกอบด้วยสารสำคัญ เช่น α -pinene, β -pinene และ 1,8-cineole (An et al., 2020) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial activity) และต้านอนุมูลอิสระ ถึงแม้จะมีการศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยต่อการหมักในกระเพาะรูเมน แต่ยังไม่ชัดเจนการนำสนทรายมาประยุกต์ใช้เป็นสารเสริมเพื่อปรับปรุงคุณภาพการหมัก (Silage additive) โดยเฉพาะในทางใบปาล์มน้ำมัน

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมสนทรายในทางใบปาล์มน้ำมันพืชมัก ร่วมกับกลีเซอรินดิบ ต่อคุณภาพการหมัก ลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอาหารสัตว์หมักคุณภาพดีจากทรัพยากรท้องถิ่น เพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ และแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารสัตว์ในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ได้อย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการเสริมสนทรายในทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบ ต่อลักษณะทางกายภาพ คุณภาพการหมัก และองค์ประกอบทางเคมี

วิธีการวิจัย

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ คือ

กลุ่มทดลองที่ 1 ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ (กลุ่มควบคุม)

กลุ่มทดลองที่ 2 ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ และเสริมสนทราย 7 เปอร์เซ็นต์

กลุ่มทดลองที่ 3 ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ และเสริมสนทราย 14 เปอร์เซ็นต์

การเตรียมพืชหมัก

จัดเตรียมทางใบปาล์มน้ำมันสดและสนทราย นำมาสับด้วยเครื่องสับพืชอาหารสัตว์ให้มีขนาด 2-3 เซนติเมตร นำมาผสมคลุกเคล้ากับกลีเซอรินดิบตามอัตราส่วนของแต่ละกลุ่มทดลอง จากนั้นนำบรรจุลงในถุงพลาสติกชนิดหนาพิเศษ ขนาดบรรจุ 1 กิโลกรัม อัดให้แน่นจนไม่มีช่องว่างของอากาศ มัดปิดปากถุงให้สนิท เก็บรักษาในที่ร่มที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาหมัก 21 วัน

การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างวัตถุดิบก่อนหมัก (สด) โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทางใบปาล์มน้ำมันและสนทราย ใส่ถุงพลาสติกปริมาณ 500 กรัม และเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ หลังจากนั้นนำตัวอย่างเข้าเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปบดให้มีขนาดเล็ก โดยบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เก็บใส่ถุงซิปลาสติกใส่อากาศออกให้หมดและปิดถุงให้สนิทเพื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี Proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (2012) และวิเคราะห์ผนังเซลล์ (Neutral detergent fiber, NDF) และลิกโนเซลลูโลส (Acid detergent fiber, ADF) ตามวิธีของ Van Soest et al. (1991)

เก็บตัวอย่างพืชหมักแต่ละกลุ่มทดลองที่อายุการหมัก 21 วัน เพื่อวิเคราะห์ความชื้น วัตถุแห้ง เถ้า และโปรตีน ตามวิธีของ Proximate analysis (AOAC, 2012) และวิเคราะห์ผนังเซลล์ (NDF) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) ด้วยวิธี Detergent method (Van Soest et al., 1991) วิเคราะห์หาปริมาณกรดอินทรีย์ด้วย Gas chromatography ตามวิธีของ Leventini et al. (1990) วิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam distillation) ตามวิธีของ Chen et al. (1994) และวัดความเป็นกรดต่าง ด้วย pH meter ตามวิธีของ Bernardes et al. (2019)

เก็บตัวอย่างพืชหมักแต่ละกลุ่มทดลองที่อายุการหมัก 21 วัน เพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ตามเกณฑ์มาตรฐานของกองอาหารสัตว์ (กรมปศุสัตว์, 2547)
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) เมื่อพบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 หรือ $P < 0.05$ (Steel and Torrie, 1980)

ผลการวิจัย

ลักษณะทางกายภาพของพืชหมัก

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบและเสริมสนทรายที่ระดับ 0 7 และ 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อครบกำหนดระยะเวลาการหมัก 21 วัน โดยการเปิดดูหมักเพื่อประเมินลักษณะทางกายภาพด้วยสายตา (Visual observation) และเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพพืชหมักของกรมปศุสัตว์ (2547) พบว่าทางใบปาล์มน้ำมันหมักในทุกกลุ่มการทดลองมีลักษณะโดยรวมที่พึงประสงค์ โดยเนื้อพืชหมักมีความนุ่ม ไม่จับตัวเป็นก้อนแข็ง และไม่พบเมือกเยิ้มหรือเชื้อรา (ภาพที่ 1) ในด้านสีและกลิ่นพบว่าพืชหมักทุกกลุ่มมีสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นหอมเปรี้ยวอ่อน ๆ คล้ายผลไม้ดอง ซึ่งบ่งชี้ถึงกระบวนการหมักกรดแลคติกที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เมื่อทำการประเมินและจัดระดับคะแนนคุณภาพทางกายภาพ (ตารางที่ 1) พบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 (กลุ่มควบคุม) มีคะแนนประเมินรวมเท่ากับ 20 คะแนน ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ดีมาก กลุ่มทดลองที่ 2 และ 3 (เสริมสนทราย 7 และ 14 เปอร์เซ็นต์) มีคะแนนประเมินรวมเท่ากับ 18 คะแนน ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ดี



กลุ่มทดลอง 1
(สนทราย 0 เปอร์เซ็นต์)



กลุ่มทดลอง 2
(สนทราย 7 เปอร์เซ็นต์)



กลุ่มทดลอง 3
(สนทราย 14 เปอร์เซ็นต์)

ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบและเสริมสนทรายที่ระดับต่าง ๆ

ตารางที่ 1 การประเมินลักษณะทางกายภาพของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบและเสริมสนทรายที่ระดับต่าง ๆ

Treatment	color	smell	texture	pH	Total score	physical appearance
T ₁	dark brown=0	Fragrant and sour like pleasant fermented odor (score = 12)	Tight. The leaves and stems remain intact. (score = 4)	4.41 (score = 4)	20	very good
T ₂	dark brown=0	Fragrant and sour like pleasant fermented odor (score = 12)	Tight. The leaves and stems remain intact. (score = 4)	4.86 (score = 2)	18	good
T ₃	dark brown=0	Fragrant and sour like pleasant fermented odor (score = 12)	Tight. The leaves and stems remain intact. (score = 4)	5.15 (score = 2)	18	good

Note: Total score 20-25 = very good; 15-19 = good; 6-14 = Medium 0-5 = Low; T₁= Oil palm frond Silage 90% with crude glycerin 10%; T₂= Oil palm frond 83% with crude glycerin 10% and *Beackea Frutescens* 7%; T₃= Oil palm frond 76% with crude glycerin 10% and *Beackea Frutescens* 14%

การประเมินคุณภาพของพืชหมักจากปริมาณกรดอินทรีย์

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบและเสริมสนทรายที่ระดับต่าง ๆ เมื่อครบกำหนดระยะเวลาการหมัก 21 วัน ทำการประเมินระดับคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมปศุสัตว์ (2547) โดยพิจารณาเฉพาะสัดส่วนและปริมาณของกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ กรดแลคติก กรดอะซิติก และกรดบิวทีริก ผลการศึกษาแสดงตารางที่ 2 พบว่า พืชหมักในทุกกลุ่มการทดลองมีคุณภาพการหมักอยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยกรดแลคติกเป็นกรดหลักที่พบในปริมาณสูงที่สุดในทุกกลุ่มการทดลอง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.04 – 6.14 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ ซึ่งบ่งชี้ว่ากระบวนการหมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์โดยแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก กรดบิวทีริก พบในปริมาณที่ต่ำมาก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.03 – 0.06 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ (น้อยกว่าร้อยละ 0.1–0.2) แสดงให้เห็นว่าไม่มีการปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่ม *Clostridium spp.* ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และกรดอะซิติก พบในปริมาณที่เหมาะสม ช่วยส่งเสริมความคงตัวของพืชหมัก

