



วารสาร วิชชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ปีที่ 43 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2567

Vol. 43 No. 2 July - December 2024

วารสารวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN 3027-737X (Online)



WICHCHA
JOURNAL

NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY



วารสาร วิชชา WICHCHA JOURNAL มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

ปีที่ 43 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567 Vol. 43 No. 2 July - December 2024

เจ้าของ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ที่ปรึกษา ดร.สมปอง รักษาธรรม รักษาการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
บรรณาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ
ผู้ช่วยบรรณาธิการ ดร.สาวิตรี ฤทธิ์ช่วย

นโยบาย

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

ขอบเขตงาน

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

วัตถุประสงค์

- เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการและงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- เพื่อเป็นสื่อส่งเสริมการสร้างความรู้และองค์ความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- เพื่อเป็นเวทีนำเสนอผลงานทางวิชาการของบุคลากรในมหาวิทยาลัยและบุคคลทั่วไป

ประเภทบทความ

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

กระบวนการพิจารณาบทความ

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

ค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ไม่เก็บค่าธรรมเนียมในการตีพิมพ์

เกี่ยวกับวารสาร

ชื่อวารสาร : วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ISSN ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ : 3027-737X
เว็บไซต์วารสาร : <https://www.tci-thaijo.org/index.php/wichcha/index>

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

จัดพิมพ์โดย : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

เลขที่ 1 หมู่ที่ 4 ตำบลท่าจั่ว อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ ประกอบด้วย

ดร.สมปอง รักษาธรรม	รักษาราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ	รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

กองบรรณาธิการภายนอกมหาวิทยาลัย ประกอบด้วย

ศาสตราจารย์ ดร.การุณ ทองประจุแก้ว	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศาสตราจารย์ ดร.สุวัจน์ ธัญรส	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
รองศาสตราจารย์ ดร.พญศักดิ์ อินตะวิชา	คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา
รองศาสตราจารย์ ดร.สรรพสิทธิ์ กล่อมเกล้า	คณะอุตสาหกรรมเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยทักษิณ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ โอทอง	มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ ดร.สมัคร แก้วสุกแสง	คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุปัญญา จิตตพันธ์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริโรตม์ เกตุแก้ว	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรศักดิ์ สวัสดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สงรักษ์

ดร.ปิยรัชฎ์ ปริญญางษ์ เจริญทรัพย์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.)

กองบรรณาธิการภายในมหาวิทยาลัย ประกอบด้วย

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนาภรณ์ เมืองมุงคุณ

รองศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ศุภพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งนภา พิมเสน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระยุทธ สุดสมบูรณ์

ดร.ศณัฏฐา อีระขุนท์

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

คณะวิทยาการจัดการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ผู้ประเมินอิสระหรือพิชญพิจารณา (Peer review) ตรวจสอบทางวิชาการประจำฉบับ

ศาสตราจารย์ ดร.สมบูรณ์ ธนาศุภวัฒน์

รองศาสตราจารย์ ดร.โกวิทย์ ปิยะมั่งคณา

รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ อัมพูช

รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย สุธีรศักดิ์

รองศาสตราจารย์ ดร.บวรศักดิ์ ลีนานนท์

รองศาสตราจารย์ ดร.ปาริชาติ บัวโรย

รองศาสตราจารย์ ดร.เยาวพา จิระเกียรติกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.สุภกร บุญยืน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณิกา รัตนพงศ์เลขา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณ วังษ์กำแพง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญยืน เลี่ยมสำโรง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เขมณิจารีย์ สาริพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวิศิษฐ์ ยะสารวรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนภูมิ ศิริงาม

คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

คณะเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาภรณ์ อิศรานุวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ นพรัตน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย หาระโคตร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัทวัฒน์ สีขาว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูริพงษ์ เมฆสุวรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชพล พะวงศรีรัตน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนฐาภัทร บุญเกิด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒนณรงค์ มากพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลย์ลิกา สุขสำราญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายชล สุขญาณกิจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ ใจเขียนดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกนรินทร์ รอดเจริญ

ดร.สุกัญญา พึ่งจะแย้ม

ผู้ตรวจทานภาษาต่างประเทศประจำฉบับ

นางสาวนฤมล อธิประเสริฐ

Ms.Christine Soriano

ฝ่ายอำนวยการ ประกอบด้วย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรภรณ์ นวนมุสิก

รองศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ศุภพันธ์

ว่าที่ร้อยตรี ดร.จาดุรนต์ ชุติธพงษ์

คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน/

ศูนย์ภาษาและวัฒนธรรมนานาชาติ

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ศูนย์ภาษาและวัฒนธรรมนานาชาติ

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ดร.เบญจวรรณ นิลวงศ์

ผู้จัดการวารสาร

นางสาวกัญต์ฤทัย จรจรัส

รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ปก

มูฟ แอดเวอร์ไทด์ (Moof Advertise)

เลขที่ 1/13 หมู่ที่ 6 ตำบลท่าจั่ว อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

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

	หน้า
บทความวิจัย	
การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักสำหรับพืชในมูลตัวกว้างชนและผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมักจากมูลตัวกว้างชน ณัฐนันท์ เรียบเรียง ทศนีย์ ไชยฮ้อย และจิตรกร กรพรม*	1
พฤติกรรมการกินของนกชายเลนและความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลบริเวณเกาะสาหร่าย ตำบล เกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล ธงชัย จอดนอก ปฎิมากร มณีโชติ สุธินี หิมาชิ และนุชจรินทร์ เพชรเกลี้ยง*	10
การศึกษาจากผลงานศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ของการย้อมสีสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้บนผ้าฝ้าย อรจิรา เจียมสกุล และชุติมา เสพธรรม*	26
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ ธนากรณ ดำสุด ฌานิกา แซ่แง ชูกุล* และกัตตินาฏ สกกุลสวัสดิพันธ์	39
การดูดซับสีย้อมมาลาไคท์กรีนด้วยไบโอชาร์จากขานอ้อย สุพัฒน์ บุตรดี ผลการัตน์ โรจน์ดวง* และปริญทิพย์ รัตนบุรี	50
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของกระชายขาวที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก วันวิสาข์ บุญกล้า อนุศักดิ์ เกิดสิน และปริยาภรณ์ อิศรานุวัฒน์*	66
การศึกษาคณสมบัติไฟโบริโอติกและฤทธิ์การทำงานของยีสต์ที่แยกได้เพื่อใช้เป็นอาหารเสริมในสัตว์ ชนิษฐา นิวาตะบุตร หนึ่งนุช ไชยวรรณ ณัฐริการ์ นวลศรี ภัทราวดี เก่งกว่าสิงห์ กมลศรี นวลคำ จารุวรรณ สิทธิพล* วัลลภา หล่อเหลี่ยม และอิงครัต กิ่งแก้ว	76
การเจริญเติบโตของต้นเลื้อยมังกรภายใต้ระบบการปลูกเลี้ยงต่างกัน อนันต์ พิริยะภัทรกิจ* พรกมล รูปเลิศ พัทรี เดชเลย์ และสุขมาภรณ์ แสงงาม	92
ประชาคมสัตว์หน้าดินขนาดกลางบริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อไขน จังหวัดสงขลา นราศักดิ์ ธรรมเสน นูรโลลี สุหลง และสุธินี หิมาชิ*	101
การเปรียบเทียบวิธีการย่อยต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและผัก: กรณีศึกษาตำบลน้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย นภัสสร วงเปรี้ยว* วิฑิตนันท์ ธรรมโสม บุชบัวดี พุทธาณู ภัทรานุช ผงสุข และสุพัฒน์ พระเมืองคง	117
คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ	132

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักสำหรับพืชในมูลด่างกว้างชน
และผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมักจากมูลด่างกว้างชน
The Study of Primary Macronutrients from the Dung and
Compost of the *Xylotrupes gideon*

ณัฐนันท์ เรียบเรียง¹ ทศนีย์ ไชยฮ้อย² และจิตรกร กรพรหม^{1*}
Nathanan Reabreang¹ Tussanee Chaihyo² and Chittakorn Kornphom^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาธาตุอาหารหลักสำคัญของพืชจากมูลด่างกว้างชนที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีส่วนผสมหลักที่แตกต่างกัน ได้แก่ ชี้อ้อย (มูล 1) และซังข้าวโพด (มูล 2) และปุ๋ยหมักจากมูลด่างกว้างชนทั้งสองชนิด โดยใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (effective microorganisms: EM) และใช้กระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) พบว่ามูลด่างกว้างชนที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีชี้อ้อยและซังข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลัก (มูล 1 และ มูล 2) มีธาตุอาหารไนโตรเจนต่ำกว่าเกณฑ์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด (ต่ำกว่าร้อยละ 1.00 โดยน้ำหนัก) โดยมีค่าร้อยละ 0.22 และ 0.46 ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของมูล 2 สูงกว่ามูล 1 ในขณะที่ธาตุอาหารโพแทสเซียมของมูล 1 และ มูล 2 มีปริมาณใกล้เคียงกัน คือ 0.97 และ 0.94 ร้อยละโดยน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและซังข้าวโพดที่ใช้เลี้ยงด่างกว้างชน ซึ่งซังข้าวโพดมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูงกว่าชี้อ้อย สำหรับการวิเคราะห์ธาตุอาหารจำเป็นของพืชในปุ๋ยหมักจากมูลด่างกว้างชนทั้ง 2 สูตร ได้แก่ ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 พบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 แสดงปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนร้อยละ 1.45 และปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมร้อยละ 1.18 ซึ่งสูงกว่ามูล 1 มูล 2 และปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 สำหรับปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 มีปริมาณร้อยละ 1.10 และปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 มีปริมาณร้อยละ 1.15 ซึ่งปุ๋ยหมักทั้งสองสูตรมีฟอสฟอรัสในปริมาณใกล้เคียงกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยหมักจากมูลด่างกว้างชนมีธาตุอาหารหลักจำเป็นต่อพืชในปริมาณสูง เมื่อเทียบกับปุ๋ยหมักที่นิยมนำไปใช้ในการเกษตร ดังนั้นมูลด่างกว้างชนเป็นมูลชนิดหนึ่งที่มีประโยชน์และเหมาะกับการนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักชีวภาพเพื่อใช้ในการเกษตรต่อไป

¹ ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

* Corresponding author e-mail: Chittakorn_kor@g.cmru.ac.th

Received: 15 February 2023, Revised: 25 May 2023, Accepted: 30 June 2023

คำสำคัญ: มูลด้วงกว้างขน ปุ๋ยหมัก ธาตุอาหารของพืช

Abstract

This research aimed to study the plant nutrients from the *Xylotrupes gideon* dung by feeding different main constituent diets, such as sawdust (dung 1) and corncob (dung 2), and compost from two types of the *X. gideon* dung. The compost was used with effective microorganisms (EM) and an anaerobic fermentation process. The macronutrients of plants, nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) were analyzed. It was found that the dung 1 and the dung 2 showed a quantity of nitrogen lower than the criteria set by the department of agriculture (not less than 1.00% by weight) with 0.22 and 0.46 percent, respectively. Moreover, the nitrogen and phosphorus nutrient content of the dung 2 were higher than the dung 1, while the potassium nutrient content was similar, 0.97% by weight (%wt) for the dung 1 and 0.94 %wt for the dung 2. Owing to the different mineral compositions of the sawdust and corncob used to feed the *X. Gideon*, the corncob had a higher nitrogen and potassium content than the sawdust. For the analysis of plant essential nutrients in both compost formulations such as formula 1 and formula 2, it was found that compost formula 1 showed a nitrogen content of 1.45% and potassium content of 1.18%, which was higher than that of dung 1, dung 2, and fertilizer formula 2. The phosphorus content of formula 1 was 1.10% and formula 2 was 1.15%, which means that both compost formulas contained similar amounts of phosphorus. In this research, it can be seen that the compost contained a high number of essential macronutrients for plants when compared to other composts extensively used in agriculture. Therefore, the *X. Gideon* dung was a type of dung that was useful and suitable for use as compost for further agricultural purposes.

Keywords: *Xylotrupes gideon* dung, Compost, Plant nutrients

บทนำ

การเกษตรเป็นรากฐานที่สำคัญอย่างมากของประเทศไทย ทั้งด้านการดำรงชีวิตและด้านเศรษฐกิจ และประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลักมาช้านาน ปัจจุบันการเกษตรเปลี่ยนรูปแบบอย่างมาก เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ผันตัวมาทำการเกษตรเชิงพาณิชย์และเชิงอุตสาหกรรม ทำให้ต้องพึ่งพาสารเคมี ได้แก่ ปุ๋ยเคมีและสารกำจัดศัตรูพืชมากขึ้น ทั้งวิถีชีวิตการทำเกษตรแบบดั้งเดิมที่อนุรักษ์ระบบนิเวศและสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ สารเคมีเหล่านี้เป็นตัวการสำคัญในการทำลายหน้าดิน ทำให้ดินเสื่อมสภาพ ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของดินให้มีความอุดมสมบูรณ์เป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็นเร่งด่วนสำหรับการทำการเกษตร การเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ

ลงในดินเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถปรับปรุงดินให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยเฉพาะดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ (พัชรี และคณะ, 2565) ปุ๋ยหมักเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช ได้แก่ ชากพืช ใบไม้ มูลสัตว์ หมักย่อยสลายจนเกิดสารอาหารที่พืชต้องการ ช่วยสร้างการเจริญเติบโตต่อพืช ทั้งราก ลำต้น ดอก ผล สร้างความเจริญเติบโตต่อโครงสร้างของเซลล์พืชและทำให้พืชมีภูมิคุ้มกันต่อการถูกทำลายของเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินทำให้มีความอุดมสมบูรณ์ ช่วยรักษาความชุ่มชื้นในดินได้ดีขึ้น และช่วยถ่ายเทอากาศในดินได้ดีขึ้น ไม่เป็นอันตรายต่อดินแม้ใช้ในปริมาณมากและติดต่อกันเป็นเวลานาน อีกทั้งปุ๋ยหมักช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีนำไปสู่การลดต้นทุนทางการเกษตรลง เนื่องจากปุ๋ยเคมีมีราคาแพง และส่วนใหญ่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เนื่องจากประเทศไทยไม่มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเคมีภัณฑ์ดังกล่าว (นรินทร์, 2563)

ปุ๋ยหมักมูลของสัตว์ เช่น มูลของวัว มูลของสุกร มูลไก่ มูลไส้เดือน และมูลค้างคาว เป็นต้น ได้รับความนิยมอย่างมากในการนำมาใช้ในการเกษตรแบบอินทรีย์ นอกจากมูลที่กล่าวมาข้างต้น มีมูลของแมลงที่สามารถใช้ในการทำปุ๋ยหมักและมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับมูลสัตว์ต่าง ๆ คือ มูลจากด้วงกว้างขน ซึ่งด้วงกว้างขนเป็นแมลงปีกแข็งที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศในป่าแถบภาคเหนือของประเทศไทย และผูกพันกับคนไทยในภาคเหนือมาช้านาน โดยมีการนำด้วงกว้างขนเพศผู้ตัวเต็มวัยมาชนเป็นกีฬาพื้นบ้านซึ่งเป็นประเพณีสืบทอดกันมา ทำให้มีการเพาะเลี้ยงด้วงกว้างขนเชิงธุรกิจเป็นจำนวนมาก เช่น ในจังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่มีผู้เพาะเลี้ยงด้วงกว้างขนจำนวนมาก (สุภาพร และคณะ, 2559) ซึ่งการเพาะเลี้ยงด้วงกว้างขนโดยใช้บ่อซีเมนต์หรือบ่อดินเพาะเลี้ยงจะได้ด้วงกว้างขนตัวเต็มวัยประมาณ 300-600 ตัวต่อบ่อ พบว่ามีมูลของหนอนด้วงกว้างขนในบ่อเพาะเลี้ยงจำนวนมากและมีการวิจัยในการนำมูลด้วงกว้างขนไปวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักสำหรับพืช พบว่ามีส่วนประกอบของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ประมาณร้อยละ 0.54 0.32 และ 0.44 ตามลำดับ และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 37.20 ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในมูลวัว (เผด็จศิลป์, 2548) นอกจากนี้จากการศึกษาการใช้มูลด้วงกว้างขนเป็นปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกคะน้าพบว่า การเจริญเติบโตและผลผลิตไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมี (สุภาพร และคณะ, 2559) ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงสนใจนำมูลด้วงกว้างขนที่เหลือทิ้งมาทำเป็นปุ๋ยหมักเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป อย่างไรก็ตามอาหารที่ใช้เลี้ยงด้วงกว้างขนนั้นมีลักษณะที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นกล้วย อ้อย ผลไม้สุกชนิดต่าง ๆ ขี้เลื่อย และซังข้าวโพด เป็นต้น (พิสุทธิ, 2552) แต่จากการที่คณะผู้วิจัยสอบถามผู้เลี้ยงด้วงกว้างขนเพื่อการพาณิชย์เพื่อนำมูลด้วงกว้างขนเหลือทิ้งมาศึกษานั้น โดยส่วนใหญ่ได้มีการเตรียมอาหารสำหรับการเลี้ยงด้วงกว้างขนด้วยตัวเอง และสูตรอาหารค่อนข้างเป็นความลับทางการค้า ผู้เลี้ยงระบุเพียงส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการเตรียมอาหารสำหรับเลี้ยงด้วงกว้างขนที่คณะผู้วิจัยนำมูลเหลือทิ้งมาศึกษา ได้แก่ ขี้เลื่อย และซังข้าวโพด เป็นต้น

