



วารสารวิชาการ ชายนีเทคโนโลยี

มรภ.ภูเก็ต

ISSN 2822 - 1044 (Online)
ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2567

PKRU
SciTech
JOURNAL



วารสารวิชาการชาชนเทคโนโลยี มรภ.ภูเก็ต

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2567

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตา รัตนบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ นัยวิกุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ ไควน์ทวิทวัฒน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ศาสตราจารย์ ดร.ศุภมิตร จิตตะยโสธร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-
ลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ วัฒนเสถ์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี อีสระไกรศีล

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.วรัญญู ศรีเดช

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.อัมพรพรรณ ชีรานุดร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ชฎานิศ ลือวานิช

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

รองศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา วงศ์ธนะบุญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

รองศาสตราจารย์ ดร.ผุสดี พรผล

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์รังสรรค์ พลสมัค

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต



บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต (PKRU SciTech Journal) ฉบับนี้ได้รับรวบรวมบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ผ่านการพิจารณาอย่างเข้มข้นจากผู้ทรงคุณวุฒิบทความละ 3 ท่าน จำนวน 7 บทความ ประกอบไปด้วย บทความที่อาศัยองค์ความรู้ทางเคมีในการประยุกต์ใช้งาน 2 บทความ คือ บทความเกี่ยวกับการพัฒนากรรมวิธีการสกัดสารจากลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยคลื่นไมโครเวฟ เพื่อนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับผิวสำหรับบรรเทาอาการปวดเมื่อยได้ในอนาคต และบทความที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแหล่งน้ำกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในช่วงฤดูต่าง ๆ เพื่อประเมินแนวโน้มสถานะการเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ บทความด้านชีววิทยา 1 บทความ เป็นการศึกษาชนิดและการกระจายของฟองน้ำทะเลและสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยร่วมกับฟองน้ำทะเล บทความด้านคณิตศาสตร์ 1 บทความ เกี่ยวกับการศึกษาปัญหาบนผลแบ่งกันของ Z_m โดยที่ฟังก์ชันตัวแทนเท่ากัน บทความด้านอาหาร 2 บทความ เป็นบทความที่ศึกษาสมบัติของเพคตินสกัดจากกล้วยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารเพื่อความคงตัว และบทความที่ศึกษาการเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในขนมกล้วยพุดด้วยน้ำลำไยอบแห้ง และสุดท้ายเป็นบทความที่พัฒนาแบบจำลองการจำแนกรูปภาพตามความหมายสำหรับการเรียกค้นรูปภาพโดยใช้ภาษาธรรมชาติ ซึ่งทั้ง 7 บทความนี้มีความหลากหลายทางด้านวิชาการ ทางกองบรรณาธิการคาดหวังว่าจะเป็นประโยชน์ให้กับผู้ที่สนใจในด้านต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

วารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากทั้งผู้ประเมินบทความ (peer review) และผู้เขียนบทความในการแก้ไขจนสำเร็จด้วยดี

กองบรรณาธิการใคร่ขอเชิญชวนท่านผู้สนใจส่งบทความมาตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต โดยสามารถส่งต้นฉบับตามคำแนะนำในหน้าเว็บไซต์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/pkrusciotech> เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้สู่สังคมอันจะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านและผู้สนใจต่อไป



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.สุธิดา รัตนบุรี)

บรรณาธิการ

สารบัญ

การพัฒนากรรมวิธีการสกัดสารจากลูกประคบสมุนไพรไทย	1
โดยการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ	
พิรุณรัตน์ แซ่ลิ้ม, โนเลียร์ มาหุดเบ็ญ, ศิริพร พลเมือง, อาทิตยา หนูชูชาติ และ ศรสวรรค์ คงภักดี	
ฟองน้ำทะเลและสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อยู่ร่วมกับฟองน้ำ	14
บริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล	
กัญญาณัฐ เทพยศ, ฮาสีพะ เจมู, นุชจรินทร์ เพชรเกลี้ยง และ สุธินี หีมยิ	
ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำ	32
กับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และบี บริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี	
พัชรี ฤกษ์งานดี, สมหมาย เขียววารีสังจะ, ศิรสา กฤษณะพันธุ์ และ เอกนรินทร์ รอดเจริญ	
ปัญหาบนผลแบ่งกันของ Z_m โดยที่ฟังก์ชันตัวแทนเท่ากัน	44
สุภาดา โตกระแสร และ นเรศ สวัสดิ์รักษา	
สมบัติของเพคตินสกัดจากหยวกกล้วยและการประยุกต์ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว	54
ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดสับปะรดภูเก็ต	
ชนันธมา นวนไย, อภิญา แสงทอง, ธัชพร ไชยเจริญ, ประเสริฐ จริยะเลอพงษ์,	
วิญญู วงศ์วิวัฒน์ และ พิริญา กฤตวงศ์งาม	
แบบจำลองการจำแนกรูปภาพตามความหมายได้รับการฝึกฝน	68
สำหรับการเรียกค้นรูปภาพโดยใช้ภาษาธรรมชาติ	
จักรินทร์ สันติรัตนภักดี และ ศุภกฤษฎี นิวัฒนากุล	
การเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในขนมถ้วยฟูด้วยน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้น	83
ศรัณยา จังโส และ วรรัตน์ สานนท์	

การพัฒนากรรมวิธีการสกัดสารจากลูกประคบสมุนไพรไทย
โดยการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ
Development of Thai Herbal Compress Ball Extraction Method
by Using Microwave-assisted Extraction

พิรุณรัตน์ แซ่ลิ้ม^{1,2*} โนเลียร์ มาหมุดเบญญ์³ ศิริพร พลเมือง³
อาทิตยา หนูชูชาติ³ และ ศรสวรรค์ คงภักดี³
Pirunrat Sae-Lim^{1,2*}, Nolear Mamoodben³, Siriporn Phonlamueang³,
Atittaya Noochoochat³ & Sonsawan Khongpuckde³

¹ ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมเวชศาสตร์แผนไทย คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

² พิรุณนาคลินิกการแพทย์แผนไทย 104 แบอสะเนิง หมู่ 1 ต.บาราเฮาะ อ.เมืองฯ จ.ปัตตานี 94000

³ สาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง
ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210

¹ Traditional Thai Medical Research and Innovation Center, Faculty of Traditional Thai Medicine,
Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Korhong, Hat Yai, Songkhla, Thailand 90110

² Pirunna Thai Traditional Medical Clinic 104 Bae Ro Sa Ning, Moo 1, Bara Ho, Mueang, Pattani,
Thailand 94000

³ Department of Thai Traditional Medicine, Faculty of Health and Sports Science, Thaksin University,
Phatthalung Campus, Baan Prao, Papayom, Phatthalung, Thailand 93110

Submitted 27/03/2023 ; Revised 06/06/2023 ; Accepted 21/06/2023

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมีและความคงตัวของสารสกัดที่ได้จากสมุนไพรรูปแบบสดและแบบแห้ง ที่ใช้ในลูกประคบสมุนไพรไทยที่สกัดด้วยตัวทำละลายน้ำมันมะพร้าวและเอทานอล โดยวิธีการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ ผลจากการศึกษาพบว่าสมุนไพรแบบแห้งที่สกัดด้วยน้ำมันมะพร้าวและเอทานอล มีสีเขียวน้ำตาล มีความเข้มข้นความหนืด และค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่าสมุนไพรแบบสดที่สกัดด้วยตัวทำละลายทั้งสองชนิดและยังมีกลิ่นที่ดีกว่า อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบความคงตัว คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีโดยภาพรวมพบว่า สมุนไพรแบบแห้งที่สกัดด้วยเอทานอลมีความคงตัวของสารสกัดในทุกสภาวะ ลักษณะทางกายภาพ ความหนืด และค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่ใช้ภายนอกได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ลูกประคบสมุนไพรไทย การสกัดสารด้วยคลื่นไมโครเวฟ สารสกัด

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: pirunrat.s@psu.ac.th

Abstract

The purpose of this study was to compare the physical properties, chemical properties, and stabilities of the extracts obtained from fresh and dried herb ingredients used in Thai herbal compress balls. The extracts were obtained using coconut oil and ethanol as solvents through the microwave-assisted extraction. The results indicated that dried herbs extracted with coconut oil and ethanol exhibited a more greenish-brown color, higher concentration, viscosity, and pH compared to fresh herbs extracted with both solvents. Moreover, they also exhibited a better aroma. Additionally, when comparing the stability, overall physical and chemical properties, it was observed that the dried herbs extracted with ethanol maintained stability under all conditions. There were no changes observed in the physical characteristics, viscosity, and acidity. These findings suggest that the dried herbs extracted with ethanol are suitable for further development into herbal products for external use in the future.

Keywords: Thai herbal compress ball, microwave-assisted extraction (MAE), extract

บทนำ

กลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อและพังผืด (myofascial pain syndrome) เป็นกลุ่มโรคที่ก่อให้เกิดอาการปวดกล้ามเนื้อที่พบได้บ่อยในประชากรทั่วไป ซึ่งจะมีจุดกดเจ็บ (myofascial trigger point) ที่กล้ามเนื้ออย่างชัดเจน กลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อและพังผืดนั้นเป็นสาเหตุของอาการปวดมากที่สุด โดยพบร้อยละ 85 ของผู้ที่ปวดหลัง และร้อยละ 54.6 ของผู้ที่ปวดศีรษะและคอเรื้อรัง [1] เมื่อเกิดอาการขึ้นแล้วส่งผลกระทบต่อสภาพอารมณ์และสุขภาพจิตของบุคคลนั้นได้ด้วย อาการปวดเมื่อยอาจเกิดจากการทำงานหรือกิจกรรมอย่างหนักติดต่อกันเป็นเวลานาน [2] วิธีการรักษากลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อและเยื่อพังผืดจึงมีหลากหลายวิธี รวมไปถึงการนวดและการประคบด้วยลูกประคบสมุนไพรไทย

การรักษาอาการปวดกล้ามเนื้อด้วยลูกประคบสมุนไพรไทยนั้น เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ลูกประคบสมุนไพรไทยตามสูตรยาในบัญชียาหลักแห่งชาตินั้น จะมีส่วนประกอบของสมุนไพรไทย 8 ชนิด ได้แก่ โพล ขมิ้นชัน ใบมะขาม ผิวมะกรูด ตะไคร้ ส้มป่อย การบูรและเกลือ ซึ่งสมุนไพรแต่ละชนิดจะมีสรรพคุณช่วยบรรเทาอาการปวดกล้ามเนื้อได้ดี เห็นได้ว่าสรรพคุณของลูกประคบสมุนไพรไทยนั้นช่วยบรรเทาอาการปวดเมื่อยได้ดี ลดอาการเกร็งและอักเสบของกล้ามเนื้อ ช่วยให้กล้ามเนื้อและพังผืดยืดตัวออกและยังช่วยเพิ่มการไหลเวียนของโลหิตอีกด้วย ดังนั้นลูกประคบสมุนไพรไทยจึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการนำมาใช้รักษาอาการปวดกล้ามเนื้อและพังผืด

วิธีการสกัดสารจากลูกประคบสมุนไพรแบบดั้งเดิมนั้นมีหลากหลายรูปแบบ [3] เช่น วิธีการหมัก วิธีการตุ๋น การต้มน้ำสกัดและวิธีการใช้ตัวทำละลาย 95% เอทานอลไหลผ่านผงสมุนไพร วิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการสกัดสารในรูปแบบดั้งเดิม ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนากรรมวิธีสกัดสารสำคัญจากลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถทำได้ง่าย ประหยัดเวลา ประหยัดพลังงาน ให้ปริมาณสารสำคัญสูง มีความคงตัว ไม่เกิดมลพิษและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยสกัดสารด้วยการใช้คลื่นไมโครเวฟ (microwave-assisted extraction; MAE) [4] และใช้ตัวทำละลายที่มีความปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม คือ น้ำมันมะพร้าว และเอทานอล ซึ่งการสกัดด้วยวิธีเหล่านี้จะช่วยให้ได้สารสำคัญออกมาในปริมาณและความเข้มข้นสูง และเมื่อได้สารสกัดที่เข้มข้นเพียงพอแล้ว สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์บรรเทาอาการปวดกล้ามเนื้ออย่างมีประสิทธิภาพในรูปแบบต่าง ๆ ได้ในอนาคต ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนากรรมวิธีสกัดสารจากลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยไมโครเวฟ โดยทำการเปรียบเทียบสารสกัดที่ได้จากสมุนไพรสดและสมุนไพรแห้งและศึกษาความคงตัวของสารสกัดลูกประคบสมุนไพรไทยที่สกัดได้ด้วยวิธีดังกล่าว

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนากรรมวิธีสกัดสารจากลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยไมโครเวฟ
2. เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของสารสกัดที่ได้จากสมุนไพรสดและสมุนไพรแห้งที่ใช้ น้ำมันมะพร้าวและเอทานอลสกัด
3. เพื่อศึกษาความคงตัวของสารสกัดจากลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยคลื่นไมโครเวฟ

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบสมุนไพรที่เป็นส่วนประกอบของลูกประคบสมุนไพร

1.1 ลงสำรวจพื้นที่เพื่อหาแหล่งสมุนไพรที่มีคุณภาพ

การเตรียมสมุนไพรแบ่งเป็นสองแบบ คือ การเตรียมสมุนไพรแบบสด และการเตรียมสมุนไพรแบบแห้ง โดยสมุนไพรที่ใช้เป็นส่วนประกอบในลูกประคบสมุนไพร ประกอบด้วย เหง้าพล (50 กรัม) ใบมะขาม (30 กรัม) ผิวมะกรูด (20 กรัม) เหง้าขมิ้นชัน (10 กรัม) ตะไคร้ (ลำต้น) (10 กรัม) ใบส้มป่อย (10 กรัม) เกลือเม็ด 1 ช้อนโต๊ะ (ประมาณ 15 กรัม) การบูร 2 ช้อนโต๊ะ (ประมาณ 30 กรัม) จะได้สมุนไพรรวม 175 กรัม

1.2 การเตรียมวัตถุดิบ

1.2.1 สมุนไพรแบบสดแต่ละชนิด นำมาล้างทำความสะอาด ผึ่งลมให้แห้งและหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ เก็บไว้ในภาชนะปิดมิดชิดแล้วเก็บไว้ในตู้เย็น

1.2.2 สมุนไพรแบบแห้งแต่ละชนิด นำมาล้างทำความสะอาดก่อนนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาบดเป็นผงหยาบ เก็บไว้ในภาชนะปิดมิดชิดและเก็บไว้ในที่แห้ง

2. การพัฒนากรรมวิธีการสกัดสารจากลูกประคบสมุนไพรในสถานะที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการสกัดด้วยเครื่องไมโครเวฟ Microwave-Assisted Extraction (MAE)

2.1 ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด

ในการสกัดจะใช้ตัวทำละลายที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม คือ น้ำมันมะพร้าว และเอทานอล โดยนำสมุนไพรแบบสดและแห้งสกัดในน้ำมันมะพร้าวในสัดส่วน 50 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และสกัดในเอทานอลโดยใช้สัดส่วน 30 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร โดยสกัดสารสำคัญด้วยวิธี MAE และไม่ต้องกำจัดตัวทำละลายออก ซึ่งการสกัดด้วยวิธีดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดการสิ้นของน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในเซลล์พืช ทำให้เกิดแรงดันขึ้นภายในเซลล์ทำให้ผนังเซลล์แตกออกและปลดปล่อยสารสำคัญที่อยู่ภายในออกมา

2.2 สภาพในการสกัด

การสกัดสารสำคัญจากลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยตัวทำละลายน้ำมันมะพร้าว ทำได้โดยนำสมุนไพรต่าง ๆ ตามส่วนผสมดังแจ้งในข้อ 1.1 ทำการสกัดด้วยน้ำมันมะพร้าวปริมาตร 350 มิลลิลิตร โดยใช้สภาวะของการสกัด คือ ใช้กำลังไฟ ประมาณ 800 วัตต์ ระยะเวลาที่เหมาะสม คือ 2 นาที และสกัดซ้ำจนอุณหภูมิถึง 160 - 170 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 รอบ โดยแต่ละรอบหยุดพักแล้วคนสารสกัดเป็นเวลา 30 วินาที สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล ทำได้โดยนำสมุนไพรต่าง ๆ ตามส่วนผสมดังแจ้งในข้อ 1.1 ทำการสกัดด้วยเอทานอลปริมาตร 583 มิลลิลิตร โดยใช้สภาวะของการสกัด คือ ใช้กำลังไฟ 360 วัตต์ระยะเวลาที่เหมาะสม คือ 2 นาที และสกัดซ้ำจนอุณหภูมิถึง 60 - 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 รอบ โดยแต่ละรอบหยุดพักแล้วคนเป็นเวลา 30 วินาที สภาวะในการสกัดที่ใช้นี้ได้ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของชาฟาวีและคณะ [5]

3. การขยายขนาดการสกัด

นำสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมาใช้ในการสกัดสมุนไพรในปริมาณเพิ่มมากขึ้น โดยปรับสัดส่วนสมุนไพรและตัวทำละลายเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เพื่อให้ได้สารสกัดในปริมาณที่เพียงพอสำหรับการนำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและศึกษาความคงตัว

4. การศึกษาคุณสมบัติของสารสกัดลูกประคบสมุนไพรไทย

เป็นการประเมินผลขั้นต้นโดย การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารสกัดว่าเข้าเกณฑ์มาตรฐานตามที่ตั้งไว้หรือไม่ โดยมีการทดสอบดังนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพ

- สังเกตดูเนื้อสารสกัด สี กลิ่น ความขุ่น ความเข้มข้น การตกตะกอนและการแยกชั้นของสารสกัดและตัวทำละลายด้วยประสาทสัมผัส

4.2 ความหนืด

- วัดค่าความหนืดโดยการใช้เครื่อง viscometer

4.3 คุณสมบัติทางเคมี

- วัดค่า pH โดยใช้ เครื่อง pH meter

ตารางที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสารสกัดลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยวิธี MAE

ลักษณะที่ตรวจสอบ	ระดับการตัดสิน	คำอธิบาย
สีของสารสกัด	4	สีเขียวอมน้ำตาล
	3	สีเขียวเข้ม
	2	สีเขียว
	1	สีเหลืองใส
กลิ่นของสารสกัด	4	กลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของสมุนไพร
	3	กลิ่นเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย
	2	กลิ่นจางเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย
	1	กลิ่นจางเปลี่ยนแปลงไปมาก
ความขุ่นของสารสกัด	4	มีความขุ่นมาก
	3	มีความขุ่นปานกลาง
	2	มีความขุ่นเล็กน้อย
	1	ไม่มีความขุ่น
ความเข้มข้นของสารสกัด	4	มีความเข้มข้นมาก
	3	มีความเข้มข้นปานกลาง
	2	มีความเข้มข้นน้อย
	1	ไม่มีความเข้มข้น
การตกตะกอนของสารสกัด	4	มีการตกตะกอนมาก
	3	มีการตกตะกอนปานกลาง

ตารางที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสารสกัดลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยวิธี MAE (ต่อ)

ลักษณะที่ตรวจสอบ	ระดับการตัดสิน	คำอธิบาย
การแยกชั้นของสารสกัดและตัวทำละลาย	2	มีการตกตะกอนเล็กน้อย
	1	ไม่มีการตกตะกอน
	4	มีการแยกชั้นมาก
	3	มีการแยกชั้นปานกลาง
	2	มีการแยกชั้นเล็กน้อย
	1	ไม่มีการแยกชั้น

หมายเหตุ : สี กลิ่น ความขุ่น ความเข้มข้น การตกตะกอน และการแยกชั้นของสารสกัดและตัวทำละลาย ต้องอยู่ในสภาพที่ดี ไม่แปรสภาพหรือเสื่อมสภาพ

5. การศึกษาความคงตัวของสารสกัดลูกประคบสมุนไพรในสภาวะต่าง ๆ

การทดสอบด้านความคงสภาพของสารสกัดสมุนไพรเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทำการทดสอบ เพราะเป็นขั้นตอนการสกัดที่ซับซ้อน ภายหลังจากเก็บไว้นาน ๆ ก่อนจะนำไปใช้งาน ซึ่งจะดูความคงสภาพของ สี กลิ่น ความเข้มข้น ความหนืดและการตกตะกอน ต้องอยู่ในสภาพที่ดีและไม่แปรสภาพ โดยจะมีระยะเวลาทดสอบสามเดือน วิธีการประเมินความคงตัวที่ใช้ในการศึกษาได้ดัดแปลงมาจากการรายงานของ ศศิประภา ชิตรัตนา [6] โดยจะทำการทดสอบสามซ้ำและการเปลี่ยนแปลงลักษณะและคุณสมบัติทางกายภาพทุกสองสัปดาห์ จนกระทั่งครบระยะเวลาสามเดือน โดยจะพิจารณาจากตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

5.1 ผลของแสงต่อสารสกัด

- เก็บสารสกัดไว้ใต้แสง ที่อุณหภูมิห้อง
- เก็บสารสกัดไว้พ้นแสงในขวดทึบหรือฟอยล์มิดชิด ที่อุณหภูมิห้อง

5.2 ผลของอุณหภูมิต่อสารสกัด

- เก็บสารสกัดในขวดทึบแสง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

5.3 ผลของสภาวะเร่งอุณหภูมิต่ำสลับอุณหภูมิสูงต่อสารสกัด

- เก็บสารสกัดในขวดทึบแสงและไม่ทึบแสง ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาไว้ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (นับเป็น 1 รอบ) ทำสลับกันเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ อีก 7 รอบ โดยจะทำการทดสอบ 3 ซ้ำ แล้วดูการเปลี่ยนแปลงลักษณะและคุณสมบัติทางกายภาพ บันทึกผลและประเมินผล วิธีการทดสอบนี้ได้ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของ เสาวนีย์ กระสานตีสุขและหทัยชนก รุณรงค์ [7]

ผลการวิจัย

ผลการพัฒนากรรมวิธีการสกัดสารจากลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยไมโครเวฟ พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการสกัดสมุนไพรแบบสดและแห้งสกัดในน้ำมันมะพร้าว อยู่ที่ 50 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร โดยใช้กำลังไฟ ประมาณ 800 วัตต์ สกัดเป็นเวลา 2 นาที จำนวน 5 รอบ จึงทำให้อุณหภูมิของตัวทำละลายถึงจุดเดือดอยู่ในช่วง 160 - 170 องศาเซลเซียส สำหรับการสกัดสมุนไพรแบบสดและแห้งสกัดในเอทานอลพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการสกัดอยู่ที่ 30 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรโดยใช้กำลังไฟ ประมาณ 360 วัตต์ สกัดเป็นเวลา 2 นาที จำนวน 5 รอบ จึงทำให้อุณหภูมิของตัวทำละลายถึงจุดเดือดอยู่ในช่วง 60 - 70 องศาเซลเซียส

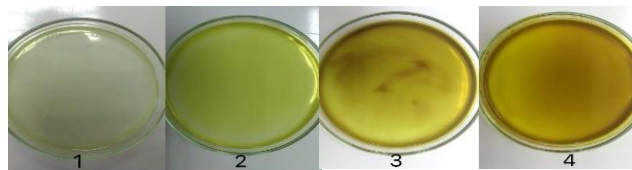
ผลการประเมินสารสกัดลูกประคบสมุนไพรด้วยกลิ่นไมโครเวฟ ตามเกณฑ์การประเมินทางกายภาพของการพัฒนากรรมวิธีการสกัดสารจากลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยกลิ่นไมโครเวฟดังแสดงในตารางที่ 2 จากผลการสกัดสารลูกประคบสมุนไพรด้วยกลิ่นไมโครเวฟทั้งสี่รูปแบบพบว่า การสกัดสมุนไพรแห้งโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลให้ผลดีและเป็นที่น่าพอใจมากที่สุด โดยสารสกัดที่ได้ (4) ให้สีเขียวอมน้ำตาล กลิ่นที่ดีตามธรรมชาติ ไม่มีกลิ่นขุ่น ความเข้มข้นมาก มีการตกตะกอนปานกลางและไม่มี การแยกชั้นของสารสกัดและตัวทำละลาย ดังแสดงในภาพที่ 1

ตารางที่ 2 ลักษณะที่ได้จากการสกัดสารจากลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยกลิ่นไมโครเวฟ

รูปแบบการสกัด	ผลที่ได้จากการสกัดด้วยกลิ่นไมโครเวฟ	ปริมาณการสกัด (มิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.
	ลักษณะ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
แบบสด สกัดน้ำมันมะพร้าว (1)	สีเหลืองใส กลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของสมุนไพร มีความขุ่นเล็กน้อย ความเข้มข้นเล็กน้อย ไม่มีการตกตะกอน และไม่มีการแยกชั้นของสารสกัดและตัวทำละลาย	300	300	290	296.67	5.77
แบบสด สกัดเอทานอล (2)	สีเขียว กลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของสมุนไพร ไม่มีความขุ่น ความเข้มข้นเล็กน้อย ไม่มีการตกตะกอน และไม่มีการแยกชั้นของสารสกัดและตัวทำละลาย	340	410	390	380.00	36.06

ตารางที่ 2 ลักษณะที่ได้จากการสกัดสารจากลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยคลื่นไมโครเวฟ (ต่อ)

รูปแบบการสกัด	ผลที่ได้จากการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ ลักษณะ	ปริมาณการสกัด (มิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
แบบแห้ง สกัดน้ำมัน มะพร้าว (3)	สีเขียวอมน้ำตาล กลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของสมุนไพร มีความชื้นเล็กน้อย ความเข้มข้นมาก มีการตกตะกอนเล็กน้อย และไม่มีการแยกชั้นของสารสกัดและตัวทำละลาย	210	230	220	220.00	10.00
แบบแห้ง สกัด เอทานอล (4)	สีเขียวอมน้ำตาล กลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของสมุนไพร ไม่มีความชื้น ความเข้มข้นมาก มีการตกตะกอนปานกลาง และไม่มีการแยกชั้นของสารสกัดและตัวทำละลาย	290	260	295	281.67	18.93



ภาพที่ 1 สารสกัดที่ได้จากการสกัดแบบสดสกัดน้ำมันมะพร้าว (1) แบบสดสกัดเอทานอล (2) แบบแห้งสกัดน้ำมันมะพร้าว (3) และแบบแห้งสกัดเอทานอล (4)

จากผลการศึกษาความคงตัวของสารสกัดรูปแบบสดสกัดด้วยน้ำมันมะพร้าวในสถานะต่าง ๆ ให้ความเข้มข้นของสารสกัดสีเขียว กลิ่นที่ดีตามธรรมชาติ ไม่มีความชื้น ความเข้มข้นเล็กน้อย ไม่มีการตกตะกอน ไม่มีการแยกชั้นของสารสกัดและตัวทำละลาย ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 2,494.50 – 2,517.57 mPa.s ค่า pH อยู่ในช่วง 6.40 - 6.63 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การศึกษาความคงตัวของสารสกัดรูปแบบสดที่สกัดด้วยน้ำมันมะพร้าวในสถานะต่าง ๆ

สถานะที่ศึกษา	คุณสมบัติทางกายภาพ							คุณสมบัติทางเคมี
	สี (X̄)	กลิ่น (X̄)	ความชื้น (X̄)	ความเข้มข้น (X̄)	การตกตะกอน (X̄)	การแยกชั้น (X̄)	ความหนืด (mPa.s) (X̄±S.D.)	ค่า pH (X̄±S.D.)
แสงที่อุณหภูมิห้อง	1	4	1	2	1	1	2,517.57±5.24	6.43±0.25

ตารางที่ 3 การศึกษาความคงตัวของสารสกัดรูปแบบสัดที่สกัดด้วยน้ำมันมะพร้าวในสภาวะต่าง ๆ (ต่อ)

สภาวะที่ศึกษา	คุณสมบัติทางกายภาพ							คุณสมบัติทางเคมี	
	ความคงตัว	สี (X̄)	กลิ่น (X̄)	ความขุ่น (X̄)	ความเข้มข้น (X̄)	การตกตะกอน (X̄)	การแยกชั้น (X̄)	ความหนืด (mPa.s) (X̄±S.D.)	ค่า pH (X̄±S.D.)
ทิบที่อุณหภูมิห้อง	1	4	1	2	1	1	1	2,500.90±3.64	6.43±0.15
ทิบที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	1	4	1	2	1	1	1	2,806.43±8.58	6.40±0.10
แสงที่สภาวะเร่ง	1	4	1	2	1	1	1	2,425.27±6.07	6.57±0.15
ทิบที่สภาวะเร่ง	1	4	1	2	1	1	1	2,494.50±6.98	6.63±0.15

จากผลการศึกษาความคงตัวของสารสกัดรูปแบบสัดที่สกัดด้วยเอทานอลในสภาวะต่าง ๆ ให้ความเข้มข้นของสารสกัดสีเหลืองใส กลิ่นที่ดีตามธรรมชาติ ความขุ่น ความเข้มข้นเล็กน้อย ไม่มีการตกตะกอนและไม่มีการแยกชั้นของสารสกัดและตัวทำละลาย ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 156.17 – 188.97 mPa.s ค่า pH อยู่ในช่วง 5.97 - 6.20 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การศึกษาความคงตัวของสารสกัดรูปแบบสัดที่สกัดด้วยเอทานอลในสภาวะต่าง ๆ

สภาวะที่ศึกษา	คุณสมบัติทางกายภาพ							คุณสมบัติทางเคมี	
	ความคงตัว	สี ($\bar{X}$)	กลิ่น ($\bar{X}$)	ความขุ่น ($\bar{X}$)	ความเข้มข้น ($\bar{X}$)	การตกตะกอน ($\bar{X}$)	การแยกชั้น ($\bar{X}$)	ความหนืด (mPa.s) ($\bar{X} \pm S.D.$)	ค่า pH ($\bar{X} \pm S.D.$)
แสงที่อุณหภูมิห้อง	1	4	1	2	1	1	1	159.27 $\pm$ 7.72	6.07 $\pm$ 0.15
ทิบที่อุณหภูมิห้อง	1	4	1	2	1	1	1	161.93 $\pm$ 2.61	6.03 $\pm$ 0.12
ทิบที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	1	4	1	2	1	1	1	188.97 $\pm$ 6.41	5.97 $\pm$ 0.21
แสงที่สภาวะเร่ง	1	4	1	2	1	1	1	156.17 $\pm$ 3.66	6.20 $\pm$ 0.10
ทิบที่สภาวะเร่ง	1	4	1	2	1	1	1	156.93 $\pm$ 3.04	6.07 $\pm$ 0.15

จากผลการศึกษาความคงตัวของสารสกัดรูปแบบแห้งสกัดด้วยน้ำมันมะพร้าวในสภาวะต่าง ๆ ให้ความเข้มข้นของสารสกัดสีเขียวอมน้ำตาล กลิ่นที่ดีตามธรรมชาติ มีความขุ่นเล็กน้อย ความเข้มข้นมาก การตกตะกอนเล็กน้อย และไม่มีการแยกชั้นของสารสกัดและตัวทำละลาย ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 2706.93 – 3185.63 mPa.s ค่า pH อยู่ในช่วง 6.57 - 6.93 ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การศึกษาความคงตัวของสารสกัดรูปแบบแห้งที่สกัดด้วยน้ำมันมะพร้าวในสภาวะต่าง ๆ

สภาวะที่ศึกษา	คุณสมบัติทางกายภาพ							คุณสมบัติทางเคมี	
	ความคงตัว	สี ($\bar{X}$)	กลิ่น ($\bar{X}$)	ความขุ่น ($\bar{X}$)	ความเข้มข้น ($\bar{X}$)	การตกตะกอน ($\bar{X}$)	การแยกชั้น ($\bar{X}$)	ความหนืด (mPa.s) ($\bar{X} \pm S.D.$)	ค่า pH ($\bar{X} \pm S.D.$)
แสงที่อุณหภูมิห้อง	4	1	2	4	2.67±0.58	1	2,834.63±10.83	6.57±0.12	
ที่บที่อุณหภูมิห้อง	4	1	2	4	2.67±0.58	1	2,807.07±9.06	6.63±0.21	
ที่บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	4	1	2	4	2.67±0.58	1	3,185.63±8.92	6.70±0.20	
แสงที่สภาวะเร่ง	4	1	2	4	2.67±0.58	1	2,706.93±12.06	6.77±0.06	
ที่บที่สภาวะเร่ง	4	1	2	4	2.67±0.58	1	2,721.77±11.80	6.93±0.15	

จากผลการศึกษาความคงตัวของสารสกัดลูกประคบสมุนไพรแบบแห้งสกัดด้วยเอทานอลในสภาวะต่าง ๆ พบว่า สูตรที่นำมาสกัดให้ความเข้มข้นของสารสกัด ให้ผลสีเขียวอมน้ำตาล กลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของสมุนไพร ไม่มีความขุ่น ความเข้มข้นมาก มีการตกตะกอนปานกลาง และไม่มีการแยกชั้นของสารสกัดและตัวทำละลาย ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 676.90 – 709.53 mPa.s ค่า pH อยู่ในช่วง 5.97 - 6.10 ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การศึกษาความคงตัวของสารสกัดรูปแบบแห้งที่สกัดด้วยเอทานอลในสภาวะต่าง ๆ

สภาวะที่ศึกษา	คุณสมบัติทางกายภาพ							คุณสมบัติทางเคมี	
	ความคงตัว	สี ($\bar{X}$)	กลิ่น ($\bar{X}$)	ความขุ่น ($\bar{X}$)	ความเข้มข้น ($\bar{X}$)	การตกตะกอน ($\bar{X}$)	การแยกชั้น ($\bar{X}$)	ความหนืด (mPa.s) ($\bar{X} \pm S.D.$)	ค่า pH ($\bar{X} \pm S.D.$)
แสงที่อุณหภูมิห้อง		4	4	1	4	2	1	682.13 $\pm$ 8.56	5.97 $\pm$ 0.12
ที่บที่อุณหภูมิห้อง		4	4	1	4	2	1	683.60 $\pm$ 4.69	6.00 $\pm$ 0.10
ที่บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส		4	4	1	4	2	1	709.53 $\pm$ 10.04	5.97 $\pm$ 0.21
แสงที่สภาวะเร่ง		4	4	1	4	2	1	676.90 $\pm$ 3.75	6.10 $\pm$ 0.20
ที่บที่สภาวะเร่ง		4	4	1	4	2	1	680.03 $\pm$ 2.77	5.93 $\pm$ 0.15

อภิปรายผลการวิจัย

1. การสกัดสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ถึงแม้จะใช้อุณหภูมิของจุดเดือดตัวทำละลายในการสกัด แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อสารสำคัญน้อยมาก เนื่องจากใช้ระยะเวลาการสกัดที่สั้น สอดคล้องกับงานวิจัยของพรพิมล มูลแก้ว [8] พบว่าการสกัดสารเบต้ากลูแคนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มการสกัดสารได้ดีและไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีกายภาพและปริมาณสารสำคัญ เนื่องจากใช้ระยะเวลาการสกัดที่สั้น อีกทั้งคลื่นไมโครเวฟถูกนำส่งโดยตรงไปยังสมุนไพรโดยทำให้อุณหภูมิหรือโมเลกุลที่มีขั้วเสียดสีกันจนเกิดความร้อนขึ้น ต่างจากวิธีอื่นที่สกัดกระบวนการสกัดแบบดั้งเดิมที่ใช้เวลาในการสกัดนาน อีกทั้งพลังงานจะถ่ายเทไปยังสมุนไพรโดยการพาความร้อน การนำความร้อน และการแผ่รังสี ผ่านพื้นผิวภายนอกของสมุนไพรทำให้สารสำคัญสลายตัวได้ง่ายสอดคล้องกับงานวิจัยของ อารีรัตน์ ซื่อดี [4]

2. การสกัดสารจากลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยน้ำมันมะพร้าวและเอทานอล โดยใช้กรรมวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จำนวน 4 รูปแบบ คือ สมุนไพรแบบสดสกัดด้วยน้ำมันมะพร้าว (1) สมุนไพรแบบสดสกัดด้วยเอทานอล (2) สมุนไพรแบบแห้งการสกัดด้วยน้ำมันมะพร้าว (3) และ สมุนไพรแบบแห้งสกัดด้วยเอทานอล (4) ตามลำดับ จากนั้นสังเกตลักษณะทางกายภาพและค่า pH พบว่ารูปแบบที่ดีที่สุด คือ รูปแบบที่ (4) การสกัดด้วยเอทานอลโดยใช้สมุนไพรแบบแห้ง ซึ่งสารสกัดที่ได้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน สีเขียวอมน้ำตาลสม่ำเสมอ มีกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของสมุนไพร ไม่มีความขุ่น

มีความเข้มข้นสูง มีการตกตะกอนปานกลาง ไม่มีการแยกชั้นของสารสกัดและตัวทำละลาย มีค่า pH ที่เหมาะสมกับผิว มีความหนืดเล็กน้อยและสามารถนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับผิวได้เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ (1), (2) และ (3) ซึ่งรูปแบบสมุนไพรแห้งที่นำมาบดให้เป็นผงจะเป็นการลดขนาดอนุภาคเป็นการเพิ่มสัมผัสพื้นผิวระหว่างตัวสมุนไพรและตัวทำละลาย ทำให้ตัวสมุนไพรและตัวทำละลายสัมผัสกันได้ดีขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิภาวรรณ นิละพงษ์ และคณะ [9]

3. การศึกษาความคงตัวของสารจากลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยน้ำมันมะพร้าวและเอทานอลจากการทดสอบผลของสารสกัดต่อแสง ผลของสารสกัดต่ออุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และผลของสารสกัดต่อสภาวะแรงอุณหภูมิต่ำสลับอุณหภูมิสูง พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปลักษณะของสารสกัดยังคงสภาพเดิม ไม่มีการระเหย น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันพืชชนิดอิ่มตัวมีวิตามิน E สูงช่วยต้านอนุมูลอิสระเมื่อผ่านกระบวนการสกัดด้วยความร้อนจะทนต่อความร้อน ทำให้สารสกัดที่ได้มีความคงตัวสูง ไม่เหม็นหืน สอดคล้องกับงานวิจัยของภานรินทร์ ปรีชาวัฒนากร [10] ส่วนเอทานอลสามารถสกัดสารสำคัญได้ทั้งสารชนิดมีขี้ผึ้งและไม่มีขี้ผึ้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pandey และ Tripathi [11] ซึ่งการเลือกใช้ตัวทำละลายให้เหมาะสมนั้น นอกจากจะสามารถละลายสารสำคัญที่ต้องการสกัดได้ดีแล้ว ยังต้องไม่ระเหยง่ายหรือยากจนเกินไป ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัดไม่เป็นพิษและราคาไม่แพงมาก นอกจากการเลือกใช้ตัวทำละลายให้เหมาะสมแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการสกัด คือ ขนาดอนุภาคของสมุนไพรที่จะนำมาสกัด สัดส่วนของสมุนไพรกับปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดสอดคล้องกับงานวิจัยของวิภาวรรณ นิละพงษ์และคณะ [12] จากผลการศึกษาที่ได้จึงสรุปได้ว่าสารสกัดทุกรูปแบบในทุกสภาวะสารสกัดมีความคงตัว

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ ได้มีการพัฒนากรรมวิธีการสกัดสารจากลูกประคบสมุนไพรไทยด้วยวิธี MAE ในรูปแบบสมุนไพรสดและรูปแบบแห้ง และใช้ตัวทำละลายสองชนิด คือ น้ำมันมะพร้าวและเอทานอล จากผลการศึกษาพบว่า การสกัดสมุนไพรแบบแห้งด้วยเอทานอลให้สารสกัดความเข้มข้นสูง ให้สารสกัดมีสีเขียวน้ำตาลสม่ำเสมอ มีกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของสมุนไพร มีความหนืดเล็กน้อย มีค่า pH ที่เหมาะสมกับผิว มีความหนืดเล็กน้อย มีความคงตัวที่ดี ที่อาจจะสามารถนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับผิวสำหรับบรรเทาอาการปวดเมื่อยได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา สาขาวิชาการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง มอบทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิศรุต บุตรอากาศ วาสนา เนตรวิระ พัฒนสิน อารีอุดมวงศ์ สุจิตรา กล้วยหอมทอง เพชรรัตน์ แก้วดวงดี และพินันท์ พันมงคล. (2562). ประสิทธิภาพยาหม่องพริกต่อระดับความปวด ระดับขีดเริ่มของอาการปวดและองค์การเคลื่อนไหวของคอในผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลังส่วนบนจากกลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อและพังผืด. *วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก*, 17(2), 229-238.
- [2] วิษณุ กัมมรทิพย์. (2550). *ปวดคอ*. เวชศาสตร์ฟื้นฟูสำหรับเวชปฏิบัติทั่วไป. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เอ็น พี เพรส.
- [3] Azwanida, N. N. (2015). A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Medicinal & Aromatic Plants*, 4(3), 1-6.
- [4] อาริรัตน์ ชื้อดี. (2560). การใช้คลื่นไมโครเวฟสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพร. *วารสารวิทยาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซียฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 11(1), 2-4.
- [5] ชาฟารี มะมะ นัสรีย์ แวมะ มูฮำหมัดเปาซี คาเร้ง อนัส เบญจมาตร ศิริรัตน์ ศรีรักษา และพิรุณรัตน์ แซ่ลิ้ม. (2565). การศึกษาความคงตัวและฤทธิ์เบื้องต้นของสารสกัดจากตำรับสมุนไพรไทยในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคบนผิวหนัง. *วารสารหมอยาไทยวิชัย*, 8(1), 115-128.
- [6] ศศิประภา ชิตรัตน์. (2561). ความคงสภาพของยา (Drug stability). [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://ccpe.pharmacycouncil.org/showfile.php?file=484> (25 พฤศจิกายน 2564).
- [7] เสาวนีย์ กระสานตีสข และหทัยชนก รุณรงค์. (2549). การพัฒนาตำรับโลชั่นบำรุงผิว. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/service-research-special-abstract.php?num=7&year=2549> (7 มกราคม 2565).
- [8] พรพิมล มูลแก้ว. (2561). *การสกัดสารเบต้ากลูแคนจากเห็ดนางฟ้าภูฐานด้วยคลื่นไมโครเวฟ*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [9] วิวารณ นิละพงษ์ บุชบา ผลโยธิน และวันแข็ง สิทธิกิจโยธิน. (2562). การสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรไทย: แบบผงแห้งและแบบสกัด. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 29(1), 157-166.
- [10] ภาณรินทร์ ปรีชาวัฒนากร. (2560). การสกัดน้ำมันจากไพลเพื่อผลิตน้ำมันนวดไพลและยาหม่องไพลสด. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://it.mju.ac.th/articleDetail.aspx?qid=753> (5 กันยายน 2565).
- [11] Pandey, A., & Tripathi, S. (2014). Concept of standardization, extraction and pre phytochemical screening strategies for herbal drug. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2(5), 115-119.
- [12] วิวารณ นิละพงษ์ บุชบา ผลโยธิน และวันแข็ง สิทธิกิจโยธิน. (2561). การสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรไทย: การสกัดด้วยไอน้ำและการสกัดด้วยตัวทำละลาย. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 28(4), 901-910.