เมื่อนำปริมาณกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดมาประเมินคะแนนคุณภาพ พบว่าทางใบปาล์มน้ำมันหมักทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง มีคะแนนประเมินเต็ม 100 คะแนน จัดอยู่ในระดับคุณภาพดีมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเสริมสตรรายที่ระดับ 7 และ 14 เปอร์เซ็นต์ สามารถรักษาคุณภาพของกรดอินทรีย์ในพืชหมักได้อย่างดีเยี่ยม

ตารางที่ 2 การประเมินคุณภาพของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับสตรรายหมักจากปริมาณกรดแลคติก กรดบิวทริก และกรดอะซิติก หมักที่ 21 วัน

Treatment	Volatile Fatty Acids (% Total acid)						Total score	Quality
	lactic acid	score	acetic acid	score	butyric acid	score		
T ₁	6.04	30	0.28	20	0.06	50	100	very good
T ₂	6.14	30	0.15	20	0.06	50	100	very good
T ₃	6.11	30	0.20	20	0.03	50	100	very good

Note: Total score 0-20 = Low; 21-40 = Fair; 41-60 = moderate; 61-80 = good; 81-100 = very good; T₁= Oil palm frond Silage 90% with crude glycerin 10%; T₂= Oil palm frond 83% with crude glycerin 10% and *Beackea Frutescens* 7%; T₃= Oil palm frond 76% with crude glycerin 10% and *Beackea Frutescens* 14%

องค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบและสตรรายที่ระดับต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบและเสริมสตรรายที่ระดับ 0 7 และ 14 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 21 วัน พบว่าค่าวัตถุแห้ง (DM) และโปรตีนหยาบ (CP) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าวัตถุแห้งเท่ากับ 52.92 56.90 และ 56.28 เปอร์เซ็นต์ และค่าโปรตีนหยาบเท่ากับ 7.93 7.44 และ 7.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณเยื่อใย โดยปริมาณเยื่อใยที่เป็นผนังเซลล์ (NDF) มีค่าลดลงเมื่อมีการเสริมสตรราย (61.74 59.30 และ 59.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ; $p<0.05$) นอกจากนี้ ปริมาณลิกโนเซลลูโลส (ADF) ยังลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยกลุ่มที่เสริมสตรราย 14 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำที่สุด (38.42 เปอร์เซ็นต์) (ตารางที่ 3)

คุณภาพการหมัก

ผลการตรวจสอบคุณภาพการหมักของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับสตรรายเมื่อครบ 21 วัน (ตารางที่ 3) พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมสตรราย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.41 4.86 และ 5.15 ในกลุ่มที่เสริมสตรราย 0 7 และ 14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของกรดอินทรีย์ พบว่าการเสริมสตรราย ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณกรดแลคติก กรดอะซิติก และกรดบิวทริก โดยค่าเฉลี่ยในทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ข้อมูลดังกล่าวบ่งชี้ว่า แม้ค่า pH จะมีการเปลี่ยนแปลง แต่รูปแบบการหมักและกิจกรรมของ

จุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรดแลคติกยังคงดำเนินไปอย่างปกติ โดยการตรวจพบปริมาณกรดบิวทีริกในระดับต่ำถือเป็นดัชนีชี้วัดที่สำคัญที่ยืนยันว่าพืชหมักในทุกกลุ่มการทดลองมีคุณภาพที่ดีเยี่ยมและปราศจากการเน่าเสีย

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบและเสริมสนทรายที่ระดับต่าง ๆ

Item	Level of <i>Baeckea Frutescens</i> (%)			SEM	P-value
	0	7	14		
DM (%)	52.92	56.9	56.28	0.987	0.059
CP (%)	7.93	7.44	7.83	0.156	0.146
NFE (%)	50.70 ^b	52.78 ^a	54.10 ^a	0.391	0.003
NDF (%)	61.74 ^a	59.30 ^b	59.58 ^b	0.581	0.047
ADF (%)	41.78 ^a	40.39 ^b	38.42 ^c	0.395	0.003
TDN (%)	56.19 ^b	57.30 ^b	59.03 ^a	0.498	0.019
pH	4.41 ^c	4.86 ^b	5.15 ^a	0.04	0.001
lactic acid (%)	6.04	6.14	6.11	0.225	0.948
acetic acid (%)	0.28	0.15	0.20	0.059	0.362
butyric acid (%)	0.06	0.06	0.03	0.016	0.271

หมายเหตุ : ^{abc} Means within rows with different subscripts differ significantly (p<0.01)

DM = Dry matter, CP = Crude Protein, CF = Crude Fat, NDF = Neutral detergent fiber, ADF = Acid detergent fiber, NFE = Nitrogen free extract, TDN = Total digestible

อภิปรายผล

ค่า pH ของหญ้าหมักที่เพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมสนทราย (จาก 4.41 เป็น 4.78 และ 5.15 ในกลุ่มควบคุม กลุ่มเสริมสนทราย 7% และ 14% ตามลำดับ) เป็นผลมาจากฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยในสนทราย An et al. (2020) รายงานว่าน้ำมันหอมระเหยจาก *B. frutescens* มีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ α -pinene (11.1%) β -pinene (19.0%) γ -terpinene (11.7%) และ 1,8-cineole (10.1%) ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก รวมถึงจุลินทรีย์กรดแลคติก (LAB) ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการหมัก Chen et al. (2023) รายงานว่าน้ำมันหอมระเหยจากพืชมีกลไกการออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์โดยการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์และยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งส่งผลให้การผลิตกรดแลคติกลดลงและค่า pH สูงขึ้น ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Li et al. (2022) ที่รายงานว่า การเสริมกากสมุนไพรที่มีน้ำมันหอมระเหยในหญ้าหมักสามารถเปลี่ยนแปลงประชากรแบคทีเรียและคุณภาพการหมักได้แม้ว่าค่า pH จะสูงขึ้น แต่ปริมาณกรดแลคติกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มทดลอง (6.04-6.14%) ซึ่งเป็นผลจากบทบาทของกลีเซอรินดิบที่เสริมในระดับ 10%

เท่ากันทุกกลุ่ม โดยกลีเซอรินดิบทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงาน (Energy substrate) หรือแหล่งคาร์บอนที่สำคัญให้แก่แบคทีเรียกรดแลคติกเพื่อใช้ในการผลิตกรดแลคติก (Orrico Junior et al., 2017, Cunha et al., 2020; Guo et al. (2022) รายงานว่า LAB โดยเฉพาะ *Lactobacillus plantarum* มีบทบาทสำคัญในการผลิตกรดแลคติกและการลดค่า pH ของหญ้าหมัก โดยการมีแหล่งคาร์บอนที่เพียงพอจะช่วยส่งเสริมกระบวนการหมักแม้ในสถานะที่มีการยับยั้งบางส่วนจากสารต้านจุลินทรีย์ Xiong et al. (2022) รายงานว่าการเสริม *L. plantarum* ร่วมกับแหล่งน้ำตาลสามารถเพิ่มปริมาณกรดแลคติกและรักษาโปรตีนหยาบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น กลีเซอรินดิบจึงมีบทบาทสำคัญในการรักษาระดับการผลิตกรดแลคติกในการศึกษา