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงสนใจนำมูลด้วงกว้างขนที่เหลือทิ้งมาทำเป็นปุ๋ยหมัก โดยศึกษาธาตุอาหารหลักสำหรับพืชจากมูลด้วงกว้างขนที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีองค์ประกอบหลักแตกต่างกัน ได้แก่ ขี้เลื่อย และซังข้าวโพด และปุ๋ยหมักที่ได้จากมูลด้วงกว้างขน เพื่อใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี เป็นแนวทางในการส่งเสริมการพึ่งพาตนเอง และสามารถนำไปต่อยอดในการประกอบเป็นอาชีพเสริมได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุอุปกรณ์

1.1 มูลดักแด้กว้างขนที่เหลือทิ้งจากผู้เลี้ยงดักแด้กว้างขนเชิงพาณิชย์ จำนวน 2 ชนิด คือ มูลดักแด้กว้างขนที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีขี้เลื่อยเป็นองค์ประกอบหลัก (มูล 1) และมูลดักแด้กว้างขนที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีซังข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลัก (มูล 2)

1.2 จุลินทรีย์ EM (effective microorganism) ชนิดน้ำ ผลิตโดยบริษัท เอ็มโร เอเชีย จำกัด

1.3. ปากน้ำตาล

1.4. แกลบ

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมมูลดักแด้กว้างขนทั้งสองชนิด คือ มูล 1 และมูล 2 โดยนำมูลทั้งสองชนิดไปตากแดดเพื่อกำจัดความชื้นในมูลดักแด้กว้างขนจนกว่าจะได้มูลที่แห้งสนิท จากนั้นนำมาบดและทำการคัดขนาดด้วยตะแกรงที่มีความละเอียด 40 ช่องต่อตารางนิ้ว (mesh) เพื่อให้มีความละเอียดและความสม่ำเสมอ (ภาพที่ 1) เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุอาหารหลักต่อไป



ภาพที่ 1 มูลดักแด้กว้างขนที่ผ่านการตากแห้ง (ก) และมูลดักแด้กว้างขนที่ผ่านการบดและคัดขนาดเพื่อให้มีความละเอียดและความสม่ำเสมอ (ข)

2.2 กระบวนการทำปุ๋ยหมัก ได้ดัดแปลงสูตรมาจากปุ๋ยหมักมูลวัว (วัฒนณรงค์, 2560) โดยแบ่งเป็น 2 สูตร และใช้การหมักด้วยวิธีการไม่ใช้อากาศ โดยแต่ละสูตรมีส่วนผสมดังนี้

1) ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 ประกอบด้วย มูลดักแด้กว้างขนที่เลี้ยงด้วยขี้เลื่อยเป็นองค์ประกอบหลัก (มูล 1) : ปากน้ำตาล : จุลินทรีย์ EM : รำ : แกลบ เป็นอัตราส่วน 0.50 : 0.25 : 2.00 : 2.00 กิโลกรัม

2) ปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 (มูล 2) ประกอบด้วย มูลดักแด้กว้างขนที่เลี้ยงด้วยซังข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลัก (มูล 2) : ปากน้ำตาล : จุลินทรีย์ EM : รำ : แกลบ เป็นอัตราส่วน 0.50 : 0.25 : 2.00 : 2.00 กิโลกรัม

จากนั้นนำส่วนผสมในแต่ละสูตรบรรจุในถังพลาสติก ปิดฝาให้สนิท หมักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 45 วัน

3. กระบวนการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักสำหรับพืช

ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยทำการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ไนโตรเจน โดยใช้วิธีการ Kjeldahl (Conklin, 2005)

3.2 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส โดยใช้วิธีการ spectrophotometer molybdovanadate (กรมวิชาการเกษตร, 2553)

3.3 การวิเคราะห์โพแทสเซียม โดยใช้วิธีการ atomic absorption spectrophotometer (Soil and Plant Analysis Council, 2000)

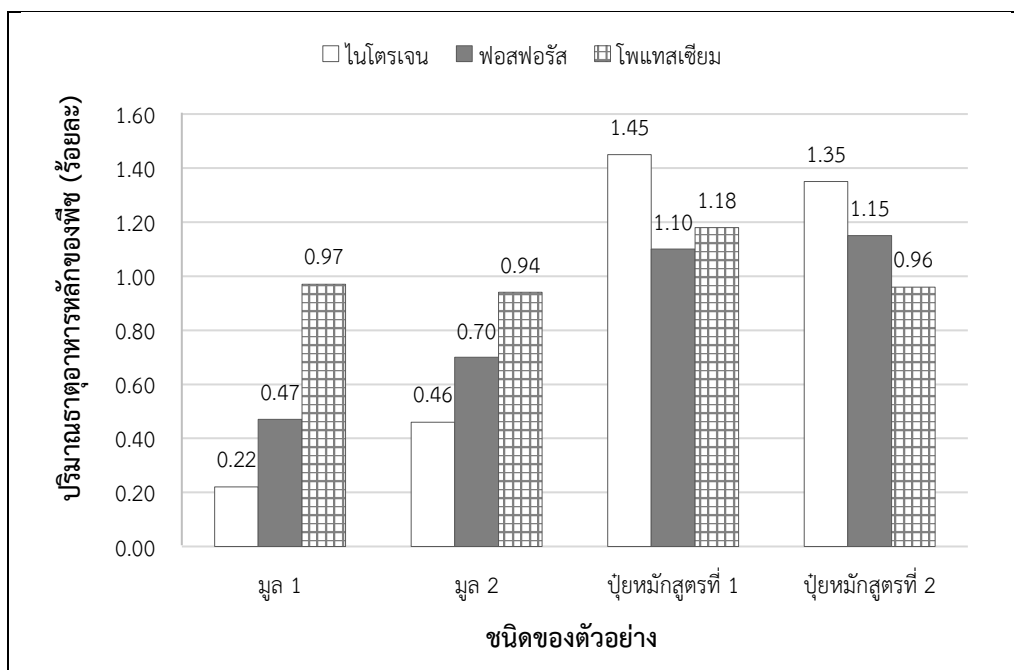
ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนในมูลด่างกว้างชนที่เลี้ยงด้วยขี้เลื่อย (มูล 1) และขี้ข้าวโพด (มูล 2) และปุ๋ยหมักที่มีมูลด่างกว้างชนเป็นองค์ประกอบจำนวน 2 สูตร ได้แก่ ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนพบว่ามูล 1 และมูล 2 แสดงค่าร้อยละของธาตุไนโตรเจนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดไว้ในพระราชบัญญัติปุ๋ยฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 ซึ่งต้องมีปริมาณไนโตรเจนไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.00 เมื่อเทียบกับน้ำหนักของมูลหรือปุ๋ยหมัก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 0.22 และ 0.46 ตามลำดับ สำหรับปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรกำหนด โดยที่ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 มีธาตุไนโตรเจนสูงที่สุด โดยมีค่าร้อยละ 1.45 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในมูล 1 มูล 2 และปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 พบว่ามูล 1 มีปริมาณร้อยละของฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.47 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดฯ ต้องมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.50 สำหรับมูล 2 และปุ๋ยหมักทั้งสองสูตรมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าเกณฑ์ฯ โดยพบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 มีปริมาณร้อยละของฟอสฟอรัสสูงที่สุดประมาณร้อยละ 1.15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในมูล 1 มูล 2 และปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 แสดงในตารางที่ 1 พบว่าปริมาณธาตุโพแทสเซียมของมูลด่างกว้างชนทั้งสองชนิดและปุ๋ยหมักทั้งสองสูตรมีปริมาณที่อยู่ระหว่างร้อยละ 0.94-1.18 ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดฯ ต้องมีปริมาณโพแทสเซียมไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 และพบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 มีปริมาณร้อยละของโพแทสเซียมสูงที่สุดประมาณร้อยละ 1.18 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อพืชต่อน้ำหนักของมูลด่างกว้างชนและปุ๋ยหมักทั้ง 2 สูตร

ชนิดของตัวอย่าง	ปริมาณธาตุอาหารหลักต่อน้ำหนักมูลและปุ๋ยหมัก (ร้อยละ)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
มูล 1	0.22	0.47	0.97
มูล 2	0.46	0.70	0.94
ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 (มูล 1)	1.45	1.10	1.18
ปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 (มูล 2)	1.35	1.15	0.96

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในมูลดั่งกวางที่เลี้ยงด้วยขี้เลื่อยเป็นส่วนประกอบหลัก (มูล 1) และขี้ขาวโพดเป็นส่วนประกอบหลัก (มูล 2) และปุ๋ยหมักที่มีมูลดั่งกวางชนเป็นส่วนประกอบหลัก จำนวน 2 สูตร ได้แก่ ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 พบว่ามูล 1 และมูล 2 มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนต่ำกว่ามาตรฐานตามเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตรกำหนดฯ เมื่อพิจารณาปุ๋ยหมักทั้งสองสูตรเห็นได้ว่าธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าตามมาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดฯ และปุ๋ยหมักจากมูลดั่งกวางชนทั้งสองสูตรมีปริมาณร้อยละของไนโตรเจนใกล้เคียงกัน ขณะที่ปริมาณร้อยละของธาตุฟอสฟอรัสของมูล 1 และมูล 2 มีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยมูล 2 มีปริมาณร้อยละของธาตุฟอสฟอรัสสูงกว่ามูล 1 ในส่วนของปุ๋ยหมักทั้งสองสูตรพบว่าธาตุอาหารฟอสฟอรัสมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับมูล 1 และมูล 2 สำหรับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 แสดงปริมาณร้อยละของฟอสฟอรัสสูงที่สุด สำหรับธาตุอาหารโพแทสเซียมของมูล 1 มูล 2 และปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 มีค่าใกล้เคียงมาก ในขณะที่ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 มีปริมาณร้อยละของโพแทสเซียมสูงที่สุด ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ของชนิดของตัวอย่างจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ มูล 1 มูล 2 และปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 (มูล 1) และปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 (มูล 2)

การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดลองพบว่ามูลด่างกว้างชนที่เลี้ยงด้วยชี้เลี้ยงเป็นส่วนประกอบหลัก (มูล 1) และ ช้างข้าวโพดเป็นส่วนประกอบหลัก (มูล 2) มีธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยมูล 2 มีปริมาณธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียม สูงกว่ามูล 1 เนื่องจากช้างข้าวโพดมีปริมาณธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูงกว่าชี้เลี้ยง โดยช้างข้าวโพด มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนร้อยละ 0.69 และโพแทสเซียมร้อยละ 2.27 (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ในขณะที่ชี้เลี้ยงมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนร้อยละ 0.33 และโพแทสเซียมร้อยละ 0.36 (กรมวิชาการเกษตร, 2551) เมื่อพิจารณาปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 พบว่าปุ๋ยหมักทั้งสองสูตร มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนสูงกว่ามูลด่างกว้างชนทั้งสองชนิด (มูล 1 และมูล 2) และปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนมากที่สุด คือ ร้อยละ 1.45 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของธาตุไนโตรเจนคาดว่า เกิดจากกระบวนการหมัก เนื่องจากกระบวนการหมักปุ๋ยในงานวิจัยนี้ใช้จุลินทรีย์ที่สร้างธาตุอาหารพืช โดยใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน ประกอบด้วยแบคทีเรียและ แอคทิโนมัยซีท (actinomycetes) ซึ่งมีชุดยีนไนโตรจีเนส (nitrogenase genes) เป็นองค์ประกอบ ในจีโนม มีหน้าที่สำคัญในการควบคุมการสร้างเอนไซม์ไนโตรจีเนส และควบคุมกลไกการตรึงไนโตรเจน ให้กับจุลินทรีย์ โดยมีขบวนการตรึงไนโตรเจนจากอากาศที่มีประสิทธิภาพประกอบกับกระบวนการหมัก ที่ใช้อากาศ ส่งผลให้ปุ๋ยหมักชีวภาพทั้งสองสูตรมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนสูงขึ้น (Bisen *et al.*, 2012) สำหรับปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมูลด่างกว้างชนทั้งสองชนิด (มูล 1 และมูล 2) กับปุ๋ยหมักทั้งสองสูตร อาจเกิดจากกระบวนการหมักทำให้สัดส่วนธาตุฟอสฟอรัส ที่ถูกตรึงมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจากกระบวนการมิเนอรัลไลเซชัน (mineralization) ซึ่งเปลี่ยนฟอสฟอรัส อินทรีย์เป็นฟอสฟอรัสอนินทรีย์ เช่น ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) สำหรับปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมของ ปุ๋ยหมักทั้งสองสูตร มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในมูลด่างกว้างชนทั้งสองชนิด (มูล 1 และมูล 2) เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์นี้เรียกว่า การควบแน่นของโลหะ (condensation of metals) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมัก (Hsu and Lo, 2001) จากการ เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็น ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ของปุ๋ยหมักจาก มูลด่างกว้างชนทั้งสองสูตรกับปุ๋ยหมักชนิดต่าง ๆ ที่เกษตรกรนิยม (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ดังแสดง ในตารางที่ 2 พบว่าปุ๋ยหมักจากมูลด่างกว้างชนทั้งสองสูตรมีปริมาณธาตุอาหารหลักค่อนข้างสูงกว่า ปุ๋ยหมักหลายชนิด ซึ่งบ่งชี้ว่าปุ๋ยหมักมูลด่างกว้างชนในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมในการนำไป ประยุกต์ใช้ในการเกษตรต่อไป

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชที่ได้จากปุ๋ยหมักบางชนิด (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ชนิดของปุ๋ยหมัก	ปริมาณธาตุอาหารหลักสำหรับพืช (ร้อยละ)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1*	1.45	1.10	1.18
ปุ๋ยหมักสูตรที่ 2*	1.35	1.15	0.96
ปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาล	1.52	0.22	0.18
ปุ๋ยหมักจากหญ้าแห้ง	1.23	1.26	0.76
ปุ๋ยหมักจากหญ้าหมักผสมกระดูกป่นและมูลกระป๋อง	0.82	1.43	0.59
ปุ๋ยหมักจากหญ้าหมักผสมกระดูกป่นและมูลโค	2.33	1.78	0.46
ปุ๋ยหมักจากหญ้าหมักผสมกระดูกป่นและมูลแพะ	1.11	4.04	0.48
ปุ๋ยหมักจากหญ้าหมักผสมกระดูกป่นและมูลม้า	0.82	2.83	0.33
ปุ๋ยหมักจากใบจามจุรี	1.45	0.19	0.49
ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว	0.85	0.11	0.76
ปุ๋ยหมักจากฟางข้าวผสมมูลไก่	1.07	0.46	0.94
ปุ๋ยหมักจากฟางข้าวผสมมูลโค	1.51	0.26	0.98
ปุ๋ยหมักจากฟางข้าวผสมมูลเป็ด	0.91	1.30	0.79
ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา	1.43	0.48	0.47
ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาผสมมูลสุกร	1.85	4.81	0.79
ปุ๋ยอินทรีย์ (เทศบาล) ชนิดอ่อน	0.95	3.19	0.91
ปุ๋ยอินทรีย์ (เทศบาล) ชนิดปานกลาง	1.34	2.44	1.12
ปุ๋ยอินทรีย์ (เทศบาล) ชนิดแรง	1.48	2.96	1.15