ฟองน้ำทะเลและสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อยู่ร่วมกับฟองน้ำ บริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล

Marine Sponges and Their Associated Macrofauna at Koh Sarai, Satun Province

กัญญาณัฐ เทพยศ อาสีพะ เจมู นุชจรินทร์ เพชรเกลี้ยง และ สุธินี หิมีย^{*}
Kanyanat Thepyot, Haseefah Gehmu, Nutjarin Petkliang & Sutinee Himyi^{*}

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
Program in Biology, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University

Submitted 30/3/2023 ; Revised 29/5/2023 ; Accepted 29/6/2023

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและการกระจายของฟองน้ำทะเลและสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยร่วมกับฟองน้ำทะเลบริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 5 สถานี บริเวณหาดหินและหาดทรายปนโคลน จำนวน 3 ครั้ง ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และสิงหาคม พ.ศ. 2565 ผลการศึกษาพบฟองน้ำทะเลทั้งหมด 10 วงศ์ 11 สกุล 14 ชนิด บริเวณหาดหินพบฟองน้ำชนิดเด่นคือ ฟองน้ำคืบคลานสีม่วง (*Callyspongia* sp.) ฟองน้ำสีน้ำเงิน (*Neopetrosia* sp.) และฟองน้ำสาหร่าย (*Haliclona* (*Gellius*) *cymaeformis*) พบสัตว์หน้าดินทั้งหมด 36 วงศ์ กลุ่มเด่นได้แก่ แอมฟิพอดวงศ์ Aoridae และหอยฝาเดียววงศ์ Cerithiidae โดยพบสัตว์หน้าดินอาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำสีม่วงและฟองน้ำสาหร่ายมากที่สุด ส่วนบริเวณหาดทรายปนโคลนพบฟองน้ำสีส้ม (*Tedania* (*Tedania*) sp.) และฟองน้ำสีเขียวอ่อน (*Haliclona* sp.1 “green”) เป็นชนิดเด่นที่มีการแพร่กระจายมากที่สุดและ พบสัตว์หน้าดินทั้งหมด 46 วงศ์ ส่วนใหญ่เป็นไส้เดือนทะเลวงศ์ Nereididae และ Syllidae โดยพบสัตว์หน้าดินอาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำสีส้มและฟองน้ำสีเขียวอ่อนมากที่สุด ส่วนฟองน้ำฝักตัวสีแดง (*Mycale* (*Mycale*) *grandis*) ซึ่งเป็นฟองน้ำที่พบได้ทุกแหล่งอาศัย มีดาวเปราะวงศ์ Ophiactidae เข้าไปอาศัยอยู่ภายในอย่างหนาแน่น ทั้งนี้พบว่าองค์ประกอบชนิดของสัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำในแหล่งอาศัยแต่ละแบบและช่วงเวลามีความแตกต่างกัน ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของฟองน้ำในแง่ของการเป็นแหล่งอาศัยให้กับสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่หลายชนิด

คำสำคัญ: ฟองน้ำทะเล สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ เกาะสาหร่าย

^{*}ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: sutinee.hi@skru.ac.th

Abstract

This study aimed to investigate the species and distribution of marine sponges and their associated benthic macrofauna living in the sponge at Koh Sarai, Satun Province. The samples were collected at 5 stations on the rocky shore and muddy sand, 3 times during February, May, and August 2022. The results showed 14 species, 11 genera from 10 families of marine sponges. *Callyspongia* sp., *Neopetrosia* sp., and *Haliclona* (*Gellius*) *cymaeformis* were the most dominant sponges on the rocky shore. There were 36 families of macrofauna associated with them, mostly amphipods (Aoridae) and gastropods (Cerithiidae). These macrofauna were strongly associated with *Callyspongia* sp. and *H. (G.) cymaeformis*, whereas *Tedania* (*Tedania*) sp. and *Haliclona* sp.1 “green” were the most abundant on muddy sand which were closely associated with the 46 families of macrofauna (mostly Nerididae and Syllidae from class Polychaeta). While the high density of brittle stars, Ophiactidae were mainly found inhabiting massive of *Mycale* (*Mycale*) *grandis* Gray, 1867 which were found in all habitats. However, the composition of macrofauna associated with the sponge reefs in different habitat types and periods was quite different. Therefore, this study indicates the major role of sponges as significant habitat for the diverse macrofauna.

Keyword: marine sponges, macrofauna, Koh Sarai

บทนำ

ฟองน้ำ (sponge) จัดเป็นสัตว์เกาะติดกลุ่มหนึ่งที่พบได้ทั่วไป โดยลงเกาะตามโขดหิน ซากปะการัง และพื้นทะเล ส่วนใหญ่อยู่ในทะเลเนื่องจากในทะเลมีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการสร้างหนามฟองน้ำ (spicule) [1] ฟองน้ำดำรงชีวิตด้วยการกรองกินอาหารจากมวลน้ำในทะเล จึงถือเป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในแง่ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำ ลดปริมาณตะกอนสารอินทรีย์ในน้ำ ซึ่งเปรียบเสมือนกับเครื่องกรองน้ำทางชีวภาพที่สำคัญในทะเล [2] รวมทั้งเป็นแหล่งสะสมจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำซึ่งเป็นแหล่งของสารผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติหลายชนิด [3] ฟองน้ำหลายชนิดเป็นอาหารของปลาและหาคทะเล เช่น ปลาสิ่นสมุทร *Pomacanthus zonipectus* และปลาเทวดา *Holacanthus passer* ซึ่งกินฟองน้ำ 26 ชนิดเป็นอาหาร โดยฟองน้ำที่ถูกกินบ่อยที่สุดคือ *Haliclona caerulea* และ *Spirastrella decumbens* ส่วนหาคทะเล 5 ชนิดกินฟองน้ำถึง 19 ชนิดเป็นอาหาร ส่วนใหญ่กินฟองน้ำ *H. caerulea* และ *Tethya taboga* โดยพบเป็นจำนวนมากในกระเพาะอาหารของหาคทะเล [4] นอกจากนี้ฟองน้ำทะเลยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยย่อย (microhabitat) ที่สำคัญให้กับสิ่งมีชีวิตหลายชนิดได้เข้ามาอาศัยและหลบภัยจากผู้ล่า [3] โดยเฉพาะกลุ่มสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ (macrofauna) ที่มีขนาดตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตรขึ้นไป พบได้ทั้งที่ฝังในตะกอนดินหรือเกาะติดบนพื้นผิวต่างๆ บางชนิดมีการเคลื่อนที่บนพื้นท้องทะเล เช่น หนอนถั่ว ไส้เดือนทะเล ปู หอยสองฝา หอยฝาเดียว ดาวทะเล เม่นทะเล และปลิงทะเล เป็นต้น สัตว์หน้าดินเหล่านี้มีบทบาทในการเป็นตัวเชื่อมโยงสายใยอาหารในระบบนิเวศจากการเป็นผู้บริโภคพืช สัตว์ และตะกอนอินทรีย์ และยังเป็นอาหารสำคัญสำหรับสัตว์น้ำหลายชนิด และความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในบริเวณใดบริเวณหนึ่งในทะเลเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงสภาพของระบบนิเวศในบริเวณนั้น [5]

จังหวัดสตูลมีระบบนิเวศชายฝั่งทะเลหลายแบบทั้งแนวปะการัง ภูเขาทะเล ป่าชายเลน หาดเลน หาดทราย เป็นต้น โดยมีรายงานพบความหลากหลายทางชีวภาพค่อนข้างสูง รวมถึงกลุ่มสัตว์หน้าดินทะเลที่มีรายงานการแพร่กระจายตลอดแนวชายฝั่งสตูล กลุ่มเด่นที่พบ ได้แก่ กลุ่มปูก้ามดาบ ปูแสม ไส้เดือนทะเล มอลลัสก์ และครัสเตเชีย [6], [7] ส่วนฟองน้ำทะเลมีรายงานพบทั้งหมด 13 อันดับ 29 วงศ์ 41 สกุล 72 ชนิด ในบริเวณแนวปะการังหมู่เกาะตะรุเตาและหมู่เกาะอาดัง-ราวี จังหวัดสตูล [8] การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดพื้นที่ศึกษาบริเวณชายฝั่งของหมู่เกาะสาหร่าย ประกอบด้วยเกาะยะระโตนใหญ่และยะระโตน้อย ซึ่งเป็นเกาะที่อยู่ในตำบลเกาะสาหร่าย อำเภอเมือง จังหวัดสตูล เดิมเรียกว่าเกาะโตน มาจากภาษามลายู "ระโตน" หรือ "ลาโตน" แปลว่า สาหร่ายทะเล ซึ่งมีมากที่เกาะแห่งนี้ "เกาะสาหร่าย" จึงเป็นชื่อที่รู้จักและเรียกกันโดยทั่วไป [9] จากการสำรวจเบื้องต้นพบว่าเกาะสาหร่ายมีระบบนิเวศชายฝั่งทะเลหลายแบบทั้งแนวภูเขาทะเล หาดหิน ป่าชายเลน แนวปะการัง หาดทรายปนโคลน ซึ่งบางบริเวณมีสาหร่ายทะเลขึ้นปกคลุม บางบริเวณมีฟองน้ำทะเลหลายชนิดแพร่กระจายอยู่เป็นจำนวนมาก บางชนิดมีการสร้างโคลนแผ่ขยายไปตามพื้นทะเลเป็นบริเวณกว้าง กลายเป็นแนวฟองน้ำทะเลซึ่งมีความโดดเด่นของเกาะสาหร่าย และเป็นแหล่งอาศัยที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำในบริเวณนี้ ทั้งในแง่ของการเป็นแหล่งอาหาร แหล่งหลบภัย วางไข่ และอนุบาลตัวอ่อน การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและการกระจายของฟองน้ำทะเลและสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำทะเลบริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล ซึ่งยังมีข้อมูลน้อยมาก ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้เป็นความรู้ใหม่ที่สามารถใช้เป็นข้อมูลในการประเมินความสภาพแวดล้อมของระบบนิเวศชายฝั่ง รวมถึงเป็น

ฐานข้อมูลทรัพยากรในพื้นที่ให้ชุมชนได้ใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการเป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำเศรษฐกิจของชุมชนและใช้ประโยชน์จากความสวยงามของแนวฟองน้ำทะเลในการท่องเที่ยวเชิงนิเวศและการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

เพื่อระบุชนิดและการกระจายของฟองน้ำทะเลและสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำทะเลบริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

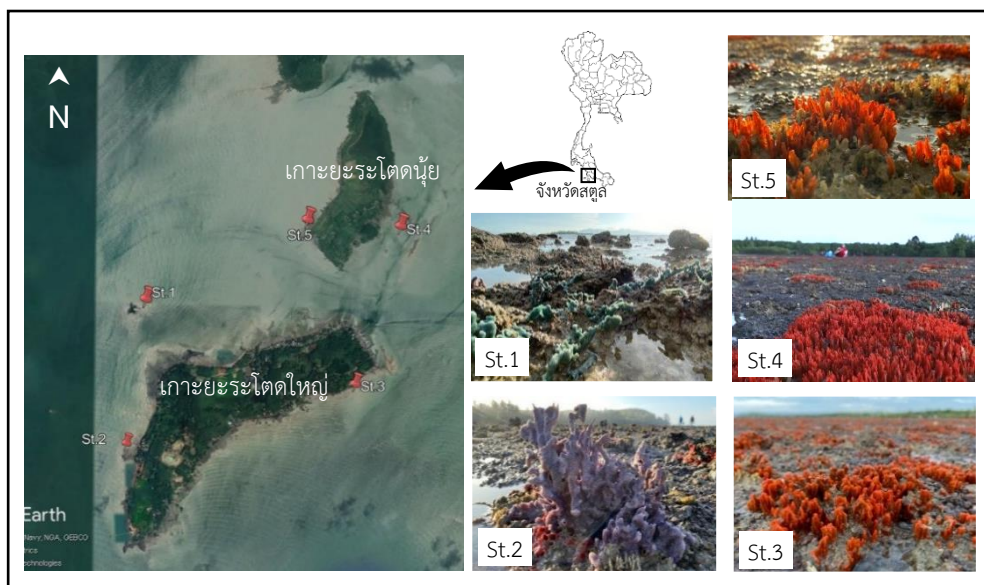
กำหนดพื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณเกาะสาหร่าย จำนวน 5 สถานี โดยมีพิกัดของแต่ละสถานียังตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย สถานีที่ 1 ถึง 3 อยู่ในบริเวณชายฝั่งของเกาะยะระโดตใหญ่ และสถานีที่ 4 ถึง 5 อยู่ในบริเวณชายฝั่งของเกาะยะระโดตน้อย ลักษณะพื้นที่ของสถานีที่ 1 และ 2 เป็นหาดหิน ส่วนสถานีที่ 3, 4 และ 5 มีลักษณะเป็นหาดทรายปนโคลน ดังภาพที่ 1 เก็บตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง ในเดือนกุมภาพันธ์ (ฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ) พฤษภาคม (ปลายฤดูร้อน) และสิงหาคม (ฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้) พ.ศ. 2565

ตารางที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่างและพิกัดภูมิศาสตร์บริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล

สถานีเก็บตัวอย่าง	ลักษณะพื้นที่	พิกัดภูมิศาสตร์
เกาะยะระโดตใหญ่		
สถานี 1 (St.1)	หาดหิน	6°40'15.68"N, 99°50'39.96"E
สถานี 2 (St.2)	หาดหิน	6°39'35.70"N, 99°50'37.10"E
สถานี 3 (St.3)	ทรายปนโคลน	6°39'41.20"N, 99°51'47.60"E
เกาะยะระโดตน้อย		
สถานีที่ 4 (St.4)	ทรายปนโคลน	6°40'44.70"N, 99°52'3.30"E
สถานีที่ 5 (St.5)	ทรายปนโคลน	6°40'47.80"N, 99°51'29.01"E

2. การเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่

เก็บตัวอย่างโดยการเดินสำรวจในช่วงน้ำลงต่ำสุด สุ่มเลือกฟองน้ำที่มีโคโลนีขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร สถานีละ 3 โคโลนี ใช้พลั่วขุดตัดใต้ฐานของฟองน้ำ นำฟองน้ำใส่ในถัง จากนั้นเติมน้ำทะเลที่ผ่านการกรองแล้วใส่ถัง หยดฟอร์มาลีนเข้มข้น 2-3 หยด เพื่อให้สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อยู่ในฟองน้ำเคลื่อนที่ออกมา แล้วนำน้ำในถังมากรองผ่านถุงกรองขนาด 315 ไมครอน นำตัวอย่างทั้งหมดที่ค้างอยู่ในถุงกรองแช่ในกระป๋องที่บรรจุสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) ประมาณ 10-15 นาที เพื่อให้สัตว์สลบหรือชา จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดที่ค้างอยู่ในถุงกรองใส่ในขวดเก็บตัวอย่างและเก็บรักษาสภาพตัวอย่างด้วยฟอร์มาลีน 10% ที่เป็นกลาง เพื่อนำมาจำแนกภายใต้กล้องสเตอริโอ โดยจำแนกสัตว์หน้าดินในระดับวงศ์ ตามวิธีการจำแนกของ Barnard [11], เสาวภา อังสุภาณี และสุธินี หิมา [12], เสาวภา อังสุภาณี และเอกนรินทร์ รอดเจริญ [13]



ภาพที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่างบริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล [10]

3. การเก็บตัวอย่างฟองน้ำทะเลเพื่อจำแนกชนิดของฟองน้ำ

นำตัวอย่างฟองน้ำทะเลหลังจากแยกสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ออกแล้ว บรรจุในพลาสติกนำไปแช่ในถังน้ำแข็งเพื่อรักษาสภาพของฟองน้ำ จากนั้นนำกลับมาจำแนกชนิดของฟองน้ำในห้องปฏิบัติการ โดยตัดแปลงจากวิธีของ [1] ด้วยการตัดเนื้อเยื่อตัวอย่างฟองน้ำบริเวณผิวฟองน้ำและตัดตามขวาง เพื่อศึกษาลักษณะ องค์ประกอบ และโครงสร้างการจัดเรียงตัวของหนามฟองน้ำและเส้นใยฟองน้ำ จากนั้นตัดชิ้นส่วนฟองน้ำนำไปย้อมชิ้นส่วนเนื้อเยื่อของฟองน้ำโดยการหยดสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) เพื่อนำไปศึกษาลักษณะของหนามฟองน้ำภายใต้กล้องจุลทรรศน์

4. การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ตรวจวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ วัดความเค็มน้ำโดยใช้แฟร็กโทมิเตอร์แบบพกพา (Master-S/Mill M, Atago) วัดพีเอชของน้ำทะเลโดยใช้พีเอชมิเตอร์ (SmartSensor, PH818) วัดค่าการนำไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำทะเลโดยใช้เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าแบบพกพา (รุ่น ET-01, EC-Series) วัดพีเอชของตะกอนดินและอุณหภูมิของตะกอนดินโดยเครื่องวัดพีเอชและอุณหภูมิดินแบบพกพา (Soil pH meter S20) รวมทั้งเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณฐานของโคลนฟองน้ำ โดยตัดใส่ถุงพลาสติกเก็บในที่เย็น เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์วัตถุในตะกอนตามวิธีที่ตัดแปลงมาจาก Walkley และ Black [14]

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละสถานีและแต่ละเดือนที่เก็บตัวอย่าง ด้วยการวิเคราะห์ one-way ANOVA ทำการทดสอบหลังการวิเคราะห์โดยใช้วิธีของดันแคน (Duncan's new Multiple Range Test)

2. วิเคราะห์ความคล้ายคลึงของประชาคมสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในแต่ละสถานีและเดือนที่เก็บตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์ cluster analysis (CA) โดยใช้วิธีการจัดกลุ่มแบบไม่ถ่วงน้ำหนักพร้อมค่าเฉลี่ยเลขคณิต (UPGMA) โดยการแปลงข้อมูลเป็น $\log(x+1)$ ก่อนนำไปวิเคราะห์

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาเห็นชอบจากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงสัตว์และใช้สัตว์ของสถาบัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รหัสโครงการ 2022-NAT04-031

ผลการวิจัย

1. ชนิดและการแพร่กระจายของฟองน้ำทะเลบริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล

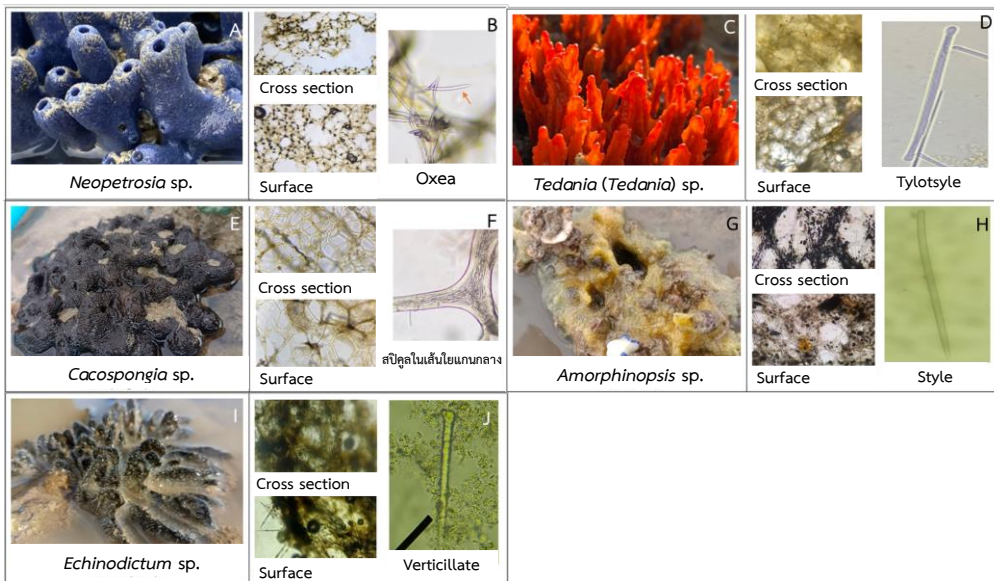
จากการเก็บตัวอย่างฟองน้ำทะเลบริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล รวม 5 สถานี ที่มีลักษณะแหล่งที่อยู่ต่างกันสองลักษณะคือ สถานีที่ 1 และ 2 เป็นหาดหิน ส่วนสถานีที่ 3 ถึง 5 เป็นหาดทรายปนโคลน สามารถจำแนกฟองน้ำทะเลที่พบได้ 5 อันดับ 10 วงศ์ 11 สกุล และ 14 ชนิด (ตารางที่ 2) ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเนื้อเยื่อและหนามฟองน้ำที่แตกต่างกันในแต่ละอันดับดังตัวอย่างในภาพที่ 2 โดยฟองน้ำทะเลในอันดับ Haplosclerida มีจำนวนชนิดมากที่สุด คือ 7 ชนิด และพบแพร่กระจายได้ทั่วในพื้นที่เกาะสาหร่าย โดยพบมากบริเวณหาดหิน รองลงมาคือ อันดับ Poecilosclerida จำนวน 3 ชนิด ซึ่งพบว่าฟองน้ำทะเลมีการแพร่กระจายแตกต่างกันตามลักษณะแหล่งที่อยู่ดังนี้

บริเวณหาดหิน พบฟองน้ำทะเลทั้งหมด 8 วงศ์ 11 ชนิด (ตารางที่ 2) โดยมีฟองน้ำสีน้ำเงิน *Neopetrosia* sp. ฟองน้ำฝักตัวสีแดง *Mycale* (*Mycale*) *grandis* Gray, 1867 ฟองน้ำสาหร่าย *Haliciona* (*Gellius*) *cymaeformis* Esper, 1794 ฟองน้ำเคลือบสีม่วง *Callyspongia* sp. ฟองน้ำสีเขียว *Petrosia* (*Petrosia*) sp. “green” และฟองน้ำยัดหยุ่นสีดำ *Cacospongia* sp. เป็นฟองน้ำที่มีการแพร่กระจายมากที่สุด ซึ่งสามารถพบได้ทุกเดือนที่มีการเก็บตัวอย่าง รองลงมาคือ ฟองน้ำหนาม *Dysidea* sp. และฟองน้ำขนสีดำ *Echinodictyum* sp. พบได้ในเดือนกุมภาพันธ์และสิงหาคม ในขณะที่ฟองน้ำสีส้มอ่อน *Clathria* (*Thalysias*) *tingens* Hooper, 1996 พบได้เฉพาะเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนฟองน้ำสีดำ *Haliciona* sp.2 “Black” พบได้เฉพาะเดือนพฤษภาคม และฟองน้ำสีฟ้าอ่อน *Petrosia* (*Petrosia*) sp. “blue” พบได้เฉพาะเดือนสิงหาคม

บริเวณหาดทรายปนโคลน พบฟองน้ำทะเลทั้งหมด 6 วงศ์ 6 ชนิด (ตารางที่ 2) โดยมีฟองน้ำสีส้ม *Tedania* (*Tedania*) sp. เป็นฟองน้ำที่มีการแพร่กระจายมากที่สุดและแผ่ขยายเป็นวงกว้าง และมีฟองน้ำชนิดอื่นขึ้นปะปน ได้แก่ ฟองน้ำสีเขียวอ่อน *Haliciona* sp.1 “green” ฟองน้ำฝักตัวสีแดง *M.* (*M.*) *grandis* ฟองน้ำสีเทาเขียว *Amorphinopsis* sp. และฟองน้ำหนาม *Dysidea* sp. สามารถพบได้ทุกเดือนที่มีการเก็บตัวอย่าง ในขณะที่ฟองน้ำเคลือบสีม่วง *Callyspongia* sp. พบได้เฉพาะเดือนกุมภาพันธ์

ตารางที่ 2 ชนิดและการกระจายของฟองน้ำทะเลบริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล

อันดับ	วงศ์	ชนิด	แหล่งอาศัย					
			หาดหิน			หาดทรายปนโคลน		
			ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.	ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.
Haplosclerida	Petrosiidae	<i>Neopetrosia</i> sp.	/	/	/			
		<i>Petrosia</i> (<i>Petrosia</i>) sp.1 “green”	/	/	/			
		<i>Petrosia</i> (<i>Petrosia</i>) sp.2 “blue”			/			
	Callenyspongiidae	<i>Callyspongia</i> sp.	/	/	/	/		
	Chalinidae	<i>Haliclona</i> (<i>Gellius</i>) <i>cymaeformis</i> Esper, 1794	/	/	/			
		<i>Haliclona</i> sp.1 “green”				/	/	/
<i>Haliclona</i> sp.2 “Black”			/					
Pecilosclerida	Tedaniidae	<i>Tedania</i> (<i>Tedania</i>) sp.				/	/	/
	Mycalidae	<i>Mycale</i> (<i>Mycale</i>) <i>grandis</i> Gray, 1867	/	/	/	/	/	/
	Microcionidae	<i>Clathria</i> (<i>Thalysias</i>) <i>tingens</i> Hooper, 1996	/					
Dictyoceratida	Thorectidae	<i>Cacospongia</i> sp.	/	/	/			
	Dysideidae	<i>Dysidea</i> sp.	/		/	/	/	/
	Halichondriidae	<i>Amorphinopsis</i> sp.				/	/	/
Suberitida								
Axinellida	Raspailiidae	<i>Echinodictyum</i> sp.	/		/			
จำนวนชนิด			9	7	9	6	5	5



ภาพที่ 2 ตัวอย่างฟองน้ำและลักษณะโครงสร้างของเนื้อเยื่อและหนามฟองน้ำในอันดับ Haplosclerida (A, B) อันดับ Pecilosclerida (C, D) อันดับ Dictyoceratida (E, F) อันดับ Suberitida (G, H) และอันดับ Axinellida (I, J)

2. สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อยู่ร่วมกับฟองน้ำทะเล บริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล

จากการศึกษาสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยร่วมกับฟองน้ำทะเล พบทั้งหมด 8 ไฟลัม 50 วงศ์ ได้แก่ ไฟลัมไนดาเรีย 1 วงศ์ ไฟลัมแพลทีเฮลมินธิส 1 วงศ์ ไฟลัมนีเมอเทีย 1 วงศ์ ไฟลัมมอลลัสกา 4 วงศ์ ไฟลัมแอนนิลิดา 15 วงศ์ ไฟลัมไซปันคูลา 3 วงศ์ ไฟลัมอาร์โทรพอดา 25 วงศ์ และไฟลัมเอคไคโนเดอรมาตา 6 วงศ์ (ตารางที่ 3) สัตว์หน้าดินกลุ่มเด่นที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำทะเล 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มครัสตาเซียนและกลุ่มไส้เดือนทะเล โดยฟองน้ำสีส้ม *Tedania (Tedania) sp.* ซึ่งพบมากในบริเวณหาดทรายปนโคลน พบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยอยู่ร่วมกันจำนวน 25 วงศ์ มีความหนาแน่นเฉลี่ยในช่วง 30.8 - 61.3 ตัวต่อโคลน ฟองน้ำสีเขียวอ่อน *Haliclona sp.1* “green” พบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่จำนวน 22 วงศ์ มีความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 19.5 - 83.0 ตัวต่อโคลน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไส้เดือนทะเลวงศ์ Nereididae และ Syllidae ฟองน้ำสีม่วง *Callyspongia sp.* พบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่จำนวน 22 วงศ์ มีความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 19.0 - 38.5 ตัวต่อโคลน โดยมีแอมฟิพอดวงศ์ Aoridae และหอยฝาเดียววงศ์ Cerithiidae เป็นกลุ่มเด่น เช่นเดียวกับฟองน้ำสาหร่าย *H. (G.) cymaeformis* ที่พบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่จำนวน 20 วงศ์ มีความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.0 - 44.5 ตัวต่อโคลน และมีแอมฟิพอดวงศ์ Aoridae และหอยฝาเดียววงศ์ Cerithiidae เป็นกลุ่มเด่น เมื่อพิจารณาในแต่ละลักษณะแหล่งอาศัยพบการกระจายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำทะเล ดังนี้

แนวฟองน้ำบริเวณหาดหิน (สถานที่ 1 และ 2) พบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อยู่ร่วมกับฟองน้ำทะเลทั้งหมด 38 วงศ์ (ตารางที่ 3) ส่วนใหญ่เป็นครัสตาเซียนจำนวน 20 วงศ์ ไส้เดือนทะเล 9 วงศ์ และดาวเปราะ 3 วงศ์ กลุ่มครัสตาเซียนที่พบมากที่สุด คือ วงศ์ Aoridae มีความหนาแน่นเฉลี่ย 20.8 ตัวต่อโคลน ซึ่งส่วนใหญ่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำสาหร่าย *H. (G.) cymaeformis* และฟองน้ำสีม่วง *Callyspongia sp.* รองลงมาคือ ไส้เดือนทะเลวงศ์ Nereididae พบความหนาแน่นเฉลี่ย 10.0 ตัวต่อโคลน ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำสีฟ้าอ่อน *Petrosia (Petrosia) sp.2* “blue” และฟองน้ำสาหร่าย *H. (G.) cymaeformis* ขณะที่ดาวเปราะวงศ์ Ophiactidae เข้าไปอาศัยอยู่ภายในและเกาะตัวกันแน่นในโคลนของฟองน้ำฝั่งสีแดง *M. (M.) grandis* (ภาพที่ 3A-B) โดยพบความหนาแน่นเฉลี่ย 53.0 ตัวต่อโคลน ส่วนปูวงศ์ Porcellanidae และกระต่ายทะเลวงศ์ Discodorididae พบว่าเข้ามาอาศัยในฟองน้ำสีน้ำเงิน *Neopetrosia sp.* (ภาพที่ 3E-F) นอกจากนี้ยังพบไส้เดือนทะเลวงศ์ Sabellidae ที่สร้างท่ออาศัยยึดเกาะกับฐานของฟองน้ำสีม่วง *Callyspongia sp.* (ภาพที่ 2H-I)

แนวฟองน้ำบริเวณหาดทรายปนโคลน (สถานที่ 3, 4 และ 5) พบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยร่วมกับฟองน้ำทะเลทั้งหมด 46 วงศ์ (ตารางที่ 3) ส่วนใหญ่พบเป็นครัสตาเซียนจำนวน 18 วงศ์ และไส้เดือนทะเลพบ 14 วงศ์ ส่วนหอยสองฝา หนอนถั่ว และดาวเปราะพบจำนวน 2 วงศ์ กลุ่มครัสตาเซียนที่พบมากที่สุด คือ วงศ์ Aoridae มีความหนาแน่นเฉลี่ย 35.6 ตัวต่อโคลน ซึ่งส่วนใหญ่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำสาหร่าย *H. (G.) cymaeformis* ส่วนกลุ่มไส้เดือนทะเลพบว่า วงศ์ Nereididae มีความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุด 26.0 ตัวต่อโคลน รองลงมาคือไส้เดือนทะเลวงศ์ Syllidae พบความหนาแน่นเฉลี่ย 19.6 ตัวต่อโคลน ซึ่งส่วนใหญ่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำสีส้ม *Tedania (Tedania) sp.* และฟองน้ำสีเขียวอ่อน *Haliclona sp.1* “green” ในขณะที่ฟองน้ำหนาม *Dysidea sp.* พบหอยฝาเดียววงศ์ Cerithiidae อาศัยอยู่ร่วมกันค่อนข้างหนาแน่น 60 ตัวต่อโคลน (ภาพที่ 3C-D) กลุ่มดาวทะเลพบเพียง 1 วงศ์ คือ Asterinidae ที่อาศัยอยู่ในแนวฟองน้ำสีส้ม *Tedania (Tedania) sp.* ที่ (ภาพที่ 2G-H) นอกจากนี้ยังพบปูวงศ์ Menippidae ปากกาทะเลวงศ์ Pennatulacea หนอนตัวแบนวงศ์ Pseudocerotidae และหนอนริบบิ้นวงศ์ Lineidae ที่เข้าไปอาศัยอยู่ในฟองน้ำสีเขียวอ่อน (ภาพที่ 3J-K)

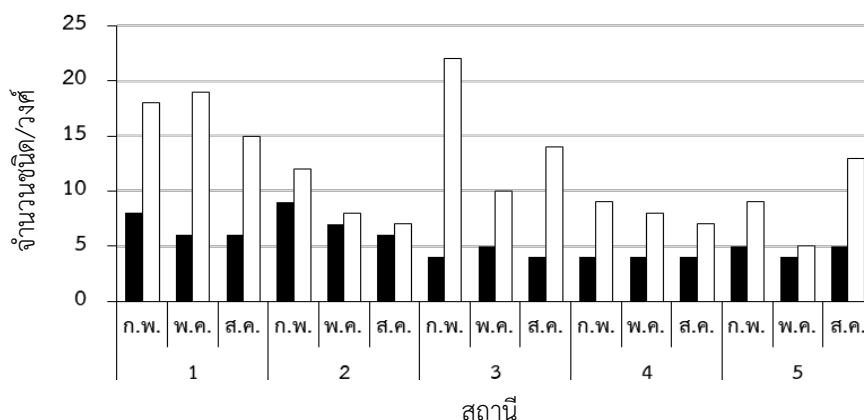


ภาพที่ 3 ฟองน้ำกลุ่มเด่นและสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อยู่ร่วมกับฟองน้ำทะเล; A, ฟองน้ำฝักตัวสีแดง *M. (M.) grandis*; B, ดาวแปะวงค์ Ophiactidae; C, ฟองน้ำหนาม *Dysidea* sp.; D, หอยฝาเดียววงค์ Cerithiidae; E, ฟองน้ำสีน้ำเงิน *Neopetrosia* sp.; F, กระต่ายทะเลวงค์ Discodorididae; G, ฟองน้ำสีส้ม *Tedania (Tedania)* sp.; H, ดาวทะเลวงค์ Asterinidae; I, ฟองน้ำสีม่วง *Callyspongia* sp.; J, ไส้เดือนทะเลวงค์ Sabellidae; K, ฟองน้ำสีเขียวอ่อน *Haliclona* sp.1 “green”; L, หอยฝาเดียววงค์ Cerithiidae และดาวทะเลวงค์ Asterinidae

ตารางที่ 3 สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำทะเลที่พบบริเวณหาดหิน (rocky shore) และหาดทรายปนโคลน (muddy sand) บริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล

อนุกรมวิธาน	แหล่งอาศัย		อนุกรมวิธาน	แหล่งอาศัย	
	หาดหิน	หาดทรายปนโคลน		หาดหิน	หาดทรายปนโคลน
Phylum Cnidaria			Class Sipunculidea		
Class Anthozoa			Order Golfingiiformes		
Pennatulacea		/	Golfingiidae	/	
Phylum Platyhelminthes			Themistidae		/
Order Polycladida			Phylum Arthropoda		
Pseudocerotidae	/		Class Crustacea		
Phylum Nemertea			Order Amphipoda		
Class Anopla			Ampeliscidae	/	
Order Heteronemertea			Aoridae	/	/
Lineidae	/	/	Hyalidae	/	
Phylum Mollusca			Ischyroceridae	/	
Class Bivalvia			Maeridae	/	/
Order Arcoida			Melitidae		/
Arcidae		/	Kamakidae	/	
Bivalvia larva	/	/	Order Decapoda		
Order Chitonida			Alpheidae	/	/
Chitonidae	/	/	Diogenidae	/	/
Class Gastropoda			Macrophthalmidae		/
Order Caenogastropoda			Menippidae	/	/
Cerithiidae	/	/	Paguridae		/
Phylum Annelida			Pilumnidae	/	/
Class Polychaeta			Porcellanidae	/	/
Cirratulidae		/	Portunidae	/	/
Eunicidae	/	/	Sesamidae	/	/
Glyceridae		/	Xanthidae		/
Hesionidae	/	/	Order Isopoda		
Maldanidae		/	Anthuridae	/	
Nereididae	/	/	Cirolanidae	/	
Opheliidae	/	/	Gnathiidae	/	/
Paraonidae		/	Order Tanaidacea		
Phyllodocidae		/	Leptocheliidae	/	/
Polynoidae	/	/	Phylum Echinodermata		
Sabellidae	/	/	Class Asteroidea		
Spionidae	/	/	Order Valvatida		
Syllidae	/	/	Asterinidae		/
Terebellidae		/	Class Holothuroidea		
Trichobranchidae	/		Sea cucumbers juvenile		/
Unidentified		/	Class Ophiuroidea		
Phylum Sipuncula			Order Amphilepidida		
Class Phascolosomatidea			Amphilepididae	/	
Order Aspidosiphoniformes			Ophiactidae	/	/
Aspidosiphonidae		/	Ophiotrichidae	/	/

เมื่อพิจารณาในแต่ละสถานี พบจำนวนวงศ์ของสัตว์หน้าดินอาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำมากที่สุด ในสถานีที่ 3 เดือนกุมภาพันธ์ ส่วนสถานีที่ 1 พบสัตว์หน้าดินหลายชนิดในทุกเดือนที่การเก็บตัวอย่าง สำหรับสถานีที่ 2 แม้พบฟองน้ำหลายชนิดแต่กลับพบจำนวนวงศ์ค่อนข้างน้อย ในขณะที่สถานีที่ 3 ถึง 5 แม้พบฟองน้ำไม่กี่ชนิดแต่กลับพบสัตว์หลากหลายวงศ์ (ภาพที่ 4) ส่วนความหนาแน่นในเชิงเวลาพบว่า เดือนกุมภาพันธ์มีความหนาแน่นทั้งหมดมากที่สุด 386 ตัวต่อโคลน กลุ่มเด่นที่พบคือ Ophiactidae (86 ตัวต่อโคลน) เดือนพฤษภาคมมีความหนาแน่นทั้งหมด 232 ตัวต่อโคลน พบไส้เดือนทะเลวงศ์ Nereididae มากที่สุด (38 ตัวต่อโคลน) และเดือนสิงหาคมมีความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ 199 ตัวต่อโคลน พบแอมฟิพอด วงศ์ Aoridae มีความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุด (25 ตัวต่อโคลน)



ภาพที่ 4 จำนวนชนิดของฟองน้ำทะเล (■) และจำนวนวงศ์ของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ (□) ที่พบบริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล

3. ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาพบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละสถานีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นความเค็มของน้ำและค่าการนำไฟฟ้า โดยพีเอชของตะกอนดินมีค่าสูงในบริเวณหาดทราย ปนโคลน (สถานีที่ 3 และ 4) พีเอชของน้ำ อุณหภูมิของน้ำและตะกอนดิน มีค่าสูงในบริเวณหาดหิน (สถานีที่ 1 และ 2) ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนดินมีค่าสูงหาดทรายปนโคลน ในเชิงเวลาพบว่าพีเอชของตะกอนดิน พีเอชของน้ำ และอุณหภูมิของตะกอนดิน มีค่าเฉลี่ยสูงในเดือนสิงหาคมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4)