การลดลงของค่า NDF (จาก 61.74 เป็น 59.30 เปอร์เซ็นต์) และ ADF (จาก 41.78 เป็น 38.42 เปอร์เซ็นต์) ในกลุ่มที่เสริมสนทราย 14 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลจากการเจือจาง (dilution effect) เป็นหลักเนื่องจากสนทรายมีค่า NDF ประมาณ 45-50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าทางใบปาล์มน้ำมันที่มีค่า NDF 63-79 เปอร์เซ็นต์ (Zahari et al., 2003) เมื่อเสริมสนทรายในระดับ 7 และ 14 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้สัดส่วนเยื่อใยโดยรวมของหญ้าหมักลดลงตามสัดส่วนของการผสม กลไกนี้แตกต่างจากการใช้เอนไซม์เซลลูเลสที่สามารถย่อยสลายเยื่อใยได้โดยตรง Santoso et al. (2024) รายงานว่าการเสริมเอนไซม์เซลลูเลสในระดับ 6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สามารถลดค่า NDF และ ADF ของหญ้าหมักทางใบปาล์มน้ำมันได้จากการย่อยสลาย lignocellulose โดยตรง ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยไม่มีความสามารถในการสลายพันธะลิกนินหรือเซลลูโลส

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยอาจไม่เพียงพอที่จะส่งผลกระทบต่อประชากรแบคทีเรียกรดแลคติก หรืออาจเป็นไปได้ว่าน้ำมันหอมระเหยเหล่านี้มีฤทธิ์เฉพาะเจาะจงต่อจุลินทรีย์บางชนิด โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ มากกว่าจะส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียกรดแลคติกที่เป็นประโยชน์ ดังที่ Kim et al. (2016) รายงานว่าน้ำมันหอมระเหยสามารถปรับสมดุลประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนโดยยับยั้งจุลินทรีย์บางชนิดแต่ไม่ส่งผลเสียต่อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์

ปริมาณกรดบิวทีริกที่ต่ำมากในทุกกลุ่มทดลอง (0.03-0.06 เปอร์เซ็นต์) แสดงให้เห็นว่าการหมักดำเนินไปอย่างเหมาะสมโดยไม่มีการเจริญของ *Clostridium spp.* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ผลิตกรดบิวทีริกและทำให้หญ้าหมักเน่าเสีย Wang et al. (2020) รายงานว่ากรดแทนนิกและสารออกฤทธิ์จากพืชสมุนไพรสามารถลดประชากร *Clostridium spp.* ในหญ้าหมักได้ Mpanza and Mani (2023) รายงานว่าสารสกัดจากพืชสามารถปรับเปลี่ยนประชากรแบคทีเรียในหญ้าหมักข้าวโพดโดยยับยั้ง *Dysgonomonas* และ *Clostridium* ขณะที่ส่งเสริม *Lactobacillus* และ *Weissella* การที่กรดบิวทีริกต่ำในกลุ่มเสริมสนทรายแม้ค่า pH จะสูงขึ้น แสดงว่าน้ำมันหอมระเหยจากสนทรายอาจมีผลยับยั้ง *Clostridium spp.* ได้ ซึ่งเป็นข้อดีที่ชัดเจนของผลกระทบจากการยับยั้ง LAB บางส่วน แต่ในระดับที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ (7-14%)

โดยสรุป การเสริมสนทรายในการหมักทางใบปาล์มน้ำมันมีผลทำให้ค่า pH สูงขึ้นจากการยับยั้ง LAB โดยน้ำมันหอมระเหย แต่กลีเซอรินดิบช่วยรักษาระดับการผลิตกรดแลคติกได้ ทำให้คุณภาพการหมักโดยรวมยังอยู่ในเกณฑ์ดี ข้อดีหลักของการเสริมสนทรายคือการลดสัดส่วนเยื่อใยในหญ้าหมักผ่านผลของการเจือจางซึ่งอาจส่งผลต่อการย่อยได้ของสัตว์ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มีข้อจำกัดที่ยังไม่ได้ศึกษาการย่อยได้ในสัตว์โดยตรง ดังนั้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการย่อยได้ในหลอดทดลอง (*in vitro* digestibility) และใน

สัตว์ (*in vivo*) รวมถึงผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตสัตว์ เพื่อยืนยันประโยชน์ของการเสริมสมรรถภาพในอาหารสัตว์ เคี้ยวเอื้อง

สรุป

จากการศึกษาผลของการเสริมสมรรถภาพในทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบ พบว่าการเสริมสมรรถภาพที่ระดับ 7 และ 14 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการหมัก โดยพืชหมักทุกกลุ่มการทดลองยังคงมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมากตามมาตรฐานกรมปศุสัตว์ ซึ่งพิจารณาจากปริมาณกรดแลคติกที่สูงและกรดบิวทิริกที่ต่ำมาก แสดงให้เห็นถึงกระบวนการหมักที่สมบูรณ์และปราศจากการเน่าเสีย แม้ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างจะมีการปรับตัวสูงขึ้นเล็กน้อยตามระดับของสมรรถภาพ สำหรับคุณค่าทางโภชนาการ พบว่าการเสริมสมรรถภาพที่ระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพสูงสุดในการปรับปรุงคุณภาพ โดยสามารถลดปริมาณเยื่อใยผนังเซลล์ (NDF) และลิกโนเซลลูโลส (ADF) ลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ค่าพลังงานและโภชนาการที่ย่อยได้ทั้งหมด (TDN) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ดังนั้น การผลิตทางใบปาล์มน้ำมันหมักเพื่อเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงแนะนำให้ใช้สูตรการหมักร่วมกับกลีเซอรินดิบและเสริมสมรรถภาพที่ระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดในการยกระดับคุณภาพอาหารหยาบ โดยช่วยลดข้อจำกัดเรื่องปริมาณเยื่อใยที่ย่อยยากและเพิ่มแหล่งพลังงานให้แก่สัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การนำองค์ความรู้ไปใช้ประโยชน์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรดำเนินการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับสมรรถภาพที่ระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ ในการเลี้ยงสัตว์จริง (*In vivo study*) โดยมุ่งเน้นการประเมินผลต่อการเจริญเติบโต การกินได้ และนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน อีกทั้งควรมีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสารพิษตกค้างและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds) ในระหว่างกระบวนการหมัก เพื่อวิเคราะห์ผลสืบเนื่องที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพและระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์

รายการอ้างอิง (References)

- กรมปศุสัตว์. (2547). *มาตรฐานพืชอาหารสัตว์คุณภาพดี*. (พิมพ์ครั้งที่ 1). โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- An, N. T. G., Huong, L. T., Satyal, P., Tai, T. A., Dai, D. N., Hung, N. H., Ngoc, N. T. B., & Setzer, W. N. (2020). Mosquito larvicidal activity, antimicrobial activity, and chemical compositions of essential oils from four species of Myrtaceae from central Vietnam. *Plants*, 9(4), 544. <https://doi.org/10.3390/plants9040544>
- AOAC. (2012). *Official Methods of Analysis* (19th ed.). Association of Official Analytical Chemists.