หมายเหตุ: - * แสดงถึงปุ๋ยหมักของงานวิจัยนี้

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมในมูลด่างกว้างชนที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีชี้เลี้ยงเป็นองค์ประกอบหลัก (มูล 1) และ ช้างข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลัก (มูล 2) และปุ๋ยหมักจากมูลด่างกว้างชนทั้งสองชนิด จำนวน 2 สูตร ได้แก่ ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 พบว่ามูลด่างกว้างชนทั้งสองชนิด (มูล 1 และมูล 2) มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนต่ำกว่าเกณฑ์ที่กรมการเกษตรกำหนด สำหรับมูล 2 มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงกว่ามูล 1 ในขณะที่ธาตุอาหารโพแทสเซียมของมูลทั้งสองมีปริมาณใกล้เคียงกัน นอกจากนี้พบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและโพแทสเซียม สูงที่สุดปริมาณร้อยละ 1.45 และ 1.18 ตามลำดับ โดยปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสมีปริมาณใกล้เคียงกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 จากการวิจัยนี้เห็นได้ว่าปุ๋ยหมักจากมูลด่างกว้างชนมีธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อพืชที่ปริมาณสูงเหมาะกับการประยุกต์ใช้ในการเกษตรต่อไป อีกทั้งยังลดการทิ้งมูลด่างกว้างชนที่มีปริมาณมาก และสามารถสร้างรายได้เสริมให้กับผู้สนใจต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ประจำปี พ.ศ. 2565 เลขที่สัญญา มรชม.28/2565

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. (2548). *ปุ๋ยอินทรีย์*. กรุงเทพฯ: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- กรมวิชาการเกษตร. (2551). *คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์*. กรุงเทพฯ: กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี.
- กรมวิชาการเกษตร. (2553). *กระบวนการวิเคราะห์ ตรวจสอบดินทางเคมี*. สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2565, จาก: <https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf>.
- นรินทร์ ต้นไพบูลย์. (2563). *แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2563-2565: อุตสาหกรรมปุ๋ยเคมี*. สืบค้นเมื่อ 7 มีนาคม 2565, จาก: https://www.krungsri.com/getmedia/b2a858e1-a2c8-41ca-bb52-203cfd50ffb0/IO_Chemical_Fertilizer_200129_TH_EX.pdf.aspx.
- เผด็จศิลป์ รามศิริ. (2548). *ชีววิทยาของกวางชุน กวางหางเหนือ และกวางสามเขาเขาใหญ่ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาชีววิทยา). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- พัชรี เดชเลย์ คมกฤษณ์ แสงเงิน ญัฐพงศ์ จันจุฬา และอนันต์ พิริยะภัทรกิจ. (2565). ผลของปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซีลีเนียมต่อการเจริญเติบโตผลผลิต และปริมาณซีลีเนียมของผักกาดหอม. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 41(1), 15-23.
- พิสุทธิ์ เอกอำนวย. (2552). *มาเลี้ยงด้วงกัน*. กรุงเทพฯ: สวนสัตว์แมลงสยาม.
- วัฒนณรงค์ มากพันธ์ เกษมสันต์ คำบุญมา และปิยะ ขวดแก้ว. (2560). ปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักชนิดต่าง ๆ จากขยะอินทรีย์ ในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 20(2), 18-28.
- สุภาพร รัตนพันธุ์ ปราโมทย์ ทิมขำ เผด็จศิลป์ รามศิริ แสงแก้ว คำกวน นพรัตน์ จันทรไชย และ นันทนา เตชนันท์. (2559). การใช้ประโยชน์จากปุ๋ยมูลหอนด่างกวางชุน. *แก่นเกษตร*, 41(3), 269-274.
- Bisen, P.S., Debnath, M. and Prasad, G.B.K.S. (2012). *Microbes: Concepts and applications*. New Jersey: Blackwell John Wiley and Sons.
- Conklin Jr, A.R. (2005). *Introduction to soil chemistry: Analysis and instrumentation*. (2nd ed). New Jersey: Blackwell John Wiley and Sons.
- Hsu, J.H. and Lo, S.L. (2001). Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure. *Environmental Pollution*, 114(1), 119-127, doi: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00198-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00198-6).
- Soil and Plant Analysis Council. (2000). *Soil analysis: Handbook of reference methods*. Florida: CRC Press.

**พฤติกรรมการกินของนกชายเลนและความหนาแน่นของไส้เดือนทะเล
บริเวณเกาะสาหร่าย ตำบลเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล**
**Foraging Behavior of Shorebirds and the Density of Polychaetes
at Koh Sarai, Koh Sarai Sub-district, Satun Province**

ธงชัย จอดนอก¹ ปฏิมากร มณีโชติ¹ สุธิณี หิมียิ¹ และนุชจรินทร์ เพชรเกลี้ยง^{1*}
Thongchai Jodnog¹ Patimakorn Maneechot¹ Sutinee Himyi¹ and Nutjarin Petkliang^{1*}

บทคัดย่อ

พื้นที่ชายฝั่งจังหวัดสตูลเป็นแหล่งหากินที่สำคัญของนกชายเลนจำนวนมากแต่ยังขาดการศึกษานิเวศวิทยาพฤติกรรมของนกชายเลน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการกินของนกชายเลนและความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลซึ่งเป็นอาหารหลักของนกชายเลน โดยเก็บข้อมูลนกชายเลนทั้งหมด 3 สถานี 6 จุดสำรวจ เก็บตัวอย่างไส้เดือนทะเล เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมและตัวอย่างดิน จุลละ 3 ซ้ำ จำนวน 3 ครั้ง ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และสิงหาคม พ.ศ. 2565 พบนกชายเลนที่หากินบริเวณชายฝั่งทั้งหมด 3 วงศ์ 12 ชนิด วงศ์เด่นที่พบมากที่สุด คือ วงศ์นกยาง (Ardeidae) รูปแบบพฤติกรรมการกินของนกชายเลนแต่ละวงศ์มีความแตกต่างกันตามลักษณะสัณฐานและแหล่งหาอาหาร พบไส้เดือนทะเลทั้งหมด 33 วงศ์ วงศ์เด่น ได้แก่ Oweniidae และ Syllidae โดยในเดือนสิงหาคมมีความหนาแน่นเฉลี่ยของไส้เดือนทะเลสูงที่สุด และในเดือนกุมภาพันธ์พบน้อยที่สุด ซึ่งความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลสัมพันธ์เชิงบวกกับอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.76, p < 0.05$) แต่พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกินของนกชายเลนในภาพรวมกับความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.27, p > 0.05$) เนื่องจากนกวงศ์เด่นที่พบคือนกยางที่ไม่ได้กินสัตว์หน้าดินกลุ่มไส้เดือนทะเลเป็นอาหารหลัก อย่างไรก็ตามอัตราการกินของกลุ่มนกหัวโตและนกอีก้อยมีแนวโน้มมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความหนาแน่นของไส้เดือนทะเล ทั้งนี้การที่ปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการในแหล่งอาศัยมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลอาจส่งผลต่อการลงมาใช้พื้นที่หากินของนกชายเลน

คำสำคัญ: การกินอาหารของนกชายเลน ไส้เดือนทะเล ปัจจัยสิ่งแวดล้อม เกาะสาหร่าย

¹ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

* Corresponding author e-mail: nutjarin.pe@sku.ac.th

Received: 28 March 2023, Revised: 1 June 2023, Accepted: 4 July 2023

Abstract

The coastal area of Satun province was the important food resource for many shorebirds though there was a lack of studies on its behavioral ecology. The purpose of this research was to study the foraging behavior of shorebirds and the density of polychaetes, the main food of shorebirds. Data of shorebirds were collected from 3 stations and 6 survey points; the polychaetes samples, environmental data and soil samples were collected from the 6 survey points with 3 replications in each point. Sampling was carried out 3 times in February, May, and August 2022 at the coastal area of Koh Sarai, Satun province. 12 species from 3 families were found in which the most prominent family was the Ardeidae. The foraging behavior patterns of each family of shorebirds differ according to their morphology and foraging sources. A total of 33 large benthic families in the class Polychaeta were found, Oweniidae and Syllidae were the dominant families. The highest density of polychaetes occurred in August and the lowest density was in February. The polychaetes density was significantly positively correlated to organic matter and soil organic carbon ($r = 0.76, p < 0.05$). The correlation between bird foraging rate and the density of polychaetes was not significantly related ($r = 0.27, p > 0.05$) since the predominant family found was Ardeidae in which it does not feed mainly on the polychaetes. However, the foraging rate of the Charadriidae and Scolopacidae tended to be positively correlated with the density of the polychaetes. Some environmental factors in the habitat which were related to the density of the polychaetes may affect the habitat use of the shorebirds.

Keywords: Feeding of shorebirds, Polychaetes, Environmental factors, Koh Sarai

บทนำ

นกชายเลนเป็นกลุ่มนกที่อาศัยอยู่ตามชายเลนหรือชายน้ำหากินในช่วงน้ำทะเลลดลง ซึ่งนกแต่ละชนิดมีขนาดและรูปร่างต่างกันไป มีพฤติกรรมการหากินสอดคล้องกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของปากและขา พบทั้งกลุ่มที่มีขนาดเล็กมีขาสั้นสำหรับเดินหากินบนพื้นเลนได้ไปจนถึงกลุ่มที่มีขายาวช่วยให้เดินในน้ำหากินได้ดี กลุ่มนกชายเลนที่พบได้บ่อยจากการศึกษาของเฉลิมชัย และคณะ (2550) บริเวณชายฝั่งจังหวัดสมุทรสาคร เช่น กลุ่มนกหัวโต (plover) และกลุ่มนกชายเลน (sandpiper) ซึ่งมีรูปร่างของปากต่างกันไปหลายรูปแบบเพื่อให้เหมาะสมกับอาหารที่กิน ส่งผลให้มีพฤติกรรมการกินที่แตกต่างกัน เช่น การศึกษาพฤติกรรมการกินของนกชายเลนบริเวณชายฝั่งประเทศมาเลเซียในกลุ่มนกที่มีขนาดกลางถึงใหญ่ ได้แก่ นกทะเลขาแดง (redshank) นกอีโก้ย (whimbrel) นกยาง (heron) และนกตะกรุม (adjutant) (Norazlimi and Ramli, 2015) นกชายเลนชอบอยู่รวมกันหลายชนิดหรืออยู่รวมกันเป็นฝูง และชอบหากินอยู่ตามพื้นที่หาดเลนริมทะเล นาเกลือ ปากแม่น้ำ

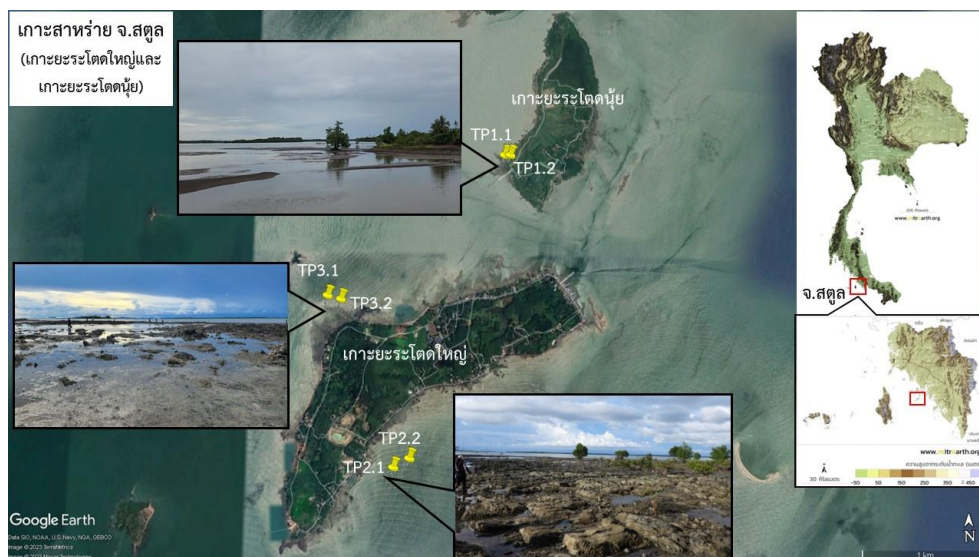
และพื้นที่ชุ่มน้ำซึ่งมีโคลนตะกอนและอินทรียสารจำนวนมากที่สายน้ำพัดพามาทำให้เกิดเป็นหาดเลนกว้างใหญ่อุดมไปด้วยธาตุอาหาร จึงเป็นแหล่งอาศัยของสัตว์น้ำและสัตว์หน้าดินหลายชนิด โดยเฉพาะสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ (macrofauna) เช่น ไส้เดือนทะเล หอย กุ้ง ปู และครัสตาเซีย (crustacea) ชนิดอื่น ๆ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารสำคัญของนกชายเลน (ณัฐกฤษฎีกา และคณะ, 2559) และมีความสำคัญต่อระบบนิเวศรวมถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของตะกอนดิน ช่วยให้ออกซิเจนแพร่ลงสู่ตะกอนดินและลดการเน่าเสียของตะกอนดินได้ (โรสลีนา และคณะ, 2562) โดยเฉพาะสัตว์หน้าดินในกลุ่มไส้เดือนทะเลที่มีความหลากหลายและความหนาแน่นสูงบริเวณแนวหาดเลนเมื่อเทียบกับบริเวณหาดทรายหรือแหล่งอาศัยอื่น เช่น การศึกษาไส้เดือนทะเลหน้าดินในพื้นที่ชายฝั่งเกาะลิดี จังหวัดสตูล (สุริณี, 2552) บริเวณหาดเลนที่เป็นจุดโคลนในเขตน้ำขึ้นน้ำลงมีความหนาแน่นของไส้เดือนทะเล 1,966-4,610 ตัวต่อตารางเมตร สูงกว่าแหล่งอาศัยอื่น ๆ และพื้นที่อ่าวคังกระเบนจังหวัดจันทบุรี ที่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) มีความหนาแน่นของไส้เดือนทะเล 426-750 ตัวต่อตารางเมตร (เบญจมาศ และคณะ, 2562) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าไส้เดือนทะเลพบได้มากกว่าสัตว์หน้าดินทะเลกลุ่มอื่น ๆ เช่น ครัสตาเซีย และมอลลัสก์ (mollusk) โดยพบว่ามีค่าความหนาแน่นสูงกว่ากลุ่มหอยและสัตว์ทะเลขาข้อ หาดเลนจึงเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของนกชายเลน (เฉลิมชัย และคณะ, 2550; นุชจรินทร์ และคณะ, 2564)

เกาะสาหร่ายเป็นชื่อที่รู้จักกันทั่วไป ประกอบด้วยเกาะยะระโตดใหญ่และเกาะยะระโตดน้อย ตั้งอยู่ในตำบลเกาะสาหร่าย อำเภอเมือง จังหวัดสตูล เป็นพื้นที่หนึ่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีทั้งหาดหิน หาดทราย และหาดเลน มีนกชายเลนจำนวนมากที่ลงมาหากิน แสดงว่าพื้นที่นี้มีแหล่งอาหารของนกชายเลนทั้งนกประจำถิ่นและนกอพยพ แต่ยังไม่มีการรายงานการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการกินของนกชายเลนกับความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินในกลุ่มไส้เดือนทะเล การศึกษาดังนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบพฤติกรรมการกินของนกชายเลนที่พบในบริเวณชายฝั่งเกาะสาหร่าย และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกินอาหารของนกชายเลนกลุ่มเด่นและความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลในบริเวณชายฝั่งเกาะสาหร่าย อำเภอเมือง จังหวัดสตูล ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญและควรดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถใช้ประกอบการประเมินศักยภาพของพื้นที่ในการรองรับประชากรนกชายเลนอพยพ และการอนุรักษ์นกชายเลนทะเลในพื้นที่เกาะสาหร่าย นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลไปต่อยอดในการพัฒนาสถานที่ท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ได้ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