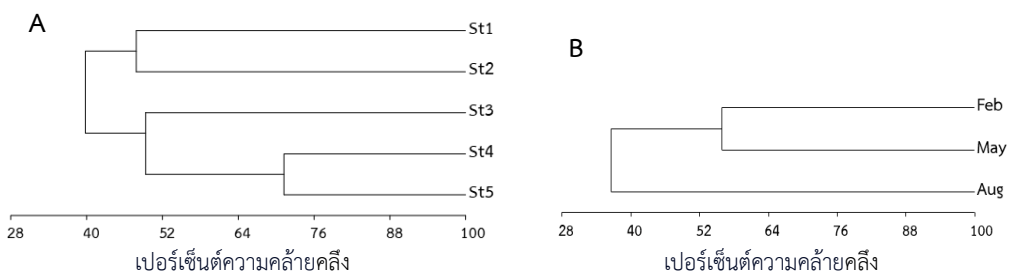
ตารางที่ 4 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละสถานีและเดือนที่เก็บตัวอย่างบริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล

ปัจจัยสิ่งแวดล้อม	สถานี					เดือน		
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	Feb	May	Aug
พีเอชของตะกอนดิน	5.8 ± 1.0 ^b	5.3 ± 0.3 ^a	6.2 ± 1.0 ^b	6.3 ± 0.9 ^b	5.1 ± 0.2 ^a	5.9 ± 0.6 ^b	5.1 ± 0.2 ^a	6.2 ± 1.0 ^b
พีเอชของน้ำ	7.3 ± 0.6 ^b	7.3 ± 0.5 ^b	7.2 ± 0.4 ^b	6.5 ± 1.1 ^a	7.1 ± 0.4 ^b	6.9 ± 0.2 ^a	6.9 ± 1.0 ^a	7.6 ± 0.2 ^b
อุณหภูมิของตะกอนดิน (°C)	31.7 ± 1.4 ^b	30.8 ± 3.7 ^b	28.9 ± 2.6 ^a	31.8 ± 1.6 ^b	32 ± 0.9 ^b	29.6 ± 3.1 ^a	31.6 ± 1.7 ^b	31.9 ± 0.8 ^b
อุณหภูมิของน้ำ (°C)	32.2 ± 1.3 ^b	31.9 ± 3.2 ^b	29.4 ± 0.3 ^a	32 ± 0.3 ^b	32.7 ± 0.0 ^b	29.8 ± 3.2 ^a	31.4 ± 2.2 ^a	31.7 ± 2.0 ^a
ความเค็มของน้ำ (ppt)	29.3 ± 1.5 ^a	29.4 ± 1.5 ^a	29.0 ± 1.2 ^a	30.1 ± 0.2 ^a	30.1 ± 1.0 ^a	30.1 ± 2.2 ^a	29.3 ± 1.1 ^a	29.5 ± 2.4 ^a
ค่าการนำไฟฟ้าของ	19.2 ± 0.5 ^a	18.1 ± 0.0 ^a	24.7 ± 0.1 ^a	25.5 ± 0.2 ^a	25.0 ± 1.1 ^a	18.6 ± 6.3 ^a	29.2 ± 23.1 ^{at}	26.3 ± 1.9 ^b
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%)	0.7 ± 0.1 ^a	0.9 ± 0.1 ^{ab}	1.0 ± 0.2 ^b	1.1 ± 0.2 ^c	1.2 ± 0.0 ^c	1.0 ± 0.3 ^a	1.3 ± 0.5 ^a	1.1 ± 0.4 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำหนดด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

4. ความคล้ายคลึงของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อยู่ร่วมกับฟองน้ำทะเล บริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล

จากการวิเคราะห์ความคล้ายคลึงของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในระดับวงศ์ที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำทะเล ทั้ง 5 สถานี เก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และสิงหาคม พ.ศ. 2565 (ภาพที่ 4) พบว่าสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่พบมีความคล้ายคลึงกันแบ่งเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน คือ สถานีที่ 1 และ 2 ซึ่งมีลักษณะเป็นหาดหินมีความคล้ายคลึง 47.85 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสถานีที่ 3, 4 และ 5 ซึ่งเป็นหาดโคลนปนทรายมีความคล้ายคลึง 49.32 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้พบว่า สถานีที่ 4 มีความคล้ายคลึงกับสถานีที่ 5 มากที่สุดคือ 71.25 เปอร์เซ็นต์ ในเชิงเวลาพบว่าสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่พบในเดือนกุมภาพันธ์มีความคล้ายคลึงกับพฤษภาคมมากที่สุด (55.94 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่เดือนสิงหาคมมีความคล้ายคลึงกับเดือนอื่น ๆ น้อยที่สุด (36.93 เปอร์เซ็นต์)



ภาพที่ 4 ความคล้ายคลึงของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำทะเล

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาค้นพบว่า ฟองน้ำทะเลบริเวณเกาะสาหร่ายมีการแพร่กระจายที่แตกต่างกันตามแหล่งอาศัย และพบความคล้ายคลึงของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำแบ่งเป็นกลุ่มตามลักษณะพื้นที่อย่างชัดเจน โดยพบฟองน้ำทะเลทั้งหมด 14 ชนิด ส่วนใหญ่อยู่ในอันดับ Haplosclerida

รองลงมาคือ Poecilosclerida เช่นเดียวกับบริเวณหมู่เกาะพีพี จังหวัดกระบี่ [1] และบริเวณหมู่เกาะทะเลใต้ จังหวัดนครศรีธรรมราช [15] เนื่องจากฟองน้ำกลุ่มนี้โดยเฉพาะอันดับ Haplosclerida ที่มีรายงานว่าเป็นฟองน้ำที่สามารถพบได้ทั่วไปบริเวณชายฝั่งน้ำตื้น มักมีสีส้มที่สวยงาม และได้ชื่อว่าเป็นกลุ่มที่ประสบความสำเร็จในการปรับตัวให้อาศัยในแหล่งที่อยู่หลายแบบ [16] เมื่อพิจารณาลักษณะแหล่งอาศัยบริเวณเกาะสาหร่าย พบว่าบริเวณหาดหิน (สถานีที่ 1 และ 2) มีจำนวนชนิดมากกว่าบริเวณหาดทรายปนโคลน (สถานีที่ 3, 4 และ 5) จากรายงานการศึกษาฟองน้ำบริเวณหมู่เกาะพีพีพบว่าบริเวณที่เป็นหน้าผาหินมีการแพร่กระจายได้ดีกว่าบริเวณอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากฟองน้ำทะเลบางชนิดชอบอาศัยบริเวณซอกที่อับแสงสว่างทำให้ฟองน้ำทะเลบริเวณหาดหินมีลักษณะที่เป็นโคโลนีตั้งตรงในแนวตั้งมากกว่าบริเวณอื่น [1] โดยบริเวณหาดหินในพื้นที่เกาะสาหร่าย มีแนวโคโลนีทั้งขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่มีซอกหลบของโคโลนีที่เป็นเสมือนแหล่งกำบังทั้งจากแสงและคลื่น พบกลุ่มฟองน้ำชนิดเด่น คือ ฟองน้ำสาหร่าย *H. (G.) cymaeformis* ฟองน้ำเคลือบสีม่วง *Callyspongia* sp. และฟองน้ำสีน้ำเงิน *Neopetrosia* sp. ซึ่งมีลักษณะเป็นหย่อมโคโลนีที่มีกิ่งก้านและยึดเกาะอาศัยบนก้อนหิน โคโลนี หรือ ก้อนปะการัง ประกอบกับโครงสร้างที่ค่อนข้างแข็งแรง บางชนิดเป็นก้อนหนาขนาดใหญ่ เช่น ฟองน้ำ ผีเสื้อสีแดง *M. (M.) grandis* ซึ่งอาจฝังตัวและยึดได้แน่นทนต่อกระแสคลื่นได้ค่อนข้างดี จึงพบฟองน้ำกลุ่มนี้มีโคโลนีขนาดใหญ่และแพร่กระจายได้ดีกว่าบริเวณหาดทรายปนโคลนที่มักพบเป็นโคโลนีเล็ก ๆ ในขณะที่บริเวณหาดทรายปนโคลนพบชนิดเด่น คือ ฟองน้ำสีส้ม *Tedania (Tedania)* sp. ซึ่งมีโคโลนีขนาดเล็ก แต่มีลักษณะของโคโลนีแผ่ขยายในแนวระนาบไปตามพื้นทะเลและกระจายอยู่อย่างหนาแน่นเป็นพื้นที่กว้างในบริเวณหาดทรายปนโคลน แตกต่างจากบริเวณหมู่เกาะพีพี จังหวัดกระบี่ ที่พบฟองน้ำชนิดเด่นที่มีการแพร่กระจายมากที่สุดคือ ฟองน้ำครก *Xestospongia testudinaria* (Lamarck, 1814) และ *Amphimedon* sp. “green” รองลงมาคือ *Stylissa carteri* (Dendy, 1889) *Rhabderemia* sp. “red” และ *Haliclona (Halichoelona)* sp.1 “orange” ซึ่งมีโคโลนีค่อนข้างใหญ่เนื่องจากลักษณะของพื้นที่สำรวจอยู่ในบริเวณที่มีน้ำท่วมตลอดเวลา [1] ในขณะที่ชายฝั่งบริเวณเกาะสาหร่ายอยู่ในเขตน้ำขึ้นน้ำลงที่ได้รับอิทธิพลจากคลื่นและสภาพที่น้ำแห้งในตอนน้ำลง ส่งผลต่อการปรับตัวของฟองน้ำจึงพบการแพร่กระจายของฟองน้ำแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามยังมีฟองน้ำบางชนิดที่สามารถพบได้ทั้งในหาดหินและหาดโคลนปนทราย คือ ฟองน้ำหนาม *Dysidea* sp. และฟองน้ำผีเสื้อสีแดง *M. (M.) grandis* อาจเนื่องจากฟองน้ำทั้งสองชนิดนี้สามารถพบได้ทั่วไปบริเวณชายฝั่งน้ำตื้น [3] นอกจากนี้ยังพบว่าเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งอยู่ในช่วงปลายของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อน พบฟองน้ำหลายชนิดและแพร่กระจายได้ดีกว่าเดือนพฤษภาคมและสิงหาคมซึ่งอยู่ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งภาคใต้ฝั่งอันดามันมีฝนตกหนัก [17] ซึ่งส่งผลต่อปริมาณตะกอนที่ทับถมบริเวณชายฝั่ง จึงทำให้ฟองน้ำเจริญเติบโตได้แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล

การศึกษครั้งนี้พบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยอยู่ในแนวฟองน้ำทะเลบริเวณเกาะสาหร่าย ทั้งหมด 8 ไฟลัม 50 วงศ์ ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มครัสตาเซีย 44.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือกลุ่มไส้เดือนทะเล 26.8 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มอื่น ๆ อีก 28.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบความหลากหลายสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ [18] ที่รายงานว่าพบกลุ่มสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยในฟองน้ำทะเล *Neopetrosia exigua* (Kirkpatrick, 1900) เพียง 3 ไฟลัม ที่ประกอบด้วยกลุ่มครัสตาเซีย (61 เปอร์เซ็นต์, 11 ชนิด) รองลงมาคือกลุ่มไส้เดือนทะเล (33 เปอร์เซ็นต์, 6 ชนิด) และ

เอคโคโนเดิร์ม (6 เพอร์เซ็นต์, 1 ชนิด) เช่นเดียวกับ [19] ที่พบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยในกลุ่ม ฟองน้ำตัวจำนวน 5 ไฟลัม โดยมีสัตว์กลุ่มเด่น คือ กลุ่มดาวเปราะวงค์ Ophiuroidea ซึ่งพบมากที่สุด คิดเป็น 54 – 57 % รองลงมาคือไส้เดือนทะเล และครัสตาเซียน ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ได้เก็บ ตัวอย่างฟองน้ำทะเลหลายชนิดและด้วยฟองน้ำแต่ละชนิดมีลักษณะรูปร่างที่ค่อนข้างหลากหลาย ประกอบกับชายฝั่งบริเวณเกาะสาหร่ายเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะแหล่งอาศัยย่อยหลายแบบจึงส่งผลให้พบ สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่หลากหลายกลุ่มตามไปด้วย สอดคล้องกับผลการศึกษาค้นคว้าความคล้ายคลึงของสัตว์ หน้าดินที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำทะเลระหว่างสถานีเก็บตัวอย่างที่แบ่งกลุ่มตามลักษณะพื้นที่อย่าง ชัดเจน โดยสถานีที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นหาดหินพบเป็นกลุ่มฟองน้ำที่มีลักษณะเป็นหย่อมโคโลนีที่ตั้งตรงใน แนวตื้นเช่นเดียวกัน ส่วนสถานีที่ 3, 4 และ 5 ซึ่งเป็นหาดโคลนปนทรายที่มีฟองน้ำทะเลเลื้อย *Tedania* (*Tedania*) sp. เป็นชนิดเด่นเหมือนกันทั้ง 3 สถานีแม้ว่าอยู่บนเกาะที่ต่างกัน ส่งผลให้พบการ แพร่กระจายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่คล้ายคลึงกันตามไปด้วย ส่วนประชาคมสัตว์หน้าดินในเชิงเวลา พบว่าเดือนกุมภาพันธ์มีความคล้ายคลึงกับเดือนพฤษภาคมมากกว่าเดือนสิงหาคม ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมา จากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่มีกำลังแรงในเดือนสิงหาคม ทำให้เกิดการเพิ่มระดับของคลื่นลมในเขต น้ำขึ้นน้ำลงและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสัตว์หน้าดิน [20]

จากการศึกษาพบว่า สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำสีส้ม *Tedania* (*Tedania*) sp. มากที่สุด ส่วนใหญ่เป็นไส้เดือนทะเลวงศ์ Nereididae และ Syllidae อาจ เนื่องมาจากฟองน้ำสกุลนี้มีลักษณะของโคโลนีที่มีการแผ่ขยายยกตัวขึ้นเล็กน้อย [21] ทำให้มีช่องเล็ก ๆ หรือพื้นที่ที่ให้สัตว์ขนาดเล็กได้เข้าไปอาศัยเป็นจำนวนมาก ส่วนฟองน้ำฝักตัวสีแดง *M. (M.) grandis* พบดาวเปราะวงค์ Ophiuroidea เข้าไปอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น เนื่องจากโคโลนีมีลักษณะเป็นก้อนฝัง ตัวตามพื้นทะเล มีผิวสัมผัสที่ค่อนข้างนุ่ม [21] และมีโพรงช่องว่างภายในที่เกิดจากการมีท่อลำเลียงของ สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ จึงมีช่องกรวงภายในก้อนและมีช่องกลับที่เหมาะสมแก่การให้ดาวเปราะวงค์นี้อาศัยหลบซ่อนได้ เป็นอย่างดี จากรายงานพบดาวเปราะ *Ophiactis saignyi* ซึ่งมีขนาดเล็กมากเข้าไปอาศัยอยู่เพียงชนิด เดียวและมีความจำเพาะกับฟองน้ำฝักตัวสีแดงชนิดนี้ ในขณะที่ฟองน้ำบางชนิดมีดาวเปราะหลายชนิด อาศัยอยู่ร่วมกัน [22] ซึ่งในพื้นที่ชายฝั่งเกาะสาหร่ายพบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่หลายกลุ่มเข้าไปอาศัยใน ฟองน้ำแต่ละชนิด แสดงให้เห็นว่าสัตว์เหล่านี้เข้าไปอาศัยในฟองน้ำทะเลเป็นแหล่งหลบภัย และที่สำคัญ ยังเป็นแหล่งสืบพันธุ์ วางไข่ และอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน รวมทั้งเป็นแหล่งอาหาร โดยเก็บกินเศษอาหารที่ ล่องลอยมาที่กระแสน้ำ [23], [24] และสามารถปรับตัวให้อยู่รอดภายในโคโลนีฟองน้ำได้

ปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ และปริมาณอินทรีย์วัตถุใน ตะกอนดิน ถือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์หน้าดินทั้งการขุดรูฝังตัว เคลื่อนที่ และ กินอาหาร โดยเฉพาะปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนดินซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญสำหรับสัตว์หน้าดิน [25] โดยพบว่าบริเวณหาดทรายปนโคลนในพื้นที่เกาะสาหร่ายมีอินทรีย์วัตถุในปริมาณมากและมี อุณหภูมิของน้ำน้อยกว่าเมื่อเทียบกับบริเวณหาดหิน ซึ่งการที่หาดโคลนมีปริมาณสารอินทรีย์สูงทำให้มี สิ่งมีชีวิตเข้ามาอาศัยค่อนข้างมากทั้งในแบบชั่วคราวและถาวร เนื่องจากเป็นแหล่งอาหาร โดยสิ่งมีชีวิตที่ อาศัยอยู่ต้องปรับตัวโดยการอาศัยอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่น บางชนิดอาจฝังตัวลงไปในโคลนหรือสร้างท่อ และอยู่ในท่อ หรือเข้ามาอาศัยอยู่ในแหล่งอาศัยย่อย ในขณะที่บริเวณหาดหินเป็นบริเวณที่มีการ เปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมมากโดยเฉพาะช่วงน้ำลงตอนกลางวันที่มีอุณหภูมิสูง โดยเฉพาะน้ำในแอ่ง

บริเวณหาดหิน เนื่องจากมีการระเหยของน้ำในช่วงฤดูร้อน แตกต่างจากช่วงน้ำขึ้นและฤดูมรสุม และส่งผลต่อความเป็นกรดต่างของน้ำและปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ [26] เช่นเดียวกับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีมากในช่วงปลายฤดูร้อนและมีปริมาณน้อยลงเมื่อสู่ฤดูฝน ในขณะที่ความเค็มและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในเชิงสถานีและช่วงเวลา อย่างไรก็ตามพบว่าความเค็มมีค่าสูงในบริเวณหาดทรายปนโคลนในพื้นที่เกาะยะระโตดน้อย (สถานีที่ 4 และ 5) อาจเป็นผลมาจากการได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดจากชุมชนบ้านเรือนน้อยกว่าเกาะยะระโตดใหญ่ชุมชนกระจายอยู่โดยรอบเกาะ ส่วนในเชิงเวลาพบว่าเดือนกุมภาพันธ์มีค่าสูงกว่าเดือนอื่นๆ ซึ่งปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ตรวจวัดเหล่านี้รวมถึงสภาพแวดล้อมของแหล่งที่อยู่ที่ไม่เหมาะสม เช่น สภาพที่น้ำแห้งเป็นเวลานาน กระแสน้ำและคลื่นลมแรง ลักษณะทางกายภาพ ความซับซ้อนของโครงสร้างที่เอื้อต่อการเข้าไปอาศัยอยู่ของสัตว์ การมีศัตรูหรือผู้ล่ามารบกวน ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเข้ามาอยู่ร่วมกันของสิ่งมีชีวิต [27] โดยเฉพาะฟองน้ำทะเลที่มีรายงานพบสัตว์เข้ามาอาศัยอยู่ร่วมกันจำนวนมาก [18], [19] ปัจจัยที่มีผลต่อการเข้ามาอาศัยอยู่ในฟองน้ำ คือ คุณสมบัติทางด้านสัณฐานวิทยาของฟองน้ำแต่ละชนิดและการแพร่กระจายของฟองน้ำในแต่ละฤดูกาล ส่วนใหญ่พบสัตว์เข้ามาอาศัยอยู่เป็นจำนวนมากในฟองน้ำที่สามารถเจริญอยู่ทั่วไปซึ่งกระจายได้มากเป็นการเพิ่มโอกาสให้สัตว์เข้าไปอาศัยและหลบภัยได้มากขึ้น [22] เช่นเดียวกับบริเวณเกาะสาหร่ายที่พบว่า ฟองน้ำชนิดเด่นที่แพร่กระจายได้ดีตลอดการศึกษา ได้แก่ ฟองน้ำสีส้ม *Tedania (Tedania) sp.*, ฟองน้ำฝักตัวสีแดง *M. (M.) grandis*, ฟองน้ำสีเขียวอ่อน *Haliclona sp.* 1 “green”, ฟองน้ำสีม่วง *Callyspongia sp.* และฟองน้ำสาหร่าย *H. (G.) cymaeformis* พบสัตว์เข้ามาอาศัยอยู่ร่วมกันมากที่สุด

ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้บ่งบอกได้ว่าบริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล เป็นแหล่งที่มีฟองน้ำแพร่กระจายหลากหลายชนิด ซึ่งฟองน้ำเหล่านี้เป็นแหล่งอาศัยให้แก่สัตว์ทะเลกลุ่มต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีและมีความสำคัญต่อระบบนิเวศชายฝั่งทะเล ซึ่งชุมชนในพื้นที่ควรให้ความสำคัญเพื่อร่วมกันอนุรักษ์และใช้ประโยชน์จากทรัพยากรเหล่านี้อย่างยิ่งย่น

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าบริเวณหาดหินพบจำนวนชนิดของฟองน้ำมากกว่าบริเวณหาดทรายปนโคลน โดยมีฟองน้ำฝักตัวสีแดงเป็นชนิดเด่นที่มีการแพร่กระจายได้ในทุกแหล่งอาศัยและสามารถพบได้ทุกเดือนที่มีการเก็บตัวอย่างในพื้นที่เกาะสาหร่าย ส่วนฟองน้ำสีส้มเป็นชนิดเด่นที่พบมากและแพร่กระจายได้ดีในบริเวณหาดทรายปนโคลน ในขณะที่บริเวณหาดหินพบฟองน้ำสีม่วงและฟองน้ำสาหร่ายเป็นชนิดเด่น และพบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำกลุ่มนี้มากที่สุด สัตว์หน้าดินกลุ่มเด่นที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำ ได้แก่ ครัสตาเซียน ไส้เดือนทะเล และดาวประาะ โดยพบสัตว์หน้าดินมีความหลากหลายสูงในบริเวณหาดทรายปนโคลน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความซับซ้อนของโครงสร้างของฟองน้ำที่มีโพรงช่องว่างหรือมีชอกหลืบที่เอื้อต่อการเข้าไปอาศัยอยู่ของสัตว์ รวมถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ พีเอช และสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลต่อการกระจายของฟองน้ำในแต่ละฤดูกาล ซึ่งส่วนใหญ่พบสัตว์เข้ามาอาศัยอยู่เป็นจำนวนมากในฟองน้ำที่สามารถเจริญอยู่ทั่วไปไปจนถึงการกระจายตัวได้มากของฟองน้ำ เป็นการเพิ่มโอกาสให้สัตว์เข้าไปอาศัยและหลบภัยได้มากขึ้น จึงพบสัตว์หน้าดินเข้ามาอาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำมากตามไปด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) สัญญาเลขที่ 01/2565 ขอขอบคุณ ดร.สุเมตต์ ปุจฉาการ จากสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความรู้และยืนยันชนิดฟองน้ำทะเลในครั้งนี้ และขอบคุณหลักสูตรชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุเมตต์ ปุจฉาการ. (2555). ความหลากหลายของชนิดฟองน้ำทะเล บริเวณหมู่เกาะพีพี จังหวัดกระบี่. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.
- [2] สุเมตต์ ปุจฉาการ. (2551). “ฟองน้ำ” เครื่องกรองน้ำชีวภาพในทะเล. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <http://www1a.biotech.or.th/BRT/index.php/2010-08-09-09-38-28/162-sponges>. (10 กุมภาพันธ์ 2566).
- [3] สุเมตต์ ปุจฉาการ. (2555). ความหลากหลายทางชนิดของฟองน้ำทะเลบริเวณหมู่เกาะชุมพร จังหวัดชุมพร. (หน้า 862-870). ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55. กรุงเทพฯ.
- [4] Verdin Padilla, C. J., Carballo, J. L., & Camacho, M. L. (2010). A qualitative assessment of sponge-feeding organisms from the Mexican Pacific coast. *The Open Marine Biology Journal*, 4, 39-46.
- [5] Bastida-Zavala, R., & Moreno-Dávila, B. (2016). Macrofauna. [Online], Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_261 (10 November 2022).
- [6] พันธุ์ทิพย์ วิเศษพงษ์พันธุ์, นรินรัตน์ นิมประเสริฐ, กฤษณสรณ์ อินทร์บำรุง, และวีระพงษ์ ศรีโสมงาม. (2556). ความหลากหลายทางชีวภาพของปูบริเวณชายฝั่ง จังหวัดสตูล (หน้า 430-438). ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51. กรุงเทพฯ.
- [7] Jitpukdee, S., Tantikamton, K., Thanee, N., & Tantipanatip, W. (2015). Species diversity of benthic macrofauna on the intertidal zone of seacoasts in Krabi, Trang and Satun Provinces, Thailand. *Journal of Agricultural Technology*, 11(8), 1767-1780.
- [8] วรณวิภา ขอบรัมย์, วาสนา พุ่มบัว, สุเมตต์ ปุจฉาการ, คมสัน หงษ์ทรีศรี และสุรินทร์ มัจฉาชีพ. (2552). ความหลากหลายของชนิดฟองน้ำทะเล (Phylum Porifera) บริเวณหมู่เกาะตะรุเตาและหมู่เกาะอาดัง – ราวี จังหวัดสตูล. (หน้า 140-159). ใน การประชุมวิชาการชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการอพ. สธ. ครั้งที่ 4. ชลบุรี.
- [9] องค์การบริหารส่วนตำบลเกาะสาหร่าย. (2562). ข้อมูลพื้นฐาน อบต. เกาะสาหร่าย. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://www.kohsarai.go.th/> (10 พฤศจิกายน 2565).

- [10] Maxar Technologies. (2020). Location of the sampling sites at Koh Sarai, Satun Province. [Online], Retrieved from <https://www.google.com/maps/@6.6642663,99.8548355,5157m/data=!3m1!1e3?authuser=0> (10 พฤศจิกายน 2565).
- [11] Barnard, J. L. (1981). *The Families and Genera of Marine Gammaridean Amphipoda*. Washington: Smithsonian Institution Press.
- [12] เสาวภา อังสุพานิช, และสุธินี หิมยิ. (2555). พรรณสัตว์พื้นใต้น้ำกลุ่มหนอนปล้อง : โพลีชีตในทะเลสาบสงขลา. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- [13] เสาวภา อังสุพานิช, และเอกรินทร์ รอดเจริญ. (2555). พรรณสัตว์พื้นใต้น้ำกลุ่มครัสตาเซียนออสเตรเลีย ออสมิพอด ไอโซพอด และทาไนดาเซียนในทะเลสาบสงขลา. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- [14] Nelson, D. W., & Sommer, L. E. (1982). Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. (pp. 539-579). In Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (eds). *Methods of Soil Analysis: Chemical and Microbiological Properties*. ASA-SSSA, Madison.
- [15] สุเมตต์ ปุณการ. (2558). ความหลากหลายทางชนิดของฟองน้ำทะเลบริเวณหมู่เกาะทะเลใต้ จังหวัดนครศรีธรรมราช (หน้า 1359-1367). ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53*. กรุงเทพฯ.
- [16] Van Soest, R. W. M. & Hooper, J. N. A. (2002). Order Haplosclerida Topsent, 1928. (pp. 831-832). In J. Hooper, N. A. and Van Soest, R. W. M. (eds). *Systema Porifera. A Guide to the Classification of Sponges*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- [17] กรมอุตุนิยมวิทยา. (2564). สภาพอากาศของประเทศไทย พ.ศ.2564. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <http://climate.tmd.go.th/content/category/17?lang=en> (31 มกราคม 2566).
- [18] Beepat, S., Appadoo, C., Marie, D. E. P., Paula, J. P. M., Çinar, M. E., & Sivakumar, K. (2014). Macrofauna associated with the sponge *Neopetrosia exigua* (Kirkpatrick, 1900) in Mauritius. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 13 (2), 133-142.
- [19] Goren, L., Idan, T., Shefer, S., & Ilan, M. (2021). Macrofauna inhabiting massive demosponges from shallow and mesophotic habitats along the Israeli Mediterranean coast. *Frontiers in Marine Science*, 7(1), 1-15.
- [20] Barrio Froján, C.R.S., Kendall, M.A., Paterson, G.L.J., Hawkins, L.E., Nimsantijaroen, S. & Aryuthaka, C. (2006). Patterns of polychaete diversity in selected tropical intertidal habitats. *Scientia Marina*, 70, 239-248.
- [21] Samaai, T., & Gibbons, M. J. (2005). Demospongiae taxonomy and biodiversity of the Benguela region on the west coast of South Africa. *African Natural History*, 1, 1-96.

- [22] ภัทรีนา คมขำ. (2549). ความสัมพันธ์ของดาวเปราะที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำบริเวณหมู่เกาะล้าน จังหวัดชลบุรี. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [23] Ribeiro, S. M., Omena, E. P., & Muricy, G. (2003). Macrofauna associated to *Mycale microsigmatosa* (Porifera, Demospongiae) in Rio de Janeiro state, SE Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 57(5), 951-959.
- [24] บพิตร จารุพันธ์, และนันทพร จารุพันธุ์. (2547). สัตววิทยา (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [25] ณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2564). ผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำต่อสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่: กรณีศึกษา แม่น้ำป่าสักบริเวณชุมชนเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 13(25), 26-38.
- [26] สถานีวิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่งอันดามัน. (2563). คลังความรู้ระบบนิเวศหาดหินและหาดโคลน. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <http://andaman.fish.ku.ac.th/> (31 มกราคม 2566).
- [27] Bertness, M. D., Gaines, S. D., & Hay, M. E. (2001). *Marine community ecology*. Sunderland MA: Sinauer Associates.

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำ
กับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และบี บริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
Relationship Between Physicochemical Properties of Water and
Chlorophyll a, b at Bandon Bay, Surat Thani Province

พัชรี ฤกษ์งานดี¹ สมหมาย เชี่ยววาริสัจจะ¹ ศิริษา กฤษณะพันธุ์² และ เอกนรินทร์ รอดเจริญ^{*1}
Phatcharee Roekngandee¹, Sommai Chiayvareesajja¹, Sirusa Kritsanapuntu²
& Eknarin Rodcharoen^{*1}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

²สาขาวิชาทรัพยากรประมง โครงการจัดตั้งคณะนวัตกรรมการเกษตรและประมง
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

¹ Aquatic Science and Innovative Management Division, Faculty of Natural Resources,
Prince of Songkla University, Songkhla Province

² Fishery Resources, Faculty of Innovative Agriculture and Fisheries,
Prince of Songkla University, Surat Thani Campus

Submitted 5/4/2023 ; Revised 2/6/2023 ; Accepted 29/6/2023

บทคัดย่อ

แหล่งน้ำบริเวณอ่าวบ้านดอนมีปริมาณสารอาหารประเภทไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสะสมในปริมาณสูง ซึ่งสารอาหารเหล่านี้ส่วนใหญ่มาจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมของมนุษย์ที่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์บานสะพรั่งของสาหร่าย การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี และคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมีบริเวณอ่าวบ้านดอน โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 สถานี ได้แก่ ปากคลองท่าทอง ปากคลองราม และปากคลองกระแต ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน ผลการศึกษาพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี ของทั้ง 3 สถานีในช่วงฤดูฝน (15.23-16.93 และ 8.64-9.58 µg/L ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูร้อน (13.25-13.62 และ 7.44-7.91 µg/L ตามลำดับ) การวิเคราะห์ร้อยละความคล้ำคลึงของคุณภาพน้ำและปริมาณคลอโรฟิลล์พบว่าแบ่งออกเป็นสองกลุ่มตามฤดูกาล ที่ระดับความคล้ำคลึงร้อยละ 94.22 และ 96.60 ตามลำดับ ส่วนการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์กับความผันแปรของคุณภาพน้ำตามฤดูกาล โดยค่าปริมาณคลอโรฟิลล์สูงในช่วงฤดูฝนซึ่งเป็นช่วงที่ค่าอุณหภูมิในน้ำ พีเอช ความเค็ม และออกซิเจนละลายน้ำต่ำ ในขณะที่ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ แอมโมเนียรวม ไนโตรเจน ไนเตรต และฟอสฟอรัสมีค่าสูง ถึงแม้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในช่วงฤดูฝนจะมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูร้อน แต่ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บ่งชี้ว่าบริเวณพื้นที่ที่ศึกษาทั้งสองฤดูอยู่ในสภาวะยูโทรฟิک (eutrophic state) หรืออยู่ในสภาวะที่เกิดมลพิษ เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารและปริมาณคลอโรฟิลล์

คำสำคัญ: คลอโรฟิลล์ ธาตุอาหาร มลพิษทางทะเล อ่าวบ้านดอน

***ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)**

E-mail: eknarin.r@psu.ac.th

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี
บริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Abstract

The water resources in Ban Don Bay contain high amounts of nitrogen and phosphorus nutrient. Most of these nutrients come from wastewater from surrounding human activities, and they are the primary cause of algal blooms. The objective of this study was to investigate the correlation between the concentration of chlorophyll a and b and the physicochemical quality of water at Bandon Bay. Water samples were collected from three stations of the canal mouth including Tha Thong Canal, Ram Canal, and Kradae Canal during the summer and rainy seasons. The result showed that the concentrations of chlorophyll a and b at all three stations during the rainy season (15.23-16.93 and 8.64-9.58 $\mu\text{g/L}$ respectively) were higher than those during the summer season (13.25-13.62 and 7.44 - 7.91 $\mu\text{g/L}$ respectively). The cluster analysis revealed that concentrations of chlorophyll and water quality were divided into two groups by season with a percent similarity of 94.22% and 96.60%, respectively. The Pearson correlation analysis showed that the chlorophyll concentration was correlated with seasonal variations in water quality. The chlorophyll concentration was high during the rainy season when water temperature, pH, salinity, and dissolved oxygen were low, while the nutrient contents including total ammonia, nitrites, nitrates, and orthophosphates were high. Although the concentration of chlorophyll in the rainy season was higher than in the summer, the chlorophyll a content indicated that the study area in both seasons was in a eutrophic state or polluted state due to the increase in nutrient and chlorophyll content.

Keywords Chlorophyll, Nutrient, Marine pollution, Bandon Bay

บทนำ

อ่าวบ้านดอนตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนใต้ของประเทศไทย เป็นบริเวณที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง จึงทำให้มีการใช้ประโยชน์ในพื้นที่อย่างหลากหลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เช่น เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย สถานที่ท่องเที่ยว โรงงานอุตสาหกรรม และเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ได้แก่ ฟาร์มหอยแครง หอยนางรม และหอยแมลงภู่ เป็นต้น

ปัจจุบันอ่าวบ้านดอนมีปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางน้ำ โดย Jarernpornnipat และคณะ [1] รายงานว่าสาเหตุของปัญหามลพิษทางน้ำบริเวณอ่าวบ้านดอน คือ การเป็นที่รองรับน้ำเสียและสารเคมีจากชุมชน นาุ้ง และโรงงานอุตสาหกรรมที่ถูกชะล้างมากับน้ำจืดที่ไหลมากับน้ำจากคลองสาขาต่าง ๆ โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน ของเสียเหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำในแหล่งน้ำมีธาตุอาหารจำพวกไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูง ซึ่งป็นธาตุอาหารที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต [2] แต่หากปริมาณธาตุอาหารเหล่านี้มีมากเกินไป (nutrient pollution) จะเป็นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) และการบานสะพรั่งของสาหร่าย ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้แหล่งน้ำเกิดมลพิษ โดยทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำลง และส่งผลกระทบต่อตรงต่อการลดจำนวนชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ [3,4] ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันส่งผลให้สัตว์น้ำเศรษฐกิจ ได้แก่ หอยนางรม หอยแครง และหอยแมลงภู่ มีการเจริญเติบโตลดลง และมีอัตราการตายเพิ่มขึ้น [5] นอกจากนี้ แพลงก์ตอนพืชบางชนิดสร้างสารชีวพิษ (biotoxin) เมื่อสัตว์น้ำกรองกินแพลงก์ตอนพืชเหล่านี้เข้าไปในระบบย่อยอาหาร จะทำให้ปริมาณสารชีวพิษสะสมเพิ่มปริมาณมากขึ้นในระบบห่วงโซ่อาหารในธรรมชาติ และเข้าสู่คนในที่สุด [6,7]

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมี ในบริเวณอ่าวบ้านดอน ในช่วงฤดูร้อน และฤดูฝน
2. เพื่อประเมินสถานะการเกิดมลพิษในแหล่งน้ำในบริเวณอ่าวบ้านดอน

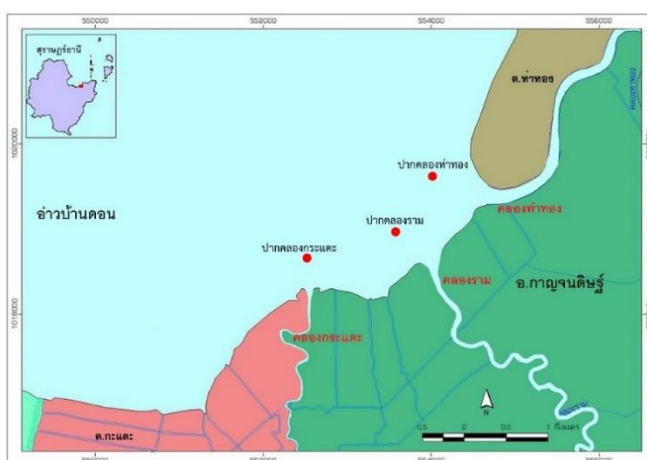
วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

เก็บตัวอย่างน้ำในบริเวณอ่าวบ้านดอนในช่วงฤดูร้อน (เมษายน 2559) และฤดูฝน (ตุลาคม 2559) มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และบี โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 สถานี ได้แก่ สถานีที่ 1 ปากคลองท่าทอง ($9^{\circ}13'30.1''\text{N}$ $99^{\circ}29'20.8''\text{E}$) สถานีที่ 2 ปากคลองราม ($9^{\circ}13'22.3''\text{N}$ $99^{\circ}28'57.3''\text{E}$) และสถานีที่ 3 ปากคลองกระตะ ($9^{\circ}13'10.4''\text{N}$ $99^{\circ}28'15.8''\text{E}$) (ภาพที่ 1) ซึ่งทุกสถานีอยู่ใกล้กับบริเวณปากคลอง และมีการเลี้ยงหอยทะเล ทั้งหอยแครง หอยนางรม และหอยแมลงภู่

คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำ

วัดความลึกของน้ำแต่ละสถานีด้วยสายหยั่งความลึก แล้วเก็บตัวอย่างน้ำด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างน้ำ สถานีละ 3 ซ้ำ ตรวจวัดคุณภาพน้ำในภาคสนาม ได้แก่ วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์และวัดความเค็ม (salinity) ด้วยรีแฟรกโตมิเตอร์ (Atago รุ่น Master-S/MillM) นำตัวอย่างน้ำไปศึกษาคุณภาพทางเคมีในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ พีเอช (pH) โดยใช้ pH meter (Eutech รุ่น Cyberscan pH 1500) วิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen, DO) โดยวิธีของ Winkler วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียรวม (total ammonia nitrogen, TAN) โดยวิธี modified indophenol blue วิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ (nitrite, NO_2^-) โดยวิธี modified Griess-Ilosvay diazotization วิเคราะห์ปริมาณไนเตรท (nitrate: NO_3^-) โดยวิธี Cadmium reduction และวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟอรัส (orthophosphate: PO_4^{3-}) โดยวิธี Ascorbic acid [8]



ภาพที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่างบริเวณอ่าวบ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี

คลอโรฟิลล์ เอ และบี

วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี ในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometry) [8] โดยการกรองน้ำปริมาตร 400-500 มิลลิลิตร ผ่านกระดาษกรอง GF/C ขนาด 1.2 ไมครอน ผนึกกรองน้ำหยดสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต (magnesium carbonate) ความเข้มข้น 1% (w/v) 2-3 หยด (0.1-0.2 มิลลิลิตร) แล้วนำกระดาษกรองใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลายอะซีโตน 90% ครึ่งละ 5 มิลลิลิตร จนครบ 15 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วบดจนกระดาษกรองละเอียด จดบันทึกปริมาตรสารละลายอะซีโตนที่อยู่ในหลอดทดลองหลังบด แล้วนำสารละลายที่ได้ใส่หลอดทดลองฝาเกลียวขนาด 15 มิลลิลิตร เก็บในที่มืด อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำหลอดทดลองไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง เก็บสารละลายส่วนใสแล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 750, 665, 645 และ 630 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี ตามสมการที่ 1 และ 2 ดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี
บริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

$$\text{คลอโรฟิลล์ เอ } (\mu\text{g/L}) = \frac{[11.6(A_{665} - A_{750}) - 1.31(A_{645} - A_{750}) - 0.14(A_{630} - A_{750})] \times V_{\text{acetone}}}{V_{\text{sample}}} \quad (1)$$

$$\text{คลอโรฟิลล์ บี } (\mu\text{g/L}) = \frac{[20.7(A_{645} - A_{750}) - 4.34(A_{665} - A_{750}) - 4.42(A_{630} - A_{750})] \times V_{\text{acetone}}}{V_{\text{sample}}} \quad (2)$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ
 V_{acetone} คือ ปริมาตรสารละลายอะซิโตนทั้งหมดที่ใช้ในการสกัดคลอโรฟิลล์ (mL)
 V_{sample} คือ ปริมาตรตัวอย่างน้ำที่ใช้กรองผ่านกระดาษกรอง (L)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมีกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี โดยวิธี Pearson correlation analysis ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) และแปลงค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำแต่ละสถานีด้วย $\log(x+1)$ เพื่อวิเคราะห์ความคล้ายคลึงด้วยวิธี cluster analysis (CA) โดยการจัดกลุ่มร้อยละความคล้ายคลึงแบบ unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA) ด้วยโปรแกรม Multivariate Statistical Package (MVSP) รุ่น 3.2