- Bernardes, T.F., Gervásio, J.R.S., De Moraes, G. & Casagrande, D.R. (2019). Technical note: A comparison of methods to determine pH in silages. *Journal of Dairy Science*. 102(10), 9039 - 9042. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16553>
- Chen, J., Stokes, M.R. & Wallace, C.R. (1994). Effects of enzyme-inoculant systems on preservation and nutritive value of hay crop and corn silages. *Journal of Dairy Science*. 77(2), 501 - 512. . [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)76978-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)76978-2)
- Chen, L., Li, X., Wang, Y., Guo, Z., Wang, G., & Zhang, Y. (2023). The performance of plant essential oils against lactic acid bacteria and adverse microorganisms in silage production. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1285722. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1285722/full>
- Cunha, S. S., Orrico Junior, M. A. P., Reis, R. A., Reis, S. D. S., Silva, M. S. J., Orrico, A. C. A., & Schwingel, A. W. (2020). Use of crude glycerine and microbial inoculants to improve the fermentation process of Tifton 85 haylages. *Tropical Animal Health and Production*, 52, 871 – 879. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02082-y>
- Fan, X., Zhao, S., Yang, F., Yang, F., Wang, Y., & Wang, Y. (2021). Effects of lactic acid bacterial inoculants on fermentation quality, bacterial community, and mycotoxins of alfalfa silage under vacuum or nonvacuum treatment. *Microorganisms*, 9(12), 2614. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9122614>
- Guo, X., Xu, D., Li, F., Bai, J., & Su, R. (2022). Current approaches on the roles of lactic acid bacteria in crop silage. *Microbial Biotechnology*, 16(1), 67 - 87. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14184>
- Kim, M.J., Jung, U.S., Jeon, S.W., Lee, J.S., Kim, W.S., Lee, S.B., Kim, Y.C., Kim, B.Y., Wang, T. & Lee, H.G. (2016). Improvement of milk fatty acid composition for production of functional milk by dietary phytoncide oil extracted from discarded pine nut cones (*Pinus koraiensis*) in Holstein dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 29, 1734 - 1741. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0281>
- Kusmiati, R., Syaputri, Y., Abun, & Safitri, R. (2024). Pretreatment and fermentation of lignocellulose from oil palm fronds as a potential source of fibre for ruminant feed: a review. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 3(3), 1 - 18. <https://doi.org/10.1002/sae2.70003>

- Leventini, M.W., Hunt, C.W., Roffler, R.E., & Casebolt, D.G. (1990). Effect of dietary level of barley-based supplements and ruminal buffer on digestion and growth by beef cattle. *Journal of Animal Science*. 68(12), 4334 - 4344. <https://doi.org/10.2527/1990.68124334x>.
- Li, X., Chen, F., Xu, J., Guo, L., Xiong, Y., Lin, Y., Ni, K., & Yang, F. (2022). Exploring the addition of herbal residues on fermentation quality, bacterial communities, and ruminal greenhouse gas emissions of paper mulberry silage. *Frontiers in Microbiology*, 13, 951335. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.820011>
- Mookiah, S., Wan Mohamed, W.N., Md Noh, A., Ibrahim, N.A., Asraf Fuat, M.A., Ramiah, S., Chung, E.L.T., & Mat Dian, N.L.H. (2020). Treated oil palm frond and its utilization as an improved feedstuff for ruminants-An overview. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20, 0360. <https://doi.org/10.5713/ajas.20.0360>
- Mpanza, T., & Mani, S. (2023). Effects of Vachellia mearnsii tannin extract as an additive on fermentation quality, aerobic stability, and microbial modulation of maize silage. *Microorganisms*, 11(11), 2767. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11112767>
- Orrico Junior, M. A. P., Duarte, J. A. V., Crone, C., Neves, F. O., Reis, R. A., Orrico, A. C. A., Schwingel, A. W., & Vilela, D. M. (2017). The use of crude glycerin as an alternative to reduce fermentation losses and enhance the nutritional value of Piatã grass silage. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(8), 638 - 644. <https://doi.org/10.1590/s1806-92902017000800002>
- Santoso, B., Hariadi, B.T., & Lekitoo, M.N. (2024). Fermentation characteristics, in vitro nutrient digestibility, and methane production of oil palm frond-based complete feed silage treated with cellulase. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 12(7), 1394 - 1403. <https://researcherslinks.com/current-issues/Fermentation-Characteristics-In-Vitro-Nutrient/33/1/9592/html>
- Steel, R.G., & Torrie, J.H. (1980). *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., & Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583 - 3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

- Wang, C., Pian, R., Chen, X., Lv, H., Zhou, W., & Zhang, Q. (2020). Beneficial effects of tannic acid on the quality of bacterial communities present in high-moisture mulberry leaf and stylo silage. *Frontiers in Microbiology*, 11, 586412. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.586412>
- Xiong, H., Zhu, Y., Wen, Z., Liu, G., Guo, Y., & Sun, B. (2022). Effects of cellulase, *Lactobacillus plantarum*, and sucrose on fermentation parameters, chemical composition, and bacterial community of hybrid Pennisetum silage. *Fermentation*, 8 (8), 3 5 6 . <https://doi.org/10.3390/fermentation8080356>
- Zahari, M. W., Hassan, O. A., Wong, H. K., & Liang, J. B. (2003). Utilization of oil palm frond-based diets for beef and dairy production in Malaysia. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 16(4), 625 - 634. <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.625>
- Zhang, Q., Li, X., Zhao, M., & Yu, Z. (2020). Lactic acid bacteria strains for enhancing the fermentation quality and aerobic stability of *Leymus chinensis* silage. *Frontiers in Microbiology*, (71)3, 472 - 481. <https://doi.org/10.1111/gfs.12190>

ผลของระดับความเข้มข้นของเอธิฟอนต่อการเร่งการสุกของกล้วยไข่ (*Musa* AA group)

Effect of Ethephon Concentrations on the Ripening of Klui Khai Banana (*Musa* AA group)

สมปรารถนา นกแดง^{1*} และอรพรรณ พุนทอง¹

Somprattana Nakdaeng^{1*} and Orapan Poontong¹

(Received: 12 November 2025; Revised: 25 December 2025; Accepted: 26 December 2025)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาผลของความเข้มข้นเอธิฟอนต่อการสุกของกล้วยไข่ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มี 5 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0 250 500 750 และ 1,000 ppm จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ผล บ่มที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน ผลการทดลองพบว่าเอธิฟอนมีผลต่ออัตราการสุก สีเปลือก ค่าความหวาน และการสูญเสียน้ำหนัก โดยกล้วยไข่ที่ได้รับเอธิฟอน 1,000 ppm สุกเร็วที่สุด เปลี่ยนสีครบ 100% ภายใน 3 วัน และให้ค่าความหวานสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญที่ 27.88 °Brix ขณะที่ชุดควบคุมสุกช้าและมีค่าความหวานต่ำกว่า (26.80 °Brix) การสูญเสียน้ำหนักพบว่าสูงสุดในชุดควบคุม (9.54%) และต่ำกว่าเล็กน้อยในระดับ 1,000 ppm (9.02%) โดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการวิจัยชี้ว่าเอธิฟอนความเข้มข้นสูงสามารถเร่งการสุกและเพิ่มคุณภาพกล้วยไข่ เหมาะสำหรับกระบวนการบ่มเชิงพาณิชย์

คำสำคัญ: การบ่ม คุณภาพ เอทิลีน กล้วยไข่

Abstract

This study investigated the effects of ethephon concentration on the ripening of *Klui Khai* bananas using a Completely Randomized Design (CRD) with five concentrations (0, 250, 500, 750, and 1,000 ppm), three replications, and five fruits per replication. Bananas were ripened at room temperature for three days. The results showed that ethephon concentration affected ripening rate, peel color, total soluble solids, and weight loss. Bananas treated with 1,000 ppm ethephon ripened the fastest, reaching 100% ripeness within

¹วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครราชสีมา มหาวิทยาลัยนครราชสีมาชนครินทร์ จ. นครราชสีมา 961301

¹Narathiwat College of Agriculture and Technology, Princess of Naradhiwas University, Narathiwat 96130, Thailand

*Corresponding Author: somprattna.1996@icloud.com

three days, and had the highest sweetness (27.88 °Brix), while the control ripened more slowly and had lower sweetness (26.80 °Brix). Weight loss was highest in the control (9.54%) and slightly lower in the 1,000 ppm treatment (9.02%), with no significant differences. Overall, high ethephon concentration effectively accelerated ripening and improved the quality of *Kluai Khai* bananas for commercial ripening.