กำหนดพื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณชายฝั่งเกาะสาหร่าย (เกาะยะระโตดใหญ่และเกาะยะระโตดน้อย) ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 2.65 ตารางกิโลเมตร ให้ครอบคลุมทุกแหล่งอาศัยบริเวณชายฝั่งที่มีลักษณะพื้นที่เป็นหาดโคลน หาดทราย หาดหิน แนวพองน้ำ แนวสาหร่าย หญ้าทะเล และแนวปะการัง โดยกำหนดเป็นสถานี ทั้งหมด 3 สถานี แต่ละสถานีแบ่งออกเป็น 2 จุดสำรวจ ในแนวน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุด (ภาพที่ 1) เก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม สิงหาคม พ.ศ. 2565 รวม 3 ครั้ง และบันทึกพิกัดโดยใช้เครื่องระบุตำแหน่งบนโลก (global positioning system: GPS) ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาและสถานีเก็บตัวอย่างพร้อมจุดสำรวจบริเวณชายฝั่งเกาะสาหร่าย ตำบลเกาะสาหร่าย อำเภอมะนัง จังหวัดสตูล
ที่มา: Maxar Technologies (2023)

ตารางที่ 1 พิกัดสถานีเก็บตัวอย่างและจุดสำรวจบริเวณชายฝั่งเกาะสาหร่าย ตำบลเกาะสาหร่าย อำเภอมะนัง จังหวัดสตูล

สถานี	จุดสำรวจ	พิกัด		ลักษณะพื้นที่
		ละติจูด (เหนือ)	ลองจิจูด (ตะวันออก)	
1	TP1.1	6° 39' 21.60"	99° 51' 05.38"	หาดทรายปนเลน
	TP1.2	6° 40' 44.94"	99° 51' 36.05"	หาดเลนที่มีแนวพองน้ำและสาหร่าย
2	TP2.1	6° 39' 21.60"	99° 51' 05.38"	หาดหินปนเลน
	TP2.2	6° 39' 23.89"	99° 51' 09.58"	หาดเลนที่มีแนวพองน้ำ สาหร่าย และปะการัง
3	TP3.1	6° 40' 05.52"	99° 50' 50.60"	หาดทรายปนเลน
	TP3.2	6° 40' 06.50"	99° 50' 47.01"	หาดเลนที่มีแนวหญ้าทะเล พองน้ำ และสาหร่าย

2. การเก็บข้อมูลนกชายเลน

การเก็บข้อมูลพฤติกรรมการกินอาหารของนกชายเลนดำเนินการใน 3 สถานี แบ่งเป็น 6 จุดสำรวจ (ตารางที่ 1) ทำได้โดยใช้กล้องโทรทรรศน์ (telescope) และกล้องส่องทางไกลแบบสองตา (binocular) ศึกษาารูปแบบพฤติกรรมการกินอาหารของนกชายเลนทุกชนิดที่สำรวจพบ โดยวิธีการส่องกราด (scan sampling method) และแบบเน้นพฤติกรรมเฉพาะตัว (focal behavior sampling method) ในรัศมีการมองเห็นของกล้องไม่เกิน 100 เมตร ใช้เวลาจุดละ 15-20 นาที และจดบันทึกข้อมูลจำนวนและชนิดของนกที่พบ บันทึกวิดีโอพฤติกรรมการกินของนกชายเลนแต่ละชนิดตั้งแต่เริ่มหาอาหารจนกระทั่งนกตัวนั้นเสร็จสิ้นการกินอาหารของแต่ละรอบที่หากิน บันทึกเวลาที่ใช้ในการกิน

และบันทึกวิธีต่อไปอย่างน้อย 3-5 นาที เพื่อประเมินอัตราการกินของนก ซึ่งการเก็บข้อมูลนกเก็บในช่วงน้ำทะเลลงต่ำสุดโดยยึดข้อมูลของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ การจำแนกนกชายเลนอ้างอิงจากหนังสือคู่มือจำแนกนก (จารุจินต์ และคณะ, 2561; Bird and Nature Conservation Society of Thailand, 2019)

3. การศึกษาไส้เดือนทะเล

เก็บตัวอย่างไส้เดือนทะเลในแต่ละสถานีที่สำรวจนก โดยแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างไส้เดือนทะเลในแนวน้ำขึ้นสูงสุดถึงน้ำลงต่ำสุด จำนวน 2 จุด จุดละ 3 ซ้ำ โดยใช้ควอดเรต (quadrat) ขนาด 0.5×0.5 เมตร สุ่มวางในพื้นที่แต่ละสถานีแล้วเก็บตัวอย่างดินในช่องที่ 1 โดยใช้พลั่วตักดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เพื่อนำไปร่อนแยกตัวอย่างไส้เดือนทะเล และวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อมในจุดที่สุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินและน้ำ โดยใช้พีเอชมิเตอร์ (pH meter) สำหรับดินและพีเอชมิเตอร์สำหรับน้ำ วัดอุณหภูมิดิน โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ และวัดความเค็มของน้ำโดยใช้เครื่องวัดความเค็ม แล้วนำดินตัวอย่างที่เก็บกลับมาร่อนเพื่อหาไส้เดือนทะเลกลุ่มที่มีขนาดตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตรขึ้นไป โดยการใช้ตะแกรงร่อนขนาดช่อง 5.0 1.0 และ 0.5 มิลลิเมตร ใช้ปากคีบปลายแหลมเก็บตัวอย่างไส้เดือนทะเลทั้งหมดที่ติดอยู่ในตะแกรงร่อน นำตัวอย่างที่แยกได้มาทำให้ผอมคลายโดยการแช่น้ำเย็นที่มีแมกนีเซียมคลอไรด์ (magnesium chloride: $MgCl_2$) 7.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5-10 นาที แล้วนำตัวอย่างไส้เดือนทะเลมาใส่ในขวดเก็บตัวอย่างที่มีฟอร์มาลินที่เป็นกลาง 10.0 เปอร์เซ็นต์ นำกลับมาศึกษาที่ห้องปฏิบัติการ เพื่อจำแนกตัวอย่างภายใต้กล้องสเตอริโอ (Nikon รุ่น SMZ445) โดยการคัดแยกและจำแนกไส้เดือนทะเลในระดับวงศ์ อ้างอิงวิธีการจำแนกจากเสาวภา และสุธินี (2555); Day (1967a); Day (1967b)

4. การศึกษาปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เก็บข้อมูลนกชายเลนและไส้เดือนทะเล

4.1 การศึกษาคุณภาพน้ำ

โดยวัดคุณภาพน้ำในแต่ละจุด จำนวน 3 ซ้ำต่อจุด ได้แก่ วัดอุณหภูมิ น้ำและวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โดยใช้พีเอชมิเตอร์ยี่ห้อ SmartSensor รุ่น PH818 วัดความเค็มของน้ำโดยใช้แฮนด์รีแฟรกโตมิเตอร์ (hand refractometer) ของ ATAGO รุ่น Master-S/Mill M

4.2 การศึกษาคุณภาพดิน

โดยวัดคุณภาพดินในแต่ละจุด จำนวน 3 ซ้ำต่อจุด ได้แก่ วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนดินและอุณหภูมิของตะกอนดิน โดยเครื่องวัดพีเอชและอุณหภูมิดินแบบพกพา (soil pH meter) รุ่น S20 แบบ 4-in-1 และใช้พลั่วขนาดเล็กเก็บตัวอย่างดินและน้ำดินตะกอนใส่ถุงพลาสติกแช่น้ำแข็งเพื่อหยุดการเจริญของจุลินทรีย์ แล้วนำกลับมาศึกษาอินทรีย์วัตถุโดยวัดปริมาณสารอินทรีย์และอนุภาคในตะกอนดินในห้องปฏิบัติการ โดยนำดินที่ได้ไปตากลมให้แห้งแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1.000 0.500 และ 0.053 มิลลิเมตร ศึกษาคุณภาพดินทางกายภาพ ได้แก่ ขนาดอนุภาคเม็ดดินโดยใช้วิธีไฮโดรมิเตอร์ ผลที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ของทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) แล้วนำมาจำแนกประเภทของเนื้อดินโดยตารางสามเหลี่ยม (Gee and Bauder, 1986) ส่วนคุณภาพดินทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ตามวิธีมาตรฐาน Walkley and Black modified โดยการไทเทรตหาค่าเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน และนำมาแทนค่าในสูตร เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุอ้างอิงตาม Nelson and Sommers (1982)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 วิเคราะห์รูปแบบของพฤติกรรมการกินอาหารจากวิดีโอที่บันทึกมาจากกล้องถ่ายรูป (Nikon Coolpix P1000) และกล้องบันทึกวิดีโอที่ถ่ายผ่านกล้องโทรทรรศน์ บรรยายลักษณะพฤติกรรมการกินที่นกแสดงออกตั้งแต่แรกเริ่มหาเหยื่อ จับเหยื่อ และกินเหยื่อได้สำเร็จ อ้างอิงวิธีการตาม Norazlimi and Ramli (2015) ใช้สถิติพรรณนาในการหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และอัตราการกินอาหาร

5.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกินของนกชายเลนและความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลและปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ความเค็มของน้ำ ตะกอนดิน รวมทั้งปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอน โดยใช้ข้อมูลในเชิงสถิติ แปลงข้อมูลโดยใช้ $\log(x+1)$ และพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยใช้โปรแกรม SPSS version 18

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาเห็นชอบจากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงสัตว์และใช้สัตว์ของสถาบัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รหัสโครงการ 2022-NAT04-031

ผลการวิจัย

1. ชนิดนกที่พบหากินในบริเวณชายฝั่งเกาะสาหร่าย ตำบลเกาะสาหร่าย อำเภอเมือง จังหวัดสตูล

การศึกษาพฤติกรรมการกินของนกในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และสิงหาคม พ.ศ. 2565 พบนกที่หากินบริเวณชายฝั่งทั้งหมด 6 วงศ์ 15 ชนิด 123 ตัว เป็นนกชายเลนทั้งหมด 3 วงศ์ 12 ชนิด 90 ตัว โดยวงศ์เด่น คือ วงศ์นกยาง (Ardeidae) พบ 7 ชนิด 71 ตัว รองลงมา คือ วงศ์นกหัวโต (Charadriidae) พบ 3 ชนิด 13 ตัว และวงศ์นกอีโก้ย (Scolopacidae) พบ 2 ชนิด 6 ตัว (ภาพที่ 2) ซึ่งแหล่งที่พบนกมาหากินได้มาก ได้แก่ หาดเลน หาดหินปนเลน และหาดทรายปนเลน ในแนวชายฝั่งของสถานีที่ 1 และ 3 ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 2 ตัวอย่างนกชายเลนในวงศ์เด่นที่พบการหากินในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ นกยางเขียว (*Butorides striata*) (ก) นกยางทะเล (*Egretta sacra*) (ข) นกหัวโตทรายใหญ่ (*Charadrius leschenaultii*) (ค) นกหัวโตทรายเล็ก (*C. mongolus*) (ง) นกอีโก้ยใหญ่ (*Numenius arquata*) (จ) และ นกอีโก้ยเล็ก (*N. phaeopus*) (ฉ)

ตารางที่ 2 ชนิดนกที่พบหากินในบริเวณชายฝั่งเกาะสาหร่าย ตำบลเกาะสาหร่าย อำเภอเมือง จังหวัดสตูล

วงศ์	ชนิด	จำนวน (ตัว)	สถานที่ 1		สถานที่ 2		สถานที่ 3	
			TP1.1	TP1.2	TP2.1	TP2.2	TP3.1	TP3.2
Accipitridae	เหยี่ยวแดง (<i>Haliastur indus</i>)	1	-	-	1	-	-	-
Ardeidae	นกยางกรอกพันธุ์จีน (<i>Ardeola bacchus</i>)	4	2	-	-	-	-	2
	นกยางโทนใหญ่ (<i>Ardea alba</i>)	1	-	-	-	-	1	-
	นกยางเขียว (<i>B. striata</i>)	14	3	-	-	4	3	4
	นกยางเปี้ยว (<i>E. garzetta</i>)	22	6	-	-	4	7	5
	นกยางทะเล (<i>E. sacra</i>)	28	9	-	-	4	9	7
	นกยางจีน (<i>E. eulophotes</i>)	1	1	-	-	-	-	-
	นกกระสานวล (<i>A. cinerea</i>)	1	-	-	-	1	-	-
Charadriidae	นกหัวโตทรายใหญ่ (<i>C. leschenaultii</i>)	2	-	-	-	-	-	2
	นกหัวโตทรายเล็ก (<i>C. mongolus</i>)	10	2	-	-	1	-	7
	นกหัวโตสีเทา (<i>Pluvialis squatarola</i>)	1	-	-	-	-	-	1
Corvidae	อีกา (<i>Corvus macrorhynchos</i>)	29	-	20	3	-	-	6
Alcedinidae	กินเปี้ยว (<i>Todirhamphus chloris</i>)	3	3	-	-	-	-	-
Scolopacidae	นกอีโก้ยใหญ่ (<i>N. arquata</i>)	4	4	-	-	-	-	-
	นกอีโก้ยเล็ก (<i>N. phaeopus</i>)	2	1	-	-	-	-	1
รวมจำนวนชนิด		15	9	1	2	5	4	9
รวมจำนวนตัว		123	31	20	4	14	20	35

2. รูปแบบพฤติกรรมการกินและอัตราการกินของนกชายเลน

การศึกษานี้สามารถแบ่งรูปแบบพฤติกรรมการกินของนกชายเลนได้ 3 แบบหลัก ได้แก่ การหากินโดยการสัมผัส (tactile-hunting) การหากินโดยใช้การมองเห็น (visual-feeding) และการหากินโดยการเดินหาเหยื่อหรือหยุดสังเกตแล้วเดินต่อ (pause-travel) ดังนี้

กลุ่มนกในวงศ์นกยาง มีพฤติกรรมการหากินโดยใช้การมองเห็น โดยมีการกินในลักษณะที่เดินและมองหาเหยื่อเพื่อจับกินไปเรื่อย ๆ เมื่อพบเหยื่อแล้วเอาหัวลงไปเพื่อจิกกินเหยื่อหรือการยืง ๆ รอเหยื่อให้เข้ามาในระยะที่ตัวมันเองก้มหัวลงไปกินได้ บางครั้งเดินมองหาเหยื่อ ย่องเข้าหาเหยื่อ จนอยู่ในระยะที่วิ่งเข้าหาได้ทัน เสร็จแล้วจึงเริ่มเดินหาเหยื่อต่อไป และบินไปอีกจุดเพื่อหากินต่อ เช่น นกยางทะเล นกยางเปีย นกยางกรอกพันธุ์จีน และนกยางเขียว เป็นต้น

กลุ่มนกในวงศ์นกหัวโต มีพฤติกรรมการหากินโดยการเดินหาเหยื่อหรือหยุดสังเกตแล้วเดินต่อ โดยนกจะวิ่งไปหาเหยื่อและหยุด เมื่อหยุดแล้วจึงก้มหัวใช้ปากจิกไปตามพื้นเพื่อจับเหยื่อกิน โดยแต่ละชนิดอาจเคลื่อนที่ในระยะทางที่แตกต่างกันเมื่อหยุดจับเหยื่อ และวิ่งหาเหยื่อใหม่อีกรอบเมื่อกินเหยื่อตัวนั้นแล้ว เช่น นกหัวโตทรายเล็ก นกหัวโตทรายใหญ่ และนกหัวโตสีเทา เป็นต้น

กลุ่มนกในวงศ์นกอีโก้ย มีพฤติกรรมการหากินโดยการสัมผัส โดยนกมีการกินที่ใช้ปากที่ยาวจิกลงพื้นเพื่อหาอาหารที่อยู่ใต้ผิวดินพร้อมการเดินตลอดเวลาที่หาอาหาร เมื่อสัมผัสพบเหยื่อจะจับเหยื่อตึงขึ้นแล้วจึงยกหน้าขึ้นเล็กน้อยเพื่อกินเหยื่อและทำซ้ำต่อไปเรื่อย ๆ

เมื่อพิจารณาอัตราการกินของนกแต่ละกลุ่มพบว่านกอีโก้ยเล็กมีอัตราการกินสูงที่สุด แต่สังเกตได้เพียง 2 ตัว รองลงมาเป็น นกหัวโตทรายเล็ก นกอีโก้ยใหญ่ นกยางเปีย นกยางทะเล นกหัวโตทรายใหญ่ และนกยางเขียว ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