การประเมินการเกิดสภาวะมลพิษในแหล่งน้ำ

ประเมินการเกิดสภาวะยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ โดยใช้ข้อมูลความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ตามเกณฑ์ของ Forsberg และ Ryding (1980) [9] และ OECD (1984) [10] และปริมาณฟอสฟอรัส ตามเกณฑ์ของ OECD (1984) [10]

ผลการวิจัย

คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำ

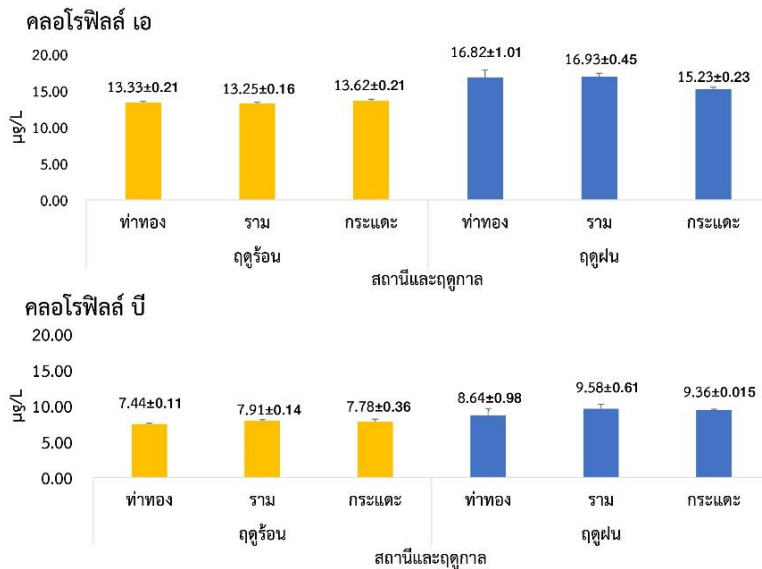
ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำพบว่ามีความผันแปรตามฤดูกาล (ตารางที่ 1) โดยค่าอุณหภูมิ พีเอช ออกซิเจนที่ละลายน้ำ และความเค็มในช่วงฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าในช่วงฤดูร้อนทุกสถานี ยกเว้นค่าความลึกที่พบว่าในช่วงฤดูฝนสูงกว่าในช่วงฤดูร้อนทุกสถานี ในขณะที่ปริมาณธาตุอาหารประกอบด้วยแอมโมเนียรวม ไนโตรเจน ไนเตรต และฟอสฟอรัสพบว่าในฤดูฝนมีสูงกว่าในฤดูร้อนทุกสถานี

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำบริเวณปากคลองท่าทอง ปากคลองราม และปากคลองกระแดะ ในพื้นที่อ่าวบ้านดอน ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน (ค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

คุณภาพน้ำ	ฤดูร้อน			ฤดูฝน		
	ท่าทอง	ราม	กระแดะ	ท่าทอง	ราม	กระแดะ
ความลึก (m)	0.81±0.08	0.71±0.04	0.87±0.03	0.94±0.07	0.94±0.05	1.06±0.02
อุณหภูมิ (°C)	33.29±0.18	34.43±0.20	34.00±0.00	28.29±0.18	28.00±0.00	28.14±0.14
พีเอช	8.21±0.02	8.20±0.04	8.32±0.06	7.94±0.03	7.77±0.01	7.79±0.02
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	8.01±0.06	8.54±0.11	8.53±0.11	8.24±0.04	6.57±0.09	6.31±0.12
ความเค็ม (ppt)	33.43±0.20	33.86±0.34	34.43±0.30	18.14±0.40	18.57±0.20	18.57±0.30
แอมโมเนียทั้งหมด (mg-N/L)	0.027±0.004	0.018±0.001	0.020±0.003	0.104±0.008	0.222±0.013	0.154±0.010
ไนโตรเจน (mg-N/L)	0.002±0.000	0.002±0.000	0.002±0.000	0.018±0.001	0.038±0.001	0.031±0.002
ไนเตรท (mg-N/L)	0.034±0.001	0.018±0.001	0.021±0.001	0.111±0.005	0.263±0.001	0.207±0.016
ฟอสฟอรัส (mg-P/L)	0.036±0.002	0.033±0.002	0.027±0.001	0.042±0.001	0.047±0.001	0.042±0.001

คลอโรฟิลล์ เอ และบี

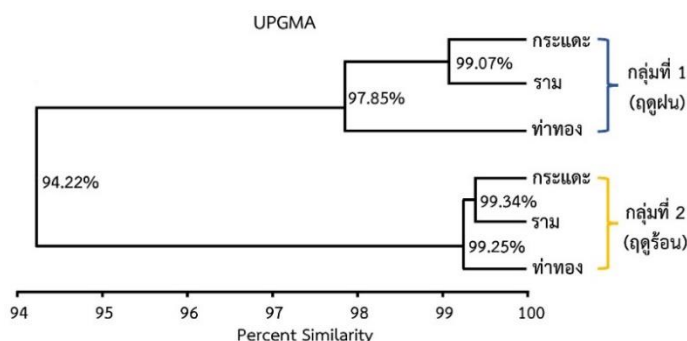
ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์พบว่ามีความผันแปรตามฤดูกาล (ภาพที่ 2) โดยพบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี ในฤดูฝน (15.23-16.93 µg/L และ 8.64-9.58 µg/L ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่าในฤดูร้อน (13.25-13.62 µg/L และ 7.44-7.91 µg/L ตามลำดับ) ทุกสถานี



ภาพที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี บริเวณปากคลองท่าทอง ปากคลองราม และปากคลองกระแดะ บริเวณอ่าวบ้านดอน ในฤดูร้อน และฤดูฝน (ค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

การจัดกลุ่มความคล้ายคลึงของคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมี

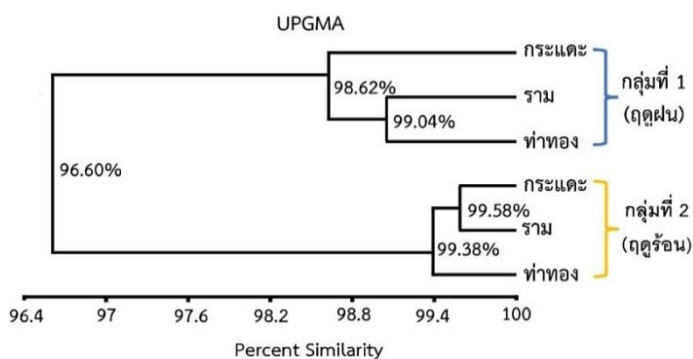
การวิเคราะห์การจัดกลุ่มความคล้ายคลึงของคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมีสามารถแบ่งคุณภาพน้ำออกเป็นสองกลุ่มหลักตามฤดูกาลที่ระดับความคล้ายคลึงกัน 94.22% โดยกลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มของสถานีในฤดูฝน มีความคล้ายคลึงกัน 97.85% และกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มของสถานีในฤดูร้อน ซึ่งมีความคล้ายคลึงกัน 99.25% (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์การจัดกลุ่มความคล้ายคลึงของคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมี ในฤดูร้อน และฤดูฝน จากสถานีปากคลองท่าทอง ปากคลองราม และปากคลองกระแดะ

การจัดกลุ่มความคล้ายคลึงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี

การวิเคราะห์การจัดกลุ่มความคล้ายคลึงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี สามารถแบ่งปริมาณคลอโรฟิลล์ในแหล่งน้ำออกเป็นสองกลุ่มหลักตามฤดูกาลที่ระดับความคล้ายคลึงกัน 96.60% โดยกลุ่มที่ 1 คือกลุ่มของสถานีในฤดูฝน ซึ่งมีความคล้ายคลึงกัน 98.62% ส่วนกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มของสถานีในฤดูร้อน ซึ่งมีความคล้ายคลึงกัน 99.38% (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การวิเคราะห์การจัดกลุ่มความคล้ายคลึงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี ในฤดูร้อน และฤดูฝน จากสถานีปากคลองท่าทอง ปากคลองราม และปากคลองกระแดะ

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพน้ำกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี

จากการทดสอบทางสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับ อุณหภูมิ ค่าพีเอช ค่าความเค็ม และออกซิเจนละลายน้ำ และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ ปริมาณธาตุอาหารแอมโมเนียรวม ไนโตรเจน ไนเตรท และฟอสฟอรัส (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี กับคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี

คุณภาพน้ำ	คลอโรฟิลล์ เอ		คลอโรฟิลล์ บี	
	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	Sig. (2-tailed)	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	Sig. (2-tailed)
ความลึก	0.233	0.138	0.116	0.466
อุณหภูมิ	-0.745**	0.000	-0.465**	0.002
พีเอช	-0.639**	0.000	-0.522**	0.000
ออกซิเจนละลายน้ำ	-0.443**	0.003	-0.433**	0.004
ความเค็ม	-0.711**	0.000	-0.343*	0.026
แอมโมเนียทั้งหมด	0.471**	0.002	0.514**	0.001
ไนโตรเจน	0.641**	0.000	0.305*	0.050
ไนเตรท	0.500**	0.001	0.496**	0.001
ฟอสฟอรัส	0.571**	0.000	0.470**	0.002

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

การประเมินสถานะการเกิดมลพิษ

จากการประเมินสถานะการเกิดมลพิษโดยใช้ค่าคลอโรฟิลล์ เอ (ภาพที่ 2) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ทั้งฤดูร้อน (13.25 ± 0.16 - 13.62 ± 0.21 $\mu\text{g/L}$) และฤดูฝน (15.23 ± 0.23 - 16.93 ± 0.45 $\mu\text{g/L}$) ในทุกสถานีอยู่ในสภาวะยูโทรฟิค ส่วนค่าฟอสฟอรัส (ตารางที่ 1) บ่งชี้ว่าอ่าวบ้านดอนทุกสถานีในฤดูฝนอยู่ในสภาวะยูโทรฟิค (>0.035 mg-P/L) และทุกสถานีในฤดูร้อนอยู่ในสภาวะเมโซโทรฟิค (0.01 - 0.035 mg-P/L) ยกเว้นสถานีปากคลองรวมที่อยู่ในสภาวะยูโทรฟิค

อภิปรายผลการวิจัย

อ่าวบ้านดอนเป็นพื้นที่รับน้ำจากคลองสาขาต่าง ๆ จึงส่งผลให้คุณภาพน้ำทั้งทางด้านกายภาพ และเคมีมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ผลการศึกษาคุณภาพน้ำพบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ความเค็ม ออกซิเจนที่ละลายน้ำ และพีเอช ในฤดูร้อนสูงกว่าฤดูฝน เนื่องจากฤดูฝนมีฝนตกส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำต่ำ ปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงมาบริเวณปากแม่น้ำส่งผลให้ความเค็มต่ำด้วย และนอกจากนี้ตะกอนที่ไหลมา กับน้ำจืดเป็นผลให้เกิดการบดบังแสง เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชทำให้ผลิตออกซิเจนได้น้อย ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจึงต่ำ รวมทั้ง

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี

บริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำไม่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงจึงส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำมีค่าต่ำในช่วงฤดูฝนด้วย [11] ส่วนความลึกของน้ำ และปริมาณธาตุอาหารในน้ำซึ่งประกอบด้วย แอมโมเนียรวม ไนโตรเจน ไนเตรต และฟอสฟอรัสในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าฤดูร้อน เนื่องมาจากในฤดูฝนมีการไหลลงของน้ำจืดตามคลองสาขาต่าง ๆ ผ่านบริเวณแหล่งชุมชน บ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และเกษตรกรรมทำให้แหล่งน้ำบริเวณอ่าวบ้านดอนมีความลึกและปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้น [12-16] สอดคล้องกับการวิเคราะห์ความคล้ายคลึงของคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมี และคลอโรฟิลล์ระหว่างสถานีในแต่ละฤดูกาลที่พบว่าทั้งคุณภาพน้ำและปริมาณคลอโรฟิลล์สามารถแบ่งกลุ่มความคล้ายคลึงในเชิงฤดูกาลได้อย่างชัดเจน ดังนั้นผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าคุณภาพน้ำและปริมาณคลอโรฟิลล์ในบริเวณปากคลองเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูกาลมากกว่าสถานี

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าสูงในช่วงฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่มีฝนตก ความเข้มของแสงที่ส่องลงไปใต้น้ำน้อย และมีปริมาณน้ำจืดไหลลงมาบริเวณปากคลองต่าง ๆ ได้มากกว่าฤดูร้อน ส่งผลให้ค่าของอุณหภูมิ พีเอช ความเค็ม และออกซิเจนละลายน้ำต่ำ จึงมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี ในขณะที่ธาตุอาหารของแพลงก์ตอนพืช ได้แก่ แอมโมเนียรวม ไนโตรเจน ไนเตรต และฟอสฟอรัสมีค่าสูง จึงแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี เนื่องจากธาตุอาหารถูกพัดพามากับน้ำจืดที่ไหลลงมา จึงส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าสูงขึ้นในช่วงฤดูฝนด้วย คลอโรฟิลล์ เอ และบี เป็นรงควัตถุของแพลงก์ตอนพืชที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งในฤดูฝนมีปริมาณของธาตุอาหารที่สูง โดยเฉพาะไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจัดอยู่ในกลุ่มธาตุอาหารที่จำเป็นและต้องการปริมาณมาก (macronutrient element) ของแพลงก์ตอนพืช และเป็นธาตุอาหารหลักที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต จึงมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชและคลอโรฟิลล์สูงเช่นเดียวกัน [17-20]

ถึงแม้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในฤดูร้อน (13.25 ± 0.16 - 13.62 ± 0.21 $\mu\text{g/L}$) ต่ำกว่าในฤดูฝน (15.23 ± 0.23 - 16.93 ± 0.45 $\mu\text{g/L}$) แต่พบว่าทั้งสองฤดูมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงเกินค่ามาตรฐานที่บ่งชี้ถึงการเกิดยูโทรฟิเคชันตามเกณฑ์ของ Forsberg และ Ryding (1980) [9] ที่รายงานว่าบริเวณที่เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มากกว่าหรือเท่ากับ 10 $\mu\text{g/L}$ และเมื่อพิจารณาจากเกณฑ์การแบ่งสภาวะแหล่งน้ำของ OECD (1984) [10] โดยใช้ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ และฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บริเวณอ่าวบ้านดอนทั้งฤดูฝนและฤดูร้อนอยู่ในสภาวะยูโทรฟิก (8 - 25 $\mu\text{g/L}$) ส่วนค่าฟอสฟอรัสบ่งชี้ว่าอ่าวบ้านดอนอยู่ในสภาวะยูโทรฟิกในฤดูฝน (>0.035 mg-P/L) และอยู่ในสภาวะเมโซโทรฟิกในฤดูร้อน (0.01 - 0.035 mg-P/L) ซึ่งกำลังเกิดมลพิษในแหล่งน้ำ นอกจากนี้พบว่าปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด และไนเตรทในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งประเภทที่ 3 (คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) โดยกำหนดว่าแอมโมเนียมีปริมาณไม่เกิน 0.100 mg-N/L และไนเตรทมีค่าไม่เกิน 0.060 mg-N/L [21] ธาตุอาหารที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลายประการ ได้แก่ การบดบังแสงจากการบานสะพรั่งของสาหร่าย เกิดการผันแปรของพีเอชและออกซิเจนที่ละลายน้ำในรอบวัน ได้แก่ การลดลงของค่าออกซิเจนละลายน้ำจนเป็นศูนย์ในเวลากลางคืน และพีเอชในน้ำเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดตะกอนดินเน่าเสียซึ่งเป็นผลจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนอีกด้วย ซึ่งส่งผลให้สัตว์น้ำตายได้ [22]

จากผลการศึกษาครั้งนี้บ่งชี้ได้ว่าอ่าวบ้านดอนกำลังอยู่ในสภาวะที่เสื่อมโทรมเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารในน้ำในช่วงฤดูฝน และส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์สูงขึ้นในเวลาดังกล่าวด้วย ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหามลพิษจากธาตุอาหารในแหล่งน้ำที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต ควรหาแนวทางการจัดการ เพราะอ่าวบ้านดอนเป็นพื้นที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งของประเทศไทย เช่น ควรมีการบำบัดน้ำทิ้งให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อลดปริมาณธาตุอาหารหรือสารเคมีดังกล่าว

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำมีความผันแปรตามฤดูกาล เช่นเดียวกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และพีซึ่งพบว่าฤดูฝนสูงกว่าฤดูร้อน สอดคล้องกับผลการศึกษาความคล้ายคลึงที่พบว่าทั้งคุณภาพน้ำและปริมาณคลอโรฟิลล์แบ่งกลุ่มความคล้ายคลึงออกตามฤดูกาลได้อย่างชัดเจน และนอกจากนี้พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูฝนซึ่งเป็นช่วงที่ค่าของอุณหภูมิ พีเอช ความเค็ม และออกซิเจนละลายน้ำต่ำ แต่ปริมาณธาตุอาหาร (แอมโมเนียรวม ไนโตรเจน ไนเตรต และฟอสฟอรัส) สูง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ กับเกณฑ์มาตรฐานพบว่าอ่าวบ้านดอนทั้งฤดูฝนและฤดูร้อนอยู่ในสภาวะยูโทรฟิเค เช่นเดียวกับเกณฑ์กำหนดสภาวะแหล่งน้ำโดยใช้ปริมาณฟอสฟอรัสเป็นเกณฑ์ พบว่าอ่าวบ้านดอนฤดูฝนอยู่ในสภาวะยูโทรฟิเค ส่วนฤดูร้อนอยู่ในสภาวะเมโซโทรฟิเค ซึ่งบ่งชี้ว่าอ่าวบ้านดอนกำลังอยู่ในสภาวะที่เสื่อมโทรมเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารในน้ำช่วงฤดูฝน และส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์สูงขึ้นในเวลาดังกล่าวด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนงบประมาณในการศึกษาในครั้งนี้ ขอขอบคุณโครงการผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและนิเวศทางทะเลเชิงพื้นที่จากแหล่งทำฟาร์มเลี้ยงหอยทะเลสองฝาเชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่ต่อความหลากหลายชนิดและผลผลิตของสัตว์ทะเลหน้าดินสำหรับการวางแผนและจัดการด้านการเลี้ยงและสิ่งแวดล้อมอย่างเหมาะสมบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่สนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2558 และขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือ และห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jarempornipat, A., Pedersen, O., Jensen, K. R., Boromthananarat, S., Vongvisessomjai, S., & Choncheanchob, P. (2003). Sustainable management of shellfish resources in Bandon Bay, Gulf of Thailand. *Journal of Coastal Conservation*, 9, 135-146.
- [2] Sunda, W. G., & Huntsman, S. A. (2004). Relationships among photoperiod, carbon fixation, growth, chlorophyll a and cellular iron and zinc in a coastal diatom. *Limnology and Oceanography*, 49, 1742-1753.

- [3] Wu, R. S. S. (1999). Eutrophication, water borne pathogens and xenobiotic compounds: Environmental risks and challenges. *Marine Pollution Bulletin*, 39, 11-22.
- [4] Gray, J. S., Wu, R. S., & Or, Y.Y. (2002). Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine Ecology Progress Series*, 238, 249-279.
- [5] James, K. J., Carey, B., O'Halloran, J., van Pelt, F. N. A. M., & Škrabáková, Z. (2010). Shellfish toxicity: Human health implications of marine algal toxins. *Epidemiology and Infection*, 138, 927-940.
- [6] Hallegraeff, G. M. (2004). Harmful algal blooms: A global overview (pp. 25-49). In Hallegraeff, G. M., Anderson, D. M., & Cembella, A. D. (eds). *Manual on Harmful Marine Microalgae*. UNESCO. Paris.
- [7] Luckas, N. B., Dahlmann, J., Erler, K., Gerdt, G., Wasmund, N., Hummert, C., & Hansen, P.D. (2005). Overview of key phytoplankton toxins and their recent occurrence in the North and Baltic Seas. *Environmental Toxicology*, 20, 1-17.
- [8] Strickland, J. D. H., & Parsons, T. R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Bulletin of Fisheries Research Board of Canada.
- [9] Forsberg, C., & Ryding, S.-O. (1980). Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste receiving lakes. *Archiv fur Hydrobiologie*, 89, 189-207.
- [10] OECD. (1984). Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. *International Review of Hydrobiology*, 69, 149-296.
- [11] พิชาศิษฐ์ แสงเมฆ และฐานิชัฐ สุชนาภิรัตน์. (2563). โครงสร้างประชาคมแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องหลังเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ พ.ศ. 2560: กรณีศึกษาหนองหาร จังหวัดสกลนคร. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 25, 1035-1051.
- [12] Moncheva, S., Gotsis-Skretas, O., Pagou, K., & Krastev, A. (2001). Phytoplankton blooms in Black Sea and Mediterranean coastal ecosystems subjected to anthropogenic eutrophication: Similarities and differences. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53, 281-295.
- [13] Howarth, R., Sharpley, A., & Walker, D. (2002). Sources of nutrient pollution to coastal waters in the United States: Implications for achieving coastal water quality goals. *Estuaries*, 25, 656-676.
- [14] Kaewnern, M., & Yakupitiyage, A. (2008). Contribution of mollusc culture to control eutrophication in the coastal bay: a case study of Bandon Bay, Surat Thani, Thailand. *Journal of Fisheries and Environment*, 32, 1-18.
- [15] Thongdonphum, B., Meksumpun, S., & Meksumpun, C. (2011). Nutrient loads and their impacts on chlorophyll a in the Mae Klong River and estuarine ecosystem: An approach for nutrient criteria development. *Water Science and Technology*, 64, 178-188.

- [16] ประเดิม อุทยานมณี, ศิริพร ประเดษฐ์, และสมหมาย เชี่ยววาริ์สัจจะ. (2555). ปัญหา ผลกระทบ และการจัดการปัญหาคุณภาพน้ำบริเวณปากแม่น้ำตาปี และอ่าวบ้านดอนจังหวัดสุราษฎร์ธานี (หน้า 1008-1014). ใน *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13*. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [17] บุศยา ปลั่งอ่อน, จินตนา สและน้อย, ชัชรี้ แก้วสุริลิขิต, ไพลิน จิตรชุม, Takashi Yoshikawa, Yuki Okamoto, Satoshi Ishikawa, และ Kazuya Watanabe. (2559). การแพร่กระจายของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำในพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 24, 588-597.
- [18] Thongdonphum, B., Meksumpun, S., Meksumpun, C., Thawonsode, N., & Sawasdee, B. (2014). Variation of important nutrients proportion on phytoplankton distribution in Bang-tabun Bay, Phetchaburi Province, Thailand. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 5, 100-104.
- [19] ประเดิม อุทยานมณี. (2560). คุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ อ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. *สัมมนาวิชาการกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง วันที่ 6 กันยายน พ.ศ. 2560*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [20] Xu, H., Zhang, Y., Zhu, X., & Zheng, M. (2019). Effects of rainfall-runoff pollution on eutrophication in coastal zone: A case study in Shenzhen Bay, southern China. *Hydrology Research*, 50, 1602-1075.
- [21] กรมควบคุมมลพิษ. (2560). ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติเรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล เล่ม 134 ตอนพิเศษ 288 ง. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [22] Sun, J., Wai, O.W.-H., Wang W., Lei, L., & Mao, X. (2010) Changes and eutrophication characteristics of nitrogen and phosphorus nutrients in Shenzhen Bay. *Journal of Peking University (Natural science edition)*, 46, 960-964.

ปัญหาบนผลแบ่งกันของ $\mathbb{Z}_m$ โดยที่ฟังก์ชันตัวแทนเท่ากันOn a Problem of Partitions of $\mathbb{Z}_m$ with Identical Representation Functions

สุภาดา โตกระแสร และ นเรศ สวัสดิ์รักษา*

Supada Tokrasae & Nares Sawatraksa*

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

Division of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology,

Nakhon Sawan Rajabhat University

Submitted 22/4/2023 ; Revised 12/6/2023 ; Accepted 3/7/2023

บทคัดย่อ

สำหรับจำนวนเต็มบวก m ให้ $\mathbb{Z}_m$ แทนเซตของชั้นส่วนตกรังโมดูล m นั่นคือ $\mathbb{Z}_m = \{0, 1, 2, \dots, m-1\}$ เมื่อ $\bar{x} = \{y \in \mathbb{Z} : x \equiv y \pmod{m}\}$ สำหรับ $A \subseteq \mathbb{Z}_m$ และ $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ กำหนดฟังก์ชันตัวแทน

$$R_1(A, \bar{n}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{n}\}|$$

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสนใจศึกษาปัญหาของ อันตราส ซาโคซี ใน $\mathbb{Z}_m$ โดยที่สองเซตย่อย A และ B ของ $\mathbb{Z}_m$ ที่ทำให้ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ และ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$

คำสำคัญ: ปัญหาของ Sárközy ผลแบ่งกัน ฟังก์ชันตัวแทน

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: nares.sa@nsru.ac.th

Abstract

For every positive integer m , $\mathbb{Z}_m$ represents the set of residue class modulo m such that $\mathbb{Z}_m = \{\bar{0}, \bar{1}, \bar{2}, \dots, \overline{m-1}\}$ when $\bar{x} = \{y \in \mathbb{Z}: x \equiv y(\text{mod } m)\}$. For $A \subseteq \mathbb{Z}_m$ and $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$, the representation function was defined as

$$R_1(A, \bar{n}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{n}\}|.$$

In this paper, we studied Sárközy's problem in $\mathbb{Z}_m$ where the two subsets A and B of $\mathbb{Z}_m$ caused $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ and $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ for all $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$.

Keywords: Sárközy's problem, partition, representation function

บทนำ

ให้ X เป็นกึ่งกรุปการบวกอาบีเลียน สำหรับทุก $A \subseteq X$ และ $n \in X$ ให้ $R_1(A, n)$ แทนจำนวนผลเฉลยของสมการ $a + b = n$ โดยที่คู่อันดับ $(a, b) \in A \times A$, $R_2(A, n)$ แทนจำนวนผลเฉลยของสมการ $a + b = n$ โดยที่คู่ไม่อันดับ $(a, b) \in A \times A$ ซึ่ง $a \neq b$ และ $R_3(A, n)$ แทนจำนวนผลเฉลยของสมการ $a + b = n$ โดยที่คู่ไม่อันดับ $(a, b) \in A \times A$ ซึ่ง Nathanson [1] เรียกสัญลักษณ์ $R_1(A, n)$, $R_2(A, n)$ และ $R_3(A, n)$ ว่า “ฟังก์ชันตัวแทน” ต่อมา นักคณิตศาสตร์จำนวนมากให้ความสนใจศึกษาเกี่ยวกับฟังก์ชันตัวแทน เช่น Erdős Sárközy Dombi Yang และ Chen เป็นต้น

ให้ N แทนเซตของจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ สำหรับ $i \in \{1, 2, 3\}$ โดยอันดราส ซาโคซี (András Sárközy) นักคณิตศาสตร์ชาวฮังการี ได้ตั้งคำถามไว้ว่า “มีเซต $A, B \subseteq N$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = \infty$ จะทำให้ $R_i(A, n) = R_i(B, n)$ สำหรับทุกจำนวนเต็ม n หรือไม่” ในปี ค.ศ. 2002 Dombi [2] ตอบคำถามของอันดราส ซาโคซี ว่า สำหรับ $i = 1$ ไม่มีสองเซตย่อย A และ B ที่สอดคล้องเงื่อนไขดังกล่าว แต่สำหรับ $i = 2$ สามารถหาสองเซตย่อย A และ B ที่สอดคล้องเงื่อนไขของอันดราส ซาโคซี ได้ และในปีต่อมา Chen และ Wang [3] พิสูจน์ได้ว่าสำหรับ $i = 3$ สามารถหาสองเซตย่อย A และ B ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขของอันดราส ซาโคซี จากแนวคิดดังกล่าวจึงทำให้นักคณิตศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจปัญหาของอันดราส ซาโคซี บนเซตของจำนวนเต็มมอดุโล m

สำหรับจำนวนเต็มบวก m กำหนดให้ $\mathbb{Z}_m$ แทนเซตของชั้นส่วนตคก้างมอดุโล m นั่นคือ $\mathbb{Z}_m = \{0, 1, 2, \dots, m-1\}$ เมื่อ $\bar{x} = \{y \in \mathbb{Z} : x \equiv y \pmod{m}\}$ สำหรับ $A \subseteq \mathbb{Z}_m$ และ $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ กำหนดฟังก์ชันตัวแทน

$$R_i(A, \bar{n}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{n}\}|$$

ในปี ค.ศ. 2012 Yang และ Chen [4] ศึกษาการเปรียบเทียบปัญหาของอันดราส ซาโคซี ใน $\mathbb{Z}_m$ ซึ่งพวกเขากำหนดโครงสร้างของเซต $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m$ สำหรับ $i \in \{1, 2, 3\}$ ที่ทำให้ $R_i(A, \bar{n}) = R_i(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ ถัดไปในปี ค.ศ. 2017 Yang และ Tang [5] ได้ศึกษาในกรณีที่ m เป็นจำนวนเต็มคี่ โดยที่ $m \geq 3$ ว่า ไม่มีสองเซต $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 1$ ที่ทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ และสำหรับ $i \in \{2, 3\}$ จะมีสองเซตย่อย $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 1$ ที่ทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ และในปี ค.ศ. 2020 Chen และ Yan [6] ได้ศึกษาปัญหาผลแบ่งกันของ $\mathbb{Z}_m$ โดยที่ฟังก์ชันตัวแทนเท่ากัน ในกรณี $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 2$ สามารถหาสองเซตย่อย A และ B ของ $\mathbb{Z}_m$ ที่ทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ ได้

จากแนวคิดดังกล่าว ผู้วิจัยจึงให้ความสนใจที่จะศึกษาต่อยอดซึ่งเป็นการนำเสนอแนวคิดโดยการสร้างทฤษฎีเพื่อแสดงผลการศึกษาปัญหาผลแบ่งกันของ $\mathbb{Z}_m$ ในกรณีที่สองเซตย่อย $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ และ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ ที่ทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$

วัตถุประสงค์

เพื่อหาเซตย่อย A และ B ของ $\mathbb{Z}_m$ ที่สอดคล้องเงื่อนไข $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ และ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยศึกษาปัญหาบนผลแบ่งกันของ $\mathbb{Z}_m$ โดยที่ฟังก์ชันตัวแทนเท่ากัน ในกรณี $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ สำหรับ $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ และกำหนดให้ m เป็นจำนวนเต็มบวก

บทนิยาม 1 ให้ $A \subseteq \mathbb{Z}_m$ ฟังก์ชันตัวแทน คือ ฟังก์ชันที่มีโดเมนเป็น $\mathbb{Z}_m$ และเรนจ์เป็นเซตย่อยของ $\mathbb{N}$ นิยามโดย

$$R_1(A, \bar{n}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{n}\}|$$

ตัวอย่างการคำนวณฟังก์ชันตัวแทนในกรณี $m = 11$ ดังตัวอย่าง 1

ตัวอย่าง 1 ให้ $m = 11$ พิจารณา $\mathbb{Z}_{11} = \{\bar{0}, \bar{1}, \bar{2}, \bar{3}, \bar{4}, \bar{5}, \bar{6}, \bar{7}, \bar{8}, \bar{9}, \bar{10}\}$ ให้

$$A = \{\bar{0}, \bar{1}, \bar{2}, \bar{3}, \bar{4}, \bar{5}, \bar{6}\}$$

เนื่องจาก $R_1(A, \bar{n}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{n}\}|$ จะได้ว่า

$$R_1(A, \bar{0}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{0}\}| = |\{(\bar{0}, \bar{0}), (\bar{5}, \bar{6}), (\bar{6}, \bar{5})\}| = 3$$

$$R_1(A, \bar{1}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{1}\}| = |\{(\bar{0}, \bar{1}), (\bar{1}, \bar{0}), (\bar{6}, \bar{6})\}| = 3$$

$$R_1(A, \bar{2}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{2}\}| = |\{(\bar{0}, \bar{2}), (\bar{1}, \bar{1}), (\bar{2}, \bar{0})\}| = 3$$

$$R_1(A, \bar{3}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{3}\}| = |\{(\bar{0}, \bar{3}), (\bar{1}, \bar{2}), (\bar{2}, \bar{1}), (\bar{3}, \bar{0})\}| = 4$$

$$R_1(A, \bar{4}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{4}\}| \\ = |\{(\bar{0}, \bar{4}), (\bar{1}, \bar{3}), (\bar{2}, \bar{2}), (\bar{3}, \bar{1}), (\bar{4}, \bar{0})\}| = 5$$

$$R_1(A, \bar{5}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{5}\}| \\ = |\{(\bar{0}, \bar{5}), (\bar{1}, \bar{4}), (\bar{2}, \bar{3}), (\bar{3}, \bar{2}), (\bar{4}, \bar{1}), (\bar{5}, \bar{0})\}| = 6$$

$$R_1(A, \bar{6}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{6}\}| \\ = |\{(\bar{0}, \bar{6}), (\bar{1}, \bar{5}), (\bar{2}, \bar{4}), (\bar{3}, \bar{3}), (\bar{4}, \bar{2}), (\bar{5}, \bar{1}), (\bar{6}, \bar{0})\}| = 7$$

$$R_1(A, \bar{7}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{7}\}| \\ = |\{(\bar{1}, \bar{6}), (\bar{2}, \bar{5}), (\bar{3}, \bar{4}), (\bar{4}, \bar{3}), (\bar{5}, \bar{2}), (\bar{6}, \bar{1})\}| = 6$$

$$R_1(A, \bar{8}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{8}\}| \\ = |\{(\bar{2}, \bar{6}), (\bar{3}, \bar{5}), (\bar{4}, \bar{4}), (\bar{5}, \bar{3}), (\bar{6}, \bar{2})\}| = 5$$

$$R_1(A, \bar{9}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{9}\}| = |\{(\bar{3}, \bar{6}), (\bar{4}, \bar{5}), (\bar{5}, \bar{4}), (\bar{6}, \bar{3})\}| = 4$$

$$R_1(A, \overline{10}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \overline{10}\}| = |\{(\bar{4}, \bar{6}), (\bar{5}, \bar{5}), (\bar{6}, \bar{4})\}| = 3$$

เริ่มต้นพิจารณาจำนวนเต็มบวก m และความสัมพันธ์ของเซตย่อย $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ ในกรณีที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ ที่ทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ ดังต่อไปนี้

ทฤษฎีบท 1 ให้ $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ ถ้า $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ แล้ว m เป็นจำนวนคี่ และ $|A| = |B|$

บทพิสูจน์ กำหนดให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ จะได้ว่า

$$\binom{|A|+1}{2} + \binom{|A|}{2} = \sum_{n=0}^{m-1} R_1(A, \bar{n}) = \sum_{n=0}^{m-1} R_1(B, \bar{n}) = \binom{|B|}{2} + \binom{|B|+1}{2}$$

ให้ $|A| = k$ และ $|B| = l$ จะได้ว่า

$$\frac{k(k+1)}{2} + \frac{k(k-1)}{2} = \frac{l(l+1)}{2} + \frac{l(l-1)}{2}$$

นั่นคือ $k^2 + k + k^2 - k = l^2 + l + l^2 - l$ เพราะฉะนั้น $k^2 = l^2$ ดังนั้น $k = l$ นั่นคือ $|A| = |B|$ เนื่องจาก $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = |A| + |B| - 2|A \cap B|$ และ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ ทำให้ได้ว่า

$$m - 3 = |(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = 2(|A| - |A \cap B|)$$

ดังนั้น $m - 3$ เป็นจำนวนคู่ นี่แสดงว่า m เป็นจำนวนคี่

หลังจากนี้เป็นต้นไปในงานวิจัยฉบับนี้ สมมติว่า m เป็นจำนวนคี่ โดยที่ $m \geq 5$

ผู้วิจัยสนใจศึกษาฟังก์ชันตัวแทนในกรณี $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ ซึ่งทำให้ได้ว่า $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$

ถ้า $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ จะได้ว่าสามารถแบ่งการพิจารณาได้เป็น 4 กรณี ดังนี้

1. $A \cup B = \mathbb{Z}_m$ และ $|A \cap B| = 3$
2. $A \cup B = \mathbb{Z}_m \setminus \{\bar{r}_1\}$ โดยที่ $\bar{r}_1 \in \mathbb{Z}_m$ และ $|A \cap B| = 2$
3. $A \cup B = \mathbb{Z}_m \setminus \{\bar{r}_1, \bar{r}_2\}$ โดยที่ $\bar{r}_1, \bar{r}_2 \in \mathbb{Z}_m$ และ $|A \cap B| = 1$
4. $A \cup B = \mathbb{Z}_m \setminus \{\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3\}$ โดยที่ $\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3 \in \mathbb{Z}_m$ และ $|A \cap B| = 0$

จากทั้ง 4 กรณีข้างต้นสามารถพิจารณาจำนวนสมาชิกเซต A และ B ได้ดังต่อไปนี้

ทฤษฎีบท 2 ให้ $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $A \cup B = \mathbb{Z}_m$ และ $|A \cap B| = 3$ ถ้า $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ แล้ว $|A| = |B| = \frac{m+3}{2}$

บทพิสูจน์ กำหนดให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ โดยทฤษฎีบท 1 จะได้ว่า $|A| = |B|$ ดังนี้

$$|A| + |B| = |A \cup B| + |A \cap B| = m + 3$$

นั่นคือ $|A| = |B| = \frac{m+3}{2}$

ทฤษฎีบท 3 ให้ $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ และ $\bar{r}_1 \in \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $A \cup B = \mathbb{Z}_m \setminus \{\bar{r}_1\}$ และ $|A \cap B| = 2$ ถ้า $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ แล้ว $|A| = |B| = \frac{m+1}{2}$

บทพิสูจน์ กำหนดให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ โดยทฤษฎีบท 1 จะได้ว่า $|A| = |B|$ ดังนี้

$$2|A| = |A| + |B| = |A \cup B| + |A \cap B| = (m - 1) + 2 = m + 1$$

นั่นคือ $|A| = |B| = \frac{m+1}{2}$

ทฤษฎีบท 4 ให้ $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ และ $\bar{r}_1, \bar{r}_2 \in \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $A \cup B = \mathbb{Z}_m \setminus \{\bar{r}_1, \bar{r}_2\}$ และ $|A \cap B| = 1$ ถ้า $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ แล้ว $|A| = |B| = \frac{m-1}{2}$

บทพิสูจน์ กำหนดให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ โดยทฤษฎีบท 1 จะได้ว่า $|A| = |B|$ ดังนี้

$$2|A| = |A| + |B| = |A \cup B| + |A \cap B| = m - 2 + 1 = m - 1$$

นั่นคือ $|A| = |B| = \frac{m-1}{2}$

ทฤษฎีบท 5 ให้ $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ และ $\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3 \in \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $A \cup B = \mathbb{Z}_m \setminus \{\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3\}$ และ $|A \cap B| = 0$ ถ้า $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ แล้ว $|A| = |B| = \frac{m-3}{2}$

บทพิสูจน์ กำหนดให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ โดยทฤษฎีบท 1 จะได้ว่า $|A| = |B|$ ดังนี้

$$2|A| = |A| + |B| = |A \cup B| + |A \cap B| = m - 3 + 0 = m - 3$$

นั่นคือ $|A| = |B| = \frac{m-3}{2}$

ทฤษฎีบท 6 ไม่มีเซตย่อย $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ ที่ทำให้

$$R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n}) \text{ สำหรับทุก } \bar{n} \in \mathbb{Z}_m$$

บทพิสูจน์ ให้ $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ ที่ทำให้

$$R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n}) \text{ สำหรับทุก } \bar{n} \in \mathbb{Z}_m$$

เนื่องจาก $m \geq 5$ และ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3 \geq 2$ จะได้ $(A \cup B) \setminus (A \cap B) \neq \emptyset$ ให้ $\bar{x} \in (A \cup B) \setminus (A \cap B)$ จะได้ $\bar{x} \in A \cup B$ และ $\bar{x} \notin A \cap B$ จะได้ $\bar{x} \in A$ หรือ $\bar{x} \in B$ โดยไม่เสียนัยทั่วไป สมมติว่า $\bar{x} \in A$ จะได้ $\bar{x} \notin B$ พิจารณาสมการ $\bar{a} \oplus \bar{a} = \overline{2x}$ จะได้ว่า $\bar{a} = \bar{x}$ ดังนั้น $\bar{a} \oplus \bar{a} = \overline{2x}$ มีคำตอบเพียงชุดคำตอบเดียวและ

$$(\bar{x}, \bar{x}) \in \{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} + \bar{b} = \overline{2x}\}$$

เพราะฉะนั้น $R_1(A, \overline{2x})$ เป็นจำนวนคี่ และ $R_1(B, \overline{2x})$ เป็นจำนวนคู่ ทำให้ได้

$$R_1(A, \overline{2x}) \neq R_1(B, \overline{2x})$$

ซึ่งเกิดข้อขัดแย้ง ดังนั้น ไม่มีเซต $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ ที่ทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ เป็นจริง

ผลการวิจัย

จากการศึกษาปัญหามวลแบ่งกันของ $\mathbb{Z}_m$ โดยที่ฟังก์ชันตัวแทนเท่ากัน ในกรณี $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ สำหรับ $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ ได้ดังต่อไปนี้