Keywords: Ripening, Fruit quality, Ethylene, Musa AA group

บทนำ

กล้วยไข่ (*Musa* AA group, cv. *Kluai Khai*) เป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีการปลูกแพร่หลายโดยเฉพาะในภาคกลาง เช่น จังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดสุโขทัย ซึ่งถือเป็นแหล่งผลิตที่มีชื่อเสียงและขยายการปลูกไปยังภาคเหนือและภาคใต้ของประเทศ เนื่องจากกล้วยไข่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนซุย มีการระบายน้ำดี และต้องการแสงแดดเพียงพอ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2561) กล้วยไข่เป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเนื่องจากมีลักษณะเด่นคือ เนื้อแน่น รสหวาน หอม สีเหลืองทองน่ารับประทาน และมีความคุ้มค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะน้ำตาลธรรมชาติและแร่ธาตุจำเป็นต่อร่างกาย (Vu et al., 2025; Phillips et al., 2021) อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญของการจำหน่ายกล้วยไข่ คือการสุกไม่พร้อมกันภายในเครือพบว่า บางส่วนในเครือสุกเร็วเกินไป ในขณะที่บางผลยังไม่สุกเต็มที่ ซึ่งส่งผลให้เกิดความยุ่งยากต่อการเก็บเกี่ยว การขนส่ง และการวางแผนการจำหน่าย ทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจและลดคุณภาพของผลผลิต ดังนั้น การเร่งการสุกของกล้วยไข่ให้มีความสม่ำเสมอจึงเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตที่สามารถเร่งกระบวนการสุกให้สม่ำเสมอจึงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการใช้เอธิฟอน (Ethephon; 2-chloroethyl phosphonic acid) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่นิยมใช้ในกระบวนการบ่มผลไม้ เนื่องจากสามารถสลายตัวให้เกิดก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ซึ่งเป็นฮอร์โมนธรรมชาติของพืชที่มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นกระบวนการสุกทำให้ผลไม้ climacteric เช่น กล้วยและมะเขือเทศสุกอย่างสม่ำเสมอ โดยเอธิฟอนจะเปลี่ยนเป็นเอทิลีนภายในเนื้อเยื่อพืช ส่งผลให้สีเปลือกเปลี่ยน น้ำตาลเพิ่มขึ้น และความแน่นของเนื้อลดลงในระยะเวลาที่สั้นกว่าเมื่อเทียบกับการสุกตามธรรมชาติ (Chowdhury et al., 2022; Laryea et al., 2025) โดยมีรายงานว่า การใช้เอธิฟอนในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมสามารถเร่งการสุกของกล้วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยให้สีเปลือกเปลี่ยนเป็นเหลืองสม่ำเสมอในระยะเวลาสั้น (Timilsina & Shrestha, 2022; Mahato and Shah, 2025)

จากการศึกษาพบรายงานผลของเอธิฟอนต่อการสุกของกล้วยพันธุ์อื่น เช่น กล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง แต่ข้อมูลของกล้วยไข่โดยเฉพาะในด้านระดับความเข้มข้นของเอธิฟอนที่เหมาะสมต่อการสุกอย่างสม่ำเสมอ การเปลี่ยนแปลงความหวาน และการสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญสำหรับการบ่มกล้วยไข่เชิงพาณิชย์ยังมีจำกัด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของเอธิฟอนต่อ

การสุกของกล้วยไข่ เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบ่มผลผลิตให้สุกอย่างสม่ำเสมอ มีสีและรสชาติเป็นที่ต้องการของตลาด

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของเอธิฟอนที่ดีที่สุดต่อการสุกของกล้วย
2. เพื่อทราบกำหนดเวลาการสุกของกล้วยในระดับความเข้มข้นที่ต่างกันของเอธิฟอนเพื่อกำหนดเวลาออกจำหน่าย

วิธีการวิจัย

1. การวางแผนการทดลอง

การทดลองนี้ดำเนินการเพื่อศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของเอธิฟอนต่อการสุกของกล้วยไข่ โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 5 ระดับความเข้มข้นของเอธิฟอน ได้แก่ 0 (T1) 250 (T2) 500 (T3) 750 (T4) และ 1,000 (T5) ppm แต่ละระดับมี 3 ซ้ำ และแต่ละซ้ำใช้กล้วยไข่ 5 ผล โดยกล้วยไข่ที่ใช้ในการทดลองเก็บเกี่ยวที่อายุ 75 วันหลังแทงปลี ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมต่อการบ่มให้สุกมีสีเหลืองทองสวย รสหวาน และไม่ขำง่าย

2. วิธีการดำเนินการทดลอง

กล้วยไข่แต่ละชุดการทดลองถูกแบ่งออกเป็น 5 ทรีตเมนต์ โดยนำสารเอธิฟอนความเข้มข้น 48 AI ป้ายที่ชั่วผลตามระดับความเข้มข้นที่กำหนด จากนั้นบ่มไว้ใน อุณหภูมิห้อง 28 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 ± 5 % RH โดยวางกล้วยไข่ที่ป้ายแล้วลงในตะกร้าแล้วปิดด้วยผ้าดำจนกระทั่งผลสุกครบ 100 % วิธีการประเมินด้วยสายตา การบ่มทั้งหมดทำในห้องที่มีการถ่ายเทอากาศและไม่มีการปนเปื้อนของก๊าซเอทิลีนจากภายนอก

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การสังเกตและเก็บข้อมูลทำทุกวันจนกว่าผลกล้วยจะสุกทั่วทั้งผล โดยทำการวัดตัวแปรดังนี้

3.1 ค่าน้ำหนักที่สูญเสีย (% Weight loss)

3.2 ค่าความหวานของเนื้อผล (Total soluble solids; °Brix) ทำการเตรียมตัวอย่างกล้วยไข่โดยใช้วิธีการ homogenization ก่อนการวิเคราะห์ด้วย Hand Refractometer

4. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์ โดยใช้วิธี Tukey's HSD เพื่อหาความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของเอธิฟอนต่อการสุกของกล้วยไข่

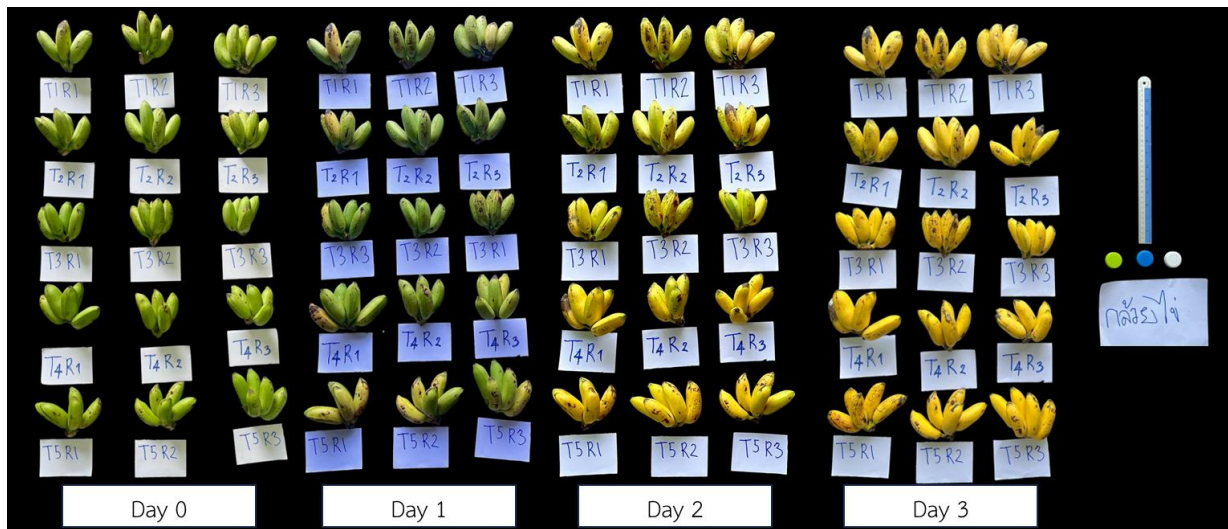
ผลการวิจัย

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้เอธิฟอนในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันส่งผลต่ออัตราการสุก การสูญเสียน้ำหนัก และค่าความหวานของกล้วยได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยกล้วยที่ไม่ได้รับการป้ายสารเอธิฟอน (0 ppm; T1) มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลืองช้าที่สุด และยังคงมีสีเขียวหลงเหลืออยู่บริเวณโคนผลแม้หลังจากบ่มครบ 3 วัน ขณะที่กลุ่มที่ได้รับเอธิฟอนในระดับความเข้มข้นสูงขึ้นจะสุกเร็วขึ้นตามลำดับ ซึ่งสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนจากการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกในแต่ละวัน (ภาพที่ 1)