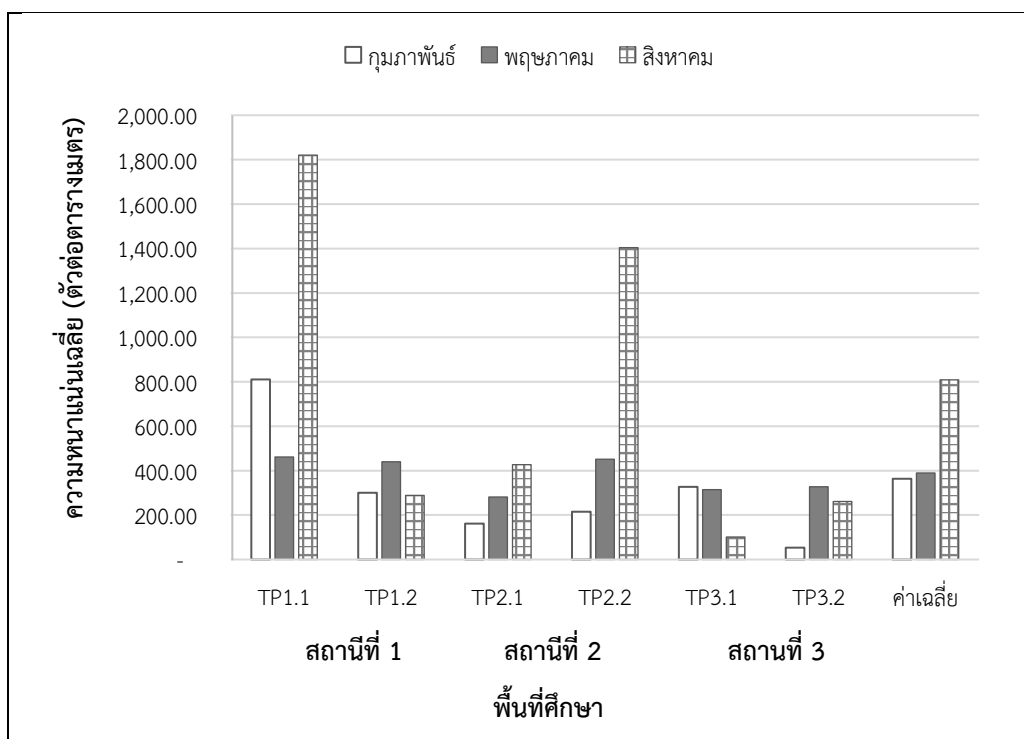
ตารางที่ 3 รูปแบบพฤติกรรมการกินและอัตราการกินของนกชายเลนในพื้นที่ชายฝั่งเกาะสาหร่าย ตำบลเกาะสาหร่าย อำเภอเมือง จังหวัดสตูล

วงศ์	จำนวนตัว ที่สังเกต พฤติกรรม การกิน	อัตราการกิน* (ครั้งต่อนาที)		
		การหากิน โดยใช้การ มองเห็น	การหากิน โดยการหยุด สังเกตแล้วเดินต่อ	การหากิน โดยการ สัมผัส
1. วงศ์นกยาง (Ardeidae)				
1.1 นกยางเปีย	15	5.33±2.32	-	-
1.2 นกยางเขียว	10	2.40±1.35	-	-
1.3 นกยางทะเล	17	4.12±2.00	-	-
1.4 นกยางกรอกพันธุ์จีน	4	3.25±1.50	-	-
2. วงศ์นกหัวโต (Charadriidae)				
2.1 นกหัวโตทรายใหญ่	2	-	4.00±1.41	-
2.2 นกหัวโตทรายเล็ก	7	-	9.29±4.07	-
3. วงศ์นกอีโก้ย (Scolopacidae)				
3.1 นกอีโก้ยเล็ก	2	-	-	22.00±11.31
3.2 นกอีโก้ยใหญ่	4	-	-	7.00±5.83

หมายเหตุ: - * ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

3. สัตว์หน้าดินทะเลกลุ่มไส้เดือนทะเลและปัจจัยสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาพบไส้เดือนทะเลทั้งหมด 33 วงศ์ มีความหนาแน่นเฉลี่ยสูงที่สุดในเดือนสิงหาคมเท่ากับ 808.14 ± 713.49 ตัวต่อตารางเมตร รองลงมา คือ เดือนพฤษภาคมเท่ากับ 389.69 ± 80.34 ตัวต่อตารางเมตร และน้อยที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 362.95 ± 263.78 ตัวต่อตารางเมตร และพบว่าสถานที่ 1 เป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลสูงที่สุด รองลงมาเป็นสถานที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ความหนาแน่นเฉลี่ยของไส้เดือนทะเลที่พบทั้งหมดในแต่ละสถานที่ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และสิงหาคม พ.ศ. 2565

กลุ่มไส้เดือนทะเลวงศ์เด่น 9 ลำดับแรก (ภาพที่ 4) ที่มีความหนาแน่นเฉลี่ยสูงที่สุด คือ วงศ์ Oweniidae มีความหนาแน่นเฉลี่ย 397.04 ± 484.65 ตัวต่อตารางเมตร รองลงมา ได้แก่ วงศ์ Syllidae มีความหนาแน่นเฉลี่ย 291.85 ± 200.06 ตัวต่อตารางเมตร วงศ์ Spionidae มีความหนาแน่นเฉลี่ย 148.45 ± 19.26 ตัวต่อตารางเมตร วงศ์ Capitellidae มีความหนาแน่นเฉลี่ย 123.87 ± 35.81 ตัวต่อตารางเมตร วงศ์ Pilargidae มีความหนาแน่นเฉลี่ย 83.55 ± 27.71 ตัวต่อตารางเมตร วงศ์ Paraonidae มีความหนาแน่นเฉลี่ย 80.30 ± 68.24 ตัวต่อตารางเมตร วงศ์ Cirratulidae มีความหนาแน่นเฉลี่ย 37.34 ± 13.11 ตัวต่อตารางเมตร วงศ์ Eunicidae มีความหนาแน่นเฉลี่ย 34.67 ± 3.22

ตัวต่อตารางเมตร และวงศ์ Nereididae มีความหนาแน่นเฉลี่ย 28.44 ± 11.95 ตัวต่อตารางเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4



ภาพที่ 4 ตัวอย่างไส้เดือนทะเลในวงศ์เด่นที่พบในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ Capitellidae (ก) Cirratulidae (ข) Eunicidae (ค) Nereididae (ง) Oweniidae (จ) Paraonidae (ฉ) Pilargidae (ช) Spionidae (ฌ) และ Syllidae (ด)

จากการศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และสิงหาคม พ.ศ. 2565 ได้แก่ การศึกษาคุณภาพน้ำและคุณภาพดิน ในพื้นที่ศึกษาพบว่าค่าความเค็มของน้ำอยู่ในช่วง 25.00-34.00 หนึ่งส่วนในพันส่วน (ppt) ค่าความเป็นกรด-ด่างดินอยู่ในช่วง 6.33-7.00 ค่าอุณหภูมิดินอยู่ในช่วง 24.33-34.67 องศาเซลเซียส ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) มีค่าอยู่ในช่วง 0.12-1.86 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) มีค่าอยู่ในช่วง 0.21-1.86 เปอร์เซ็นต์ ขนาดตะกอนดินส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินร่วนทราย โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวมีค่าอยู่ในช่วง 12.13-20.71 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเปอร์เซ็นต์ทรายแป้งมีค่าอยู่ในช่วง 4.81-10.86 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ทรายมีค่าอยู่ในช่วง 68.42-80.22 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 5

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเฉลี่ยของไส้เดือนทะเลที่พบจากการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง จาก 6 สถานี กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมแต่ละปัจจัย พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความหนาแน่นเฉลี่ยของไส้เดือนทะเลวงศ์เด่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ($r = 0.76, p < 0.05$) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ ($r = 0.75, p < 0.05$) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 4 ความหนาแน่นเฉลี่ยของไส้เดือนทะเล 9 วงศ์เด่น ในพื้นที่ชายฝั่งเกาะสาหร่าย อำเภอเมือง จังหวัดสตูล

วงศ์	ความหนาแน่นเฉลี่ย (ตัวต่อตารางเมตร)	สถานีที่ 1		สถานีที่ 2		สถานีที่ 3	
		TP1.1	TP1.2	TP2.1	TP2.2	TP3.1	TP3.2
Capitellidae	123.87±35.81	133.33±46.49	145.81±35.49	74.72±32.00	149.33±19.21	67.57±84.99	172.48±108.98
Cirratulidae	37.34±13.11	46.24±38.62	48.00±26.72	81.76±26.32	32.05±9.24	16.00±23.29	0.00±0.00
Eunicidae	34.67±3.22	24.91±3.14	0.00±0.00	55.09±34.76	26.67±21.36	101.33±21.36	0.00±0.00
Nereididae	28.44±11.95	51.57±48.40	32.00±34.94	21.33±24.44	3.52±3.05	17.76±13.45	44.43±48.40
Oweniidae	397.04±484.65	522.67±836.96	192.05±161.06	302.19±290.74	1,306.67±1916.80	37.33±35.03	21.33±24.44
Paraonidae	80.30±68.24	5.33±5.36	55.09±56.02	112.00±88.72	120.91±186.29	124.48±118.01	64.00±53.28
Pilargidae	83.55±27.71	12.43±11.08	129.76±30.76	8.91±8.15	151.09±73.98	3.52±3.05	195.57±133.40
Spionidae	148.45±19.26	334.19±43.08	204.48±71.60	42.67±38.41	67.57±21.52	149.33±190.89	92.43±105.91
Syllidae	291.85±200.06	1,637.33±1269.30	14.24±13.45	0.00±0.00	51.57±66.24	47.95±26.44	0.00±0.00

หมายเหตุ: - * ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

ตารางที่ 5 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในสถานีเก็บตัวอย่างบริเวณชายฝั่งเกาะสาหร่าย ตำบลเกาะสาหร่าย อำเภอเมือง จังหวัดสตูล

เดือน	ปัจจัยสิ่งแวดล้อม							
	ความเป็นกรด-ด่างในดิน	อุณหภูมิดิน (องศาเซลเซียส)	ความเค็มของน้ำ (หนึ่งส่วนในพันส่วน)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	เปอร์เซ็นต์ดินเหนียว	เปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง	เปอร์เซ็นต์ทราย
กุมภาพันธ์	6.33-7.00	24.33-32.67	30.33-34.00	0.12-1.08	0.21-1.86	12.81-20.71	5.78-10.86	68.42-80.22
พฤษภาคม	6.33-7.00	28.00-34.68	30.00-31.67	0.26-1.08	0.26-1.76	17.77-20.71	4.81-10.08	73.70-80.22
สิงหาคม	6.83-7.00	28.00-33.33	25.00-32.00	0.53-1.02	0.45-1.86	12.13-20.02	4.81-9.65	73.77-79.54
รวม	6.33-7.00	24.33-34.67	25.00-34.00	0.12-1.86	0.21-1.86	12.13-20.71	4.81-10.86	68.42-80.22

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลและปัจจัยสิ่งแวดล้อม

	ปัจจัยสิ่งแวดล้อม							
	ค่าความ	อุณหภูมิ	ความ	ปริมาณ	ปริมาณ	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
	เป็น		เค็ม	อินทรีย์	อินทรีย์	ดินเหนียว	ทรายแป้ง	ทราย
	กรด-ด่าง			คาร์บอน	วัตถุ			
ค่า	0.290	0.002	-0.029	0.761*	0.750*	-0.249	0.389	0.018
สัมประสิทธิ์								
สหสัมพันธ์								
(r)								

หมายเหตุ: - * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4. อัตราการกินของนกชายเลนและความหนาแน่นของไส้เดือนทะเล

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกินของนกชายเลนทุกชนิดและความหนาแน่นของไส้เดือนทะเล พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.27, p > 0.05$) โดยกลุ่มนกยางแต่ละชนิดมีแนวโน้มความสัมพันธ์ในทิศทางต่างกัน อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกินของกลุ่มนกหัวโตและกลุ่มนกอีโก้ยกับความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลมีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นไปในเชิงบวก ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกินของนกชายเลนและความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลทั้งหมดที่พบในจุดสำรวจที่พบนกชนิดนั้นในช่วงเวลาเดียวกัน

ชนิดนก	จำนวนตัวที่บันทึกพฤติกรรม	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
1. วงศ์นกยาง (Ardeidae)	46	0.18
1.1 นกยางเปีย	15	0.12
1.2 นกยางเขียว	10	-0.53
1.3 นกยางทะเล	17	0.31
1.4 นกยางกรอกพันธุ์จีน	4	0.40
2. วงศ์นกหัวโต (Charadriidae)	9	0.43
2.1 นกหัวโตทรายใหญ่	7	0.45
2.2 นกหัวโตทรายเล็ก	2	-
3. วงศ์นกอีโก้ย (Scolopacidae)	6	0.52
3.1 นกอีโก้ยเล็ก	2	-
3.2 นกอีโก้ยใหญ่	4	0.55
รวม	61	0.27

การอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้พบชนิดและจำนวนตัวนกชายเลนไม่มาก เมื่อเทียบกับการศึกษาชนิดนกในแนวชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล ทั้งในฤดูอพยพและนอกฤดูอพยพซึ่งพบมาหากินอย่างน้อย 30 ชนิด (นุชจรินทร์ และคณะ, 2564) อย่างไรก็ตามสาเหตุที่พบนกได้น้อยอาจมาจากช่วงเวลาที่ศึกษาพฤติกรรมการกินของนกในครั้งนี้เป็นช่วงนอกฤดูการอพยพ ทำให้พบนกได้น้อยกว่าเนื่องจากนกชายเลนส่วนใหญ่เป็นกลุ่มนกอพยพ (Bird and Nature Conservation Society of Thailand, 2019)

นกชายเลนที่พบมีรูปแบบพฤติกรรมแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน เช่น ลักษณะรูปร่าง ความยาวของปากนก และความยาวของขา (ทำให้นกหากินในบริเวณที่มีความลึกของน้ำหรือดินเลนที่แตกต่างกันและเลือกกินอาหารต่างกัน (เฉลิมชัย และคณะ, 2550) โดยนกที่มีปากยาวและขายาว เช่น นกอีโก้ยใหญ่ นกอีโก้ยเล็ก มีพฤติกรรมการกินโดยการสัมผัส สามารถเดินหากินตามพื้นเลนหรือพื้นชายหาดและใช้จะงอยปากแทงเข้าไปในดินเลนหรือดินทรายตามรูที่มีเหยื่อ นกที่มีขนาดใหญ่ ขาว และปากหนาแข็งแรง สามารถเดินลุยน้ำหาอาหารบริเวณชายฝั่งน้ำตื้น เช่น กลุ่มนกยาง มีการหากินโดยใช้การมองเห็น เดิน และใช้สายตามองหาเหยื่อเมื่อพบเหยื่อแล้วจึงเดินย่องเข้าไปหาเหยื่อและเมื่อมันใจจะใช้การวิ่งเข้าไปหาและจับเหยื่อทันทีหลังจากกินเสร็จแล้วจะมองหาใหม่และเดินไปอีกครั้ง ส่วนนกที่มีขนาดเล็ก ปากสั้น ขาสั้น และวิ่งเร็ว เช่น กลุ่มนกหัวโต มีพฤติกรรมการหากินแบบเดินหาเหยื่อหรือหยุดสังเกตแล้วเดินต่อ จึงทำให้มีพฤติกรรมการกินในรูปแบบที่วิ่งไปหาเหยื่อและหยุดและวิ่งอีกครั้งเพื่อหาเหยื่อ สอดคล้องกับการศึกษารูปแบบการกินอาหารของนกชายเลนในประเทศมาเลเซียของ Norazlimi and Ramli (2015) ในส่วนของอัตราการกินที่พบว่ากลุ่มนกอีโก้ยมีอัตราการกินสูงที่สุด อาจมีสาเหตุมาจากรูปแบบการกินที่ใช้การสัมผัสโดยรับรู้การสั่นสะเทือนของพื้นเลน แล้วใช้ปากที่เล็กแต่ยาวสุมจิกลงไปบนดินเลนเมื่อสัมผัสเหยื่อจึงจับมากิน และพบว่าเหยื่อที่จับได้มีขนาดที่หลากหลาย ประกอบกับนกอีโก้ยมีขนาดตัวใหญ่กว่ากลุ่มนกหัวโตจึงต้องการพลังงานมากกว่า ขณะที่กลุ่มนกยางมีขนาดลำตัวที่ใหญ่ แต่มีปากใหญ่เหยื่อที่จับได้จึงมีขนาดใหญ่กว่า อัตราการจับเหยื่อกินต่อนาทีจึงมีค่าน้อยกว่าซึ่งเป็นไปตามหลักการเลือกกินอาหารที่เหมาะสมที่สุด (optimal foraging model) (Gill, 2007)