ทฤษฎีบท 6 ไม่มีเซตย่อย $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ ที่ทำให้

$$R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n}) \text{ สำหรับทุก } \bar{n} \in \mathbb{Z}_m$$

ตัวอย่าง 2 ให้ $m = 11$ พิจารณา $\mathbb{Z}_{11} = \{\bar{0}, \bar{1}, \bar{2}, \bar{3}, \bar{4}, \bar{5}, \bar{6}, \bar{7}, \bar{8}, \bar{9}, \bar{10}\}$ ให้

$$A = \{\bar{0}, \bar{1}, \bar{2}, \bar{3}, \bar{4}, \bar{5}, \bar{6}\} \text{ และ } B = \{\bar{0}, \bar{5}, \bar{6}, \bar{7}, \bar{8}, \bar{9}, \bar{10}\}$$

เนื่องจาก $R_1(A, \bar{n}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{n}\}|$ จะได้ว่า

$$R_1(A, \bar{0}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{0}\}| = |\{(\bar{0}, \bar{0}), (\bar{5}, \bar{6}), (\bar{6}, \bar{5})\}| = 3$$

$$R_1(A, \bar{1}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{1}\}| = |\{(\bar{0}, \bar{1}), (\bar{1}, \bar{0}), (\bar{6}, \bar{6})\}| = 3$$

$$R_1(A, \bar{2}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{2}\}| = |\{(\bar{0}, \bar{2}), (\bar{1}, \bar{1}), (\bar{2}, \bar{0})\}| = 3$$

$$R_1(A, \bar{3}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{3}\}| = |\{(\bar{0}, \bar{3}), (\bar{1}, \bar{2}), (\bar{2}, \bar{1}), (\bar{3}, \bar{0})\}| = 4$$

$$R_1(A, \bar{4}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{4}\}| \\ = |\{(\bar{0}, \bar{4}), (\bar{1}, \bar{3}), (\bar{2}, \bar{2}), (\bar{3}, \bar{1}), (\bar{4}, \bar{0})\}| = 5$$

$$R_1(A, \bar{5}) = |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A : \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{5}\}| \\ = |\{(\bar{0}, \bar{5}), (\bar{1}, \bar{4}), (\bar{2}, \bar{3}), (\bar{3}, \bar{2}), (\bar{4}, \bar{1}), (\bar{5}, \bar{0})\}| = 6$$

$$\begin{aligned}
R_1(A, \bar{6}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{6}\}| \\
&= |\{(\bar{0}, \bar{6}), (\bar{1}, \bar{5}), (\bar{2}, \bar{4}), (\bar{3}, \bar{3}), (\bar{4}, \bar{2}), (\bar{5}, \bar{1}), (\bar{6}, \bar{0})\}| = 7 \\
R_1(A, \bar{7}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{7}\}| \\
&= |\{(\bar{1}, \bar{6}), (\bar{2}, \bar{5}), (\bar{3}, \bar{4}), (\bar{4}, \bar{3}), (\bar{5}, \bar{2}), (\bar{6}, \bar{1})\}| = 6 \\
R_1(A, \bar{8}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{8}\}| \\
&= |\{(\bar{2}, \bar{6}), (\bar{3}, \bar{5}), (\bar{4}, \bar{4}), (\bar{5}, \bar{3}), (\bar{6}, \bar{2})\}| = 5 \\
R_1(A, \bar{9}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{9}\}| = |\{(\bar{3}, \bar{6}), (\bar{4}, \bar{5}), (\bar{5}, \bar{4}), (\bar{6}, \bar{3})\}| = 4 \\
R_1(A, \bar{10}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in A \times A: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{10}\}| = |\{(\bar{4}, \bar{6}), (\bar{5}, \bar{5}), (\bar{6}, \bar{4})\}| = 3
\end{aligned}$$

และเนื่องจาก $R_1(B, \bar{n}) = |\{(\bar{x}, \bar{y}) \in B \times B: \bar{x} \oplus \bar{y} = \bar{n}\}|$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
R_1(B, \bar{0}) &= |\{(\bar{x}, \bar{y}) \in B \times B: \bar{x} \oplus \bar{y} = \bar{0}\}| = |\{(\bar{0}, \bar{0}), (\bar{5}, \bar{6}), (\bar{6}, \bar{5})\}| = 3 \\
R_1(B, \bar{1}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in B \times B: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{1}\}| = |\{(\bar{5}, \bar{7}), (\bar{6}, \bar{6}), (\bar{7}, \bar{5})\}| = 3 \\
R_1(B, \bar{2}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in B \times B: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{2}\}| = |\{(\bar{5}, \bar{8}), (\bar{6}, \bar{7}), (\bar{7}, \bar{6}), (\bar{8}, \bar{5})\}| = 4 \\
R_1(B, \bar{3}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in B \times B: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{3}\}| \\
&= |\{(\bar{5}, \bar{9}), (\bar{6}, \bar{8}), (\bar{7}, \bar{7}), (\bar{8}, \bar{6}), (\bar{9}, \bar{5})\}| = 5 \\
R_1(B, \bar{4}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in B \times B: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{4}\}| \\
&= |\{(\bar{5}, \bar{10}), (\bar{6}, \bar{9}), (\bar{7}, \bar{8}), (\bar{8}, \bar{7}), (\bar{9}, \bar{6}), (\bar{10}, \bar{5})\}| = 6 \\
R_1(B, \bar{5}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in B \times B: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{5}\}| \\
&= |\{(\bar{0}, \bar{5}), (\bar{5}, \bar{0}), (\bar{6}, \bar{10}), (\bar{7}, \bar{9}), (\bar{8}, \bar{8}), (\bar{9}, \bar{7}), (\bar{10}, \bar{6})\}| = 7 \\
R_1(B, \bar{6}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in B \times B: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{6}\}| \\
&= |\{(\bar{0}, \bar{6}), (\bar{6}, \bar{0}), (\bar{8}, \bar{9}), (\bar{9}, \bar{8}), (\bar{7}, \bar{10}), (\bar{10}, \bar{7})\}| = 6 \\
R_1(B, \bar{7}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in B \times B: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{7}\}| \\
&= |\{(\bar{0}, \bar{7}), (\bar{7}, \bar{0}), (\bar{9}, \bar{9}), (\bar{8}, \bar{10}), (\bar{10}, \bar{8})\}| = 5 \\
R_1(B, \bar{8}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in B \times B: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{8}\}| \\
&= |\{(\bar{0}, \bar{8}), (\bar{8}, \bar{0}), (\bar{9}, \bar{10}), (\bar{10}, \bar{9})\}| = 4 \\
R_1(B, \bar{9}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in B \times B: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{9}\}| = |\{(\bar{0}, \bar{9}), (\bar{9}, \bar{0}), (\bar{10}, \bar{10})\}| = 3 \\
R_1(B, \bar{10}) &= |\{(\bar{a}, \bar{b}) \in B \times B: \bar{a} \oplus \bar{b} = \bar{10}\}| = |\{(\bar{5}, \bar{5}), (\bar{0}, \bar{10}), (\bar{10}, \bar{0})\}| = 3
\end{aligned}$$

จากตัวอย่างจะเห็นว่าจำนวนชุดคำตอบของ $R_1(A, \bar{n})$ ไม่เท่ากับจำนวนชุดคำตอบ $R_1(B, \bar{n})$ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีบทคือ ไม่มีเซตย่อย $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ ซึ่งทำให้ได้ว่า $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ นั่นเอง

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบของปัญหาของอันตราส ซาโคชิ ใน $\mathbb{Z}_m$ นั้นจะมีผลการศึกษาที่มีความสอดคล้องและเป็นไปตามแนวคิดของ Yang และ Chen [4] ในปี ค.ศ. 2012 ที่ศึกษาการเปรียบเทียบของปัญหาของอันตราส ซาโคชิ ใน $\mathbb{Z}_m$ ซึ่งพวกเขาได้กำหนดโครงสร้างของเซต

$A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m$ ที่ทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ ก็ต่อเมื่อ m เป็นจำนวนคู่ และ $|A| = m/2$ เมื่อ $B = \mathbb{Z}_m/A$ ในปี ค.ศ. 2017 Yang และ Tang [5] ซึ่งได้ศึกษาในกรณีที่ m เป็นจำนวนคี่ โดยที่ $m \geq 3$ จะได้ว่า ไม่มีเซต $A, B \subseteq \mathbb{Z}_m$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 1$ ที่ทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ และในปี ค.ศ. 2020 Chen และ Yan [6] ได้ศึกษาปัญหาผลแบ่งกันของ $\mathbb{Z}_m$ โดยที่ฟังก์ชันตัวแทนเท่ากัน ในกรณี $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 2$ สามารถหาสองเซตย่อย A และ B ของ $\mathbb{Z}_m$ ที่ทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ ได้ และจากผลการวิจัย ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาของ อันดราส ซาโคซี ใน $\mathbb{Z}_m$ โดยที่ฟังก์ชันตัวแทนเท่ากัน ในกรณี $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ ว่าไม่มีเซตย่อย A และ B ของ $\mathbb{Z}_m$ ที่ทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ ซึ่งผู้วิจัย คาดว่า ถ้า $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - k$ เมื่อ k เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ แล้วจะสามารถเกิดผลลัพธ์ที่เป็นไปได้เพียง 2 กรณีเท่านั้น คือ

1. ถ้า $m - k$ และ m เป็นจำนวนคู่ แล้วสามารถหาเซตย่อย A และ B ของ $\mathbb{Z}_m$ ที่ทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$
2. ถ้า $m - k$ และ m เป็นจำนวนคี่ แล้วไม่สามารถหาเซตย่อย A และ B ของ $\mathbb{Z}_m$ ที่ทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ศึกษาผลแบ่งกันของ $\mathbb{Z}_m$ โดยที่ฟังก์ชันตัวแทนเท่ากัน พบว่าปัญหาผลแบ่งกันของ $\mathbb{Z}_m$ โดยที่ฟังก์ชันตัวแทนเท่ากัน ในกรณี $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ ซึ่งทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$ สามารถพิจารณาได้เฉพาะกรณีที่ m เป็นจำนวนคี่ และ $m \geq 3$ และแบ่งการพิจารณาได้ทั้งหมด 4 กรณีดังนี้

1. $A \cup B = \mathbb{Z}_m$ และ $|A \cap B| = 3$
2. $A \cup B = \mathbb{Z}_m \setminus \{\bar{r}_1\}$ โดยที่ $\bar{r}_1 \in \mathbb{Z}_m$ และ $|A \cap B| = 2$
3. $A \cup B = \mathbb{Z}_m \setminus \{\bar{r}_1, \bar{r}_2\}$ โดยที่ $\bar{r}_1, \bar{r}_2 \in \mathbb{Z}_m$ และ $|A \cap B| = 1$
4. $A \cup B = \mathbb{Z}_m \setminus \{\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3\}$ โดยที่ $\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3 \in \mathbb{Z}_m$ และ $|A \cap B| = 0$

ในการศึกษาทั้ง 4 กรณี มีผลการศึกษาไปในแนวทางเดียวกันโดยจำนวนสมาชิกของ A และ B มีจำนวนเท่ากัน คือ $\frac{m+3}{2}, \frac{m+1}{2}, \frac{m-1}{2}$ และ $\frac{m-3}{2}$ ตามลำดับ ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ว่า ไม่มีเซตย่อย A และ B ของ $\mathbb{Z}_m$ โดยที่ $|(A \cup B) \setminus (A \cap B)| = m - 3$ ที่ทำให้ $R_1(A, \bar{n}) = R_1(B, \bar{n})$ สำหรับทุก $\bar{n} \in \mathbb{Z}_m$

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nathanson, M. (1978). Representation functions of sequences in additive number theory (pp. 16 - 20). In 72th *Proceedings of the American Mathematical Society (PROC)*, USA.
- [2] Dombi, G. (2002). Additive properties of certain sets. *Acta Arithmetica*, 103, 137–146.
- [3] Chen, Y. G., & Wang, B. (2003). On additive properties of two special sequences. *Acta Arithmetica*, 110, 299-303.
- [4] Yang, Q., & Chen, F. (2012). Partitions of $\mathbb{Z}_m$ with the same representation functions. *Australasian Journal of Combinatorics*, 53, 257–262.
- [5] Yang, Q., & Tang, M. (2017). Representation functions on finite sets with extreme symmetric differences. *Journal of Number Theory*, 180, 73–85.
- [6] Chen, S., & Yan, X. (2020). Partitions of $\mathbb{Z}_m$ with identical representation function. *Bulletin of the Australian Mathematical Society*, 103(2), 204-209.

สมบัติของเพคตินสกัดจากหยวกกล้วยและการประยุกต์ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดสับประตูกุ้ง

Properties of Pectin Extracted from Banana Stalk and Implementation as Stabilizer in Phuket Pineapple Salad Dressing

ชนันณา นวนไย¹ อภิญญา แสงทอง¹ ธัชชพร ไชยเจริญ¹ ประเสริฐ จริยะเลอพงษ์¹
วิญญู วงศ์วิวัฒน์² และ ปิรinya กฤตวงศ์งาม^{*1}

Chanatcha Nuanyai¹, Apinya Sangtong¹, Tatchaporn Chaijaroen¹,
Prasert Jariyalernpong¹, Winyu Wongwiwat² & Pirinya Kritwongngam^{*1}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000

²สาขาการแพทย์แผนไทย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งสง จังหวัด
นครศรีธรรมราช 80110

¹Food Technology Program, Faculty of Agricultural Technology, Phuket Rajabhat University, Muang,
Phuket, Thailand, 83000

²Thai Traditional Medicine Department, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University
of Technology Srivijaya, Thung Song, Nakhon Si Thammarat, Thailand, 80110

Submitted 5/6/2023 ; Revised 3/8/2023 ; Accepted 30/8/2023

บทคัดย่อ

เพคตินเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากพืชซึ่งมีโครงสร้างเฉพาะและให้สมบัติคล้ายเจล งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติของเพคตินสกัดจากหยวกกล้วยโดยใช้กรดซิตริกร้อยละ 1.5 และตกตะกอนเพคตินด้วยเอทานอลร้อยละ 95 จากนั้นนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดสับประตูกุ้งเพื่อเพิ่มความคงตัวและวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่าเพคตินสกัดจากหยวกกล้วยมีปริมาณผลผลิตร้อยละ 10.49 โดยน้ำหนัก ปริมาณหมู่เมทอกซิลร้อยละ 8.86 โดยน้ำหนัก และระดับการเกิดเอสเทอร์ (%DE) ร้อยละ 53.89 ซึ่งจัดเป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลสูง (high methoxyl pectin) การใช้เพคตินสกัดจากหยวกกล้วยมาเป็นสารเพิ่มความคงตัวในน้ำสลัดสับประตูกุ้งปริมาณร้อยละ 0 1 2 3 และ 4 โดยน้ำหนัก พบว่าน้ำสลัดสับประตูกุ้งมีค่า L^* และ b^* ลดลง ค่า a^* เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.18 ปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของน้ำสลัดสับประตูกุ้งเติมเพคตินสกัดจากหยวกกล้วยร้อยละ 3 มีปริมาณความชื้น 66.19 ไขมัน โปรตีน โยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 44.03 2.65 8.21 5.92 0.01 และ 39.19 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มีค่าพลังงาน 254 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม การเติมเพคตินสกัดจากหยวกกล้วยในน้ำสลัดสับประตูกุ้งสามารถปรับปรุงผลิตภัณฑ์ด้านเนื้อสัมผัสให้มีความคงตัว ไม่เกิดการแยกชั้นในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 สัปดาห์

คำสำคัญ เพคติน หยวกกล้วย น้ำสลัด สับประตูกุ้ง

***ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)**

E-mail: pirinya.w@pkru.ac.th

Abstract

Pectin is a plant-based hydrocolloid that has unique structure and gel-like properties. This research was to evaluate the properties of pectin extracted from banana stalk using 1.5% citric acid and followed by precipitating with 95% ethanol. Then, the extracted pectin was applied in Phuket pineapple salad dressing to increase stability and analyze product quality. The yield percentage of pectin extracted from banana stalk was 10.49 by weight. The methoxyl group content and degree of esterification (%DE) of pectin were 8.86% and 53.89%, respectively. It was revealed that the extracted pectin was classified as the high methoxyl pectin. The effect of pectin extracted from banana stalk at different levels (0%, 1%, 2%, 3% and 4% by weight) on quality of Phuket pineapple salad dressing was studied. It was found that Phuket pineapple salad dressing had lower L^* and b^* values but higher in a^* value when the pectin content increased ($p < 0.05$). The pH and a_w values of the product were found at 4.18 and 0.91, respectively which were classified as high-acid food. Moreover, the pectin fortified product had total acidity 0.8% (w/w). The proximate composition including of moisture, ash, fat, protein, fiber and carbohydrate content was 44.03, 2.65, 8.21, 5.92, 0.01 and 39.19% (w/w), respectively. The energy value of the product was 254 kcal/100 g. The fortification of 3% pectin extracted from banana stalk in Phuket pineapple salad dressing could not only improve the texture but also maintain the stability of the product along 10 weeks storage at 4°C.

Keywords: pectin, banana stalk, Phuket pineapple, salad dressing

บทนำ

หอยกกล้วยเป็นวัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตร นิยมนำมาเป็นอาหารสัตว์และทำปุ๋ย การบริโภคหอยกกล้วยนั้น โดยทั่วไปจะนำส่วนแกนในสุดของต้นกล้วยมาใส่ในแกงเท่านั้น ส่งผลให้หอยกกล้วยมีมูลค่าต่ำและไม่เกิดประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจ ทั้งนี้ มีงานวิจัยพบว่าหอยกกล้วยมีเซลล์ลูไลส ลิกนิน เถ้า และใยอาหารสูง [1, 2] มีปริมาณเพคตินร้อยละ 2 ถึง 4 โดยน้ำหนัก ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของกล้วย [1] โดยเพคตินเป็นสารโพลีแซคคาไรด์พบตามธรรมชาติในผนังเซลล์ของพืช นำมาเป็นสารเติมแต่งอาหาร (food additive) เนื่องจากมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดเจล เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว และเป็นอิมัลซิไฟเออร์ เป็นต้น [3] เมื่อเติมเพคตินในผลิตภัณฑ์อาหารทำให้เกิดลักษณะผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้น การสกัดเพคตินจากหอยกกล้วยเพื่อนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งอาหาร จึงสอดคล้องกับแนวคิดโมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน หรือ BCG Economy ที่ให้ความสำคัญกับการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด การนำหอยกกล้วยซึ่งเป็นวัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตรมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าทำให้เกิดข้อได้เปรียบด้านการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารและยกระดับผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหารได้

สับปะรดภูเก็ต (*Ananas comosus* (L.) Merr. c.v. Phuket) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและเป็นเอกลักษณ์ของจังหวัดภูเก็ต มีรสหวาน เนื้อมีสีเหลืองสม่ำเสมอทั้งผล มีเยื่อใยน้อย มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว เนื้อและแกนมีความกรอบ ได้รับการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication, GI) จากกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ งานวิจัยของสุรารัตน์ ตัญเจริญสุขจิต และศศิธร จันทนวรารังกูร (2550) พบว่าเนื้อและแกนของสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [4] นอกจากนี้สับปะรดภูเก็ตยังมีสารสำคัญคือ เอนไซม์โบรมีเลน (bromelain) ช่วยระงับอาการอักเสบ อาการบวม ช่วยซ่อมแซมเนื้อเยื่อส่วนที่เสื่อมโทรม และช่วยย่อยโปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะทำให้โปรตีนถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนได้อย่างสมบูรณ์ รวมทั้งยังมีกรด AHA (alpha hydroxy acid) ที่มีฤทธิ์เป็นกรด มีสารประกอบฟีนอลิก แคโรทีนอยด์ วิตามินเอ และวิตามินซี เป็นต้น [4] การนำสับปะรดภูเก็ตมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำสลัดจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มและมีรูปแบบการบริโภคที่สอดคล้องกับแนวโน้มการบริโภคในปัจจุบันที่ให้ความสำคัญกับอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (functional food) แต่อย่างไรก็ตาม น้ำสลัดน้ำข้นในท้องตลาดมีไขมันสูงไม่สอดคล้องกับการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้พัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์น้ำสลัดน้ำข้นที่ใช้สับปะรดภูเก็ตเป็นส่วนผสมหลัก โดยลดปริมาณไขมันและโซเดียมลงในสูตร ส่งผลให้น้ำสลัดซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อิมัลชันมีความคงตัวต่ำเกิดการแยกชั้นในระหว่างการเก็บรักษา จึงจำเป็นต้องใช้สารให้ความคงตัว (stabilizing agent) ซึ่งเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ที่สามารถละลายในน้ำ และจะเกิดการพองตัวของสายโพลีเมอร์ทำให้เกิดความข้นหนืดขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของเพคตินที่สกัดจากหอยกกล้วย ซึ่งเป็นการนำวัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตรมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม และนำเพคตินสกัดจากหอยกกล้วยมาใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดสับปะรดภูเก็ต โดยวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสมบัติของเพคตินที่สกัดจากหอยวกกล้วย และศึกษาคุณลักษณะคุณภาพของน้ำสลัดสับประตูกุ้งที่ใช้เพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยเป็นสารเพิ่มความคงตัว

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติของเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วย

1.1 วิธีการสกัดเพคตินจากหอยวกกล้วยและวิเคราะห์คุณสมบัติเพคติน

1.1.1 การเตรียมหอยวกกล้วย

เตรียมหอยวกกล้วยผง โดยนำหอยวกกล้วยทั้ง 4 ชั้น ได้แก่ หอยวกชั้นนอกสุด (outer) มีสีเขียว หอยวกชั้นกลาง (middle) มีสีเหลืองอ่อน หอยวกชั้นใน (inner) มีสีเหลืองอ่อนกว่าชั้นกลาง และหอยวกกล้วยชั้นแกน (core) มีสีขาว [3] นำหอยวกกล้วยทั้ง 4 ชั้นมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก (ดังแสดงในภาพที่ 1) นำไปแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อัตราส่วนหอยวกกล้วยต่อสารละลาย เท่ากับ 1:2 เป็นเวลา 30 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 ชั่วโมง จนกระทั่งความชื้นไม่เกินร้อยละ 15 แล้วจึงนำมาบดให้ละเอียดเป็นผง เก็บในถุงโพลีเอทิลีน [5]



ภาพที่ 1 ลักษณะวัตถุดิบหอยวกกล้วย (A1 และ A2) และเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วย (B)

1.1.2 การสกัดเพคติน

การสกัดเพคติน ดัดแปลงจากวิธี Castillo-Israel และคณะ (2015) ด้วยสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 อัตราส่วนหอยวกกล้วยต่อสารละลายเท่ากับ 1:10 นำไปต้มที่อุณหภูมิ 90 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง กวนเป็นครั้งคราว กรองตัวอย่างที่ต้มแล้วด้วยผ้าขาวบาง 3 ชั้น เพื่อแยกกากออก ตกตะกอนส่วนของเหลวที่แยกได้ด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 อัตราส่วนของเหลวต่อสารละลายเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 ชั่วโมง จากนั้นกรองตะกอนด้วยผ้าขาวบาง 3 ชั้น นำตะกอนที่กรองได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 ชั่วโมง จนกระทั่งความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก [6] บดตะกอนที่แห้งให้เป็นผงละเอียด [5-7] จะได้สารสกัดเพคตินจากหอยวกกล้วย เก็บในถุง LDPE ที่อุณหภูมิห้อง นำไปวิเคราะห์สมบัติของเพคตินที่สกัดจากหอยวกกล้วย ประกอบด้วย วิเคราะห์ปริมาณผลผลิต (extraction yield) [8] ทดสอบสมบัติของคาร์โบไฮเดรต ด้วยสารละลาย Fehling (Fehling's test) และสารละลาย iodine ทดสอบสมบัติของเพคติน โดยใช้สารละลาย 10% ferric chloride สารละลายเอทานอลร้อยละ 95 สารละลาย 2N sodium hydroxide และสารละลาย saturated lead acetate [9] วิเคราะห์ปริมาณหมู่เมทอกซี

(methoxyl content) ด้วยวิธีการหาน้ำหนักสมมูลและไตเตรทด้วยสารละลาย sodium hydroxide ตามวิธีการของสุนันท์ วิทิตสิริ (2557) [10] วิเคราะห์ระดับการเกิดเอสเทอร์ (degree of esterification, DE) โดยการสกัดตัวอย่างด้วยสารละลาย hydrochloric-ethanol และคำนวณระดับการเกิดเอสเทอร์ด้วยการคำนวณปริมาตรที่ไตเตรทได้ตามวิธีการของสุนันท์ วิทิตสิริ (2557) [10] และวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำของเพคติน ตามวิธีการของนวลกมล อำนวยสิน (2561) [7]

1.1.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์คุณสมบัติของเพคตินที่สกัดจากหอยกกล้วยเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้าวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Independent t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS

2. ศึกษาผลของปริมาณเพคตินสกัดจากหอยกกล้วยต่อคุณภาพของน้ำสลัดสับประตูกุ้ง

2.1 การเตรียมชุดการทดลองน้ำสลัดสับประตูกุ้ง

น้ำสลัดสับประตูกุ้งสูตรพื้นฐาน เป็นสูตรที่ทีมผู้วิจัยได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีปริมาณไขมันลดลงตามแนวโน้มของการบริโภคในปัจจุบัน ประกอบด้วย น้ำสับประตูกุ้ง ไข่แดง น้ำมันพืช นมข้นหวาน น้ำส้มสายชู น้ำตาลทราย เกลือ และพริกไทยป่น ปรับปริมาณเพคตินสกัดจากหอยกกล้วยร้อยละ 0 (ชุดควบคุม) 1 2 3 และ 4 โดยน้ำหนัก เตรียมน้ำสลัดโดยนำส่วนผสมของน้ำสับประตูกุ้ง นมข้นหวาน น้ำส้มสายชู เกลือ และพริกไทยป่น มาผสมและคนให้เข้ากัน เทไข่แดงลงในส่วนผสม ค่อย ๆ เติมน้ำตาลทรายที่ผสมเพคตินลงไป ปั่นด้วยความเร็วสูงสุดจนน้ำสลัดผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ลดความเร็วรอบลงในระดับต่ำ ค่อย ๆ เติมน้ำมันพืช ปั่นส่วนผสมอีกครั้งให้มีลักษณะเนื้อเนียนประมาณ 5 นาที

2.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะคุณภาพน้ำสลัด

2.2.1 ลักษณะทางเคมี

นำตัวอย่างทั้ง 5 ชุดการทดลอง วิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) [11]

2.2.2 ลักษณะทางกายภาพ

2.2.2.1 วิเคราะห์ค่าความหนืดโดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer ใช้เข็มวัดเบอร์ 3 ตั้งค่าความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

2.2.2.2 วิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE (L^* a^* และ b^*) โดยใช้เครื่อง HunterLab colorimeter

2.2.2.3 วิเคราะห์ความคงตัวของน้ำสลัด โดยสังเกตจากการแยกชั้นของน้ำสลัดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 สัปดาห์ (สัปดาห์ที่ 0, 2, 4, 6 และ 10)

2.2.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษผลของปริมาณเพคตินสกัดจากหอยกกล้วยต่อคุณภาพของน้ำสลัดสับประตูกุ้งวางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS

3. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำสลัดสับประดุกุ้งที่เติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วย

วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) โดยใช้เครื่อง water activity meter วัดค่า pH โดยใช้เครื่อง pH meter วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด และองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น [11] ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) คำนวณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละโดยน้ำหนัก) และคำนวณค่าพลังงาน (กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม) ของน้ำสลัดสับประดุกุ้งที่บรรจุสุตสุตควบคุม (ไม่เติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วย) และน้ำสลัดสูตรเติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วย วางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Independent t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05) โดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS

ผลการวิจัย

สมบัติของเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วย

การทดสอบสมบัติของเพคตินที่สกัดจากหอยวกกล้วย แบ่งเป็นการทดสอบสมบัติการโบไฮเดรต การทดสอบสมบัติเพคติน และการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี เปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้า ดังแสดงในตารางที่ 1 คือ เมื่อทดสอบเพคตินด้วยสารละลาย Fehling พบว่าทั้งเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยและเพคตินทางการค้าเกิดตะกอนสีแดงอิฐ เนื่องจากหมู่อัลดีไฮด์ในสายโพลีแซ็กคาไรด์จะรีดิวซ์ Cu^{2+} เป็น Cu^+ และตกตะกอนเป็น cuprous oxide มีสีแดงอิฐ เมื่อทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีน พบว่าเพคตินทางการค้าไม่เปลี่ยนสีของสารละลายไอโอดีน ในขณะที่เพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินม่วง การทดสอบสมบัติเพคตินของเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยและเพคตินทางการค้าให้ผลการทดสอบคือ เกิดตะกอนลักษณะเป็นวุ้น หมายถึง เพคตินทั้ง 2 ชุดการทดลองมีสมบัติในการเกิดเจล เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย ferric chloride, ethyl alcohol, sodium hydroxide และ lead acetate (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สมบัติการโบไฮเดรตและสมบัติเพคตินที่สกัดจากหอยวกกล้วยและเพคตินทางการค้า

สมบัติ	การทดสอบ	เพคตินสกัดจาก หอยวกกล้วย	เพคตินทางการค้า
สมบัติ การโบไฮเดรต	• สารละลาย Fehling	ตะกอนสีแดงอิฐ	ตะกอนสีแดงอิฐ
	• สารละลาย iodine	เปลี่ยนสี (สีน้ำเงินม่วง)	ไม่เปลี่ยนสี (สีน้ำตาล)
สมบัติเพคติน	• 10% ferric chloride	เกิดตะกอนวุ้น	เกิดตะกอนวุ้น
	• 95% ethyl alcohol	เกิดตะกอนวุ้น	เกิดตะกอนวุ้น
	• 2N sodium hydroxide	เกิดตะกอนวุ้น	เกิดตะกอนวุ้น
	• saturated lead acetate	เกิดตะกอนวุ้น	เกิดตะกอนวุ้น

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของเพคตินที่สกัดจากหอยวกกล้วยและเพคตินทางการค้า

ค่าวิเคราะห์	เพคตินสกัดจาก หอยวกกล้วย	เพคตินทาง การค้า
ปริมาณผลผลิต (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	10.49±0.20	-
ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	2.91±0.03 ^a	2.80±0.94 ^b
ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมของน้ำต่อกรัมของเพคติน) ^{ns}	0.94±0.07	0.98±0.08
ปริมาณหมู่เมทอกซี (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	8.86±0.35 ^b	12.37±2.07 ^a
ระดับการเกิดเอสเทอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ^{ns}	53.89±3.61	50.00±0.00

หมายเหตุ ^{a-b} แสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ^{ns} แสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$)

สมบัติทางเคมีของเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยและเพคตินทางการค้าแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าปริมาณผลผลิตของเพคตินที่สกัดจากหอยวกกล้วยเท่ากับร้อยละ 10.49 โดยน้ำหนัก มีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำของเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยและเพคตินทางการค้ามีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.94 และ 0.98 กรัมของน้ำต่อกรัมของเพคติน ตามลำดับ ($p \geq 0.05$) ปริมาณหมู่เมทอกซีของเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยเท่ากับร้อยละ 8.86 โดยน้ำหนัก ต่ำกว่าเพคตินทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยมีค่าร้อยละ 53.89 ($p \geq 0.05$) หมู่เมทอกซีและระดับการเกิดเอสเทอร์เป็นสมบัติเฉพาะของเพคติน แสดงให้เห็นว่าโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากหอยวกกล้วยเป็นเพคติน โดยมีค่าใกล้เคียงกับเพคตินที่จำหน่ายทางการค้า

ผลของปริมาณเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยต่อคุณภาพของน้ำสลัดสับประดุกเก็ต

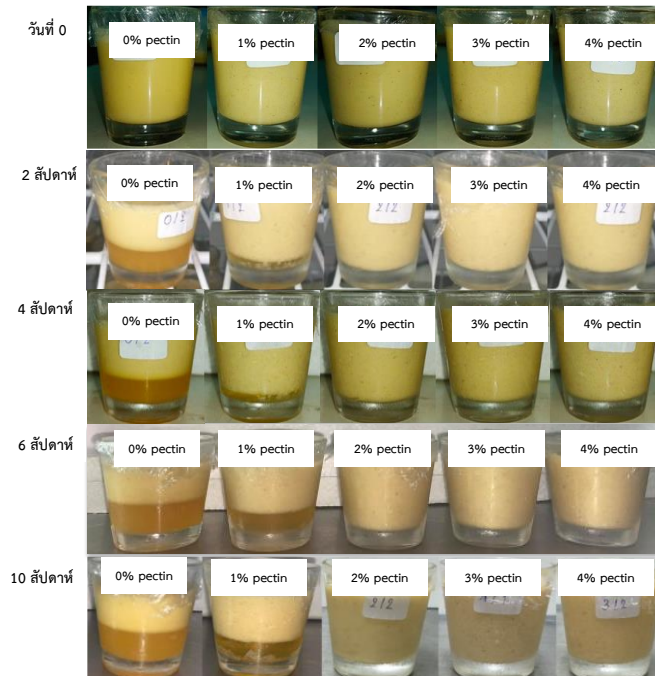
จากการศึกษาสมบัติของเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วย พบว่าเพคตินที่สกัดได้เป็นชนิดเมทอกซิลสูงเกิดเจลแบบ slow-set ในผลิตภัณฑ์ที่มี pH ต่ำ เมื่อเติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยในน้ำสลัดสับประดุกเก็ตปริมาณร้อยละ 1 2 3 และ 4 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่เติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วย) แสดงดังตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสลัดสับประดุกเก็ตทั้ง 5 สูตร มีค่าใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 53 -55 โดยน้ำหนัก ($p < 0.05$) เนื่องจากในน้ำสลัดแต่ละสูตรมีส่วนผสมของน้ำตาล เกลือ น้ำส้มสายชู (กรดอินทรีย์) เป็นองค์ประกอบ ค่าความหนืดของน้ำสลัดสับประดุกเก็ตเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เพคตินที่สกัดจากหอยวกกล้วยมีสีน้ำตาลอ่อน (ภาพที่ 1) เมื่อนำมาผสมในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดอาจส่งผลทำให้น้ำสลัดมีสีเหลืองคล้ำขึ้น (ภาพที่ 2) ส่งผลให้เมื่อเติมเพคตินในน้ำสลัดสับประดุกเก็ตปริมาณที่สูงขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของน้ำสลัดเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$)

ตารางที่ 3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ค่าความหนืด และค่าสีของน้ำสลัดสับปะรดภูเก็ตที่เติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยปริมาณที่แตกต่างกัน

ชุดการทดลอง	ปริมาณของแข็งทั้งหมด	ค่าความหนืด (centipoise)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
0%pectin	55.20±0.01 ^a	38.72±0.95 ^e	72.57±2.18 ^a	2.92±0.06 ^c	28.23±0.57 ^a
1%pectin	55.03±0.33 ^a	90.20±3.01 ^d	66.41±1.08 ^b	3.27±0.20 ^b	27.42±0.90 ^a
2%pectin	54.78±0.98 ^a	106.27±3.02 ^c	61.84±1.26 ^c	3.33±0.10 ^b	27.39±0.78 ^a
3%pectin	55.58±0.12 ^a	120.87±1.05 ^b	61.00±0.52 ^c	3.51±0.09 ^{ab}	26.86±0.83 ^{ab}
4%pectin	53.38±0.83 ^b	178.00±1.78 ^a	57.16±1.74 ^d	3.70±0.25 ^a	25.61±0.39 ^b

หมายเหตุ ^{a-e}แสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) ชุดการทดลอง 0% 1% 2% 3% และ 4%pectin คือ การเติมเพคตินที่สกัดจากหอยวกกล้วยในน้ำสลัดสับปะรดภูเก็ตร้อยละ 0 1 2 3 และ 4 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ลักษณะปรากฏของน้ำสลัดสับปะรดภูเก็ตที่เติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยปริมาณร้อยละ 0, 1, 2, 3 และ 4 แสดงดังภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าน้ำสลัดที่ไม่เติมเพคติน (0% pectin) ทำให้ส่วนผสมเกิดการแยกชั้นในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยเริ่มแยกชั้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา ในขณะที่การเติมเพคตินร้อยละ 1 เริ่มเห็นการแยกชั้นเช่นกัน แต่เกิดในปริมาณน้อยกว่า ผลลัพธ์น้ำสลัดที่เติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยร้อยละ 3 และ 4 ไม่เกิดการแยกชั้นตลอดการเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตามน้ำสลัดเติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยร้อยละ 4 ผลลัพธ์มีความข้นหนืดสูงมากสอดคล้องกับค่าความหนืดสูงที่สุด ($p<0.05$) (ตารางที่ 3)



ภาพที่ 2 ลักษณะปรากฏของน้ำสลัดสับประตูกุ้งที่เติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยปริมาณที่ต่างกัน
หมายเหตุ ชุดการทดลอง 0%, 1%, 2%, 3% และ 4% pectin คือ การเติมเพคตินที่สกัดจากหอยวกกล้วยในน้ำสลัด
 สับประตูกุ้งร้อยละ 0, 1, 2, 3 และ 4 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำสลัดสับประตูกุ้งที่เติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วย

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของน้ำสลัดสับประตูกุ้ง ดังแสดงในตารางที่ 4 เปรียบเทียบ 2 สูตร คือ น้ำสลัดสับประตูกุ้งชุดควบคุม (ไม่เติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วย) และสูตรที่เติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสูตรที่คัดเลือกจากการศึกษาลักษณะคุณภาพของน้ำสลัดด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา น้ำสลัดสับประตูกุ้งทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมด และค่าวอเตอร์แอคทิวิตีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) น้ำสลัดสับประตูกุ้งเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดสูง (pH ต่ำกว่า 4.6) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี 0.91 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ร้อยละ 44 โดยน้ำหนัก ปริมาณไขมันร้อยละ 7.24-8.21 โดยน้ำหนัก ปริมาณเยื่อใยเท่ากับร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนัก ($p \geq 0.05$) ปริมาณเถ้าร้อยละ 2.65-2.78 โดยน้ำหนัก ปริมาณโปรตีนร้อยละ 4.94-5.92 โดยน้ำหนัก ($p < 0.05$) เมื่อคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 39.19-40.49 โดยน้ำหนัก น้ำสลัดสับประตูกุ้งมีค่าพลังงาน 246-254 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำสลัดสับประดุกุ้งที่ใช้เพคตินจากหอยวกกล้วยเป็นสารให้ความคงตัวในปริมาณที่แตกต่างกัน

องค์ประกอบทางเคมี	ชุดการทดลอง	
	0% pectin	3% pectin
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ^{ns}	4.18±0.01	4.18±0.01
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ^{ns}	3.84±0.06	3.82±0.27
ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a _w) ^{ns}	0.91±0.00	0.96±0.00
ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ^{ns}	44.55±0.04	44.03±2.42
ปริมาณเถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	2.78±0.03 ^a	2.65±0.01 ^b
ปริมาณไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ^{ns}	7.24±0.45	8.21±0.65
ปริมาณโปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	4.94±0.11 ^b	5.92±0.12 ^a
ปริมาณเยื่อใย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ^{ns}	0.01±0.01	0.01±0.10
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	40.49	39.19
ค่าพลังงาน (กิโลแคลอรี)	246.88	254.33

หมายเหตุ ^{a-b}แสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

^{ns} แสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p≥0.05) ชุดการทดลอง 0% และ 3% pectin คือ น้ำสลัดสับประดุกุ้งที่ไม่เติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วย และเติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

อภิปรายผลการวิจัย

สมบัติของเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วย

งานวิจัยนี้สกัดเพคตินจากหอยวกกล้วยมีปริมาณผลผลิตร้อยละ 10.49 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าสูงกว่างานวิจัยอื่น [1, 12, 13] เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Preethi และ Balakrishna (2013) พบว่าหอยวกกล้วยสายพันธุ์ Grand Naine, Poovan, Monthan และ Nendran ในประเทศอินเดียมีปริมาณเพคตินร้อยละ 3.46 2.82 4.08 และ 2.68 ตามลำดับ [1] อีกทั้ง Manilal และ Sony (2011) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยวกกล้วยพันธุ์ Nendran ในกาบชั้นต่างๆ จำนวน 15 ชั้นพบว่าหอยวกกล้วยมีปริมาณเพคตินร้อยละ 2.4-4 โดยน้ำหนัก โดยหอยวกชั้นแกนมีปริมาณเพคตินสูงที่สุด และมีปริมาณน้อยลงตามกาบที่อยู่ชั้นถัดมาด้านนอก [15] ส่วน Li และคณะ (2010) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยวกกล้วย (banana pseudo-stem) จาก Gaozhou มณฑล Guangdong ประเทศจีน พบว่ามีปริมาณเพคตินร้อยละ 0.27 โดยน้ำหนักแห้ง [13] ทั้งนี้ความแตกต่างด้านปริมาณผลผลิตของเพคตินที่สกัดได้อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบมีแหล่งที่มาแตกต่างกัน อีกทั้งเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยในงานวิจัยนี้ยังไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ยังมีแป้งเป็นส่วนประกอบ โดยการทดสอบคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนสีของสารละลายไอโอดีนที่เป็นสีน้ำเงินม่วง ในขณะที่เพคตินทางการค้าไม่เปลี่ยนสีสารละลายไอโอดีน (ตารางที่ 1) ทั้งนี้เนื่องจากเพคตินทางการค้าผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้ว อีกทั้งเพคตินทางการค้ามักจะใช้เปลือกหรือกากผลไม้ซึ่งมีปริมาณแป้งน้อยกว่าเป็นวัตถุดิบ แต่อย่างไรก็ตามแป้งและเพคตินมี