ในวันแรกหลังการป้ายข้าว (Day 1) กล้วยไขในชุดที่ได้รับเอธิฟอน 750 และ 1,000 ppm (T4 และ T5) เริ่มมีการเปลี่ยนสีของเปลือกเป็นสีเหลืองอ่อน โดยเฉพาะชุดความเข้มข้นของเอธิฟอน 1,000 ppm พบการเปลี่ยนสีเด่นชัดทั่วผล ขณะที่ระดับความเข้มข้นของเอธิฟอน 250 และ 500 ppm (T2 และ T3) ยังคงมีสีเขียวเป็นส่วนใหญ่ แต่เริ่มมีจุดสีเหลืองปรากฏบริเวณปลายผลและส่วนกลางของเปลือก ส่วนกลุ่มควบคุม (0 ppm) ยังคงเป็นสีเขียวทั้งหมด

ในวันที่สอง (Day 2) พบว่ากล้วยที่ได้รับเอธิฟอน 1,000 ppm มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกเป็นสีเหลืองทองสม่ำเสมอเกือบทั่วผล คิดเป็นประมาณ 90–100% ของพื้นที่ผิว ขณะที่กลุ่ม 750 ppm สุกประมาณ 80–90% ของผล ส่วนกลุ่ม 250 และ 500 ppm มีการเปลี่ยนสีอยู่ที่ 50–70% ของผล และกลุ่มควบคุม (0 ppm) ยังคงมีสีเขียวมากกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นที่ผิว แสดงให้เห็นว่าการสุกของผลกล้วยเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของเอธิฟอน

เมื่อครบสามวันหลังการป้ายข้าว (Day 3) กล้วยทุกชุดการทดลองสุกครบ 100% แต่แตกต่างกันในด้านความเร็วและคุณภาพของผลสุก โดยกลุ่มที่ได้รับเอธิฟอน 1,000 ppm มีการสุกเร็วที่สุด ให้สีเหลืองทองสดรองลงมาคือ 750 ppm ซึ่งสุกใกล้เคียงกัน แต่มีสีเหลืองอ่อนกว่าเล็กน้อย ส่วนระดับ 250 และ 500 ppm สุกช้ากว่าและให้สีเหลืองซีดกว่าชุดความเข้มข้นสูง ในขณะที่กลุ่มควบคุม (0 ppm) สุกช้าที่สุด มีสีเปลือกไม่สม่ำเสมอ และบางผลยังคงมีส่วนสีเขียว (ภาพที่ 1)

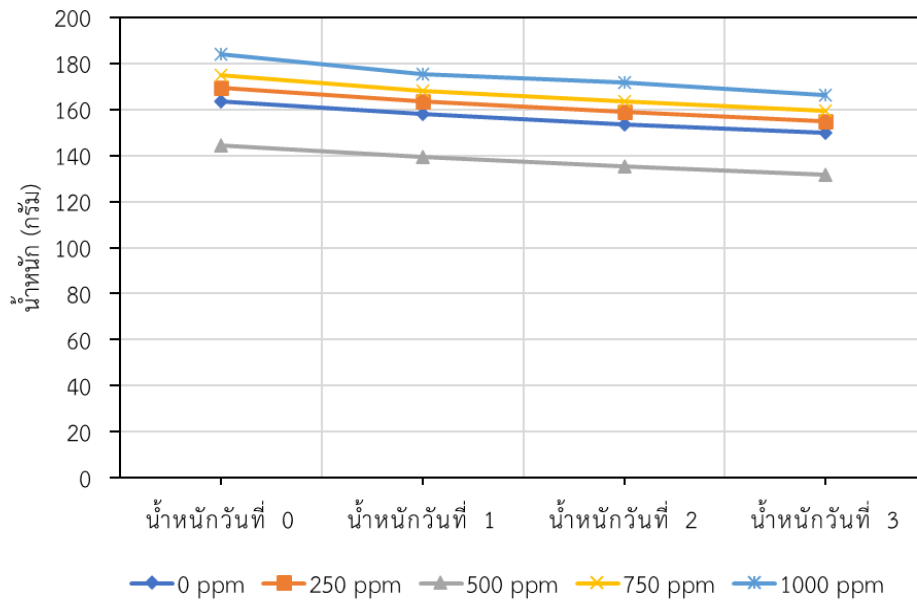


ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของกล้วยไข่หลังการป้ายข้าวตั้งแต่ Day0 – Day3 (สุก) กำหนดให้ T1-T5 คือ ระดับความเข้มข้นของเอธิฟอนที่ 0 250 500 750 และ 1,000 ppm ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลของระดับความเข้มข้นของเอธิฟอนต่อค่าน้ำหนักที่สูญเสียและค่าความหวานของเนื้อผลของกล้วยไข่หลังการบ่ม 3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ\text{C}$)

ระดับความเข้มข้นเอธิฟอน (ppm)	ค่าน้ำหนักที่สูญเสีย (เปอร์เซ็นต์)	ค่าความหวานของเนื้อผล (Total soluble solids; °Brix)
0 (T1)	9.54 ± 1.02^a	26.80 ± 0^b
250 (T2)	8.78 ± 1.29^a	27.20 ± 0^{bc}
500 (T3)	8.34 ± 1.87^a	27.27 ± 0.12^{bc}
750 (T4)	8.82 ± 0.78^a	27.53 ± 0.31^{ab}
1,000 (T5)	9.02 ± 0.82^a	27.87 ± 0.12^a

หมายเหตุ: ค่าเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ($n = 3$) และตัวอักษรกำกับกับความแตกต่างทางสถิติตามผลการวิเคราะห์ด้วย Tukey's HSD ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 2 กราฟแสดงน้ำหนักของกล้วยไผ่ในวันที่ 0 - วันที่ 3 (สุก) ที่ระดับความเข้มข้นของเอทิลอนที่ 0 250 500 750 และ 1,000 ppm ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาน้ำหนักของผลกล้วยไผ่ พบว่าผลกล้วยไผ่ในทุกชุดมีน้ำหนักลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงการบ่ม โดยเฉพาะกลุ่มที่ได้รับเอทิลอนในระดับสูง 750 และ 1,000 ppm มีอัตราการลดลงของน้ำหนักเร็วที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการสุกที่รวดเร็ว อันเป็นผลจากอัตราการหายใจและการคายน้ำที่สูงขึ้นในช่วงการเร่งสุก หลังจากการป้ายด้วยเอทิลอน ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีน้ำหนักลดลงช้าที่สุด (ภาพที่ 2)