ไส้เดือนทะเลวงศ์เด่นที่พบในบริเวณที่ศึกษาพฤติกรรมการกินอาหารของนกชายเลนที่มีความหนาแน่นสูง คือ วงศ์ Oweniidae Syllidae Spionidae และ Capitellidae ซึ่งเป็นสัตว์หน้าดินขนาดเล็กถึงกลาง (0.2-14.0 เซนติเมตร) ที่พบหนาแน่นในบริเวณดินเลนและดินทรายร่วนปนเลน มีความหนาแน่นสูงเมื่อเทียบกับการศึกษาบริเวณชายฝั่งอำเภอละงู จังหวัดสตูล (นุชจรินทร์ และคณะ, 2564) ความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลมีความสัมพันธ์กับอินทรีย์วัตถุในดิน โดยในเดือนสิงหาคมพบความหนาแน่นเฉลี่ยของสัตว์หน้าดินกลุ่มไส้เดือนทะเลสูงที่สุด เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุด การแปรผันของปริมาณอินทรีย์วัตถุตามฤดูกาลจึงอาจมีผลต่อความหนาแน่นของไส้เดือนทะเล คุณภาพสิ่งแวดล้อมจึงมีอิทธิพลกับประชากรของไส้เดือนทะเล เช่น บริเวณที่มีการปล่อยสิ่งปฏิกูลลงสู่ทะเลทำให้อินทรีย์วัตถุมีค่าสูงจึงพบไส้เดือนทะเลบางกลุ่มมีความหนาแน่นสูง (โรสลีนา และคณะ, 2562) ส่วนปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์และสิงหาคม พ.ศ. 2565 พบว่าทั้งสามเดือนมีค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิของดินและน้ำใกล้เคียงกัน แต่มีค่าความเค็มของน้ำต่างกัน

เนื่องจากเดือนกุมภาพันธ์เป็นช่วงฤดูร้อน เดือนพฤษภาคมเป็นช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และเดือนสิงหาคมเป็นปลายฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ของชายฝั่งอันดามัน (กรมอุตุฯ, 2564)

อัตราการกินของนกชายเลนและความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลที่ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจมีสาเหตุมาจากสัตว์หน้าดินกลุ่มไส้เดือนทะเลที่เป็นวงเด่นนั้นมีขนาดเล็กถึงกลาง แต่นกชายเลนวงศ์เด่นที่พบมากที่สุด คือ วงศ์นกยางที่ไม่ได้เลือกกินไส้เดือนทะเลเป็นอาหารหลักแต่กินสัตว์หน้าดินทะเลกลุ่มอื่นที่มีขนาดใหญ่กว่า เช่น กุ้ง ปู หอย และปลาในเขตน้ำตื้น (Norazlimi and Ramli, 2015) อย่างไรก็ตามพบนกชายเลนในกลุ่มนกหัวโตและนกอีโก้ยที่กินสัตว์ในกลุ่มไส้เดือนทะเลเป็นอาหารหลัก แม้อัตราการกินจะไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ในเชิงบวก แสดงว่าเมื่อความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลเพิ่มขึ้นอัตราการกินอาหารของกลุ่มนกอีโก้ยและกลุ่มนกหัวโตมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย

สรุปผลการวิจัย

พฤติกรรมการกินของนกชายเลนแต่ละวงศ์มีความแตกต่างกันตามลักษณะสัณฐานของขา ลำตัว ลักษณะปาก และแหล่งหาอาหาร โดยวงศ์นกยางมักกินอาหารโดยการมองหาเหยื่อ วงศ์นกอีโก้ยกินอาหารโดยการสัมผัสและวงศ์นกหัวโตกินอาหารโดยการเดินสลับหยุดกิน พบไส้เดือนทะเลวงศ์เด่นได้แก่ วงศ์ Oweniidae Syllidae และ Capitellidae โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ยสูงในเดือนสิงหาคม แต่ละกลุ่มอาศัยอยู่ในแหล่งอาศัยที่แตกต่างกัน ความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลสัมพันธ์กับอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกินของนกชายเลนในภาพรวมกับความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามอัตราการกินของกลุ่มนกหัวโตและนกอีโก้ยมีแนวโน้มมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความหนาแน่นของไส้เดือนทะเล การทราบถึงนิเวศวิทยาพฤติกรรมของนกชายเลนและปริมาณอาหารที่มีอยู่ในพื้นที่หากินสามารถนำมาใช้ประเมินความสามารถในการรองรับประชากรนกอพยพที่มาใช้พื้นที่ชายฝั่งและติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมเพื่อการจัดการพื้นที่ได้

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากช่วงเวลาที่ศึกษาเป็นนอกฤดูกาลอพยพจึงพบนกชายเลนบางชนิดได้น้อย ทำให้จำนวนนกที่สามารถเก็บข้อมูลพฤติกรรมการกินได้ยังไม่เพียงพอ จึงไม่ปรากฏรูปแบบความสัมพันธ์ได้ชัดเจน ควรเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมช่วงฤดูกาลอพยพของนกเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา โครงการวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์หน้าดินทะเลบริเวณชายฝั่งและการใช้ประโยชน์ในชุมชนในอุทยานธรณีโลกสตูล: กรณีศึกษาเกาะสาหร่าย ทุนวิจัย ววน.65 สัญญาเลขที่ 01/2565 ที่สนับสนุนการทำวิจัย และให้การอนุเคราะห์อุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการทําวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2564). ลักษณะอากาศรายปีสำหรับประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 26 ตุลาคม 2565, จาก: www.tmd.go.th/3month_forecast.php.
- จารุจินต์ นฤตตะภักดิ์ กานต์ เลชะกุล และวัชร สงวนสมบัติ. (2561). *คู่มือศึกษาธรรมชาติหอบุญส่ง เลชะกุล นกเมืองไทย*. กรุงเทพฯ: คณะบุคคลนายแพทย์บุญส่ง เลชะกุล.
- เฉลิมชัย โชติกมาส ยุกิน ตาธวัช และวาสนา ธรรมพร. (2550). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างนกชายเลนกับสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่บริเวณหาดเลนสถานีวิจัยและพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 5 สมุทรสาคร. ใน *การประชุมวิชาการระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งชาติ: รากฐานเศรษฐกิจพอเพียงของชุมชนชายฝั่ง* (หน้า 365-378). เพชรบุรี: กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.
- ณัฐฤกษ์ เอกวรรณัง ปรินทร์ ชัยวิสุทธิธำรง และอรินท์ งามนิยม. (2559). ขยายหาดท่องเที่ยวกับผลที่มีต่อความหลากหลายของนกบริเวณชายหาดในอุทยานแห่งชาติเขาสามร้อยยอดจังหวัดประจวบคีรีขันธ์. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 39(2), 225-237.
- นุชจรินทร์ เพชรเกลี้ยง สุธิณี หิมาณี แพนฉั่น คงสม และวรรณณิศา พลอดขำ. (2564). นกชายเลนและความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินทะเลขนาดใหญ่บริเวณชายฝั่งอำเภอละงูจังหวัดสตูล. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 3* (หน้า 146-160). เลย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.
- เบญจมาศ ไพบูลย์กิจกุล บัลลังก์ฉัตร ฤทธาภัย และชลี ไพบูลย์กิจกุล. (2562). ความชุกชุมและความหลากหลายของไส้เดือนทะเลบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี. *แก่นเกษตร*, 47(1), 1359-1364.
- โรสลีนา อนันตกุลวงศ์ ไมมูน อินตัน นูรอัยนี ดาโอ๊ะ และไซนับ ดอเลาะ. (2562). ความหลากหลายของสัตว์หน้าดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินตะกอนบริเวณอ่าวปัตตานี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มจร.*, 4(1), 19-24.
- สุธิณี หิมาณี. (2552). *ไส้เดือนทะเลหน้าดินบริเวณเกาะลิ่ดเล็ก จังหวัดสตูล*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วาริชาศตร). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- เสาวภา อังสุพานิช และสุธิณี หิมาณี. (2555). *โพลีชีตในทะเลสาบสงขลา*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- Bird and Nature Conservation Society of Thailand. (2019). *Methods for identifying shorebirds in Thailand*. Retrieved 27 December 2021, from: [https:// www.bcsr.or.th/wp-content/uploads/2018/06/Waders-ID-Guide-TH.pdf](https://www.bcsr.or.th/wp-content/uploads/2018/06/Waders-ID-Guide-TH.pdf).
- Day, J.H. (1967a). *A monograph on the polychaeta of Southern Africa part 1, Errantia*. London: Trustees of the British Museum.
- Day, J.H. (1967b). *A monograph on the polychaeta of Southern Africa part 2, Sedentaria*. London: Trustees of the British Museum.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particle-size analysis. In Klute, A. (Ed.). *Methods of soil analysis part 1*, pp. 383-411. Wisconsin: ASA-SSSA.

- Gill, F.B. (2007). *Ornithology*. (3rd ed). New York: W.H. Freeman.
- Maxar Technologies. (2023). *Google earth*. Retrieved 23 May 2023, from: https://earth.google.com/web/@6.66678312,99.8555753,15.54112231a,6355.81321426dutm_campaign=vine&hl=en.,35y,0.56761533h,13.41825132t,0.00049963r?utm_source=earth7&.
- Nelson, D.W. and Sommer, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (Eds.). *Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties*, pp. 539-579. Madison: ASA-SSSA.
- Norazlimi, N.A. and Ramil, R. (2015). The relationships between morphological characteristics and foraging behavior in four selected species of shorebirds and water birds utilizing tropical mudflats. *The Scientific World Journal*, doi: <https://doi.org/10.1155/2015/105296>.

การศึกษาจลนพลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ของการย้อมสีสกัด
จากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้บนผ้าฝ้าย
The Kinetic and Thermodynamic Studies of Dyeing Extracted Dye
from Cocoa Husk onto Cotton Fabric

อรจิรา เจียมสกุล¹ และชุตินา เสพย์ธรรม^{1*}
Onjira Jiamsakul and Chutima Septhum

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาจลนพลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ (extracted cocoa husk: ECH) บนผ้าฝ้าย โดยใช้อะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) เป็นสารช่วยติดสี โดยการย้อมสีพร้อมกับสารช่วยติดสี (meta-mordanting) ทำการสกัดสีจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ด้วยน้ำและทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) จะได้ผงสีน้ำตาล จลนพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้บนผ้าฝ้ายสอดคล้องกับสมการอันดับสองเทียม (pseudo second-order) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเป็นการดูดซับทางเคมี (chemisorption) นอกจากนี้ศึกษาปัจจัยทางอุณหพลศาสตร์พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระกิบส์ (ΔG°) เป็นลบ แสดงให้เห็นว่าการดูดซับสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้บนผ้าฝ้ายเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เอง ค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (ΔH°) และการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (ΔS°) เป็นบวก แสดงว่าการดูดซับสีย้อมเป็นแบบดูดความร้อน และการดูดซับทำให้ระบบมีความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น ตามลำดับ

คำสำคัญ: ผ้าฝ้าย เปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ จลนพลศาสตร์ อุณหพลศาสตร์

¹ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

* Corresponding author e-mail: chutima.sep@sru.ac.th

Received: 17 March 2023, Revised: 9 June 2023, Accepted: 24 July 2023

Abstract

The kinetics and thermodynamics of extracted cocoa husk (ECH) dyeing onto cotton fabric were investigated using aluminum ion (Al^{3+}) as a mordant by the meta-mordanting method. Cocoa husk was extracted using water extraction and freeze-drying yielding brown powder. It was shown that the adsorption of ECH onto cotton fabric could be described by a pseudo second-order model indicated that the adsorption process was controlled by chemisorption. In addition, the thermodynamic parameters were calculated. The negative values of Gibbs free energy (ΔG°) obtained indicating that the process of adsorption of ECH onto cotton fabric was spontaneous. The enthalpy of formation (ΔH°) and the entropy of formation (ΔS°) were positive, indicating that they were an endothermic reaction and more disorder of adsorption process, respectively.

Keywords: Cotton, Cocoa husk, Kinetic, Thermodynamic

บทนำ

สีย้อมสังเคราะห์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมรวมทั้งส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ (Kheddo *et al.*, 2020; Tounsadi *et al.*, 2020) ปัจจุบันการใช้สีจากธรรมชาติสำหรับการย้อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่มีความเป็นพิษ สามารถย่อยสลายได้ง่าย นอกจากนี้ยังพบว่าสีธรรมชาติมีสมบัติในการต้านแบคทีเรีย สารต้านอนุมูลอิสระ และป้องกันรังสียูวี (Shahid-ul-Islam and Sun, 2017) สีจากธรรมชาติพบได้ในพืช สัตว์ และแร่ธาตุ เป็นสีที่ให้ความรู้สึกสบายตาและมีหลากหลายเฉดสี สารให้สีที่ได้จากพืช ได้แก่ ใบสบเสื่อ เปลือกสนทะเล ใบเพกา แก่นขนุน และเปลือกผลมังคุด (ประกิจ, 2562) โดยสามารถแบ่งได้หลายกลุ่มสี เช่น อินดิโก แอนโทไซยานิน ควินอยด์ แนฟโทควินอยด์ แทนนิน แคโรทีนอยด์ การย้อมสีธรรมชาติดังกล่าวยังคงมีความต้องการใช้สารช่วยติดสี (mordant) เพื่อให้สีมีความคงทน วิธีการใช้สารช่วยติดสีในการย้อมมี 3 วิธี ได้แก่ การใช้สารช่วยติดสีก่อนการย้อมสี (pre-mordanting) การย้อมสีพร้อมกับสารช่วยติดสี (meta-mordanting) และการใช้สารช่วยติดสีหลังการย้อม (post-mordanting) (Punrattanasin *et al.*, 2013) โดยสารช่วยติดสีที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นเกลือของโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น ดีบุก แมงกานีส ทองแดง โครเมียม โคบอลต์ อะลูมิเนียม และเหล็ก (Adeel, 2019) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเกลือของอะลูมิเนียมและเหล็กเป็นสารช่วยติดสีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าเกลือของโลหะชนิดอื่น ๆ (Jabar, 2021)

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2561 ในประเทศไทยมีการส่งเสริมการปลูกโกโก้ (cocoa) ซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Theobroma cacao* L. โดยภาคเอกชนในรูปแบบการทำเกษตรพันธสัญญา ทำให้พื้นที่ปลูกโกโก้เพิ่มมากขึ้น โดยหวังว่าจะเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้เสริมจากพืชหลัก ผลิตภัณฑ์หลักของผลโกโก้ มี 4 ชนิด คือ เมล็ดโกโก้ ผงโกโก้ เนยโกโก้ และผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลต (กรมวิชาการเกษตร, 2564) ในขั้นตอนการผลิตโกโก้ทำให้เกิดของเสียมากถึงร้อยละ 90.00 ของน้ำหนักผลสด

(ภาพที่ 1 (ก)) โดยมีเพียงร้อยละ 10.00 ของผลโกโก้ที่นำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ (ภาพที่ 1 (ข)) เป็นส่วนหนึ่งของของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต คิดเป็นประมาณร้อยละ 10.00-17.00 ของน้ำหนักเมล็ดโกโก้ทั้งหมด (Rojo-Poveda *et al.*, 2020) โดยมีการนำเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การทำอาหารสัตว์ การทำปุ๋ย การนำไปใช้เป็นตัวดูดซับ และการทำสีย้อม (Balentic *et al.*, 2018) องค์ประกอบที่สำคัญในสารสกัดเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ที่เป็นสารให้สี ได้แก่ ฟลาโวนอยด์และแทนนิน โดยมีปริมาณ 1.65-40.72 และ 1.70-25.30 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ ตามลำดับ (Rojo-Poveda *et al.*, 2020) โดยสารแทนนินจัดเป็นสารทุติยภูมิจากพืชที่ได้จากสารประกอบฟีนอลที่มีโครงสร้างหลากหลาย (Pisitsak *et al.*, 2016) และจัดเป็นสารช่วยติดสีในการย้อมบนเส้นใย ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ของการย้อมสีจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้บนผ้าฝ้าย เพื่อนำข้อมูลไปออกแบบกระบวนการย้อมสีธรรมชาติ รวมทั้งช่วยให้เข้าใจกลไกของกระบวนการย้อมสีธรรมชาติ



ภาพที่ 1 ผลสดโกโก้ (ก) และเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ (ข)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุ สารเคมี และเครื่องมือ