โครงสร้างเป็นโพลีแซคคาไรด์โมเลกุลใหญ่ เมื่อละลายน้ำและให้ความร้อนสามารถเกิดเจลได้ ดังนั้นการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารด้านการเพิ่มความคงตัวหรือการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสจึงไม่ทำให้เกิดผลเสียต่อผลิตภัณฑ์ประเภทนี้

เพคตินเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) เป็นหลักเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4 ไกลโคซิดิก (alpha-1,4 glycosidic linkage) ประมาณ 200 หน่วยขึ้นไป สายโซ่หลักของเพคติน คือ กรดกาแลคทูโรนิก ($C_6H_{10}O_7$) เป็นองค์ประกอบของน้ำตาลกาแลคโตส (D-galactose) ที่ถูกออกซิไดซ์ มีหมู่อัลดีไฮด์ตรงตำแหน่ง C1 และมีหมู่คาร์บอกซิลิกตรงตำแหน่ง C6 [14] สามารถพบน้ำตาลกาแลคโตส อะราบิโนส และแมนโนสที่โซ่พันธะของสายเพคติน กรดกาแลคทูโรนิกบางส่วนจะเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ไรฟิเคชันด้วยหมู่เมทิลได้ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติของเพคติน โดยพิจารณาจากค่าระดับการเกิดเอสเทอร์และปริมาณหมู่เมทอกซี (methyl group) [15] Li และคณะ (2010) แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของเพคตินสกัดจากหอยกกล้วย ประกอบด้วยสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคส ไซโลส กาแลคโตส อะราบิโนส แมนโนส และกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) ร้อยละ 71.76 11.20 2.02 7.34 0.58 และ 7.09 โดยสัดส่วนเชิงคุณภาพ [13]

การทดสอบสมบัติเพคตินของเพคตินสกัดจากหอยกกล้วยและเพคตินทางการค้าให้ผลการทดสอบกับสารละลาย ferric chloride, ethanol, sodium hydroxide และ lead acetate คือ เกิดตะกอนลักษณะเป็นวุ้น เนื่องจากเพคตินเป็นโพลีเมอร์ที่สามารถเกิดเจลเมื่อมีไอออนประจุ 2^+ ในระบบ เช่น Ca^{2+} Ba^{2+} Zn^{2+} Fe^{2+} Pb^{2+} เป็นต้น [16] โดยไอออนประจุ 2^+ ในระบบสารละลายที่ทำให้เกิดประจุบวกหรือลบทั้งหมดจะเชื่อมโมเลกุลของเพคตินเข้าด้วยกันโดยทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแลคทูโรนิกซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโมเลกุลของเพคตินเกิดโครงสร้างเจลที่แข็งแรงและอึดของเหลวไว้ภายในเกิดเจลขึ้นในลักษณะ “Egg box” [14] ทั้งนี้เพคตินสกัดจากหอยกกล้วยมีหมู่เมทอกซีร้อยละ 8.86 ระดับการเกิดเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 53.89 โดยน้ำหนัก ซึ่งเพคตินสามารถจำแนกตามระดับการเกิดเอสเทอร์ได้เป็นชนิดเมทอกซิลสูง (high methoxyl pectin) มีระดับการเกิดเอสเทอร์ร้อยละ 60-75 และชนิดเมทอกซิลต่ำ (low methoxyl pectin) มีระดับการเกิดเอสเทอร์ร้อยละ 20-40 โดยเพคตินเมทอกซิลสูงสามารถเกิดเจลได้ดีในสภาวะที่มีน้ำตาลสูงกว่าร้อยละ 55 และ pH ประมาณ 3 ส่วนเพคตินเมทอกซิลต่ำสามารถเกิดเจลได้เมื่อมีแคลเซียมหรือไอออนที่มีประจุบวก (divalent cations) pH 3-4.5 สำหรับการเกิดเจลของเพคตินที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์สูงกว่าร้อยละ 72 จะเกิดเจลลักษณะ rapid-set ส่วนการเกิดเจลของเพคตินที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์ร้อยละ 58-72 เกิดเจลลักษณะ slow-set [5,17] โดยทั่วไปเพคตินทางการค้ามีหมู่เมทอกซีร้อยละ 8-11 ส่วนเพคตินเมทอกซิลต่ำจะมีปริมาณหมู่เมทอกซีต่ำกว่าร้อยละ 7 [5] ดังนั้นเพคตินที่สกัดจากหอยกกล้วยและเพคตินทางการค้าเป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลสูง (high methoxyl pectin) เกิดเจลลักษณะ slow-set

ผลของปริมาณเพคตินที่สกัดจากหอยวกกล้วยต่อคุณภาพของน้ำสลัดสับประรดภูเก็ต

เพคตินนำมาใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารโดยเฉพาะกลุ่มผลิตภัณฑ์อิมัลชันที่มีส่วนผสมของน้ำและไขมัน โดยมีอิมัลซิฟายเออร์เป็นตัวเชื่อมประสานเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นเนื้อเดียวกันและไม่เกิดการแยกชั้น แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์อิมัลชันเหล่านี้มักจะไม่นคงตัว เกิดการแยกชั้นได้ในระหว่างการเก็บรักษาส่งผลให้เกิดลักษณะไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์นั้นๆ สำหรับน้ำสลัดสับประรดภูเก็ตเป็นผลิตภัณฑ์อิมัลชันมีส่วนผสมที่เป็นเฟสของเหลวประกอบด้วยน้ำสับประรด น้ำส้มสายชู น้ำตาล และเกลือที่ละลายรวมกัน มีน้ำมันพืชเป็นเฟสไขมัน โดยมีไข่แดงเป็นอิมัลซิฟายเออร์ในการเชื่อมประสานให้ส่วนผสมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกัน ผลิตภัณฑ์น้ำสลัดสับประรดภูเก็ตไม่เกิดการแยกชั้นในช่วงแรกของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 2 ในระหว่างการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 2 น้ำสลัดเริ่มเกิดการแยกชั้น และเกิดการแยกชั้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้ความไม่คงตัวของอิมัลชันอาจเกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันหรือการจับตัวกันของโปรตีนในองค์ประกอบของอาหาร ดังนั้นการเติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดสับประรดภูเก็ตร้อยละ 3 และ 4 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดความคงตัวและไม่แยกชั้นตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากเพคตินเป็นโพลีเมอร์สายยาวมีแขนงจำนวนมากสามารถละลายในน้ำและเกิดการพองตัวของสายโพลีเมอร์เกิดความข้นหนืดขึ้นในผลิตภัณฑ์ และทำให้เกิดการกระจายตัวของส่วนผสมในระบบอย่างสม่ำเสมอ [18, 19] สอดคล้องกับงานวิจัยของ กรวิทย์ สักแกแก้ว และคณะ [20] ศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกแก้วมังกรสายพันธุ์ *Hylocereus polyrhizus* ด้วยวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลส นำมาใช้เพื่อทดแทนไขมันในน้ำสลัดที่ระดับความเข้มข้นเพคตินร้อยละ 0-2.4 โดยน้ำหนัก พบว่าการเติมเพคตินจากเปลือกแก้วมังกรร้อยละ 1.36 มีการยอมรับของผู้บริโภคโดยรวมสูงที่สุด หากเติมเพคตินปริมาณมากกว่านี้จะส่งผลด้านรสชาติ กลิ่น ความข้นหนืด และเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ [20]

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำสลัดสับประรดภูเก็ตที่เติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วย

สูตรน้ำสลัดสับประรดภูเก็ตในงานวิจัยนี้มีปริมาณความข้นร้อยละ 44 โดยน้ำหนัก ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี เท่ากับ 0.91 ปริมาณไขมันร้อยละ 7.24 - 8.21 โดยน้ำหนัก ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1402-2540 มายองเนสและสลัดครีม [21] กำหนดไว้ว่าน้ำสลัดควรมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่เกิน 4.1 ไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 แต่ไม่เกินร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จะเห็นได้ว่าน้ำสลัดสับประรดภูเก็ตมีปริมาณความข้นสูงและปริมาณไขมันต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด เนื่องจากผู้วิจัยได้พัฒนาน้ำสลัดสูตรส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำสับประรดสูง ปริมาณน้ำมันต่ำ เพื่อให้เกิดกลิ่นและรสชาติของสับประรดภูเก็ตเพิ่มขึ้น ทั้งยังลดปริมาณน้ำมันเพื่อให้สอดคล้องกับแนวโน้มการบริโภคอาหารสุขภาพ ซึ่งปริมาณส่วนผสมดังกล่าวอาจส่งผลต่อระบบอิมัลชันของน้ำสลัดสับประรดภูเก็ต ทั้งยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความหนืดต่ำ (ตารางที่ 3) และไม่เกิดความคงตัวของน้ำสลัดในระหว่างการเก็บรักษา การเติมเพคตินสกัดจากหอยวกกล้วยซึ่งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่สามารถพองตัวในน้ำและมีความหนืดเพิ่มขึ้น จึงสามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้

สรุปผลการวิจัย

การสกัดเพคตินจากหอยกกล้วยในสภาวะกรดมีปริมาณผลผลิตร้อยละ 10.49 โดยน้ำหนัก เพคตินสกัดจากหอยกกล้วยมีคุณสมบัติเป็นคาร์โบไฮเดรตและมีคุณสมบัติของเพคตินในการเกิดเจล เช่นเดียวกับเพคตินทางการค้า จัดว่าเป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลสูง (high methoxyl pectin) เกิดเจลแบบ slow-set เมื่อนำเพคตินสกัดจากหอยกกล้วยมาใช้เป็นสารปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและความคงตัวของน้ำสลัดสับประตูกุ้งได้ ผลิตภัณฑ์จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ น้ำสลัดสับประตูกุ้งเติมเพคตินสกัดจากหอยกกล้วย ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 44.03, 2.65, 8.21, 5.42, 0.01 และ 39.19 โดยน้ำหนัก มีค่าพลังงานเท่ากับ 254.33 กิโลแคลอรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Preethi, P., & Balakrishna M. G. (2013). Physical and chemical properties of banana fiber extracted from commercial banana cultivars grown in Tamilnadu state. *Agrotechnology*, S11(008), 1-3.
- [2] Pereira, A. L., do Nascimento, D. M., Souza, M. S. M., Cassales, A. R., Morais, J. P. S., de Paula, R. C. M., Rosa, M. F., & Feitosa, J. P. A. (2014). Banana (*Musa sp.* Cv. Pacovan) pseudostem fibers are composed of varying lignocellulosic composition throughout the diameter. *BioResources*, 9(4), 7749-7763.
- [3] Wedamulla, N. E., & Wijesinghe, W. A. J. P. (2021). Application of Polysaccharides in Food Technology: A Review. *Trends In Carbohydrate Research*, 13(2), 35-49.
- [4] สุภารัตน์ ตัญเจริญสุขจิต และ ศศิธร จันทนวรารุณ. (2550). ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของเปลือก แก่นและเนื้อสับประตูปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ต (หน้า 656-663). ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45*. กรุงเทพฯ.
- [5] Castillo-Israel, K. A. T., Baguio, S. F., Diasanta, M. D. B., Lizardo, R. C. M., Dizon, E. I., & Mejico, M. I. F. (2015). Extraction and characterization of pectin from saba banana [*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*] peel wastes: a preliminary study. *International Food Research Journal*, 22(1), 202-207.
- [6] Kamble, P. B., Gawande, S., & Patil, T. S. (2017). Extraction of pectin from unripe banana peel. *Food Technology*, 4(7), 2259-2264.
- [7] นวลกมล อำนวยสิน ญัฐญาภรณ์ เสือชุมแสง และ เทพปัญญา เจริญรัตน์. (2561). การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยหอมทองด้วยกรดไฮโดรคลอริกและกรดซิตริก. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 7(5), 481-490.
- [8] Maneerat, N., Tangsuphoom, N., & Nitithamying, A. (2017). Effect of extraction condition on properties of pectin from banana peels and its function as fat replacer in salad cream. *Journal of Food Science and Technology*, 54(2), 386-397.

- [9] สุปรียา ยืนยงสวัสดิ์ และ สุดใจ คงทอง. (2537). การศึกษาคุณสมบัติของสารสกัดโพลีแซ็กคาไรด์จากเปลือกกล้วยไข่ กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอม (รายงานผลการวิจัย). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
- [10] สุนันท์ วิทิตสิริ. (2557). การเปรียบเทียบปริมาณเพกตินจากซังขนุนหนึ่งจำปารอบโดยการสกัดด้วยน้ำร้อนและความดันไอสุง. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา*, 9(2), 95-112.
- [11] AOAC. (1999). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (16th edition). Washington, DC: The Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- [12] Manilal, V. B., & Sony, J. (2011). Banana pseudostem characterization and its fiber property evaluation on physical and bioextraction. *Journal of Natural Fibers*, 8, 1-12.
- [13] Li, K., Fu, S., Zhan, H., Zhan, Y., & Lucia, L. A. (2010). Analysis of the chemical composition and morphological structure of banana pseudo-stem. *BioResources*, 5(2), 576-585.
- [14] Sundar Raj, A. A., Rubila, S., Jayabalan, R., & Ranganathan, T. V. (2012). A review on pectin: Chemistry due to general properties of pectin and its pharmaceutical uses. *Open Access Scientific Reports*, 12(1), 1-5.
- [15] Ngouémazong, E. D., Christiaens, S., Shpigelman, A., Loey, A. V., & Hendrickx, M. (2015). The emulsifying and emulsion-stabilizing properties of pectin: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14, 705-718.
- [16] Gawkowska, D., Cybulska, J., & Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: a review. *Polymers*, 4, 20-29.
- [17] Sriamornsak, P. (2003). Chemistry of pectin and its pharmaceutical uses: A review. *Silpakorn University International Journal*, 3(1-2), 206-228.
- [18] Evanuarini, H., & Susilo, A. (2020). The quality of low fat mayonnaise using banana peel flour as stabilizer. *Earth and Environmental Science*, 54(2), 386-397.
- [19] Ma, Z., & Boye, J. I. (2013). Advances in the design and production of reduced-fat and reduced-cholesterol salad dressing and mayonnaise: a review. *Food Bioprocess Technology*, 6(3), 648-670.
- [20] กรวิทย์ สักแกแก้ว พรทิพย์ พสุกลมเศรษฐ์ และ นื่องนุช ศิริวงศ์ (2563). ผลของการทดแทนไขมันด้วยเพกตินจากเปลือกแก้วมังกรต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำสลัด. *วารสารวิทยาลัยดุสิตธานี*, 14(3), 328-342.
- [21] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2540). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มายองเนสและสลัดครีม (มอก. 1402-2540)*. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.

แบบจำลองการจำแนกรูปภาพตามความหมาย
ได้รับการฝึกฝนสำหรับการเรียกค้นรูปภาพโดยใช้ภาษาธรรมชาติ
The Semantic-Based Image Classification Model
Trained for Image Retrieval Using Natural Language

จักรินทร์ สันติรัตนภักดี^{*1,2} และ ศุภกฤษฎี นิวัฒนากุล²
Chakkarin Santirattanaphakdi ^{*1,2} & Suphakit Niwattanakul²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีธุรกิจดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

²สำนักวิทยาศาสตร์และศิลปดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

¹Department of Digital Business Technology, Faculty of Business Administrator,
Vongchavalitkul University

²Institute of Digital Arts and Science, Suranaree University of Technology

Submitted 25/06/2023 ; Revised 20/08/2023 ; Accepted 05/10/2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการจำแนกรูปภาพตามความหมายโดยใช้ตัวแบบที่ถูกฝึกฝนล่วงหน้าแบบคอนทราสต์ด้วยข้อความและรูปภาพ และเรียนรู้ข้ามชุดข้อมูลที่กำหนดเอง ผลการประเมินตัวแบบที่ได้รับการฝึกฝนสำหรับการเรียกค้นรูปภาพโดยใช้ภาษาธรรมชาติเปรียบเทียบกับผลการพยากรณ์ป้ายกำกับภาษาธรรมชาติกับผลการประเมินความหมายของป้ายกำกับจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ผลการพยากรณ์ป้ายกำกับภาษาธรรมชาติภายใต้ 3 เงื่อนไข ได้แก่ 1) ข้อความบรรยายรูปภาพ ในลักษณะป้ายกำกับของรูปภาพ 2) ข้อความบรรยายรูปภาพเกี่ยวกับแนวคิดระดับสูงของภาพ และ 3) ข้อความบรรยายรูปภาพที่อธิบายความหมายเชิงคุณภาพของรูปภาพ เท่ากับ 0.905, 0.830 และ 0.585 ตามลำดับ โดยผลการประเมินด้วยข้อความบรรยายรูปภาพที่อธิบายความหมายเชิงคุณภาพของรูปภาพอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากข้อความที่อยู่ในรูปแบบของป้ายกำกับภาษาธรรมชาตินั้นถือว่าเป็นแนวคิดระดับสูง ดังนั้นประสิทธิภาพของแต่ละบุคคลจึงส่งผลให้การประเมินนั้นแตกต่างกันตามหลักการรับรู้ของมนุษย์ อันจะเห็นได้จากผลการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงกันของข้อความบรรยายรูปภาพที่มากกว่า 1 ตัวเลือก การเรียกค้นรูปภาพตามความหมายจึงควรให้ความสำคัญกับการลดช่องว่างความหมายของคำค้นหา และช่วยสนับสนุนผู้ใช้ด้วยการใช้คำค้นภายใต้รูปแบบของภาษาธรรมชาติที่ยึดโยงกับความหมายของรูปภาพแทนที่จะยึดตามหลักไวยากรณ์ของภาษา อันจะเป็นแนวทางการเรียกค้นสารสนเทศในอนาคต

คำสำคัญ: การจำแนกรูปภาพ รูปภาพตามความหมาย การเรียนรู้ภาษาธรรมชาติ การเรียกค้นรูปภาพ

***ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)**

E-mail: chakkarin_san@vu.ac.th

Abstract

The objective of this research is to develop a model for image classification based on semantic meaning using pre-trained deep learning models with text and image data, and iterative learning on custom datasets. Evaluation results of the trained models for image retrieval using natural language label were compared against expert-assessed label meanings, revealing that the prediction performance for natural language label under three conditions, namely 1) image descriptive text resembling image label, 2) high-level conceptual text related to the image content, and 3) text describing the qualitative meaning of the image, yielded scores of 0.905, 0.830, and 0.585, respectively. The evaluation results for text describing the qualitative meaning of the image were found to be at a moderate level, as the text in the form of natural language label is considered a high-level concept. Consequently, individual perceptual experiences influenced the evaluation differently based on human cognition principles, as evidenced by the closely aligned prediction results for similar descriptive text for more than one option. Therefore, meaningful image retrieval should emphasize reducing the semantic gap in search queries and assist users by utilizing query terms aligned with image meaning rather than adhering strictly to grammatical language rules. This approach is suggested as a future direction for information retrieval.

Keywords: image classification, semantic-based image, natural language supervision, image retrieval

บทนำ

ช่องว่างความหมาย (semantic-gap) เป็นข้อจำกัดสำคัญของการเรียกค้นรูปภาพจากเนื้อหา (content-based image retrieval: CBIR) [1] เนื่องจากคุณลักษณะระดับต่ำ (low-level features) เช่น สี รูปทรง พื้นผิว หรือตำแหน่งนั้นไม่สามารถสื่อความหมายของรูปภาพได้อย่างถูกต้อง แม้ปัจจุบันจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในความเป็นจริงพฤติกรรมผู้ใช้โดยมากจะเรียกค้นรูปภาพโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะระดับต่ำ และแนวคิดระดับสูง (high-level semantics) ที่เป็นรูปธรรม (concrete concept) อย่างวัตถุ กิจกรรม หรือเหตุการณ์ และแนวคิดที่เป็นนามธรรม (abstract concept) อย่างอารมณ์และความรู้สึก ดังภาพที่ 1 รวมเข้าด้วยกันเป็นข้อความค้นหาที่เป็นแนวคิดระดับสูง ในทางกลับกัน คุณลักษณะที่ถูกแยกโดยอัตโนมัติโดยใช้คอมพิวเตอร์มักเป็นคุณลักษณะระดับต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปไม่มีการเชื่อมโยงโดยตรงระหว่างแนวคิดระดับสูงและคุณลักษณะระดับต่ำทำให้ผลลัพธ์จากการเรียกค้นมีประสิทธิภาพไม่สูงเท่าที่ควร เป็นที่มาของแนวคิดการเรียกค้นรูปภาพตามความหมาย (semantic-based image retrieval: SBIR) [2] ที่มุ่งเชื่อมโยงคุณลักษณะระดับต่ำของรูปภาพให้กลายเป็นแนวคิดระดับสูง เพื่อระบุถึงความหมายของรูปภาพในระดับสูงที่มนุษย์สามารถเข้าใจได้

แนวคิดระดับสูงเชิงรูปธรรม (Concrete Concept)	
วัตถุ (Objects) - สาวรับใช้ (Maid) < ผู้หญิง (Woman) < บุคคล (Person) - ชุดยาวสีดำ (Black dress) - ตู้เสื้อผ้า (Wardrobe) < เครื่องเรือน (Furniture) - หน้าต่าง (Window) - ปราสาทลิเซแลนด์ (Liselund Castle) < ปราสาท (Castle)	กิจกรรม (Activities) - ผินกลางวัน (Daydreaming) - กำลังมองไปนอกหน้าต่าง (Looking out of the window)
อารมณ์ (Mood) - เศร้าโศก (Melancholic) - รู้สึกถูกพันธนาการ (Feeling locked in)	
แนวคิดระดับสูงเชิงนามธรรม (Abstract Concept)	
ฉาก (Scene) - ห้องที่ตกแต่งแบบดั้งเดิม (Old-fashion room) < ห้อง (Room) < ภายในอาคาร (Indoor) - ห้องที่แสงแดดส่อง (Sunlit room)	
ผู้หญิงยืนอยู่เบื้องหน้าหน้าต่างถัดจากตู้เสื้อผ้า (Woman in front of window next to wardrobe)	
เมตา (Meta) “หน้าต่างความฝันภายในปราสาทลิเซแลนด์ (The Dream Window in the Old Liselund Castle)” ภาพวาดโดย (Painting by) G. Achen < ภาพวาด (Painting) < งานศิลปะ (Artwork) ภาพวาดสีน้ำมัน (Oil on canvas) <	

ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดระดับสูงที่เป็นรูปธรรม และที่เป็นนามธรรม (ดัดแปลงจาก [2])

ปัจจุบันมีการนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียม (neural network) ในการจำแนกประเภทรูปภาพ (image classification) [3] โดยมีจุดเริ่มต้นมาจากการใช้แนวคิดของคอนโวลูชันในการทำงานกับข้อมูล 2 มิติเกิดเป็นโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (convolutional neural network: CNN) ในการสกัดคุณลักษณะ (feature extraction) ของรูปภาพออกมาวิเคราะห์ และนำไปจำแนกประเภทรูปภาพเป็นที่มาของสถาปัตยกรรม LeNet-5 [4]

เมื่อคอมพิวเตอร์ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นสูงขึ้น จึงเกิดการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อจำแนกวัตถุบนชุดข้อมูลขนาดใหญ่ ที่ได้รับความนิยมมาจนถึงปัจจุบัน เช่น AlexNet และ VGG ซึ่งใช้แนวคิดการเพิ่มความลึกของจำนวนชั้นให้ตัวแบบมีความซับซ้อนมากขึ้น ถือว่าเข้าสู่ยุคการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) [5] ที่มุ่งเพิ่มความลึกของชั้นซ่อนเร้นให้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากส่งผลต่อความแม่นยำอย่างไรก็ดี เมื่อถึงจุดหนึ่ง ๆ ความแม่นยำจะลดลง เนื่องจากปัญหาค่าเกรเดียนต์สูญหาย (gradient vanishing) เป็นที่มาของสถาปัตยกรรม ResNet [6] ที่แก้ปัญหาค่าเกรเดียนต์สูญหายด้วยเทคนิค skip connection ร่วมกับ batch normalization เกิดเป็นตัวแบบที่ให้ความแม่นยำสูงแม้จะมีความลึกมากก็ตาม

พัฒนาการของการเรียนรู้เชิงลึกในปัจจุบันส่วนสำคัญเริ่มต้นมาจากการงานด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์ ในการพัฒนาตัวแบบที่ถูกฝึกฝนใหม่ตั้งแต่ต้น (pre-training) จากคำนำหน้าหนักที่เริ่มต้นจากการสุ่มและเริ่มฝึกฝนโดยไม่มีความรู้อะไรเลย ดังนั้นในการประยุกต์ใช้จึงสามารถปรับแต่ง (fine-tuning) ตัวแบบเพิ่มเติมด้วยชุดข้อมูลที่เฉพาะเจาะจงในงานที่ต้องการ เนื่องจากตัวแบบได้เรียนรู้การเป็นตัวแทน (representation) ของคุณลักษณะที่สำคัญ ๆ ในรูปภาพเอาไว้ อีกทั้งสามารถถ่ายโอนความรู้ (transfer learning) ไปใช้ได้เลยโดยไม่จำเป็นต้องฝึกฝนตัวแบบใหม่ตั้งแต่ต้น ดังนั้นการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (natural language processing: NLP) จึงได้นำแนวคิดดังกล่าวมาปรับใช้ในการฝึกฝนตัวแบบทางภาษา (language model) บนข้อความดิบขนาดใหญ่ด้วยการเรียนรู้ด้วยตนเอง (self-supervised) อย่างสถาปัตยกรรม Transformer [7] ต่อมาทีมผู้พัฒนาจากกูเกิลเสนอสถาปัตยกรรม Vision in Transformer (ViT) [8] ในการจำแนกรูปภาพโดยใช้แนวคิดเช่นเดียวกับการทำงานกับข้อความแต่เปลี่ยนมาใช้กับรูปภาพ แบบไม่มีการใช้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันแม้แต่กระบวนการเดียว (end-to-end transformer)

ตัวแบบ CLIP (Contrastive Language-Image Pre-training) [9] ที่ถูกฝึกฝนล่วงหน้าเป็นหนึ่งในตัวแบบที่นำแนวคิดของ Transformer มาใช้ในการจำแนกรูปภาพจากการเรียนรู้หลายรูปแบบ (multimodal learning) ร่วมกันระหว่างรูปภาพและข้อความ เพื่อใช้เรียนรู้ความหมายรูปภาพจากข้อความภาษาธรรมชาติ ประกอบด้วยตัวเข้ารหัสข้อความ (text encoder) ด้วย Transformer สำหรับแปลงข้อความให้อยู่ในรูปแบบเวกเตอร์ (text embedding) และตัวเข้ารหัสรูปภาพ (image encoder) ด้วย Vision in Transformer สำหรับแปลงรูปภาพให้อยู่ในรูปแบบเวกเตอร์ (image embedding) เพื่อฝึกฝนให้ตัวแบบเรียนรู้จากความสัมพันธ์ระหว่างคำบรรยายภาพและรูปภาพ

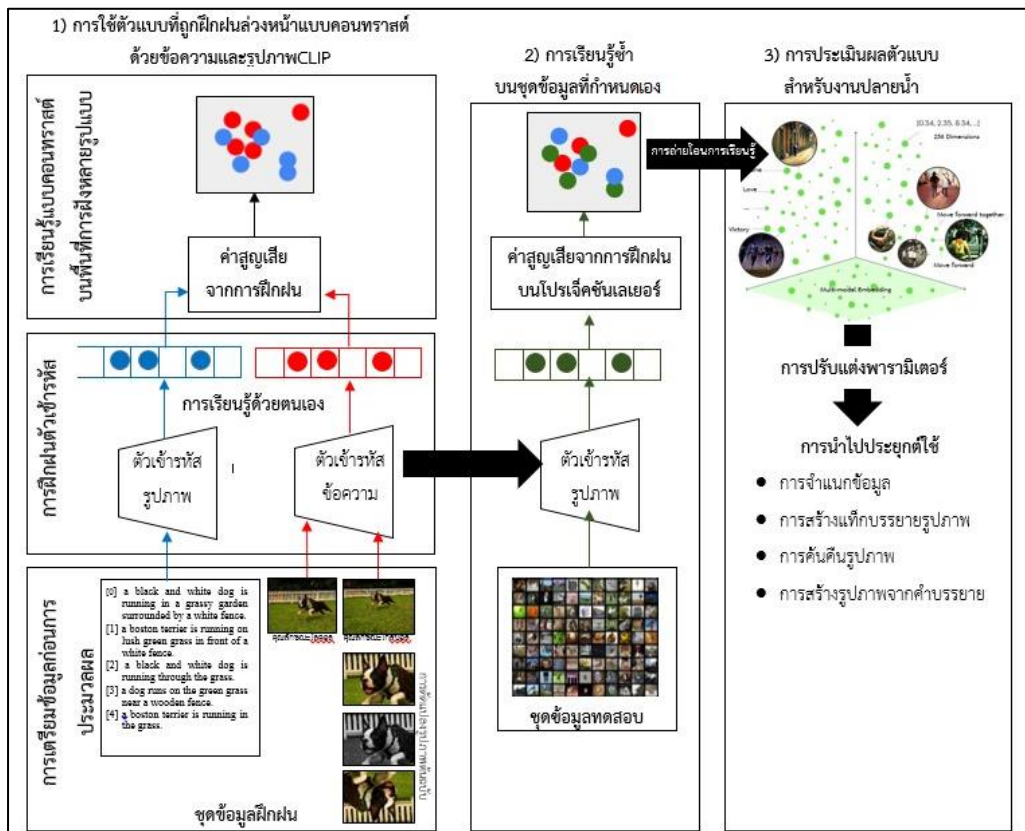
งานวิจัยนี้มุ่งฝึกฝนตัวแบบจำแนกรูปภาพตามความหมายจากการเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างรูปภาพกับข้อความที่อยู่ในลักษณะข้อความภาษาธรรมชาติ แทนที่จะเรียนรู้ภายใต้คลาสที่จำกัดอย่างสุนัขหรือแมว เมื่อตัวแบบได้รับการฝึกฝนจากข้อความทั้งประโยค จะส่งผลให้ตัวแบบสามารถเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ ได้มากขึ้น และสามารถค้นหารูปแบบความสัมพันธ์บางอย่างระหว่างรูปภาพกับข้อความด้วยการเรียนรู้ด้วยตนเอง เพื่อจำแนกรูปภาพตามความหมายคำค้นหาในรูปแบบภาษาธรรมชาติที่ยืดหยุ่นกับความหมายของรูปภาพแทนที่จะยึดตามหลักไวยากรณ์ของภาษา อันจะเป็นแนวทางการเรียกค้นสารสนเทศในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแบบจำลองการจำแนกรูปภาพตามความหมายสำหรับการเรียกค้นรูปภาพโดยใช้ภาษาธรรมชาติ
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพการจำแนกรูปภาพด้วยป้ายกำกับภาษาธรรมชาติ

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อพัฒนาแบบจำลองการจำแนกรูปภาพตามความหมายได้รับการฝึกฝนสำหรับการเรียกค้นรูปภาพโดยใช้ภาษาธรรมชาติ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แบบจำลองการจำแนกรูปภาพตามความหมายได้รับการฝึกฝนสำหรับการเรียกค้นรูปภาพ

1) การใช้ตัวแบบที่ถูกฝึกฝนล่วงหน้าแบบคอนทราสต์ด้วยข้อความและรูปภาพประกอบด้วย

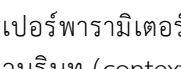
1.1) การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (dataset pre-processing) งานวิจัยนี้ใช้ชุดข้อมูล Flickr30k ประกอบด้วยรูปภาพจำนวน 31,783 รูปภาพและข้อความบรรยายรูปภาพ กำหนด 1 รูปภาพต่อ 5 ข้อความบรรยายรูปภาพ ดังตารางที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

1.1.1) การดัดแปลงรูปภาพต้นฉบับ (image augmentation) [10] มาดัดแปลงเป็นรูปภาพใหม่เพื่อเป็นชุดข้อมูลฝึกฝน ประกอบด้วยคุณลักษณะโกลบอล (global features) เช่น สี พื้นผิว

รูปทรง และตำแหน่ง ร่วมกับคุณลักษณะแบบโลคอล (local features) ที่是你คุณลักษณะเฉพาะของแต่ละส่วนในรูปภาพ เพื่อให้ตัวแบบเรียนรู้ และจดจำคุณลักษณะสำคัญของรูปภาพได้ดียิ่งขึ้น

1.1.2) การทำความสะอาดและกำหนดมาตรฐานข้อความ (text cleansing and normalization) ด้วยการกำจัดเครื่องหมายต่าง ๆ และเปลี่ยนเป็นตัวอักษรพิมพ์เล็กทั้งหมด ตลอดจนปรับข้อความให้อยู่ในเซลล์เดียวกันทั้งประโยค เพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

ตารางที่ 1 ตัวอย่างรูปภาพและข้อความบรรยายรูปภาพจากชุดข้อมูล Flickr30k

ลำดับ	ข้อความบรรยายรูปภาพ	รูปภาพ
1	a black and white dog is running in a grassy garden surrounded by a white fence.	
2	a boston terrier is running on lush green grass in front of a white fence.	
3	a black and white dog is running through the grass.	
4	a dog runs on the green grass near a wooden fence.	
5	a boston terrier is running in the grass.	

1.2) การฝึกฝนตัวเข้ารหัส (encoder pre-training) กำหนดค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ (hyperparameters) ได้แก่ ความละเอียดอินพุต (input resolution) ความยาวบริบท (context length) และขนาดคำศัพท์ (vocab size) เท่ากับ 224, 77 และ 49,408 ตามลำดับ มีรายละเอียดดังนี้

1.2.1) ตัวเข้ารหัสข้อความ (text encoder) โดยใช้ตัวแบบภาษา DistilBERT [11] บนพื้นฐานสถาปัตยกรรม Transformer เริ่มจากการแยกข้อความบรรยายรูปภาพเป็นโทเค็น จากนั้นป้อนรหัสโทเค็น และสร้างมาสก์ระบุมความสนใจ (attention masks) ที่เป็นเทนเซอร์ขนาดเท่ากับรหัสโทเค็น ประกอบด้วยเลข 1 ที่แปลว่าโทเค็นในตำแหน่งนั้น ๆ จำเป็นต้องพิจารณา ตรงกันข้ามกับเลข 0 ที่จะไม่ถูกพิจารณาบนชั้นความสนใจ (attention layers) จากนั้นเพิ่มโทเค็น CLS เพื่อใช้แทนตำแหน่งเริ่มต้นของข้อมูล และโทเค็น SEP สำหรับกำหนดขอบเขตระหว่างประโยค ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของประโยค เพื่อเรียนรู้ความหมายโดยรวมของข้อความบรรยายรูปภาพแต่ละประโยค ผลลัพธ์จากการฝังข้อความ (text embedding) แปลงเป็นเวกเตอร์คุณลักษณะข้อความ (text feature vector) ขนาด 768

1.2.2) ตัวเข้ารหัสรูปภาพ (image encoder) โดยฝึกฝนตัวเข้ารหัสรูปภาพตามสถาปัตยกรรม Vision Transformer แบบ ViT-B/32 จากการสร้างคอนโวลูชันฟิลเตอร์ขนาด 32*32*3 มาจากแพทช์ (patches) ขนาด 32*32 หากอินพุตเป็นรูปภาพสี่ตอคุณ 3 เข้าไป เพราะแต่ละพิกเซลจะมีข้อมูลความสว่าง 3 สี คือสีแดง เขียว และน้ำเงิน และเข้ารหัสเป็นอาร์เรย์ 7*7*3 จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแพทช์เพื่อสกัดคุณลักษณะรูปภาพ โดยผลลัพธ์จากการฝังรูปภาพ (image embedding) จะแปลงเป็นเวกเตอร์คุณลักษณะรูปภาพ (image feature vector) ขนาด 2,048

1.3) การเรียนรู้แบบคอนทราสต์บนพื้นที่การฝังหลายรูปแบบ (contrastive learning on multi-modal embedding space) โดยใช้ projection head ในการเปลี่ยนขนาดเวกเตอร์คุณลักษณะข้อความและเวกเตอร์คุณลักษณะรูปภาพบนพื้นที่การฝังที่มีมิติเท่ากับ 256 เพื่อฝึกฝนร่วมกันระหว่างตัวเข้ารหัสรูปภาพและตัวเข้ารหัสข้อความ โดยเอาต์พุตจากโครงข่ายประสาทเทียมจะอยู่ในรูปแบบ logits score จึงต้องแปลงค่าให้เป็นมาตรฐานสำหรับการแจกแจงความน่าจะเป็นตามสัดส่วนของค่าเอาต์พุตแต่ละคลาสด้วยฟังก์ชันซอฟต์แมกซ์ [12] ดังสมการที่ 1

$$f(x_i) = \frac{\exp(x_i)}{\sum_j^n \exp(x_j)} \quad (1)$$

กำหนดให้

x_i คือ เวกเตอร์อินพุตของฟังก์ชันซอฟต์แมกซ์

$\exp(x_i)$ คือ ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลมาตรฐาน มีค่าคงที่เท่ากับ 2.71828 ยกกำลังด้วยเวกเตอร์อินพุต

$\sum_j \exp(x_i)$ คือ การปรับค่าให้เป็นมาตรฐาน โดยค่าเอาต์พุตทั้งหมดรวมกันเป็น 1 และแต่ละค่าอยู่ในช่วง (0, 1)

จากตารางที่ 1 สมมติค่า logits score จากค่าความคล้ายคลึงระหว่างเวกเตอร์คุณลักษณะรูปภาพกับเวกเตอร์คุณลักษณะข้อความบรรยายรูปภาพลำดับที่ 1 ถึงลำดับ 5 เท่ากับ 0.5, 3.9, 0.2, 0.3 และ 5.2 ตามลำดับ เมื่อแทนค่าอินพุตลำดับที่ 1 ในสมการที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

$$\begin{aligned} f(0.5) &= \frac{\exp(0.5)}{\exp(0.5) + \exp(3.9) + \exp(0.2) + \exp(0.3) + \exp(5.2)} \\ &= \frac{1.6487}{1.6487 + 49.4023 + 1.2214 + 1.3499 + 181.2716} \\ &= 0.0070 \end{aligned}$$

ผลลัพธ์จากฟังก์ชันซอฟต์แมกซ์ของค่าบรรยายรูปภาพลำดับที่ 1 ถึง 5 เท่ากับ 0.0070, 0.2103, 0.0052, 0.0057 และ 0.7717 ตามลำดับ ซึ่งจะมีผลรวมเท่ากับ 1 จากนั้นจึงวัดค่าความน่าจะเป็นของป้ายกำกับภาษาธรรมชาติว่ามีผลการพยากรณ์ใกล้เคียงกับผลการประเมินความหมายของป้ายกำกับจากผู้เชี่ยวชาญเพียงใดด้วยการหาค่าครอสเอนโทรปี (cross-entropy) [13] ดังสมการที่ 2

$$H(p, q) = - \sum_{x \in \text{classes}} p(x) \log q(x) \quad (2)$$

กำหนดให้

$p(x)$ คือ ป้ายกำกับจริง (true label) แบบ one-hot โดยผลการประเมินความหมายของป้ายกำกับที่ผู้เชี่ยวชาญเลือกจะเท่ากับ 1 ตรงกันข้ามกับป้ายกำกับที่ไม่ถูกเลือกจะเท่ากับ 0 ทั้งหมด

$q(x)$ คือ ผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับภาษาธรรมชาติจากตัวแบบ