จากตารางที่ 1 ค่าน้ำหนักที่สูญเสีย (% Weight loss) พบว่ากล้วยไผ่ที่ได้รับเอทิลอน 0 ppm มีค่าน้ำหนักที่สูญเสียสูงที่สุดในวันที่ 3 คิดเป็นประมาณ 9.54 % ของน้ำหนักเริ่มต้น รองลงมาคือ 1,000 ppm ที่ 9.02 % 750 ppm 8.82 % 500 ppm 8.34 % และ 250 ppm 8.78 % ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่าการสุกที่รวดเร็วสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำหนักที่มากขึ้นเนื่องจากการคายน้ำและกระบวนการเมตาบอลิซึมที่เพิ่มขึ้นในผลไม้

ในส่วนของคุณค่าความหวานของเนื้อผล ($^{\circ}$ Brix) พบว่าทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยชุดการทดลองที่ได้รับเอทิลอน 1,000 ppm มีค่าความหวานเฉลี่ยสูงสุด ที่ 27.87° Brix รองลงมาคือ 750 ppm 27.53° Brix 500 ppm 27.27° Brix 250 ppm 27.2° Brix และต่ำสุดคือกลุ่มควบคุม 0 ppm 26.80° Brix (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่าการใช้เอทิลอนในระดับความเข้มข้นสูงช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาลในเนื้อผล ทำให้กล้วยสุกเร็วและมีรสหวานมากขึ้น

อภิปรายผล

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้เอธิฟอนในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันส่งผลอย่างชัดเจนต่อการเร่งการสุกของกล้วยไข่ ทั้งในด้านการเปลี่ยนสีของเปลือก ค่าความหวาน และการสูญเสียน้ำหนักของผล โดยกล้วยที่ไม่ได้รับเอธิฟอน (0 ppm; T1) มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกจากเขียวเป็นเหลืองช้าและยังคงมีสีเขียวหลงเหลือหลังการบ่มครบ 3 วัน ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับเอธิฟอนในระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีการสุกเร็วขึ้นตามลำดับ (ภาพที่ 1)

ในวันแรกหลังการป้ายข้าว (Day 1) พบว่ากล้วยไข่ในชุดที่ได้รับเอธิฟอน 750 และ 1,000 ppm (T4 และ T5) เริ่มมีการเปลี่ยนสีของเปลือกเป็นสีเหลืองอ่อน โดยเฉพาะที่ระดับ 1,000 ppm มีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนมากที่สุด ขณะที่ระดับ 250 และ 500 ppm (T2 และ T3) ยังมีสีเขียวเป็นส่วนใหญ่แต่เริ่มมีสีเหลืองปรากฏบริเวณปลายผล ส่วนกลุ่มควบคุม (0 ppm) ยังคงเป็นสีเขียวทั้งหมด (ภาพที่ 1) ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับรายงานของ Mahato and Shah (2025) ซึ่งระบุว่า เอทิลีนมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการสุกของผลไม้คลิมacteric (Climacteric fruits) โดยทำให้เกิดการสลายคลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์รงควัตถุแคโรทีนอยด์ในเปลือกผลไม้

ในวันที่ 2 หลังการป้ายข้าว (Day 2) กล้วยที่ได้รับเอธิฟอน 1,000 ppm มีการเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองทองสม่ำเสมอเกือบทั่วผล (90–100 %) ส่วนกลุ่ม 750 ppm สุกประมาณ 80–90 % ของผล ขณะที่กลุ่ม 250 และ 500 ppm มีการเปลี่ยนสี 50–70 % และกลุ่มควบคุม (0 ppm) ยังคงมีสีเขียวมากกว่าครึ่ง (ภาพที่ 1) ผลนี้สอดคล้องกับ Abeles et al. (1992) ที่รายงานว่า การสลายตัวของเอธิฟอนในเนื้อเยื่อพืชจะปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนซึ่งเร่งกระบวนการสุกและเพิ่มอัตราการหายใจของผลไม้ ทำให้การเปลี่ยนสีเกิดขึ้นรวดเร็วขึ้น

เมื่อครบ 3 วัน (Day 3) กล้วยทุกชุดการทดลองสุกครบ 100 % แต่แตกต่างกันในความเร็วและคุณภาพของผล โดยกลุ่มที่ได้รับเอธิฟอน 1,000 ppm สุกเร็วที่สุด ให้สีเหลืองทองสดใส เนื้อผลนุ่ม และมีกลิ่นหอมเด่น รองลงมาคือกลุ่ม 750 ppm ที่สุกใกล้เคียงแต่สีอ่อนกว่าเล็กน้อย ส่วนระดับ 250 และ 500 ppm สุกช้ากว่าและให้สีเหลืองไม่สม่ำเสมอ ขณะที่กลุ่มควบคุม (0 ppm) สุกช้าที่สุด บางผลยังคงมีสีเขียว (ภาพที่ 1) แนวโน้มนี้ใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Timilsina and Shrestha (2022); Mahato and Shah (2025) ซึ่งพบว่าการใช้เอธิฟอน 750–1,000 ppm สามารถเร่งการสุกของกล้วยพันธุ์ ‘Malbhog’ ได้ภายใน 3 วัน และให้สีเหลืองทองสม่ำเสมอ ผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ระดับความเข้มข้นของเอธิฟอนเป็นปัจจัยสำคัญในการเร่งกระบวนการสุกของกล้วยไข่ โดยเฉพาะในด้านการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ค่าความหวาน และอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผล ซึ่งล้วนเป็นตัวชี้วัดสำคัญของกระบวนการสุกในผลไม้คลิมacteric (Climacteric fruits) เช่น กล้วย การที่กลุ่มควบคุม (0 ppm) ยังคงมีสีเขียวจำนวนมากหลังบ่มครบ 3 วัน บ่งชี้ว่าผลไม้ยังไม่เข้าสู่ภาวะคลิมactericเต็มรูปแบบเนื่องจากไม่มีแหล่งกระตุ้นสัญญาณเอทิลีนจากภายนอกส่งผลให้กระบวนการสลายคลอโรฟิลล์ (chlorophyll degradation) และการสะสมแคโรทีนอยด์ (carotenoid biosynthesis) เกิดขึ้นอย่างจำกัด เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของเอธิฟอน จะมีการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนในเนื้อเยื่อพืชสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นยีนและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสุก เช่น chlorophyllase polygalacturonase amylase และ invertase ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงสี

ความนุ่ม และค่าความหวานของผลตามลำดับ (Timilsina & Shrestha, 2022; Mahato & Shah, 2025) ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองสนับสนุนกลไกนี้อย่างชัดเจน โดยพบว่ากลุ่มที่ได้รับเอธิฟอน 250 และ 500 ppm เริ่มมีการเปลี่ยนสีในระดับปานกลาง แต่ช้ากว่ากลุ่มความเข้มข้นสูง ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าปริมาณเอธิลีนที่เกิดขึ้นยังไม่มากพอที่จะเร่งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสีและการสลายแป้งได้อย่างเต็มที่ ในทางตรงกันข้าม กลุ่มที่ได้รับเอธิฟอน 750 และ 1,000 ppm มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกอย่างรวดเร็วตั้งแต่วันแรกหลังการป้ายสาร ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองสนับสนุนกลไกนี้อย่างชัดเจน โดยพบว่ากลุ่มที่ได้รับเอธิฟอนในระดับปานกลาง (250–500 ppm) เริ่มเปลี่ยนสีช้ากว่ากลุ่มความเข้มข้นสูง เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับเอธิฟอน 750–1000 ppm ซึ่งมีการเปลี่ยนสีอย่างรวดเร็วตั้งแต่วันแรกหลังการป้ายสาร และมีสัดส่วนพื้นที่สีเหลืองมากถึง 80–100 % ภายในวันที่สอง แสดงให้เห็นว่าผลกล้วยไข่เข้าสู่กระบวนการสุกอย่างเต็มที่ อันเป็นผลมาจากระดับเอธิลีนที่ปลดปล่อยได้สูงพอที่จะกระตุ้น respiratory climacteric และเร่งอัตราการหายใจของผล (Laryea et al., 2025; Mahato & Shah, 2025)