ผ้าฝ้าย 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการฟอกสี จากร้านฉัซซา แอนด์เมด พิมพิไลย์ ตัวอย่างเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้จากสวนโกโก้ ในพื้นที่ตำบลสระแก้ว อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช อะลูมิเนียมโพแทสเซียมซัลเฟต โดเดคะไฮเดรท ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) เกรตวិเคราะห์ ผลิตจากบริษัท Merck เครื่องอบแห้งแช่แข็งสุญญากาศ ยี่ห้อ CHRIST รุ่น Alpha 1-4 LDplus เครื่องเขยาควนคุมอุณหภูมิ ผลิตจากบริษัท GFL รุ่น LAUDA เขย่าด้วยอัตราเร็ว 90 รอบต่อนาที เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) ผลิตจากบริษัท Biochrom รุ่น Libra S60 ใช้ quartz cell (pathlength = 1 cm)

2. การสกัดเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้

นำเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้มาสกัดด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที (Pisitsak *et al.*, 2016) ในอัตราส่วนมวลของเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ 1 กรัม ต่อปริมาตรของน้ำ 10 มิลลิลิตร จากนั้นกรองแยกเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ และนำส่วนสารละลายไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry) จะได้ผงของสารสกัดเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ (extracted cocoa husk: ECH) ที่มีสีน้ำตาล

เก็บสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ในเคซิเคเตอร์เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3. การสร้างกราฟมาตรฐานสีสกัดจากเปลือกเมล็ดโกโก้และสารละลายอะลูมิเนียม (ECH-Al^{3+})

เตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ โดยชั่งผงสี 0.2 กรัม ละลายในน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปิเปต 0.01 โมลาร์ นำสารละลายอะลูมิเนียมใส่ในสารละลายสีสกัดจากเปลือกเมล็ดโกโก้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ได้สารละลายสีสกัดจากเปลือกเมล็ดโกโก้ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ผสมกับสารละลายอะลูมิเนียม 2.5×10^{-3} โมลาร์ จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐาน 2.5 5.0 7.5 10.0 และ 12.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร จะได้สารละลายสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้และอะลูมิเนียมความเข้มข้น 200 400 600 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปวัดค่าการดูดแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟเส้นตรงจะได้สมการ คือ $y = 0.0007x + 0.0031$ และมีค่า $R^2 = 0.9998$

4. การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ

การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของการดูดซับสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้และอะลูมิเนียมบนผ้าฝ้ายโดยใช้อัตราส่วนของผ้าฝ้ายต่อสารละลายสีย้อม (material to liquor ratio: MLR) เท่ากับ 1:50 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย 1,000 1,500 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ผสมกับสารละลายอะลูมิเนียม 2.5×10^{-3} โมลาร์ โดยชั่งผ้าฝ้าย 0.5 กรัม ใส่ลงในสารละลายสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้และอะลูมิเนียม ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่บรรจุอยู่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร และนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 30 45 และ 60 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 0-120 นาที เมื่อครบเวลานำผ้าฝ้ายออกจากสารละลาย และนำสารละลายที่เหลือไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นและหลังย้อมที่เวลาต่าง ๆ นำไปหาได้จากกราฟมาตรฐาน ปริมาณสีที่ดูดซับบนผ้าฝ้ายสามารถคำนวณได้จากสมการ (1) (Shabbir *et al.*, 2016)

$$q_t = (C_0 - C_t) \frac{V}{W} \quad (1)$$

เมื่อ q_t คือ ปริมาณการดูดซับที่เวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_t คือ ความเข้มข้นของสารละลายหลังการย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)

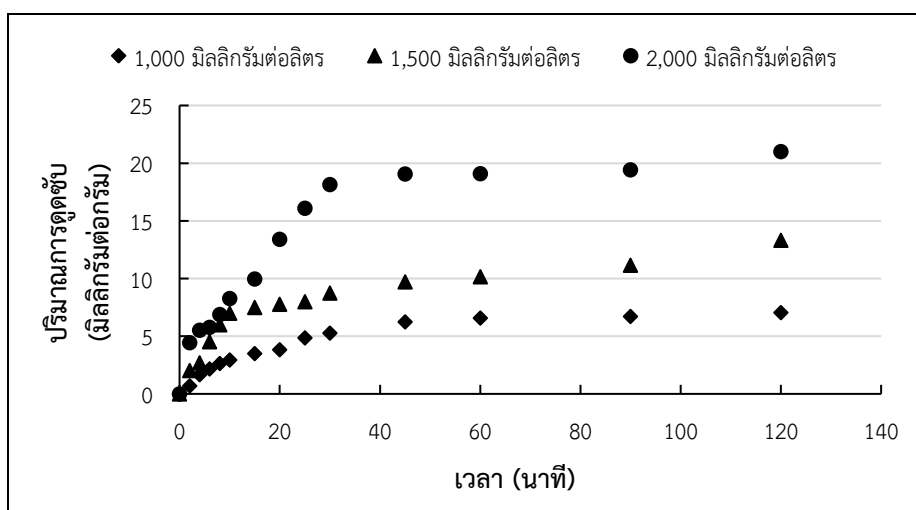
V คือ ปริมาตรของสารละลาย (ลิตร)

W คือ น้ำหนักของผ้าฝ้าย (กรัม)

ผลการวิจัย

1. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นและระยะเวลาสัมผัส

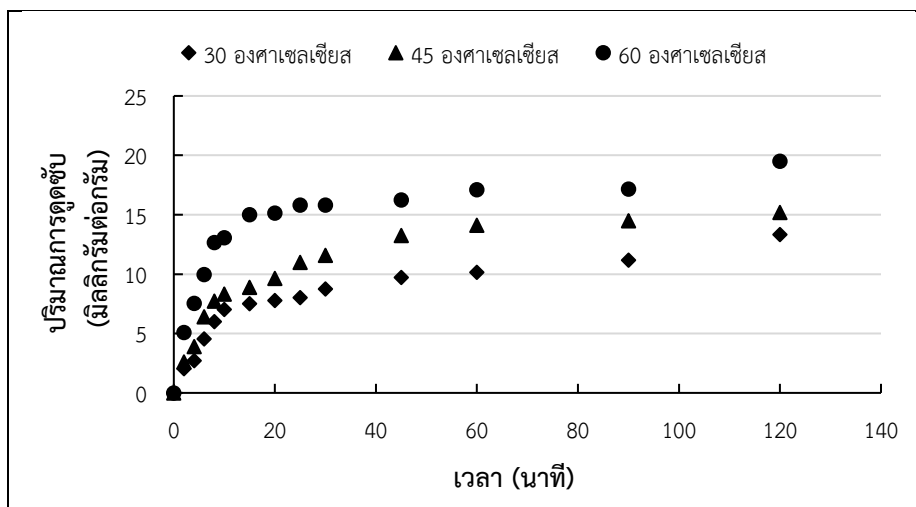
การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นและระยะเวลาสัมผัสในการดูดซับสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้และอะลูมิเนียมบนผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของผ้าฝ้ายต่อสารละลายสีย้อมเท่ากับ 1:50 โดยอัตราการดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก เนื่องจากมีตำแหน่งที่ว่างไวต่อปฏิกิริยา (active site) ที่ว่างจำนวนมากบนผ้าฝ้าย หลังจากนั้นเมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นอัตราการดูดซับเริ่มคงที่และเริ่มเข้าสู่สมดุลที่ระยะเวลา 60 นาที และพบว่าปริมาณการดูดซับที่สมดุลของสีสกัดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1,000 1,500 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 7.06 13.33 และ 21.01 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้และอะลูมิเนียมบนผ้าฝ้ายกับเวลาที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ

2. ผลของอุณหภูมิ

การศึกษาผลของอุณหภูมิในการดูดซับสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้และอะลูมิเนียมบนผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 30 45 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนของผ้าฝ้ายต่อสารละลายสีย้อมเท่ากับ 1:50 พบว่าปริมาณการดูดซับสีย้อมเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 30 นาทีแรก และเริ่มเข้าสู่สมดุลเมื่อเวลา 60 นาที และพบว่าปริมาณการดูดซับมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยมีปริมาณการดูดซับที่สมดุลเท่ากับ 13.33 15.20 และ 19.50 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้และอะลูมิเนียมบนผ้าฝ้ายกับเวลาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

3. จลนพลศาสตร์ของการดูดซับ

การศึกษากลไกของการดูดซับในกระบวนการย้อมสีธรรมชาติสามารถศึกษาจากการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองโดยใช้สมการอันดับหนึ่งเทียม (pseudo first-order) แสดงดังสมการ (2) และสมการอันดับสองเทียม (pseudo second-order) แสดงดังสมการ (3) (Al-Kadhi, 2019)

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

เมื่อ k_1 คือ ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (ต่อนาที)

q_t คือ ปริมาณการดูดซับที่เวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_e คือ ปริมาณการดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

t คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (นาที)

โดยค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (k_1) และปริมาณการดูดซับที่สภาวะสมดุล (q_e) หาได้จากความชันและจุดตัดแกน y ของกราฟเส้นตรงระหว่าง $\ln(q_e - q_t)$ กับเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (t) ตามลำดับ

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (3)$$

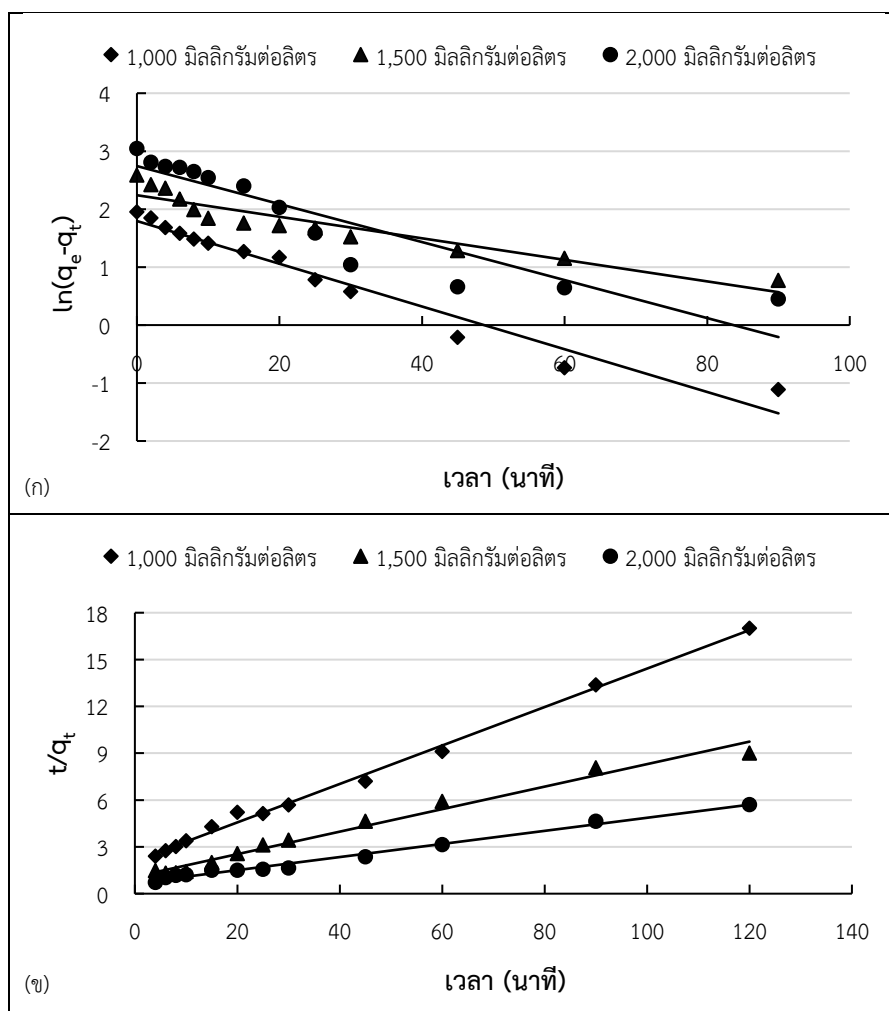
$$h_i = k_2 q_e^2 \quad (4)$$

เมื่อ k_2 คือ ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (กรัม·มิลลิกรัมต่อนาที)

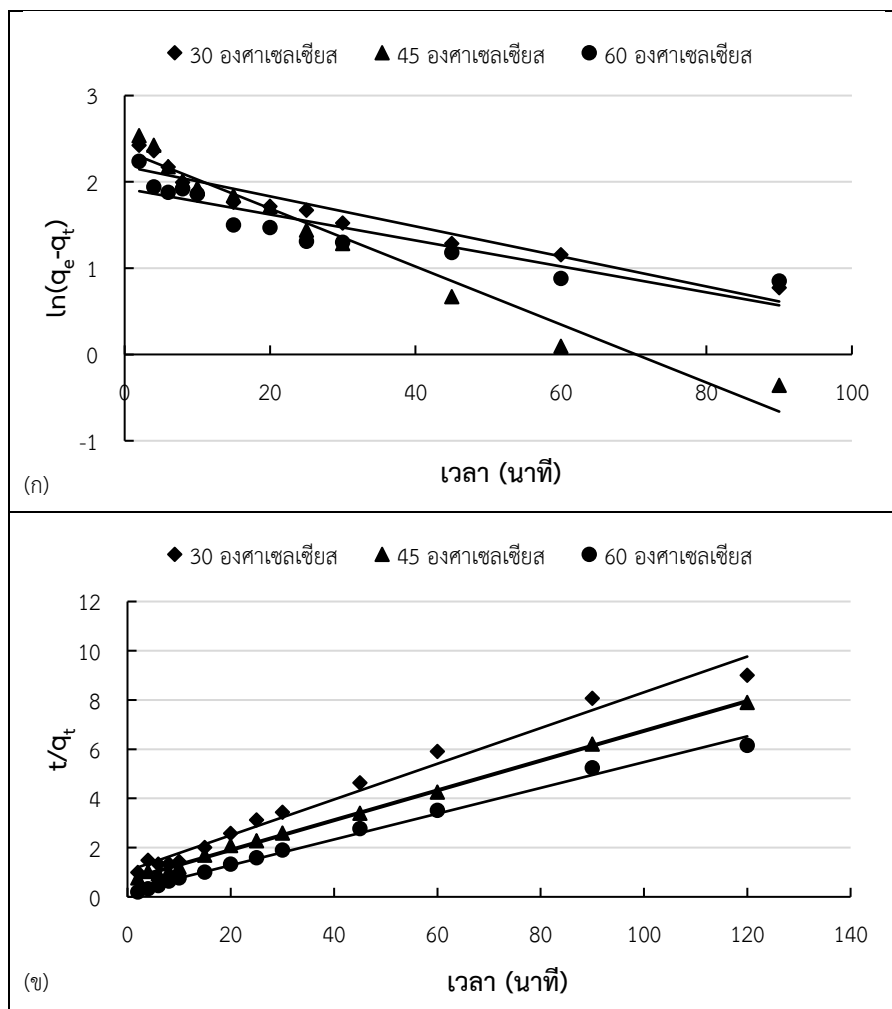
h_i คือ อัตราเร็วเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อกรัม·นาที)

โดยปริมาณการดูดซับที่สภาวะสมดุล (q_e) และค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (k_2) หาได้จากความชันและจุดตัดแกน y ของกราฟเส้นตรงระหว่างเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (t) ต่อปริมาณการดูดซับที่เวลาใด ๆ (q_t) กับเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (t) ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ของสมการอันดับหนึ่งเทียมและสมการอันดับสองเทียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ และอุณหภูมิต่าง ๆ ดังภาพที่ 4 และ 5 ตามลำดับ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของสมการอันดับหนึ่งเทียมอยู่ในช่วง 0.84-0.96 ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการอันดับสองเทียมอยู่ในช่วง 0.98-0.99 ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับสองเทียมและอัตราเร็วเริ่มต้น แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 พบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าอัตราเร็วเริ่มต้นเพิ่มขึ้น จากข้อมูลการทดลองพบว่าค่าปริมาณการดูดซับที่สภาวะสมดุลที่คำนวณได้จากสมการอันดับสองเทียมสอดคล้องกับค่าปริมาณการดูดซับที่สภาวะสมดุลจากการทดลองมากกว่าจากการคำนวณจากสมการอันดับหนึ่งเทียม



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการอันดับหนึ่งเทียม (ก) และสมการอันดับสองเทียม (ข) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการอันดับหนึ่งเทียม (ก) และสมการอันดับสองเทียม (ข) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าคงที่อัตราเร็วและปริมาณการดูดซับที่สมดุลของสมการอันดับหนึ่งเทียมและสมการอันดับสองเทียมที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยอัตราส่วน น้ำหนักตัวดูดซับต่อสารละลายสีย้อม เท่ากับ 1:50