จากตารางที่ 1 ป้ายกำกับที่ผู้เชี่ยวชาญเลือกคือลำดับที่ 5 ถือว่าเป็นป้ายกำกับจริง ดังนั้นตัวเลือกลำดับที่ 1 ถึง 4 จะเท่ากับ 0 ทั้งหมด แทนค่า $p[0, 0, 0, 0, 1]$ ในทางกลับกัน ผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับภาษาธรรมชาติจากฟังก์ชันซอฟต์แวร์แมกซ์ในตัวเลือกที่ 1 ถึง 5 เมื่อแทนค่าใน $q[0.0070, 0.2103, 0.0052, 0.005, 0.7717]$ ดังสมการที่ 2 มีรายละเอียดดังนี้

$$H(p, q) = -[0 * \log_2(0.0070) + 0 * \log_2(0.2103) + 0 * \log_2(0.0052) + 0 * \log_2(0.0057) + 1 * \log_2(0.7717)]$$

$$H(p, q) = 0.3739$$

ตัวอย่างรูปภาพจากตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการประเมินความหมายของรูปภาพจากผู้เชี่ยวชาญคือตัวเลือกที่ 5 ตรงกับผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับภาษาธรรมชาติที่สูงที่สุดในตัวเลือกที่ 5 ส่งผลให้ค่าครอสเอนโทรปี เท่ากับ 0.3739 โดยค่าครอสเอนโทรปีจะอยู่ระหว่าง 0 ถึงไม่จำกัด (infinity) โดย 0 คือไม่มีค่าสูญเสียเลย ซึ่งสื่อถึงความมั่นใจในผลการพยากรณ์ของตัวแบบ หากค่าครอสเอนโทรปีมีค่าน้อย แสดงถึงตัวแบบพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับถูกต้องตรงกับผลประเมินจากผู้เชี่ยวชาญได้อย่างมั่นใจ ตรงกันข้าม แม้ผลพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับถูกต้องแต่มีค่าความน่าจะเป็นน้อยค่าครอสเอนโทรปีก็จะมีค่ามาก เช่นเดียวกับผลพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับที่ไม่ถูกต้อง แม้จะมีค่าความน่าจะเป็นสูงก็จะทำให้ค่าครอสเอนโทรปีมากตามไปด้วย เมื่อเสร็จสิ้นจะนำคุณลักษณะเข้าสู่การฝังรูปภาพและผสานเป็นคุณลักษณะใหม่ของรูปภาพแล้วสร้างเป็นดัชนีคุณลักษณะ (index object) จัดเก็บไว้ที่ชุดคำอธิบายรูปภาพต่อไป

2) การเรียนรู้ข้ามชุดข้อมูลที่กำหนดเอง โดยชุดข้อมูลรูปภาพที่ผู้วิจัยรวบรวมเอง กำหนดเป็น 4 โดเมน ได้แก่ 1) ภาพบุคคล 2) ภาพสัตว์เลี้ยง 3) ภาพสิ่งของ และ 4) ภาพสิ่งปลูกสร้าง รวมทั้งสิ้น 92,168 รูปภาพ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างรูปภาพจากชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมเอง



กระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง [14] เพื่อฝึกฝนแบบจำลองให้สามารถจัดหมวดหมู่วัตถุไม่เคยเห็นมาก่อน (zero-shot prediction) คล้ายกับมนุษย์ที่สามารถแยกประเภทสิ่งของที่แตกต่างกันได้โดยที่ไม่มีการสอนหรือเรียนรู้มาก่อน เริ่มจากแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดย่อย ๆ (batch size) เท่ากับ 256 สำหรับประมวลผลในแต่ละครั้ง และปรับรอบของการฝึกฝน (epochs) เท่ากับ 32 รอบ โดยผลลัพธ์จากการฝึกฝนตัวแบบจะเป็นตัวแบบที่มีค่าการสูญเสียค่อย ๆ ลดลงจนค่าการสูญเสียนั้นน้อยที่สุดจนแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงแล้วบันทึกไว้เพื่อเรียกใช้ในขั้นตอนถัดไป

3) การประเมินผลตัวแบบสำหรับงานปลายน้ำ ภายใต้ข้อความค้นหา 3 เงื่อนไขในรูปแบบภาษาอังกฤษที่รวบรวมโดยผู้วิจัย ได้แก่ 1) ข้อความบรรยายรูปภาพ ในลักษณะป้ายกำกับของรูปภาพ 2) ข้อความบรรยายรูปภาพเกี่ยวกับแนวคิดระดับสูงของภาพ และ 3) ข้อความบรรยายรูปภาพที่อธิบายความหมายเชิงคุณภาพของรูปภาพ อย่างไรก็ตาม ความหมายของรูปภาพที่อยู่ในลักษณะนามธรรมนั้นยากที่จะประเมินผลด้วยค่าความถูกต้องเพียงอย่างเดียว จึงให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านร่วมเป็นส่วนหนึ่งในการประเมินความหมายของแต่ละรูปภาพ ตามหลักการทดสอบทัวริง (Turing test) [15] ที่มุ่งทดสอบการทำงานของตัวแบบปัญญาประดิษฐ์เปรียบเทียบกับการทำงานของมนุษย์ โดยเปรียบเทียบระหว่างผลการประเมินความหมายของรูปภาพจากผู้เชี่ยวชาญกับผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับภาษาธรรมชาติจากตัวแบบว่าแปลความหมายของรูปภาพได้ใกล้เคียงกับมนุษย์มากน้อยเพียงใดกำหนดคุณสมบัติผู้เชี่ยวชาญ [16] ว่าเป็นผู้สำเร็จการศึกษาด้านการจัดเก็บและเรียกค้นสารสนเทศ (information storage and retrieval) และมีประสบการณ์การเรียกค้นรูปภาพ 10 ปีขึ้นไป

งานวิจัยนี้คำนึงถึงการป้องกันผลประโยชน์ทับซ้อน (conflict of interest) โดยคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญที่ไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับงานวิจัย ตลอดจนให้ความสำคัญกับความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ (statistical error) [17] โดยใช้การวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้งเพื่อให้ความคลาดเคลื่อนลดน้อยลงจนอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยสร้างชุดคำถามแบบเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านประเมินความหมายที่ละรูปภาพแบบเป็นอิสระต่อกันแทนสัญลักษณ์ด้วยวงกลมสีน้ำเงิน เมื่อครบรอบจะทำการประเมินอีกจนครบ 3 รอบ แล้วเก็บคำตอบไว้ในชุดคำตอบดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างผลการประเมินความหมายของรูปภาพแบบเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

รูปภาพ	การประเมินความหมายของรูปภาพ		
	ข้อความบรรยาย รูปภาพในลักษณะ ป้ายกำกับของรูปภาพ	ข้อความบรรยาย รูปภาพเกี่ยวกับ แนวคิดระดับสูง ของรูปภาพ	ข้อความบรรยาย รูปภาพที่อธิบาย ความหมายเชิงคุณภาพ ของรูปภาพ
1) 	(A) a photo of a dog (B) a photo of a cat (C) a photo of a cow (D) a photo of a pig (E) a photo of a horse	(A) a black and white dog is running in a grassy garden surrounded by a white fence. (B) a boston terrier is running on lush green grass in front of a white fence. (C) a black and white dog is running through the grass. (D) a dog runs on the green grass near a wooden fence. (E) a boston terrier is running in the grass.	(A) the dog is moving forward. (B) the dog was having fun playing on the lawn. (C) lonely dog running alone. (D) the dog is running towards something. (E) the dog ran aimlessly forward.

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ถือว่ารูปภาพจากชุดข้อมูล flickr30k และชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมเอง รวมทั้งสิ้น 123,951 รูปภาพที่นำมาใช้คือประชากร จึงเลือกกลุ่มตัวอย่างที่เป็นไปตามโอกาสทางสถิติ (probability sampling) ด้วยการสุ่มอย่างมีระบบ (systematic random sampling) [18] ได้กลุ่มตัวอย่างเป็นรูปภาพตามที่กำหนดในงานวิจัย 4 โดเมน โดเมนละ 100 รูปภาพ รวมทั้งสิ้น 400 รูปภาพ จากชุดข้อมูล Flickr30k จำนวน 100 รูปภาพ และอีก 300 รูปภาพจากชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมเองตามสัดส่วนของจำนวนรูปภาพที่ใช้ในงานวิจัย การเปรียบเทียบผลการประเมินความหมายของรูปภาพจากผู้เชี่ยวชาญกับผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับภาษาธรรมชาติ หากรูปภาพใดมีผลการพยากรณ์ความ

น่าจะเป็นของป้ายกำกับที่สูงที่สุดตรงกับคำตอบของผู้เชี่ยวชาญในชุดข้อมูลที่แทนสัญลักษณ์ด้วยวงกลมสีน้ำเงินถือว่าผลลัพธ์นั้นถูกต้องเท่ากับ 1 คะแนน ในทางกลับกัน หากรูปภาพใดที่ผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับที่สูงที่สุดไม่ตรงกับคำตอบของผู้เชี่ยวชาญ จะเท่ากับ 0 คะแนน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลการประเมินความหมายของรูปภาพจากผู้เชี่ยวชาญกับผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับภาษาธรรมชาติ

รูปภาพ	ผลการประเมินความหมายของรูปภาพจากผู้เชี่ยวชาญ	ผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็น
1) 	1) ข้อความบรรยายรูปภาพ ในลักษณะป้ายกำกับของรูปภาพ	
	(A) a photo of a dog	0.82834270
	(B) a photo of a cat	0.00169742
	(C) a photo of a cow	0.01496507
	(D) a photo of a pig	0.14255421
	(E) a photo of a horse	0.01244060
	2) ข้อความบรรยายรูปภาพที่อธิบายความหมายเชิงคุณภาพของรูปภาพ	
	(A) a black and white dog is running in a grassy garden surrounded by a white fence.	0.00701898
	(B) a boston terrier is running on lush green grass in front of a white fence.	0.21031745
	(C) a black and white dog is running through the grass.	0.00519979 0.00574666
	(D) a dog runs on the green grass near a wooden fence.	0.77171712
	(E) a boston terrier is running in the grass.	
	3) ข้อความบรรยายรูปภาพที่อธิบายความหมายเชิงคุณภาพของรูปภาพ	
	(A) the dog is moving forward.	0.26929662
	(B) the dog was having fun playing on the lawn.	0.04025207
	(C) lonely dog running alone.	0.28437802
	(D) the dog is running towards something.	0.35570347
	(E) a dog ran aimless forward.	0.05036977

ผลการประเมินความหมายของรูปภาพจากผู้เชี่ยวชาญกับผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับภาษาธรรมชาติภายใต้ข้อความค้นหาใน 3 เงื่อนไข ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.905, 0.830 และ 0.585 ตามลำดับ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการประเมินประสิทธิภาพการจำแนกรูปภาพด้วยป้ายกำกับภาษาธรรมชาติ

ชุดข้อมูล รูปภาพ	ผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับภาษาธรรมชาติ		
	ข้อความบรรยาย รูปภาพในลักษณะ ป้ายกำกับของรูปภาพ	ข้อความบรรยาย รูปภาพเกี่ยวกับแนวคิด ระดับสูงของรูปภาพ	ข้อความบรรยาย รูปภาพที่อธิบาย ความหมายเชิงคุณภาพ ของรูปภาพ
Flickr30k	0.950	0.860	0.630
Custom	0.890	0.820	0.570
ค่าเฉลี่ย	0.905	0.830	0.585

อภิปรายผลการวิจัย

เมื่อพิจารณาผลลงในรายละเอียดจากการประเมินประสิทธิภาพการจำแนกรูปภาพด้วยป้ายกำกับภาษาธรรมชาติ พบว่า

1) ผลการพยากรณ์ป้ายกำกับภาษาธรรมชาติด้วยข้อความบรรยายรูปภาพในลักษณะป้ายกำกับของรูปภาพอยู่ในระดับสูงมาก แสดงถึงการกำหนดข้อความบรรยายรูปภาพส่งผลอย่างมากต่อผลการพยากรณ์ เนื่องจากหากกำหนดเพียงชื่อคลาส เช่น “boston terrier” ผลการพยากรณ์จะไม่สูงมากนัก แต่หากเพิ่มบริบทของคำจำกัดความ เช่น “boston terrier dog” ผลลัพธ์จะดีขึ้นเรื่อย ๆ และหากกำหนดเป็น “photo of a boston terrier dog” จะให้ผลลัพธ์สูงที่สุด โดยผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับภาษาธรรมชาติเท่ากับ 0.27951103, 0.30876088 และ 0.4117281 ตามลำดับ

2) ผลการพยากรณ์ป้ายกำกับภาษาธรรมชาติด้วยข้อความบรรยายรูปภาพเกี่ยวกับแนวคิดระดับสูงของภาพอยู่ในระดับสูง แสดงถึงแบบจำลองทำงานได้ดีกับการจำแนกวัตถุในรูปภาพ (recognizing common objects) แต่ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อต้องจำแนกรายละเอียดเชิงลึก (very fine-grained classification) [19] เพื่อจำแนกความแตกต่างระหว่างคลาสย่อย (subclass) ของหมวดหมู่คลาสเดียวกัน โดยรูปภาพอาจคล้ายกันมากและอาจแตกต่างกันในบางคุณลักษณะที่สามารถแยกแยะได้ เช่น การจำแนกสายพันธุ์สุนัข ยกตัวอย่างรูปภาพจากตารางที่ 1 หากกำหนดป้ายกำกับของรูปภาพใหม่ในตัวเลือก (A) photo of a french bulldog, (B) photo of a boston terrier, (C) photo of a pug, (D) photo of a bulldog, (E) photo of a bullmastiff และ (F) photo of a chinese shar-pei ที่เป็นสุนัขสายพันธุ์หน้าสั้น ซึ่งมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวคล้ายคลึงกันมาก พบว่า ผลการพยากรณ์ป้ายกำกับตัวเลือก (A), (B), (C), (D), (E) และ (F) จะเท่ากับ 2.2035880e-02, 9.1603160e-01, 2.6491896e-04, 6.0518362e-02, 8.5088005e-04 และ 2.9830670e-04 แม้ว่าผลการพยากรณ์ป้ายกำกับในตัวเลือก (B) ที่เป็คำตอบที่ถูกต้องจะมีค่าความน่าจะเป็นสูงที่สุด แต่เมื่อรวมค่าจากการพยากรณ์ทั้งหมดจะเกิน 1 ดังนั้นหากต้องการคำตอบแบบจัดอันดับสำหรับคลาสที่มีหลายระดับชั้นเกี่ยวข้องกัน (multiclass relevance) การใช้งานฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoid function) [13] จะเหมาะสมกว่าฟังก์ชันซอฟต์แวร์แม็กซ์

3) ผลการพยากรณ์ป้ายกำกับภาษาธรรมชาติด้วยข้อความบรรยายรูปภาพที่อธิบายความหมายเชิงคุณภาพของรูปภาพอยู่ในระดับปานกลาง โดยภาษาธรรมชาตินั้นถือว่าเป็นแนวคิดระดับสูงที่มีความซับซ้อน และมีความเป็นนามธรรมเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการแปลความหมายตามหลักการรับรู้ของมนุษย์ (human perception) [20] ด้วยประสบการณ์หรือความรู้เดิมของแต่ละบุคคลจึงแตกต่างกัน เห็นได้จากการผลการพยากรณ์จากตารางที่ 4 ที่มีความใกล้เคียงกันในหลายตัวเลือก เช่นตัวเลือกที่ (A), (C) และ (D) เท่ากับ 0.26929662, 0.28437802 และ 0.35570347 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับข้อความบรรยายรูปภาพเกี่ยวกับแนวคิดระดับสูงของภาพที่จะมีผลการพยากรณ์ในตัวเลือกใดตัวเลือกหนึ่งอย่างชัดเจน

4) ผลการพยากรณ์ป้ายกำกับภาษาธรรมชาตินั้นยังทำงานได้ไม่ดีนักกับประโยคปฏิเสธ เช่นหากเปลี่ยนป้ายกำกับในตัวเลือก (B) จากตารางที่ 4 เปลี่ยนเป็น “a photo containing no cat” พบว่า ผลการพยากรณ์ป้ายกำกับตั้งแต่ตัวเลือก (A), (B), (C), (D) และ (E) จะเปลี่ยนไปเป็น 0.8556212, 0.00291535, 0.01234535, 0.11747061 และ 0.01164759 เห็นได้ว่าผลการพยากรณ์ป้ายกำกับของตัวเลือก (B) นั้นต่ำมาก แม้จะเป็นป้ายกำกับที่ถูกต้องเช่นเดียวกับป้ายกำกับ “photo of a dog” ที่ให้ผลลัพธ์ที่สูงที่สุด อีกทั้งผลการพยากรณ์ยังต่ำกว่าป้ายกำกับอื่น ๆ ที่ไม่ถูกต้องอีกด้วย

5) ผลการพยากรณ์ป้ายกำกับภาษาธรรมชาติบนชุดข้อมูล Flickr30k เปรียบเทียบกับชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยกำหนดเอง พบว่า ผลการประเมินจะลดลงเล็กน้อย แต่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และไม่เกิดปัญหาที่ตัวแบบจะประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อทำงานกับข้อมูลที่ไม่เคยพบมาก่อน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการจำแนกรูปภาพตามความหมายสำหรับการเรียกค้นรูปภาพโดยใช้ภาษาธรรมชาติโดยใช้ตัวแบบที่ถูกฝึกฝนล่วงหน้าจากความสัมพันธ์ระหว่างรูปภาพกับข้อความ เพื่อแยกความแตกต่างของแต่ละคลาสด้วยการวัดความคล้ายคลึงโคไซน์ของเวกเตอร์รูปภาพและข้อความบรรยายรูปภาพตามหลักการเรียนรู้แบบคอนทราสต์และเรียนรู้ข้ามชุดข้อมูลที่กำหนดเอง ผลการประเมินประสิทธิภาพการจำแนกรูปภาพ เพื่อเปรียบเทียบผลการประเมินความหมายของรูปภาพจากผู้เชี่ยวชาญกับผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับภาษาธรรมชาติจากตัวแบบว่าแปลความหมายของรูปภาพได้ใกล้เคียงกับมนุษย์มากน้อยเพียงใดตามหลักการทดสอบทัวริง พบว่า 1) ข้อความบรรยายรูปภาพในลักษณะป้ายกำกับของรูปภาพนั้นมีผลการประเมินอยู่ในระดับสูงมาก โดยลักษณะข้อความบรรยายรูปภาพส่งผลอย่างมากต่อผลการพยากรณ์ 2) ข้อความบรรยายรูปภาพเกี่ยวกับแนวคิดระดับสูงของภาพที่มีผลการประเมินระดับสูงในการจำแนกวัตถุภายในรูปภาพ แต่ยังมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อมีการนับจำนวนวัตถุในภาพ ตลอดจนการจำแนกที่มีการลงรายละเอียดเชิงลึก และ 3) ข้อความบรรยายรูปภาพที่อธิบายความหมายเชิงคุณภาพของรูปภาพมีผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากข้อความที่อยู่ในรูปแบบของป้ายกำกับภาษาธรรมชาตินั้นถือว่าเป็นแนวคิดระดับสูง ดังนั้นประสบการณ์ของแต่ละบุคคลจึงส่งผลให้การประเมินนั้นแตกต่างกันตามหลักการรับรู้ของมนุษย์

การวิจัยในครั้งต่อไปนั้นควรให้ความสำคัญกับการปรับค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ก่อนทำการเรียนรู้ เนื่องจากจะส่งผลให้ตัวแบบมีความแม่นยำที่สูงขึ้น หรือลดค่าการสูญเสียให้ต่ำลงได้ ตลอดจนวัดผลการแปลความหมายจากรูปภาพเป็นข้อความ (image-to-text) ด้วยค่าคะแนน BLEU เนื่องจากวัดได้ทั้งความครบถ้วน (adequacy) และความไพเราะ (fluency) จากความคล้ายกันของคำตามจำนวนเอ็นแกรม (n-gram) ในประโยคระหว่างผลการแปลจากตัวแบบเปรียบเทียบกับประโยคที่แปลโดยมนุษย์ ยังมีค่าที่ตรงกันมากเท่าไรจะส่งผลให้คะแนนสูงขึ้น โดยค่าจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tyagi, V. (2017). *Content-Based Image Retrieval Ideas, Influences, and Current Trends*. Gateway East: Springer.
- [2] Barz, B., & Denzler, J. (2020). Content-based Image Retrieval and the Semantic Gap in the Deep Learning Era (pp 2 - 19). In *International Workshop on Content-Based Image Retrieval: where have we been, and where are we going (CBIR 2020)*. Italy.
- [3] Aggarwal, C. C. (2018). *Neural Networks and Deep Learning: A Textbook*. Cham: Springer.
- [4] LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition (pp 2278-2324). In *Proceedings of the IEEE*. USA.
- [5] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. Massachusetts: MIT Press.
- [6] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition (pp 770-778). In *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. USA.
- [7] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (2017). Attention Is All You Need (pp 6000-6010). In *31st Conference on Neural Information Processing Systems*. USA.
- [8] Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., Dehghani, M., Minderer, M., Heigold, G., Gelly, S., Uszkoreit, J., & Houlsby, N. (2021). An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale (pp 1-21). In *9th International Conference on Learning Representations 2021 (ICLR 2021)*. Austria.
- [9] Radford, A., Kim, J. W., Hallacy, C., Ramesh, A., Goh, G., Agarwal, S., Sastry, G., Askell, A., Mishkin, P., Clark, J., Krueger, G., & Sutskever, I. (2021). Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision (pp 8748-8763). In *38th International Conference on Machine Learning (ICML 2021)*.
- [10] Xu, M., Yoon, S., Fuentes, A., & Park, D. S. (2023). A Comprehensive Survey of Image Augmentation Techniques for Deep Learning. *Pattern Recognition*, 137, 109347.

- [11] Sanh, V., Debut, L., Chaumond, J., & Wolf, T. (2019). DistilBERT, a distilled version of BERT: smaller, faster, cheaper and lighter. arXiv preprint arXiv: 1910.01108, 1-5.
- [12] Nwankpa, C., Ijomah, W., Gachagan, A., & Marshall, S. (2018). Activation Functions: Comparison of trends in Practice and Research for Deep Learning. arXiv preprint arXiv: 1910.01108, 1-20.
- [13] Rosebrock, A. (2017). *Deep Learning for Computer Vision with Python*. New York: PYIMAGESEARCH.
- [14] Sawarka, K. (2022). *Deep Learning with PyTorch Lightning Swiftly build high-performance Artificial Intelligence (AI) models using Python*. Birmingham: Packt.
- [15] Christian, B. (2011). *The Most Human Human: What Talking with Computers Teaches Us About What It Means to Be Alive*. New York: Doubleday.
- [16] อรณัฐ ศรีสะอาด. (2561). การตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดผลโดยผู้เชี่ยวชาญ. *วารสารการวัดผลการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 1(1), 45-49.
- [17] เรวัต แสงสุริยงค์. (2565). ความเสี่ยงของการเกิดความคลาดเคลื่อนในการวิจัยเชิงปริมาณด้านสังคมวิทยา. *วารสารวิชาการมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*, 30(1), 158-185.
- [18] Brase, C. H., & Brase, C. P. (2018). *Understanding Basic Statistics*. Boston: Cengage Learning.
- [19] Benois-Pineau, J., & Zemmar, A. (2021). *Multi-faceted Deep Learning: Models and Data*. Cham: Springer.
- [20] Dix, A., Finlay, J., Abowd, G. D., & Beale, R. (2004). *Human-Computer Interaction* (3rd edition). Harlow: Pearson.

การเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในขนมถ้วยฟูด้วยน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้น Enrichment of Antioxidant Activity in Steamed Cupcakes with Concentrated Dried Longan juice

ศรinya จังโส และ วรรัตน์ ซานนท์*
Saranya Changso & Wararat Sanon*

สาขาวิชาการจัดการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
Food Management Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat
University

Submitted 10/7/2023 ; Revised 29/9/2023 ; Accepted 12/10/2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมถ้วยฟู โดยการเติมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 ผลการทดลองพบว่าการเติมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้นด้วยความเข้มข้นสูงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น แต่ค่าสีเหลืองและค่าความสว่างลดลง ($p \leq 0.05$) ด้านเนื้อสัมผัสพบว่าค่าความแข็ง ความเหนียว และพลังงานในการเคี้ยวมีค่าเพิ่มขึ้น แต่การสปริงตัวมีค่าลดลงตามความเข้มข้นของน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้น ขนมถ้วยฟูที่เติมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุดเท่ากับ 1.02 mg.GAE/g และ 17.89 ตามลำดับ ผลประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scales พบว่าขนมถ้วยฟูที่เติมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีค่าคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด โดยขนมถ้วยฟูสูตรดังกล่าวมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และใยอาหาร ร้อยละ 45.53, 3.78, 2.45, 47.02, 0.89 และ 0.33 ตามลำดับ ไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์และรา ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมไทย (มผช.1/2552) ผู้บริโภคทั่วไปให้การยอมรับอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางถึงชอบมาก

คำสำคัญ: ขนมถ้วยฟู ลำไยอบแห้ง สารประกอบฟีนอลิก สารต้านอนุมูลอิสระ

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: wararat@webmail.npru.ac.th

Abstract

The objectives of this research were to investigate the effect of concentrated dried longan juice on the physical, chemical, and sensory properties of steamed cupcakes. Dried longan juice concentrate at 0, 5, 10, and 15% were added. Results showed that increasing the concentration of concentrated dried longan juice tended to increase redness (a^*) while decreasing yellowness (b^*) and lightness (L^*) ($p \leq 0.05$). Hardness, gumminess, and chewiness were increased but springiness was decreased when the concentration was increased. Steamed cupcake with 15% concentrated dried longan juice had the highest total phenolic content (1.02 mg.GAE/g) and % DPPH free-radical inhibition (17.89%). Sensory evaluation using 9-point hedonic scales showed that the product with 10% of concentrated dried longan juice had the highest score of overall acceptance. The moisture, protein, fat, carbohydrate, ash, and fiber contents of this steamed cupcake formula were 45.53%, 3.78%, 2.45%, 47.02%, 0.89%, and 0.33%, respectively. Total plate count, and yeast and mold were not found, following the Thai community product standard: Thai desserts (TCPS.1/2552). Consumer acceptance of the product was in the level of moderately-liked to very much-liked level.

Keywords: steamed cupcake, dried longan, phenolic content, antioxidant

บทนำ

ขนมถ้วยฟูเป็นขนมไทยมงคลชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเฉพาะคือมีความฟู นุ่ม ยืดหยุ่นดี หน้าขนมจะแตกเป็นแฉก ๆ [1] มีองค์ประกอบหลักคือ แป้งข้าวเจ้า น้ำตาล และสารที่ทำให้เกิดการขึ้นฟู ขนมถ้วยฟูจึงให้สารอาหารหลักเพียงคาร์โบไฮเดรตเท่านั้น เพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ขนมถ้วยฟู จึงได้มีผู้ศึกษาถึงการนำวัตถุดิบชนิดอื่นมาเสริม เช่น การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวกล้องในการผลิตขนมถ้วยฟู [2] การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งขนมถ้วยฟูเพื่อความสำเร็จรูป [3]

ลำไยอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากลำไยสด มีแหล่งผลิตสำคัญอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ลำไยอบแห้งเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจภาคเกษตรกรรมของประเทศไทย เป็นการกระจายรายได้ลงสู่ชุมชนชนบท เนื่องจากสินค้าลำไยอบแห้งยังเป็นหนึ่งในสินค้าเกษตรส่งออกหลักของไทย โดยประเทศไทยเป็นประเทศคู่ค้าลำไยอบแห้งอันดับหนึ่งของมาเลเซียมาตลอด 4 ปี (2560-2563) เนื่องจากคุณภาพลำไยอบแห้งไทยดีกว่าลำไยอบแห้งส่วนใหญ่ของจีน [4] ลำไยมีองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญ 3 ชนิด คือ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดเอลลาจิก (ellagic acid) และคอร์ิลาจिन (corilagin) โดยปริมาณที่พบจะแตกต่างกันในส่วนเนื้อ เปลือก และเมล็ด และขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เมล็ดลำไยพบสารประกอบฟีนอลิกทั้ง 3 ชนิดนี้มากที่สุด ในขณะที่เนื้อลำไยพบสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุด [5] อย่างไรก็ตามพบว่าการอบแห้งที่ทำให้เกิดลำไยอบแห้งเนื้อสีดำด้วยสภาวะอุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้น ทำให้อัตราการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกหลังอบน้อยกว่าการใช้ระยะเวลานาน โดยสภาวะการอบแห้งดังกล่าวพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดใกล้เคียงกับที่พบในลำไยสดก่อนอบแห้ง [6] สารกลุ่มนี้มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระจึงทำให้ลำไยมีคุณสมบัติยับยั้งการสร้างหลอดเลือดใหม่ (angiogenesis) ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการเจริญเติบโตของมะเร็งและต่อต้านมะเร็งลำไส้ได้ [7, 8]

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยนำน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้นมาเป็นส่วนผสมในขนมถ้วยฟูเพื่อเสริมสารพฤกษเคมีที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและมีประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนี้ยังเป็นการส่งเสริมเกษตรกรและผู้ผลิตลำไยอบแห้งในการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ขนมเพื่อจัดจำหน่าย เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสร้างรายได้และเพิ่มมูลค่าให้กับลำไยอบแห้ง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมถ้วยฟูให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น โดยเสริมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้น
2. เพื่อศึกษาผลของการเติมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมถ้วยฟู

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้น

การเตรียมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้น ดัดแปลงจาก [9] โดยการสกัดลำไยอบแห้งด้วยน้ำที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ใช้ลำไยอบแห้งเนื้อสีดำแช่ในน้ำนาน 10 นาที จากนั้นนำลำไยพร้อมน้ำที่แช่ในสัดส่วนต่าง ๆ ไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

นาน 15 นาที จนได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 6, 11 และ 19 องศาบริกซ์ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ตามลำดับ นำมากรองเนื้อออกจะได้ น้ำลำไยอบแห้งเข้มข้น ส่วนเนื้อลำไยที่เหลือนำมาหั่นเป็นชิ้นขนาดเล็กประมาณ 2×2 มิลลิเมตร สำหรับใส่ในส่วนผสม

การเตรียมขนมถ้วยฟู

การเตรียมขนมถ้วยฟู ดัดแปลงสูตรจาก [10] ใช้แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 20.31 แป้งสาลีร้อยละ 9.23 น้ำตาลทรายร้อยละ 19.94 กะทิร้อยละ 18.46 เนื้อลำไยอบแห้งร้อยละ 7.39 ผงฟูร้อยละ 1.18 ยีสต์ร้อยละ 0.59 และน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้น (ความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ร้อยละ 22.90 นำแป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี และยีสต์ ร่อนรวมกัน เติมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้นแล้วนวดให้เข้ากัน เติมน้ำตาลทรายและกะทิ นวดต่อจนส่วนผสมเข้ากันดี หมักส่วนผสมนาน 1 ชั่วโมง 30 นาที แล้วนำมาเติมผงฟู ผสมให้เข้ากัน หยอดส่วนผสมลงในถ้วยนึ่งขนม (ถ้วยตะไล) ที่นึ่งไว้จนร้อน นึ่งด้วยไฟแรงเป็นเวลา 30 นาที นำขนมพักไว้ให้เย็นจึงแกะออกจากถ้วย บรรจุในถุงอูมูนิเยมพอยล์และปิดผนึกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5-8 องศาเซลเซียส เพื่อรอการนำไปวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัส

นำขนมถ้วยฟูเสริมลำไยอบแห้งเข้มข้นที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ วิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1. ค่าสี ด้วยเครื่อง colorimeter รายงานผลเป็นค่า L^* แสดงค่าความสว่าง (ค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึงมีความมืด และค่าเข้าใกล้ 100 หมายถึงมีความสว่าง) ค่า a^* แสดงค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว (+ หมายถึงค่าสีแดง และ - หมายถึงค่าสีเขียว) ค่า b^* แสดงค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน (+ หมายถึงค่าสีเหลือง และ - หมายถึงค่าสีน้ำเงิน)

2. เนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA.XT.plus ใช้วิธีการวัดแบบ TPA ด้วยหัววัดแบบทรงกระบอก (cylinder probe, P/100) ใช้ความเร็วในการกด 1.7 มิลลิเมตร/วินาที ระยะทางการกด 40% strain

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

3.1 การเตรียมตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่าง 25 กรัม มาสกัดโดยใช้เมทานอลปริมาตร 250 มิลลิลิตร นำไปปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที ปิเปตเฉพาะสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด [11] นำสารสกัดตัวอย่างมา 2 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ลงไป 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที จากนั้นเติมสารละลาย Na_2CO_3 เข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยมวลต่อปริมาตร ลงไป 2 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร คำนวณค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก รายงานผลเป็น mg/g Gallic acid equivalent, GAE

3.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [11] นำสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 0.2 มิลลิลิตรผสมกับสารละลาย DPPH ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร นำไปป้อนในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งใส่เมทานอลแทนสารสกัด (และมีสารละลาย BHT เป็นชุดควบคุมเชิงบวก) โดยใช้เมทานอลเป็น blank นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาร้อยละของการยับยั้งจากสมการ

$$\text{ร้อยละของการยับยั้ง} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

เมื่อ A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบ

4. ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-points hedonic scales (1 = ไม่ชอบมากที่สุด จนถึง 9 = ชอบมากที่สุด) ในด้านสี กลิ่นรสสลาย รสหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบชิมกึ่งฝึกฝน จำนวน 30 คน

5. คัดเลือกสูตรที่ดีที่สุดจากการทดลองข้างต้นมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โยอาหาร โปรตีน ไขมัน และเถ้า [12] จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา [12] และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-points hedonic scales ด้านสี กลิ่นรสสลาย รสหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมทั่วไปจำนวน 50 คน

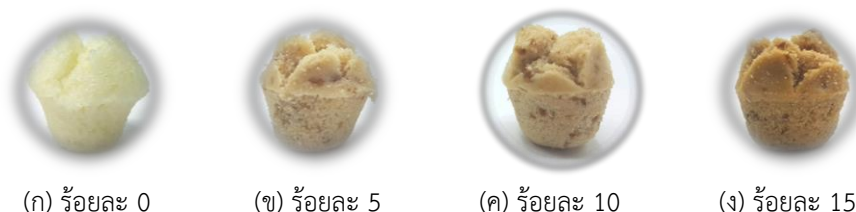
การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ยกเว้นการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design; RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยงานวิจัยนี้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม เลขที่ใบรับรอง 002/2565 วันที่รับรอง 6 มกราคม 2565

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์

ลักษณะทางกายภาพของขนมถ้วยฟูที่เสริมน้ำตาลโยบแห้งเข้มข้น ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 15 เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ร้อยละ 0) แสดงดังภาพที่ 1 ขนมถ้วยฟูสูตรควบคุมมีค่าความสว่าง (L^*) มากที่สุด การเติมน้ำตาลโยบแห้งเข้มข้นที่ความเข้มข้นสูงขึ้นส่งผลให้ขนมถ้วยฟูมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้น แต่ค่าสีเหลือง (b^*) และค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลง ด้านเนื้อสัมผัสพบว่าค่าความแข็ง ความเหนียว และพลังงานในการเคี้ยวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่การสปริงตัวมีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของน้ำตาลโยบแห้งเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ขนมถ้วยฟูที่เติมน้ำตาลโยบแห้งเข้มข้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดน้ำตาลโยบแห้งที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 1 ขนกล้วยฟูเสริมรำล้าโยบแห้งเข้มข้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 (ก), 5 (ข), 10 (ค) และ 15 (ง)

ตารางที่ 1 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของขนกล้วยฟูเสริมรำล้าโยบแห้งเข้มข้น

การวิเคราะห์	ความเข้มข้นของรำล้าโยบแห้งเข้มข้น			
	ร้อยละ 0	ร้อยละ 5	ร้อยละ 10	ร้อยละ 15
L*	77.91±0.89 ^a	59.14±1.19 ^b	58.25±1.48 ^b	45.97±0.64 ^c
a*	-0.42±0.03 ^d	6.71±0.33 ^c	7.47±0.19 ^b	8.58±0.36 ^a
b*	10.39±0.35 ^c	25.27±0.71 ^a	25.14±0.39 ^a	20.31±0.67 ^b
ค่าความแข็ง (นิวตัน)	2.87±0.26 ^c	4.11±0.37 ^b	4.16±0.38 ^b	8.67±0.55 ^a
การสปริงตัว (มิลลิเมตร)	0.96±0.00 ^a	0.94±0.02 ^a	0.90±0.02 ^b	0.88±0.02 ^b
ความเหนียว (นิวตัน)	2.50±0.21 ^c	3.29±0.24 ^b	3.53±0.26 ^b	6.54±0.31 ^a
พลังงานในการเคี้ยว (จูล)	2.39±0.23 ^d	2.87±0.21 ^c	3.49±0.17 ^b	5.81±0.23 ^a
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg.GAE/g)	0.20±0.02 ^c	0.65±0.09 ^b	0.78±0.13 ^b	1.02±0.14 ^a
ร้อยละของการยับยั้ง	7.22±0.12 ^d	13.01±0.70 ^c	14.94±0.35 ^b	17.89±1.41 ^a

หมายเหตุ a-d ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การเติมน้ำล้าโยบแห้งเข้มข้นทำให้ขนกล้วยฟูมีคะแนนความชอบในปัจจุบันคุณภาพด้านกลิ่น รสลาไย รสหวาน และความชอบโดยรวมสูงกว่าขนกล้วยฟูที่ไม่เติมน้ำล้าโยบแห้งเข้มข้น ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม ขนกล้วยฟูที่เสริมรำล้าโยบแห้งเข้มข้นทุกสูตรมีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสลาไย รสหวาน และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่การเติมน้ำล้าโยบแห้งเข้มข้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 มีผลทำให้ขนกล้วยฟูมีคะแนนด้านเนื้อสัมผัสต่ำที่สุด (ตารางที่ 2) ดังนั้นจึงเลือกขนกล้วยฟูเสริมรำล้าโยบแห้งเข้มข้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นสูตรที่ดีที่สุด

ตารางที่ 2 คะแนนเฉลี่ยความชอบทางประสาทสัมผัสของขนมถ้วยฟูเสริมน้ำตาลไอโอบแห้งเข้มข้น

ความเข้มข้นของ น้ำตาลไอโอบแห้ง เข้มข้น	สี ^{ns}	กลิ่นรส ลำไย	รสหวาน	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
ร้อยละ 0	5.60±1.50	5.06±1.49 ^b	5.20±1.47 ^b	6.40±0.74 ^a	5.73±1.03 ^b
ร้อยละ 5	6.20±1.32	6.00±1.31 ^a	5.73±1.03 ^{ab}	6.47±0.74 ^a	6.33±0.72 ^a
ร้อยละ 10	6.33±1.05	6.33±1.29 ^a	6.53±1.12 ^a	6.33±1.05 ^a	6.40±1.12 ^a
ร้อยละ 15	6.40±0.98	6.33±1.11 ^a	6.27±1.22 ^a	5.20±1.52 ^b	6.20±1.08 ^{ab}

หมายเหตุ a-b ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

เมื่อนำขนมถ้วยฟูเสริมน้ำตาลไอโอบแห้งเข้มข้น ความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่มีผลคะแนนเฉลี่ยความชอบทางประสาทสัมผัสมากที่สุดไปศึกษาคุณภาพทางเคมีเพื่อหาคุณค่าทางโภชนาการ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3 โดยไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และราในผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3 คุณภาพทางเคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของขนมถ้วยฟูเสริมน้ำตาลไอโอบแห้งเข้มข้น ความเข้มข้นร้อยละ 10

คุณลักษณะทางเคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส	ผลการวิเคราะห์และคะแนนเฉลี่ย
ความชื้น (ร้อยละ)	45.53±1.57
ใยอาหาร (ร้อยละ)	0.33±0.09
โปรตีน (ร้อยละ)	3.78±0.14
ไขมัน (ร้อยละ)	2.45±0.34
เถ้า (ร้อยละ)	0.89±0.04
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	47.02
จุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	ตรวจไม่พบ
ยีสต์และรา (cfu/g)	ตรวจไม่พบ
สี	7.12±1.14
กลิ่นรสลำไย	7.12±1.41
รสหวาน	7.18±1.22
เนื้อสัมผัส	6.92±1.32
ความชอบโดยรวม	7.46±0.86

ตารางที่ 4 การยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปต่อขนมถ้วยฟูเสริมน้ำตาลโยบแห้งเข้มข้น ความเข้มข้นร้อยละ 10

ปัจจัย	จำนวน (คน)	ร้อยละ
การยอมรับผลิตภัณฑ์		
ยอมรับ	46	92.00
ไม่ยอมรับ	-	-
ไม่แน่ใจ	4	8.00
เหตุผลในการยอมรับผลิตภัณฑ์		
มีกลิ่นหอมและรสชาติดี	14	28.00
มีประโยชน์ต่อสุขภาพ	5	10.00
ผลิตภัณฑ์มีความแปลกใหม่	30	60.00
ไม่ระบุ	1	2.00
การตัดสินใจซื้อ		
ซื้อ	28	56.00
ไม่ซื้อ	-	-
ไม่แน่ใจ	22	44.00

ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ในด้านสี กลิ่นรสล้ำย รสหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก (ตารางที่ 3) ผู้บริโภคทั่วไปให้การยอมรับขนมถ้วยฟูเสริมน้ำตาลโยบแห้งเข้มข้นคิดเป็นร้อยละ 92 โดยเหตุผลในการยอมรับคือมีความแปลกใหม่ มีกลิ่นหอมและรสชาติดี และมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากการตัดสินใจซื้อหากมีการจำหน่ายพบว่าผู้บริโภคร้อยละ 56 ตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ และอีกร้อยละ 44 ไม่แน่ใจว่าจะซื้อผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4)

อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของขนมถ้วยฟูเสริมน้ำตาลโยบแห้งเข้มข้น พบว่าการเติมน้ำตาลโยบแห้งเข้มข้นที่ความเข้มข้นสูงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น แต่ค่าสีเหลืองและความสว่างลดลง เนื่องจากน้ำตาลโยบแห้งเข้มข้นเตรียมจากน้ำตาลโยบแห้งเนื้อสีดำ เมื่อใช้ความเข้มข้นสูงจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นและความสว่างลดลง ด้านเนื้อสัมผัสพบว่าค่าความแข็ง ความเหนียว และพลังงานในการเคี้ยวมีค่าเพิ่มขึ้น แต่การสปริงตัวลดลงตามความเข้มข้นของน้ำตาลโยบแห้งที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากน้ำตาลโยบแห้งมีองค์ประกอบของน้ำตาล 3 ชนิด คือ กลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส [13] น้ำตาลโยบแห้งเข้มข้นจึงมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ เมื่อพิจารณาจากค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำตาลโยบแห้งเข้มข้นซึ่งมีค่าเท่ากับ 6, 11 และ 19 องศาบริกซ์ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำตาลโยบแห้งเข้มข้นที่มีความเข้มข้นสูงชันทำให้มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำตาลไปจับตัวกับน้ำในผลิตภัณฑ์จึงทำให้แป้งดูดน้ำได้น้อยลง ส่งผลให้ความแข็งและเหนียวเพิ่มขึ้น ขนมถ้วยฟูที่เติมน้ำตาลโยบแห้งเข้มข้นร้อยละ 15 จึงมีค่าความแข็ง ความเหนียว และพลังงานในการเคี้ยวสูงที่สุด สอดคล้องกับ [14] ที่พบว่าน้ำตาลทูราโนส

ซึ่งเป็นไอโซเมอร์ของน้ำตาลซูโครสมีผลทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งข้าวเจ้าเกิดการเรียงตัวชิดกันมากขึ้น ในระหว่างการให้ความร้อนน้ำแป้ง จึงส่งผลให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีเนื้อสัมผัสแน่นขึ้น โดยเม็ดแป้งข้าวเจ้าใน น้ำแป้งที่เติมทูราโนสจะยังคงรักษารูปร่างไว้ได้เมื่อให้ความร้อนสูงถึง 90 องศาเซลเซียส ในขณะที่เม็ด แป้งข้าวเจ้าในน้ำแป้งที่ไม่เติมทูราโนสจะเกิดการบวมและแตกออกได้ง่ายกว่า

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีพบว่าขนมถ้วยฟูเสริมน้ำตาลไยอบแห้งเข้มข้นที่ความเข้มข้น ร้อยละ 15 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการเติมน้ำตาลไยอบแห้งเข้มข้นร้อยละ 0, 5 และ 10 โดย พบว่าการเติมน้ำตาลไยอบแห้งเข้มข้นร้อยละ 15 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด การเติมน้ำตาลไยอบแห้ง ในผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเนื้อน้ำตาลไยอบแห้งมี สารประกอบฟีนอลิก คือ กรดแกลลิก กรดเอลลาจิก และคอร์ราจิก [15] ในขณะที่ [16] พบว่าเนื้อน้ำตาลไย มีสารประกอบฟีนอลิกอื่น ๆ อีก เช่น กรดคลอโรจีนิค (chlorogenic acid) กรดพาราคูมาริก (p-coumaric acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดไซริงจิก (syngic acid) กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) และกรดโปรโตคา เทชูอิก (protocatechuic acid) ดังนั้นน้ำตาลไยอบแห้งเข้มข้นจึงมีองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิก การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลไยอบแห้งจึงส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและร้อยละของ การต้านอนุมูลอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ [17] ที่พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมถ้วยฟูที่เติมน้ำตาลไย ร้อยละ 5 ทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นเป็น 0.35 มิลลิกรัม/กรัม จากเดิมที่ไม่พบในสูตร ควบคุม

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่าการเติมน้ำตาลไยอบแห้งเข้มข้นทำให้ขนมถ้วยฟูมีค่า ความชอบด้านกลิ่นรสลาย รสหวาน และความชอบโดยรวมสูงกว่าขนมถ้วยฟูที่ไม่เติมน้ำตาลไยอบแห้ง เข้มข้น ($p \leq 0.05$) คะแนนความชอบด้านรสหวานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลไยอบแห้ง เข้มข้น เพราะผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมและรสหวานจากน้ำตาลเพิ่มขึ้น แต่การเติมน้ำตาลไยอบแห้งเข้มข้นร้อยละ 15 มีผลทำให้ขนมถ้วยฟูมีค่าความชอบด้านเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด เนื่องจากความเข้มข้นระดับดังกล่าวทำให้ค่า ความแข็ง ความเหนียว และพลังงานในการเคี้ยวมีค่ามากที่สุด ผู้ทดสอบชิมจึงมีความชอบด้านเนื้อสัมผัส น้อยกว่าสูตรอื่น ๆ ผู้วิจัยจึงเลือกขนมถ้วยฟูเสริมน้ำตาลไยอบแห้งเข้มข้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็น สูตรที่ดีที่สุด

ขนมถ้วยฟูเสริมน้ำตาลไยอบแห้งเข้มข้นร้อยละ 10 ไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และราใน ผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมไทย (มพช.1/2552) [18] กำหนดว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และต้องไม่มีปรากฏให้เห็นได้ อย่างชัดเจน ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้บริโภคทั่วไปให้การยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ ชอบปานกลางถึงชอบมาก โดยมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสน้อยที่สุดอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง สอดคล้องกับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผู้ทดสอบชิมกึ่งฝึกฝนที่ให้คะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบ ปานกลางเช่นกัน

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าการเติมน้ำตาลไยอบแห้งเข้มข้นในขนมถ้วยฟูมีผลทำให้ เพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกซึ่งมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ต้านมะเร็ง (anticancer) เสริม ภูมิคุ้มกัน (immunomodulatory) ต้านโรคกระดูกพรุน (anti-osteoporotic) คลายความวิตกกังวล (anxiolytic) เสริมความจำ (memory-enhancing) รักษาโรคนอนไม่หลับ (insomnia) และโรค ประสาท (anxiolytic) [19, 20] โดยผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเนื่องจากผลิตภัณฑ์

มีความแปลกใหม่ แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษา [6] นำเนื้อลำไยอบแห้งไปชงกับน้ำเดือดเพื่อทำน้ำชา ลำไย พบว่าสารประกอบฟีนอลิกที่แพร่ลงในน้ำชาปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่กลับพบในเนื้อลำไยอบแห้งที่นำไปชงชามากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดด้วยน้ำมีประสิทธิภาพน้อยกว่าตัวทำละลายอื่น ๆ สอดคล้องกับ [21] ที่พบว่ากรดแกลลิกซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกในลำไยละลายในเมทานอลได้ดีที่สุด รองลงมาคือเอทานอล น้ำ และเอทิลอะซิเตท ตามลำดับ เช่นเดียวกับ [22] พบว่าสารประกอบฟีนอลิกในเปลือกลำไยที่สกัดด้วยเมทานอล และเอทานอลมีปริมาณสูงที่สุด รองลงมาคือการสกัดด้วยน้ำ และเอทิลอะซิเตท ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการสกัดด้วยเมทานอลจะให้ผลที่ดีกว่าการสกัดด้วยสารละลายชนิดอื่น แต่ก็ไม่ควรใช้เนื่องจากเมทานอลมีความเป็นพิษ ไม่เหมาะที่จะนำมาสกัดแล้วนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์ที่เป็นอาหาร จึงมีข้อเสนอแนะด้านวิธีการสกัดว่าควรสกัดด้วยน้ำร้อน โดยใช้หม้ออัดแรงดันร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิก จากการศึกษา [9] พบว่าเมล็ดลำไยที่สกัดด้วยน้ำร้อนร่วมกับคลื่นอัลตราโซนิกสามารถสกัดกรดแกลลิกและคอร์ลาจินได้มากกว่าการสกัดด้วยน้ำร้อน และเอทานอล ตามลำดับ และพบว่าสารประกอบฟีนอลิกในน้ำลำไยสกัดที่ต้มด้วยหม้ออัดความดันมีปริมาณสูงกว่าการต้มแบบปกติ สอดคล้องกับ [17] พบว่าสารสกัดจากลำไยอบแห้งเนื้อสีทองที่ต้มด้วยหม้ออัดแรงดัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าสารสกัดโดยการแช่และการต้มด้วยกระเพาะไฟฟ้า ตามลำดับ

นอกจากนี้ จากการศึกษาของ [23] ซึ่งใช้น้ำร้อนในการสกัดสารจากเมล็ดและเนื้อลำไยตามวิธีการแพทย์ของจีน มีสารสำคัญที่พบคือ กรดแกลลิก กรดเอลลาจิก และคอร์ลาจิน โดยในเมล็ดลำไยอบแห้งพันธุ์ตอพบสารสำคัญดังกล่าวมากกว่าในเมล็ดลำไยอบแห้งพันธุ์เปี้ยวเขียว และพันธุ์ใบดำ ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งมีปริมาณสารดังกล่าวและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด ทั้งนี้สารสกัดเมล็ดลำไยอบแห้งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเนื้อลำไยอบแห้งประมาณ 10 เท่า ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะในการเตรียมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้นโดยเปลี่ยนวิธีการเตรียมจากการต้มเฉพาะเนื้อมาเป็น การต้มทั้งเนื้อและเมล็ดลำไย อาจจะทำให้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้น ทั้งนี้ควรมีการพิจารณาความเข้มข้นที่เหมาะสมจากระสชาติ รวมทั้งความเป็นพิษเฉียบพลันและความเป็นพิษเรื้อรัง

สรุปผลการวิจัย

การเติมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้นลงในขนมถ้วยฟูมีผลต่อสีและเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นสีแดง ค่าความสว่าง ค่าความแข็ง ความเหนียว และพลังงานในการเคี้ยวเพิ่มขึ้น แต่ค่าความเป็นสีเหลืองและการสปริงตัวมีค่าลดลง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระของขนมถ้วยฟูมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น การเติมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้นทำให้ขนมถ้วยฟูมีค่าความชอบมากกว่าสูตรที่ไม่เติมน้ำลำไยอบแห้ง และการเติมน้ำลำไยอบแห้งเข้มข้นร้อยละ 10 มีความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยขนมถ้วยฟูสูตรดังกล่าวมีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมไทย (มพช.1/2552) เมื่อนำผลิตภัณฑ์สูตรที่ดีที่สุดไปทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคทั่วไปพบว่าส่วนใหญ่ให้การยอมรับอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางถึงชอบมาก โดยเหตุผลในการยอมรับที่สำคัญที่สุดคือมีความแปลกใหม่ และผู้บริโภคส่วนใหญ่ตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์หากมีการจำหน่าย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และสาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม สำหรับการอนุเคราะห์การตรวจวิเคราะห์คุณภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] รุ่งรัตน์ แจ่มจันทร์. (2544). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งขนมกล้วยสำหรับทำไส้จุก*. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] ไตรรงค์ กันตพิชญ์สิทธิ์. (2546). *การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวกล้องในการผลิตขนมกล้วย*. รายงานวิจัย สถาบันราชภัฏจันทรเกษม.
- [3] ศิริชัย สมคะเนย์, และอำนาจ ภูมิจันทิก. (2544). *แป้งขนมกล้วยเพื่อทำไส้จุก*. ปัญหาพิเศษ ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] ฝ่ายเกษตร ประจำสถานกงสุลใหญ่ ณ นครเซี่ยงไฮ้. (2564). *สถานการณ์และแนวโน้มตลาดลำไยสดและลำไยอบแห้งในประเทศจีน*. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://www.opsmoac.go.th/shanghai-home> (24 พฤศจิกายน 2564).
- [5] Rangkadilok, N., Worasuttayangkurn, L., Bennett, R.N., & Satayavivad, J. (2005). Identification and quantification of polyphenolic compounds in longan (*Euphoria longana* Lam.) fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1387-1392.
- [6] ศรีณยา ลากส่งผล. (2550). *ผลของสภาวะการอบแห้งต่อสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสและสารประกอบฟีนอลิกในลำไยอบแห้งพร้อมเปลือกและชาลำไย*. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [7] Li, N., Lin, Z., Chen, W., Zheng, Y., Ming, Y., Zheng, Z., Huang, W., Chen, L., Xiao, J., & Lin, H. (2018). Corilagin from longan seed: Identification, quantification, and synergistic cytotoxicity on SKOV3ip and hey cells with ginsenoside Rh2 and 5- fluorouracil. *Food and Chemical Toxicology*, 119, 133-140.
- [8] Panyathep, A., Chewonarin, T., Taneyhill, K., Surh, Y.J., & Vinitketkumnun, U. (2013). Effects of dried longan seed (*Euphoria longana* Lam.) extract on VEGF secretion and expression in colon cancer cells and angiogenesis in human umbilical vein endothelial cells. *Journal of Functional Foods*, 5(3), 1088-1096.
- [9] ญาณิศา จินดาหลวง. (2557). *การพัฒนาเครื่องต้มลำไยสกัดจากลำไยอบแห้งทั้งผลตากเกรดเสริมสารสกัดจากเมล็ด*. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [10] ศุภนุช เพชรแอน. (2562). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยลำไยอบแห้ง*. รายงานวิจัย ปริญญาศิลปศาสตรบัณฑิต. นครปฐม: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- [11] Tsai, T. H., Tsai, P. J., & Ho, S. C. (2005). Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Several Commonly Species. *Journal of Food Science*, 70(1), 93–97.

- [12] AOAC. (2000). *Association of Official Chemists, Official Methods of Analysis* (17th edition). MD.USA: International Guitersburg.
- [13] Wu, X., Huang, H., Li, M., Wang, Y., Wu, X., Wang, Q., Shen, J., Xiao, Z., Zhao, Y., Du, F., Chen, Y., Yang, Y., Zhao, Q., Zeng, J., He, Y., & Xiao, J. (2022). Excessive consumption of the sugar rich longan fruit promoted the development of nonalcoholic fatty liver disease via mediating gut dysbiosis. *Food Frontiers*, 4, 491–551.
- [14] Park, Y., Oh, I.K., Park, S.W., Ryu, K., & Lee, S. (2019). Elucidation of rheological, microstructural, water mobility, and noodle-making properties of rice flour affected by turanose. *Journal of Food Chemistry*, 276, 9-14.
- [15] Hong-in, P., Neimkhum, W., Punyoyai, C., Sriyab, S., & Chaiyana, W. (2021). Enhancement of phenolics content and biological activities of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) treated with thermal and ageing process. *Scientific Reports*, 11, 15977.
- [16] Zhang, X., Guo, S., Ho, C.T., & Bai, N. (2020). Phytochemical constituents and biological activities of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit: a review. *Food Science and Human Wellness*, 9(2), 95–102.
- [17] มยุรี ชมงาม, และสิขเรศ คงแก้ว. (2564). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมไทยจากน้ำเชื่อมลำไยตกเกรด*. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.
- [18] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2552). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ขนมไทย*. [ออนไลน์], สืบค้นจาก https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps1_52.pdf (27 ธันวาคม 2565).
- [19] Tang, Y. Y., He, X. M., Sun, J., Li, C. B., Li, L., Sheng, J. F., Xin, M., Li, Z. C., Zheng, F. J., Liu, G. M., Li, J. M., & Ling, D. N. (2019). Polyphenols and alkaloids in byproducts of Longan fruits (*Dimocarpus Longan* Lour.) and their bioactivities. *Molecules*, 24(6), 1186.
- [20] Prasad, K., Neha, P., Lal, M. K. & Gaurav, A. K. (2017). Longan (*Dimocarpus longan* Lour) processing: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(8), 1–7.
- [21] Daneshfar, A., Ghaziaskar, H.S., & Homayoun, N. (2008). Solubility of Gallic Acid in Methanol, Ethanol, Water, and Ethyl Acetate. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 53(3), 776-778.
- [22] Prasad, K.N., Yang, E., Yi, C., Zhao, M., & Jiang, Y. (2009). Effects of high pressure extraction on the extraction yield, total phenolic content and antioxidant activity of longan fruit pericarp. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10, 155–159.

- [23] Rangkadilok, N., Sitthimonchai, S., Worasuttayangkurn, L., Mahidol, C., Ruchirawat, M., & Satayavivad, J. (2007). Evaluation of free radical scavenging and antityrosinase activities of standardized longan fruit extract. *Journal of Food and Chemical Toxicology*, 45, 328–336.

กระบวนการเตรียมต้นฉบับ วารสารวิชาการชาชนันท์ มรภ.ภูเก็ต

วารสารวิชาการชาชนันท์ มรภ.ภูเก็ต มีวัตถุประสงค์ เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (research article) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทางด้านวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ ประกอบด้วย ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ และทางด้านวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ประกอบด้วย วิทยาศาสตร์การอาหาร วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนความรู้ แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับผลงานวิจัย จัดพิมพ์ออกเผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม) ดำเนินการเผยแพร่ในรูปแบบวารสารออนไลน์เท่านั้น โดยมีกระบวนการดังต่อไปนี้

1. ประกาศรับต้นฉบับจากผู้สนใจตีพิมพ์บทความตลอดทั้งปี
2. กองบรรณาธิการตรวจสอบความสมบูรณ์ ความถูกต้อง และคุณภาพของบทความต้นฉบับ
3. กองบรรณาธิการเตรียมต้นฉบับจัดส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญสาขาวิชานั้น ๆ อย่างน้อย 3 ท่าน เพื่อประเมินบทความ
4. กองบรรณาธิการส่งต้นฉบับที่ปรับแก้ไขแล้วพร้อมสรุปผลการประเมินคุณภาพต้นฉบับ และจัดส่งผู้เขียนเพื่อปรับแก้ไข และชี้แจงการปรับแก้ไขกลับมายังกองบรรณาธิการ
5. กองบรรณาธิการตรวจสอบการปรับแก้ไข ความถูกต้อง และรูปแบบการเขียนต้นฉบับ
6. กองบรรณาธิการออกหนังสือตอบรับการตีพิมพ์ และเผยแพร่ต้นฉบับดังกล่าว ผ่านทางเว็บไซต์
7. กองบรรณาธิการดำเนินการรวบรวมต้นฉบับที่จะตีพิมพ์ ตรวจสอบความถูกต้อง และเผยแพร่ผ่านทางเว็บไซต์ โดยแสดงสถานะอยู่ระหว่างการตีพิมพ์ (in press) และจัดส่งวารสารต้นฉบับให้ผู้เขียนเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง
8. กองบรรณาธิการดำเนินการเผยแพร่วารสารวิชาการชาชนันท์ มรภ.ภูเก็ต

ข้อตกลงการส่งบทความสำหรับผู้แต่ง

1. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณา จะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดวารสารหนึ่งมาก่อน
2. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น
3. เนื้อหาในต้นฉบับควรเกิดจากการสังเคราะห์ความคิดขึ้นโดยผู้เขียนเอง ไม่ได้ลอกเลียนหรือดัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่น หรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
4. ผู้เขียนต้องเขียนต้นฉบับตามรูปแบบของวารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต ในคำแนะนำการเตรียมต้นฉบับบทความ
5. วารสารมีค่าค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์เผยแพร่เป็นเงิน 3,500 บาท โดยแบ่งจ่ายเป็น 2 ครั้ง ดังนี้
ครั้งที่ 1 จำนวน 2,500 บาท ชำระเมื่อได้รับการพิจารณาเชิงคุณภาพเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ
ครั้งที่ 2 จำนวน 1,000 บาท ชำระเมื่อผ่านกระบวนการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและเห็นชอบให้ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต (หมายเหตุ เมื่อชำระค่าธรรมเนียมแล้วทางวารสารฯ จะไม่คืนค่าธรรมเนียมดังกล่าวในทุกกรณี)

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับบทความ (Author Guidelines)

กองบรรณาธิการได้กำหนดระเบียบในการจัดทำเพื่อให้ผู้เขียนยึดเป็นแนวทางในการดำเนินการสำหรับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต ดังนี้

1. การตั้งค่าหน้ากระดาษของบทความต้นฉบับ ใช้ขนาด B5 โดย และระยะห่างของขอบกระดาษด้านบน ด้านซ้าย ด้านล่างและด้านขวา 1 นิ้ว
2. ท้ายกระดาษ ประกอบด้วย เลขหน้า ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งขีดขอบกระดาษด้านขวาล่าง
3. บทความต้นฉบับมีความยาวอยู่ระหว่าง 10-12 หน้า รวมตาราง รูปภาพ และเอกสารอ้างอิง

4. เนื้อหาเป็นภาษาไทยเท่านั้น ควรแปลคำศัพท์ภาษาอังกฤษเป็นภาษาไทยให้มากที่สุด (ในกรณีที่คำศัพท์ภาษาอังกฤษเป็นคำเฉพาะที่แปลไม่ได้หรือแปลแล้วไม่ได้ความหมายชัดเจนให้ใช้คำศัพท์ภาษาอังกฤษได้) และควรใช้ภาษาที่ผู้อ่านเข้าใจง่าย ชัดเจน หากใช้คำย่อต้องเขียนคำเต็มไว้ครั้งแรกก่อน ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ขนิตตัวธรรมดา จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ พิมพ์ชิดขอบกระดาษทั้งสองด้าน รูปภาพและตารางควรวางใกล้กับตำแหน่งที่ถูกกล่าวถึงเป็นครั้งแรก โดยขนาดของรูปภาพควรมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 300 pixel (บันทึกเป็น .png, .gif หรือ .tif) และแนบไฟล์ต้นฉบับของรูปแยกมาด้วย

5. หัวข้อเรื่องภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ขนิตตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย

6. หัวข้อย่อยภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ขนิตตัวหนา ระบุหมายเลขหน้าหัวข้อย่อยโดยเรียงตามลำดับหมายเลขตำแหน่ง ให้ Tab 0.75 เซนติเมตรจากอักษรตัวแรกของหัวข้อเรื่อง

การเรียงลำดับเนื้อหาและรายละเอียดส่วนต่าง ๆ ในต้นฉบับ

1. ชื่อเรื่องภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 ขนิตตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด (ไม่ควรเกิน 100 ตัวอักษร)

2. ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 ขนิตตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด โดยขึ้นต้นทุกคำด้วยอักษรพิมพ์ใหญ่ ยกเว้นคำบุพบท

3. ชื่อผู้เขียนภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ขนิตตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ได้ชื่อเรื่อง ให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำหนดเป็นตัวยก กำกับท้ายนามสกุล ของผู้ประสานงาน

4. ชื่อผู้เขียนภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ขนิตตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ได้ชื่อเรื่อง ให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำหนดเป็นตัวยก กำกับท้ายนามสกุล ของผู้ประสานงาน

5. หน่วยงานหรือสังกัดที่ทำวิจัยเป็นภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 12 ขนิตตัวเอียง ตำแหน่ง กึ่งกลางหน้ากระดาษได้ชื่อผู้เขียน ให้ใส่ตัวเลขยกกำกับท้ายนามสกุล และด้านหน้าหน่วยงานหรือสังกัด

6. หน่วยงานหรือสังกัดที่ทำวิจัยเป็นภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 12 ชนิดตัวเอียง ตำแหน่ง กึ่งกลางหน้ากระดาษใต้ชื่อผู้เขียน ให้ใส่ตัวเลขยกกำกับท้ายนามสกุล และด้านหน้าหน่วยงานหรือสังกัด

7. เชิงอรรถ กำหนดเชิงอรรถในหน้าแรกของบทความ ให้ใส่เครื่องหมายดอกจันตามด้วยข้อความ ดังนี้

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author) โดยใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา และระบุ E-mail: โดยใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวเอียง

8. หัวข้อบทคัดย่อภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้ายใต้ที่อยู่/หน่วยงานสังกัดของผู้เขียน เนื้อหาบทคัดย่อไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ บรรทัดแรก เว้น Tab 1 เซนติเมตร จากขอบกระดาษด้านซ้าย และพิมพ์ให้ชิดขอบทั้งสองด้าน (ควรเขียนสรุปสาระสำคัญความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือ 15 บรรทัด)

9. หัวข้อคำสำคัญภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย ใต้บทคัดย่อภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดาไม่เกิน 4 คำ เว้นระหว่างคำด้วยการเคาะ 1 ครั้ง

10. หัวข้อบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้ายใต้ที่อยู่/หน่วยงานสังกัดของผู้เขียน เนื้อหาบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ บรรทัดแรก เว้น Tab 1 เซนติเมตร จากขอบกระดาษด้านซ้าย และพิมพ์ให้ชิดขอบทั้งสองด้าน (ควรเขียนสรุปสาระสำคัญความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือ 15 บรรทัด)

11. หัวข้อคำสำคัญภาษาอังกฤษ (Keyword) ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย ใต้บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา ไม่เกิน 4 คำ เว้นระหว่างคำด้วย Comma “,”

12. ส่วนเนื้อหาในบทความประกอบด้วย

12.1 บทนำ บอกถึงที่มา นำไปสู่การศึกษาวิจัย รวมถึงการอ้างอิงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

12.2 วัตถุประสงค์ ชี้แจงจุดมุ่งหมายของงานวิจัย

12.3 ระเบียบวิธีการวิจัย ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

12.4 ผลการวิจัยควรนำเสนอสิ่งที่ได้จากการศึกษา ในรูปแบบตาราง กราฟ หรือแผนภาพ ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ไม่ควรมีเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพที่ชัดเจน (ความละเอียดอย่างน้อย 300 pixel) และมีคำบรรยายใต้รูป (ดัง Template) กรณีที่ผู้เขียนต้นฉบับประสงค์จะใช้ภาพสีจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายดังกล่าว

12.5 อภิปรายผลการวิจัย ควรมีการอภิปรายผลการวิจัยว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่ และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบ เพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำไปใช้ประโยชน์ และการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

12.6 สรุปผลการวิจัย ควรให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์และระเบียบวิธีการวิจัย

12.7 กิตติกรรมประกาศ ควรกล่าวถึงแหล่งทุนสนับสนุนงานวิจัยอย่างกระชับ

12.8 การอ้างอิง ชิดขอบซ้าย เนื้อหาทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษใช้ TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งชื่อผู้เขียนชิดขอบซ้ายหากยาวเกิน 1 บรรทัด ให้ตัวอักษรในบรรทัดถัดไปตรงกับตัวอักษรแรกของชื่อในบรรทัดแรก การอ้างอิงเอกสารให้เขียนตามแบบ APA (American Psychological Association) โดย

12.8.1 การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา

การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา ให้ใส่เลขลำดับการอ้างอิงอยู่ในวงเล็บ [...] เช่น แผ่นเปลือกโลกมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาและแบ่งการเคลื่อนที่ของแผ่นโลกออกเป็น 3 แบบ คือ การชนกันการแยกจากกัน และแบบรอยเลื่อน [1]

12.8.2 การอ้างอิงท้ายบทความ

การเขียนรายการอ้างอิงท้ายบทความให้เรียงลำดับรายการตามการอ้างอิงในบทความ - ลงชื่อผู้แต่งทุกคน โดยค้นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) ระหว่างผู้แต่งแต่ละคน และให้ใช้คำว่า “และ” นำหน้าผู้แต่งคนสุดท้ายในกรณีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทย หรือใช้ “&” นำหน้าผู้แต่งคนสุดท้ายในกรณีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ

กรณีชื่อผู้แต่งชาวไทย: ชื่อและนามสกุลเต็ม

กรณีชื่อผู้แต่งชาวต่างประเทศ: นามสกุล, ตัวอักษรย่อของชื่อต้นและชื่อกลาง

- ปีที่พิมพ์อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ (...) หากอยู่ในระหว่างการพิมพ์ ให้ใช้ “(อยู่ระหว่างการพิมพ์)” ในกรณีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทย หรือใช้ “(in press)” ในกรณีเอกสารอ้างอิงนั้นเป็นภาษาอังกฤษ

- ชื่อเรื่องที่เป็นภาษาอังกฤษให้ขึ้นต้นด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะคำแรก อักษรตัวแรกของชื่อเรื่องย่อยและ/หรือชื่อเฉพาะ (ถ้ามี) ใช้อักษรตัวเอียงในการพิมพ์

ตัวอย่างการอ้างอิง

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น บทความในวารสารวิชาการ (research/review article)

- [1] นรภัทร น้อยหลบลู, และชวิศร ปุคกะภาค. (2559). การพัฒนากังหันเติมอากาศโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 35(2), 141-149.
- [2] Lu, Y., & Larock, R. C. (2011). Synthesis and properties of grafted latices from a soybean oil-based waterborne polyurethane and acrylics. *Journal of Applied Polymer Science*, 119, 3305-3314.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น หนังสือ (book) และ บทในหนังสือ (book chapter)

- [1] บพิธ จารุพันธุ์, และนันทพร จารุพันธุ์. (2558). *สัตววิทยา (พิมพ์ครั้งที่ 7)*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] Hickman, C. P. Jr., Roberts, L. S., Keen, S. L., Eisenhour, D. J., Larson, A., & L'Anson, H. (2014). *Integrated principles of zoology (6th edition)*. New York: McGraw-Hill.
- [3] Agrawal, R., Mannila, H., Srikant, R., Toivonen, H., & Verkamo, A. I. (1996). Fast discovery of association rules (pp. 307-328). In Fayyad, U. M., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P., & Uthurusamy, R. (eds). *Advances in knowledge discovery and data mining*. AAAI Press, California.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานการวิจัย (research report)

- [1] ชูติภรณ์ ภูมิไชย์, กฤษดา สังข์สิงห์, และเฉลิมพล ภูมิไชย์. (2557). *การศึกษาลักษณะทางกายภาพของสมบัติไม้ยางพารา*. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น วิทยานิพนธ์ (thesis)

- [1] พรรณี สอาดฤทธิ์. (2545). *ความหลากหลายและการแพร่กระจายของคลาโดเซอราในแหล่งน้ำจืด จังหวัดตรัง*. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (proceedings)

- [1] วันวิสาข์ ชิดเชื้อ, และพงษ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา. (2553). อนุกรมวิธานของหอยทากบกในเขตอำเภอแกลง จังหวัดระยอง และอำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี (หน้า 161-170). ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48*. กรุงเทพฯ.

- [2] Kumlom, T., & Choocherd, C. (2020). Quantity of particulate TSP and PM10 in cafeteria area Phuket Rajabhat University, Thailand using the high volume air sampler (pp 66 - 78). In *International Conference Sharing interlocal adaptation lessons: Climate Change Adaptations and Development in East and Southeast Asia* Vietnam Institute of Economics (VIE). Vietnam.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น เว็บไซต์ (website)

- [1] สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. (2562). องค์ความรู้เกี่ยวกับแมงกะพรุนพิษในประเทศไทย. [ออนไลน์], สืบค้นจาก https://km.dmc.go.th/th/c_247/d_14183 (6 พฤศจิกายน 2562).

การส่งต้นฉบับ

ผู้เขียนส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ในระบบ ThaiJo2.0

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

การประเมิน และลิขสิทธิ์

1. การอ่านประเมินบทความต้นฉบับ ต้นฉบับจะได้รับการอ่านประเมิน โดยผู้ทรงคุณวุฒิจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยในสาขาวิชานั้น ๆ จำนวน 3 ท่านต่อเรื่อง และส่งผลการประเมินคืนผู้เขียนเพื่อปรับปรุง แก้ไข หรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่แล้วแต่กรณี ทั้งนี้กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิต้องเป็นบุคคลที่อยู่คนละหน่วยงานกับผู้เขียนไม่น้อยกว่า 2 ใน 3 และผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมดต้องไม่เป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อผู้เขียน หรือบทความวิจัยดังกล่าว
2. ลิขสิทธิ์ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ห้ามนำข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นเสียแต่ว่าจะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ตเป็นลายลักษณ์อักษร
3. เนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

ขอกระดาษ 1 นิ้วทั้ง 4 ด้าน

รูปแบบการเตรียมต้นฉบับบทความวิจัย
PKRU SciTech Journal

ชื่อเรื่องภาษาไทย (TH SarabunPSK, 16 pt, ตัวหนา, ยาวไม่เกิน 2 บรรทัด)

ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ (ขึ้นต้นทุกคำด้วยอักษรพิมพ์ใหญ่ยกเว้นคำบุพบท)

ชื่อ นามสกุล¹ ชื่อ นามสกุล¹ และ ชื่อ นามสกุล²

Full name¹, Full name¹, & Full name²

(TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา ใช้เครื่องหมาย * ด้วยก หลังนามสกุลของผู้ประสานงาน)

ที่อยู่หน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK, 12 pt, ตัวเอียง)

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

¹Science Program, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University

²Environmental Science Program, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University

บทคัดย่อ (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา)

เนื้อหาบทคัดย่อ (TH SarabunPSK, 14 pt, Tab 1 cm) ความยาวสูงสุดไม่ควรเกิน 250 คำ
เขียนเพียง 1 ย่อหน้า และไม่มีกรเขียนอ้างอิงในส่วนของบทคัดย่อ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำสำคัญ (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา): (ไม่เกิน 4 คำ) (TH SarabunPSK, 14 pt)

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author) (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา)

E-mail: (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวเอียง)

E-mail: ผู้วิจัยร่วม ทุกคน (อีเมลของผู้วิจัยร่วมนี้จะไม่ปรากฏในบทความวิจัย แต่ทางวารสาร
จำเป็นต้องบันทึกอีเมลของนักวิจัยทุกคนในระบบ ThaiJo)

Abstract (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา)

เนื้อหาบทคัดย่อ (TH SarabunPSK, 14 pt, Tab 1 cm) ความยาวสูงสุดไม่ควรเกิน 250 คำ เขียนเพียง 1 ย่อหน้า และไม่มีการเขียนอ้างอิงในส่วนของบทคัดย่อ

Keywords(TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา): (ไม่เกิน 4 คำ) (TH SarabunPSK, 14 pt)

keywords เป็นตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อคน ชื่อสถานที่ และคำศัพท์เฉพาะ (technical term)

ข้อแนะนำ

1. บทความวิจัยควรมีความยาวไม่เกิน 10-12 หน้ากระดาษ B5
2. ลักษณะการเขียนเป็นรูปแบบ 1 คอลัมน์
3. หัวข้อ ใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา
4. เนื้อหาใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวปกติ
5. Line and Paragraph Spacing ให้ใช้ 1.0
6. การอ้างอิงให้ใช้ระบบตัวเลขอยู่ภายใน [...] และจะต้องเรียงลำดับเช่นนี้ในส่วนของเอกสารอ้างอิงท้ายบทความ

โดยมีรายละเอียดหัวข้อ ดังนี้

บทนำ (TH SarabunPSK, 14 pt ตัวหนา)

บทนำสามารถเขียนได้มากกว่า 1 ย่อหน้า โดยอธิบายถึงที่มา ปัญหาวิจัย คำถามวิจัย และการทบทวนวรรณกรรม (literature review) โดยไม่ต้องแยกเป็นหัวข้อย่อย

การอ้างอิงในหัวเนื้อหา ใช้ระบบตัวเลขอยู่ภายใน [...] (TH SarabunPSK, 14 pt) เช่น [1] หรือ [1,2,4] หรือ [1-3] โดยตัวเลขจะเป็นลำดับของการอ้างอิง และจะต้องเรียงลำดับเช่นนี้ในส่วนของเอกสารอ้างอิงท้ายบทความ

วัตถุประสงค์ (TH SarabunPSK, 14 pt ตัวหนา)

1.(TH SarabunPSK, 14 pt)

2.(TH SarabunPSK, 14 pt)

วิธีดำเนินการวิจัย (TH SarabunPSK, 14 pt ตัวหนา)

หัวข้อย่อย

ถ้าผู้เขียนต้องการเขียนหัวข้อย่อย ให้ทำตัวหนา แต่ต้องไม่ขีดขอบเป็นแนวเดียวกับหัวข้อหลัก
รูปภาพควรวางใกล้กับตำแหน่งที่ถูกกล่าวถึงเป็นครั้งแรก ขนาดของรูปภาพควรมีความละเอียดไม่น้อย
กว่า 300 dpi (โดยบันทึกเป็น .png .gif หรือ .tif)

.....

หัวข้อย่อย

.....

..... (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ภาพควรวางใกล้ตำแหน่งที่มีการกล่าวถึงเป็นครั้งแรก

ผลการวิจัย

หัวข้อย่อย

.....

.....

..... (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1

No.	Heading 1	Heading 2	Heading 3
1	Data 1.1	Data 1.2	Data 1.3
2	Data 2.1	Data 2.2	Data 2.3
3	Data 3.1	Data 3.2	Data 3.3
4	Data 4.1	Data 4.2	Data 4.3

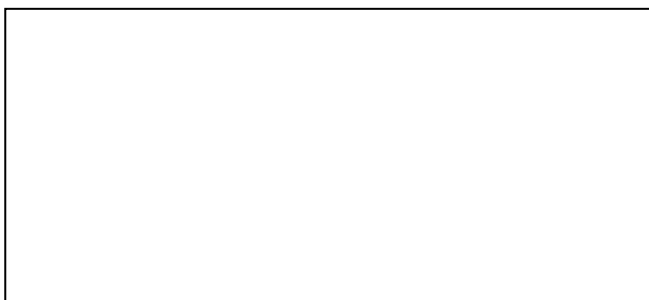
ข้อเสนอแนะ

1. ตารางควรวางใกล้ตำแหน่งที่มีการกล่าวถึงเป็นครั้งแรก
2. ตารางควรจัดตัวอักษรให้อยู่ตรงกลาง
3. เส้นตารางใช้เฉพาะแนวนอน

หัวข้อย่อย

.....

 (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ภาพควรวางใกล้ตำแหน่งที่มีการกล่าวถึงเป็นครั้งแรก

อภิปรายผลการวิจัย

อภิปรายผลการวิจัยสามารถเขียนได้มากกว่า 1 ย่อหน้า และสามารถมีหัวข้อย่อยได้ โดยอธิบายว่าทำไมจึงได้ผลการวิจัยเป็นเช่นนั้น สอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้หรือไม่อย่างไร อธิบายถึงประโยชน์ การประยุกต์ใช้ ปัญหาและอุปสรรค หรือโจทย์วิจัยที่จะต่อยอดจากงานวิจัยครั้งนี้ เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

.....
.....
.....

กิตติกรรมประกาศ

.....
.....
.....

เอกสารอ้างอิง เรียงลำดับตามการกล่าวถึงในบทความ

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น บทความในวารสารวิชาการ (research/review article)

- [1] นรภัทร น้อยหลบลู, และชวิศร ปุคะภาค. (2559). การพัฒนากังหันเดิมอากาศโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 35(2), 141-149.
- [2] Lu, Y., & Larock, R. C. (2011). Synthesis and properties of grafted latices from a soybean oil-based waterborne polyurethane and aryls. *Journal of Applied Polymer Science*, 119, 3305-3314.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น หนังสือ (book) และ บทในหนังสือ (book chapter)

- [3] บพิธ จารุพันธุ์, และนันทพร จารุพันธุ์. (2558). *สัตววิทยา (พิมพ์ครั้งที่ 7)*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] Hickman, C. P. Jr., Roberts, L. S., Keen, S. L., Eisenhour, D. J., Larson, A., & l'Anson, H. (2014). *Integrated principles of zoology (6th edition)*. New York: McGraw-Hill.
- [5] Agrawal, R., Mannila, H., Srikant, R., Toivonen, H., & Verkamo, A. I. (1996). Fast discovery of association rules (pp. 307-328). In Fayyad, U. M., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P., & Uthurusamy, R. (eds). *Advances in knowledge discovery and data mining*. AAAI Press, California.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานการวิจัย (research report)

- [6] วิฑิตกรณ ภูมิไชย์, กฤษดา สังข์สิงห์, และเฉลิมพล ภูมิไชย์. (2557). *การศึกษาลักษณะทางกายภาพของสมบัติไม้ยางพารา*. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น วิทยานิพนธ์ (thesis)

- [7] พรรณี สอาดฤทธิ์. (2545). ความหลากหลายและการแพร่กระจายของคลาโดเซอราในแหล่งน้ำจืด จังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (proceedings)

- [8] วันวิสาข์ ชิดเชื้อ, และพงษ์รัตน์ คำรงโรจน์วัฒนา. (2553). อนุกรมวิธานของหอยทากบกในเขตอำเภอแกลง จังหวัดระยอง และอำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี (หน้า 161-170). ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. กรุงเทพฯ.

- [9] Kumlom, T., & Choocherd, C. (2020). Quantity of particulate TSP and PM10 in cafeteria area Phuket Rajabhat University, Thailand using the high volume air sampler (pp 66 - 78). In *International Conference Sharing interlocal adaptation lessons: Climate Change Adaptations and Development in East and Southeast Asia* Vietnam Institute of Economics (VIE). Vietnam.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น เว็บไซต์ (website)

- [10] สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. (2562). องค์ความรู้เกี่ยวกับแมงกะพรุนพิษในประเทศไทย. [ออนไลน์], สืบค้นจาก https://km.dmc.go.th/th/c_247/d_14183 (6 พฤศจิกายน 2562).

วารสารวิชาการชาวนวัตกรรม มรภ.ภูเก็ต
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
21 ม. 6 ต.เทพกระษัตรี ต.รัษฎา อ.เมือง จ.ภูเก็ต 83000
โทรศัพท์ : 076 - 523094 - 7 ต่อ 4000
<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/pkruscitech/index>
E-mail : researchscience@pkru.ac.th