ผลจากกราฟน้ำหนักของผลกล้วยไข่ (ภาพที่ 2) พบว่าน้ำหนักผลลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกชุด โดยเฉพาะกลุ่มที่ได้รับเอธิฟอนในระดับสูง (750 และ 1,000 ppm) มีอัตราการลดน้ำหนักเร็วที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กับการสุกที่รวดเร็ว เนื่องจากกระบวนการหายใจและคายน้ำของผลไม่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับเอธิลีน ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีน้ำหนักลดลงช้าที่สุด ผลนี้ชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของเอธิฟอนมีผลโดยตรงต่ออัตราการสูญเสียน้ำในระหว่างการบ่ม

ค่าน้ำหนักที่สูญเสีย (% Weight loss) เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของเอธิฟอน โดยชุด 1,000 ppm มีค่าน้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือ 750 500 250 และ 0 ppm ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Laryea et al. (2025) ที่พบว่าผลไม้ที่ได้รับเอธิฟอนในระดับสูงมีการสูญเสียน้ำมากกว่า เนื่องจากอัตราการหายใจและการย่อยสลายสารอาหารภายในผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสุก

ในส่วน of ค่าความหวาน ($^{\circ}$ Brix) พบว่าค่าความหวานเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มในทุกระดับความเข้มข้นของเอธิฟอน แต่ระดับ 1,000 ppm ให้ค่าความหวานสูงสุด (ประมาณ 27.88° Brix) (ตารางที่ 1) โดย Phillips et al. (2021) ที่ระบุว่า การใช้เอธิฟอนช่วยเร่งการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลในกล้วย เนื่องจากเอธิลีนกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสและอินเวอร์เตสในระหว่างการสุก ทำให้ผลไม้มีรสหวานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

สรุป

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การใช้เอธิฟอนสามารถเร่งการสุกของกล้วยไข่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความเข้มข้นของเอธิฟอนมีผลโดยตรงต่อความเร็วและคุณภาพของผลสุกภายในระยะเวลา 3 วัน กล้วยไข่ที่ได้รับเอธิฟอนในระดับ 1,000 ppm แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกจากเขียวเป็นเหลืองทองเร็วที่สุด ให้ค่าความหวานของเนื้อผลสูงสุด ที่ 27.87° Brix และมีลักษณะผลสุกสีเหลืองทั่วผล รองลงมาคือระดับ 750 ppm ที่ 27.53° Brix ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกันแต่สุกช้ากว่าเล็กน้อย ส่วนกลุ่มที่ได้รับเอธิฟอนระดับต่ำกว่าและกลุ่มควบคุมมีการสุกช้าและคุณภาพผลด้อยกว่า

อย่างไรก็ตาม ในการประยุกต์ใช้จริง ควรพิจารณาปัจจัยร่วมอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการถ่ายเทอากาศในห้องบ่ม เนื่องจากมีผลต่ออัตราการสุกและการสูญเสียน้ำของผลกล้วย การควบคุมปัจจัยเหล่านี้ร่วมกับการใช้เอธิฟอนในระดับที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการบ่ม และลดการสูญเสียคุณภาพของผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า การใช้เอธิฟอนในระดับความเข้มข้น 1,000 ppm มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเร่งการสุกของกล้วยไ้ภายในระยะเวลา 3 วัน โดยให้ผลผลิตที่มีสีเหลืองทองสวย รสหวาน และเนื้อผลนุ่ม จึงแนะนำให้ใช้ความเข้มข้นนี้ในกระบวนการบ่มสำหรับกล้วยไข่ที่เก็บเกี่ยวในระยะ 75–80 วันหลังแทงปลี เพื่อให้ได้คุณภาพผลผลิตที่ดีที่สุด

อย่างไรก็ตาม เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคและการคงคุณภาพของผลผลิต ควรศึกษาการตกค้างของสารเอธิฟอนในผลกล้วยหลังการบ่ม รวมถึงระยะพักตัวก่อนจำหน่าย เพื่อให้มั่นใจว่าปริมาณเอทิลีนที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับปลอดภัย นอกจากนี้ ควรมีการศึกษาต่อยอดเกี่ยวกับผลของเอธิฟอนต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลกล้วย เช่น ความแน่นเนื้อ ปริมาณกรดอินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงของสารต้านอนุมูลอิสระระหว่างการสุก เพื่อให้ได้ข้อมูลครบถ้วนสำหรับการประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ในอนาคต อาจขยายการทดลองไปยังพันธุ์กล้วยอื่น ๆ เช่น กล้วยน้ำว้า หรือกล้วยหอมทอง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการตอบสนองต่อเอธิฟอน รวมถึงการศึกษการใช้ร่วมกับปัจจัยแวดล้อมอื่น เช่น อุณหภูมิการบ่ม และความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อพัฒนาแนวทางการบ่มที่เหมาะสมต่อพันธุ์และสภาพพื้นที่ผลิตต่าง ๆ ทั้งนี้ยังคงต้องเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเพิ่มเติมที่ในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้ทำการเก็บข้อมูล เช่น ความแน่นเนื้อของผลและสีผลที่วัดด้วยอุปกรณ์และเครื่องมือที่แม่นยำยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีราธิวาส มหาวิทยาลัยราธิวาสราชนครินทร์ ที่ให้การอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง ตลอดจนขอขอบคุณ อาจารย์อรรถพร พุนทอง ที่ให้คำแนะนำในการวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงนักศึกษาที่มีส่วนร่วมในการเก็บข้อมูลและดูแลการบ่มผลกล้วยไข่ตลอดระยะเวลาการศึกษา

รายการอ้างอิง (References)

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2561). *คู่มือการปลูกกล้วยไข่กำแพงเพชร*. ผู้แต่ง
- Abeles, F. B., Morgan, P. W., & Saltveit, M. E. (1992). *Ethylene in plant biology* (2nd ed.). Academic Press.
- Chowdhury, M. G. F., Khan, M. H., Miaruddin, M., Rahman, M. A., & Sabuz, A. (2022). *Effect of Ethephon on Ripening and Postharvest Quality of Tomato (Solanum Lycopersicum) During Storage*. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 45(3), 303 – 314. <https://doi.org/10.3329/bjar.v45i3.62952>
- Laryea, D., Supapvanich, S., Pinsirodom, P., Suwapanich, R., Arsa, S., & Sirison, J. (2025). *Evaluating variety and ethephon effect on banana fruit quality at different ripening stages: A comparative and multivariate approach*. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101569. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101569>
- Mahato, B., & Shah, B. (2025). *Effect of different concentrations of Ethephon on ripening and postharvest quality of banana (cv. Malbhog) in Chitwan district, Nepal*. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 10(1), 75 – 80. <https://doi.org/10.26832/24566632.2025.1001011>
- Phillips, L. R., Smith, J., & Roberts, P. (2021). Dietary fiber, starch, and sugars in bananas at different stages of ripeness in the retail market. *PLOS ONE*, 16(7), e0253366. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253366>
- Timilsina, U., & Shrestha, A. K. (2022). *Effect of different concentration of ethephon on banana (cv. Malbhog) ripening and post-harvest life at laboratory condition*. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 7(1), 20 – 25. <https://doi.org/10.26832/24566632.2022.070104>
- Vu, T. T., Nguyen, H. T., & Tran, Q. A. (2025). Exploring the nutritional composition, physicochemical properties, and biological characteristics of mature banana varieties (Musaceae). *Food Chemistry: X*, 12, 102594. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102594>