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	$q_{e,exp}$ (มิลลิกรัม ต่อกรัม)	สมการอันดับหนึ่งเทียม			สมการอันดับสองเทียม			
		ค่าคงที่อัตราเร็ว	$q_{e,cal}$	ค่า	อัตราเร็วเริ่มต้น	ค่าคงที่อัตราเร็ว	$q_{e,cal}$	ค่า
		ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (ต่อนาที)	(มิลลิกรัม ต่อกรัม)	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	(มิลลิกรัมต่อ กรัม·นาที)	ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (กรัม·มิลลิกรัมต่อนาที)	(มิลลิกรัม ต่อกรัม)	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
30	13.33	0.0186	9.40	0.8732	0.92	4.78×10^{-3}	13.87	0.9806
45	15.20	0.0336	10.62	0.9657	1.44	5.26×10^{-3}	16.53	0.9980
60	19.50	0.0150	6.84	0.8152	4.24	1.17×10^{-2}	19.08	0.9926

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าคงที่อัตราเร็วและปริมาณการดูดซับที่สมดุลของสมการอันดับหนึ่งเทียมและสมการอันดับสองเทียมที่ความเข้มข้น ต่าง ๆ โดยอัตราส่วน น้ำหนักตัวดูดซับต่อสารละลายสีย้อม เท่ากับ 1:50

ความเข้มข้น เริ่มต้น (มิลลิกรัม ต่อลิตร)	$q_{e,exp}$ (มิลลิกรัม ต่อกรัม)	สมการอันดับหนึ่งเทียม			สมการอันดับสองเทียม			
		ค่าคงที่อัตราเร็ว	$q_{e,cal}$	ค่า	อัตราเร็วเริ่มต้น	ค่าคงที่อัตราเร็ว	$q_{e,cal}$	ค่า
		ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (ต่อนาที)	(มิลลิกรัม ต่อกรัม)	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	(มิลลิกรัมต่อ กรัม·นาที)	ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (กรัม·มิลลิกรัมต่อนาที)	(มิลลิกรัม ต่อกรัม)	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
1,000	7.06	0.0369	6.02	0.9607	0.48	7.22×10^{-3}	8.12	0.9956
1,500	13.33	0.0186	9.40	0.8732	0.92	4.78×10^{-3}	13.87	0.9806
2,000	21.01	0.0328	15.54	0.8452	1.50	2.63×10^{-3}	23.87	0.9891

4. อุณหพลศาสตร์ของการดูดซับ

การศึกษาทิศทางของปฏิกิริยาการดูดซับทำได้โดยการคำนวณปัจจัยทางอุณหพลศาสตร์ เช่น การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ (ΔG°) การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (ΔH°) และการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (ΔS°) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (5) - (7) (Al-Kadhi, 2019)

$$K_c = \frac{C_{ad,e}}{C_e} \quad (5)$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_c \quad (6)$$

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (7)$$

เมื่อ K_c คือ ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ

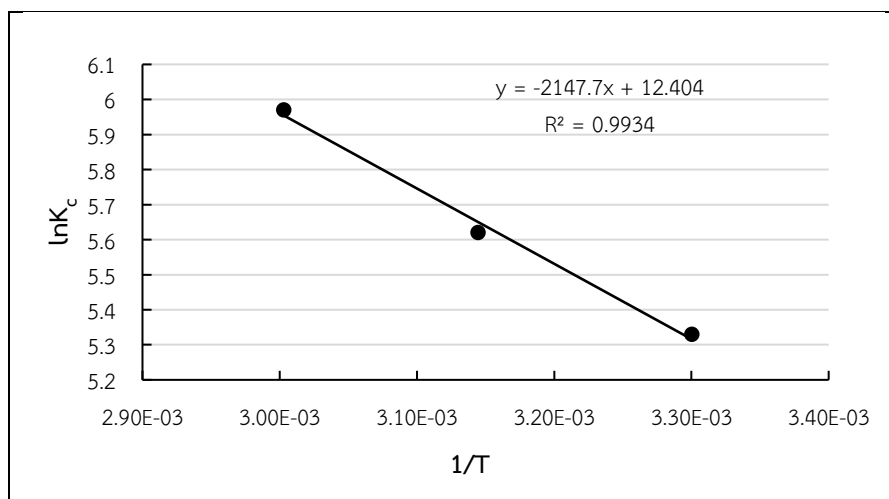
$C_{ad,e}$ คือ ค่าความเข้มข้นของสียที่ถูกดูดซับที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_e คือ ค่าความเข้มข้นของสียที่เหลือในสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

T คือ อุณหภูมิสมบูรณ์ (เคลวิน)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (จูลต่อโมล·เคลวิน)

การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี และการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการดูดซับคำนวณจากความชันและจุดตัดแกน y จากการสร้างกราฟตามสมการ Van't Hoff ระหว่าง $\ln K_c$ กับ $1/T$ แสดงดังภาพที่ 6 ผลการคำนวณปัจจัยทางอุณหพลศาสตร์แสดงดังตารางที่ 3 พบว่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระกิบส์มีค่าเป็น -13.42 -14.86 และ -16.53 กิโลจูลต่อโมล ที่อุณหภูมิ 30 45 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีมีค่าเท่ากับ 17.86 กิโลจูลต่อโมล และค่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีมีค่าเท่ากับ 103.13 จูลต่อโมล·เคลวิน



ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln K_c$ กับ $1/T$ ของการดูดซับสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ และอะลูมิเนียมบนผ้าฝ้าย

ตารางที่ 3 ปัจจัยทางอุณหพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้และอะลูมิเนียมบนผ้าฝ้าย

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ค่าการเปลี่ยนแปลง พลังงานอิสระกิบส์ (กิโลจูลต่อโมล)	ค่าการเปลี่ยนแปลง เอนทัลปี (กิโลจูลต่อโมล)	ค่าการเปลี่ยนแปลง เอนโทรปี (จูลต่อโมล·เคลวิน)	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
30	-13.42			
45	-14.86	17.86	103.13	0.9934
60	-16.53			

การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของการดูดซับสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้และอะลูมิเนียมบนผ้าฝ้าย พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเพิ่มขึ้น อัตราเร็วในการดูดซับสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้และอะลูมิเนียมบนผ้าฝ้ายเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นทำให้เพิ่มการกระจายตัวของสีที่จะไปดูดติดบนผ้าฝ้ายได้เพิ่มขึ้น (Al-Kadhi, 2019) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าสีย้อมจะสามารถผ่านเข้าไป (penetrate) ยังเส้นใยได้ง่ายกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาจลนพลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ของการย้อมสีสกัดจากเปลือกแก้วมังกรบนเส้นไหมและเส้นใยอะคริลิก (Hamid and Munaim, 2017) ข้อมูลจากการทดลองการย้อมสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้และอะลูมิเนียมบนผ้าฝ้ายสอดคล้องกับสมการอันดับสองเทียม แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการดูดซับเป็นแบบเคมี (chemisorption) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษากการย้อมเส้นใยขนสัตว์ด้วยสีสกัดจาก *Terminalia chebula* (Shabbir *et al.*, 2016) ทั้งนี้กลไกการดูดติดสีของสีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้และอะลูมิเนียมบนผ้าฝ้ายที่เป็นไปได้ คือ สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่อยู่ในสารสกัดสีจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้สามารถเป็นสารประกอบเชิงซ้อนโคออร์ดิเนชันกับอะลูมิเนียมและผ้าฝ้าย (cotton:Al:ECH) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการย้อมสีธรรมชาติจาก *Triadica sebifera* บนผ้าวิสคอส (Mia *et al.*, 2022) ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระกิบส์มีค่าเป็นลบแสดงว่าเป็นกระบวนการเกิดขึ้นได้เอง (spontaneous process) ค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีมีค่าเป็นบวกแสดงว่าเป็นกระบวนการดูดความร้อน (endothermic process) กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณการดูดซับที่สมดุล สีย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้และอะลูมิเนียมบนผ้าฝ้ายเพิ่มขึ้นด้วย (Kheddo *et al.*, 2020) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีมีค่าเป็นบวกแสดงว่าปฏิกิริยามีความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษากการสกัดสีจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ด้วยน้ำและนำมาทำเป็นผงสี ซึ่งได้ผงสีน้ำตาลและนำมาย้อมบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีย้อมพร้อมกับสารช่วยติดสี คือ อะลูมิเนียม จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการย้อมสีจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้บนผ้าฝ้าย พบว่ากระบวนการดูดซับสอดคล้องกับสมการอันดับสองเทียม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า 0.98 แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการดูดซับเป็นแบบเคมี และจากการศึกษาปัจจัยทางอุณหพลศาสตร์ของกระบวนการดูดซับพบว่าค่าการ

เปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระกิบส์มีค่าเป็นลบแสดงว่าเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เอง ค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีมีค่าเป็นบวกแสดงว่าเป็นกระบวนการดูดความร้อน และการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีมีค่าเป็นบวกแสดงว่าความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้นอกจากช่วยให้เข้าใจกลไกของกระบวนการดูดซับสีย้อมผ้าฝ้ายแล้ว ยังสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบการย้อมสีสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ที่สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. (2564). *การจัดการความรู้ เทคโนโลยีการผลิตโกโก้*. นนทบุรี: การันตี.
- ประกิต ไชยธาดา. (2562). ผลของตัวทำละลายและความเป็นกรด-ด่างต่อปริมาณและความคงตัวของสารสีที่สกัดได้จากพืช. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 38(1), 65-78.
- Adeel, S., Zia, K.M., Abdullah, M., Rehman, F., Salman, M. and Zuber, M. (2019). Ultrasonic assisted improved extraction and dyeing of mordanted silk fabric using neem bark as source of natural colorant. *Natural Product Research*, 33(14), 2060-2072, doi: <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1484466>.
- Al-Kadhi, N.S. (2019). The kinetic and thermodynamic study of the adsorption lissamine green b dye by micro-particle of wild plants from aqueous solutions. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 45(3), 231-238, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2019.05.004>.
- Balentic, J.P., Ackar, D., Jokic, S., Jozinovic, A., Babic, J., Milicevic, B., Šubaric, D. and Pavlovic, N. (2018). Cocoa shell: A by-product with great potential for wide application. *Molecules*, 23(6), doi: <https://doi.org/10.3390/molecules23061404>.
- Hamid, N. and Munaim, M.S.A. (2017). An adsorption kinetic and thermodynamic study of dyeing betacyanin extract from dragon fruit skin onto the spun silk and acrylic yarn. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 11(4), 33-41.
- Islam, S and Sun, G. (2017). Thermodynamics, kinetics, and multifunctional finishing of textile materials with colorants extracted from natural renewable sources. *Sustainable Chemistry and Engineering*, 5(9), 7451-7466, doi: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01486>.
- Jabar, J.M., Adedayo, T.E. and Oduote, Y.A. (2021). Green, eco-friendly and sustainable alternative in dyeing cotton fabric using aqueous extract *Mucuna slonaei* F dye: Effects of metal salts pre-mordanting on color strength and fastness properties. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, doi: <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100151>.

- Kheddo, A., Rhyman, L., Elzagheid, M.I., Jeetah, P. and Ramasami, P. (2020). Adsorption of synthetic dyed wastewater using activated carbon from rice husk. *SN Applied Sciences*, 2, doi: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03922-5>.
- Mia, R., Islam, M., Ahmed, T., Waqar, A., Khanam, N.J., Sultana, S., Bhuiyan, S.K. and Uddin, N. (2022). Natural dye extracted from *Triadica sebifera* in aqueous medium for sustainable dyeing and functionalizing of viscose fabric. *Cleaner Engineering and Technology*, 8, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100471>.
- Pisitsak, P., Hutakamol, J., Thongcharoen, R., Phokaew, P., Kanjanawan, K. and Saksang, N. (2016). Improving the dyeability of cotton with tannin-rich natural dye through pretreatment with whey protein isolate. *Industrial Crops and Products*, 79, 47-56, doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.10.043>.
- Punrattanasin, N., Nakpathom, M., Somboon, B., Narumol, N., Rungruangkitkrai, N. and Mongkholrattanasit, R. (2013). Silk fabric dyeing with natural dye from mangrove bark (*Rhizophora apiculata* Blume) extract. *Industrial Crops and Products*, 49, 122-129, doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.041>.
- Rajo-Poveda, O., Barbosa-Pereira, L., Zeppa, G. and Stévigny, C. (2020). Cocoa bean shell-a by-product with nutritional properties and biofunctional potential. *Nutrients*, 12(4), doi: <https://doi.org/10.3390/nu12041123>.
- Shabbir, M., Rather, L.J., Islam, S., Bukhari, M.N., Shahid, M., Khan, M.A., Mohammad, F. (2016). An eco-friendly dyeing of woolen yarn by *Terminalia chebula* extract with evaluations of kinetic and adsorption characteristics. *Journal of Advanced Research*, 7(3), 473-482, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2016.03.006>.
- Tounsadi, H., Metarfi, Y., Barka, N., Taleb, M. and Rais, Z. (2020). Removal of textile dyes by chemically treated sawdust of acacia: kinetic and equilibrium studies. *Journal of Chemistry*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1155/2020/7234218>.

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ Antioxidant and Tyrosinase Inhibitory of Essential Oil from Pomelo Peel

ธนากรณ ดำสุด¹ ฌานิกา แซ่แง ชูกลิ่น^{2*} และกัตตินาฏ สกุลสวัสดิพันธุ์²
Thanakon Dumsud¹ Chanika Saenge Chooklin^{2*} and Kattinat Sagulsawasdiapan²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ทางเคมีเบื้องต้น ได้แก่ ปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณแทนนินรวม ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอจากเปลือกสีเขียวและเปลือกสีขาว โดยสกัดด้วยไอน้ำ พบว่าเปลือกส้มโอสีเขียวมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากที่สุดใช้เวลา 30 นาที ทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณแทนนินรวม ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธี DPPH radical-scavenging assay (DPPH) และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสด้วยวิธีโดปาโครม (Dopachrome method) จากการศึกษาพบสารพฤกษเคมีเบื้องต้นในน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) คูมาริน (coumarin) ซาโปนิน (saponin) แทนนิน (tannin) นอกจากนี้ในน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอมีฟิโอบาแทนนิน (phlobatannins) และปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณแทนนินรวม และปริมาณฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 155.62 ± 0.05 มิลลิกรัมแกลลิกต่อกรัมสารสกัด (mg GAE/g) 162.47 ± 0.03 มิลลิกรัมแทนนินต่อกรัมสารสกัด (mg TAE/g) และ 144.82 ± 0.05 มิลลิกรัมเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด (mg QE/g) ตามลำดับ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด โดยมีค่า EC₅₀ เท่ากับ 13.42 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสด้วยวิธีโดปาโครม พบว่าสารสกัดมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส โดยมีค่า EC₅₀ เท่ากับ 12.58 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยสามารถนำน้ำมันหอมระเหยที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอางได้

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส น้ำมันหอมระเหย

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ความงาม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช

² สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

* Corresponding author e-mail: chanika.sae@gmail.com

Received: 27 March 2023, Revised: 3 September 2023, Accepted: 11 September 2023

Abstract

The purpose of this research was to study the initial chemical activity, total phenolic content, total tannin content, total flavonoid content, antioxidant, and tyrosinase inhibitory activity of pomelo peel essential oil from green and white peel by steam extraction. It was found that green pomelo peel contained the highest essential oil content at 30 min. Antioxidant of essential oils by DPPH radical scavenging method and tyrosinase inhibition activity by Dopachrome method. Flobatannin, total phenolic, total tannin, and flavonoid content were 155.62 ± 0.05 mg GAE/g, 162.47 ± 0.03 mg TAE/g and 144.82 ± 0.05 mg QE/g, respectively. Antioxidant activity by DPPH radical scavenging method showed the highest antioxidant activity with an EC₅₀ value of 13.42 ± 0.06 mg/ml. The extract showed tyrosinase inhibitory activity with EC₅₀ of 12.58 ± 0.04 mg/ml.

Keywords: Antioxidant activity, Tyrosinase inhibition activity, Essencial oil

บทนำ

ส้มโอ (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) เป็นผลไม้ตระกูลส้มที่ใหญ่ที่สุด มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และภูมิภาคอินโดจีน (Cheong *et al.*, 2011) อยู่ในวงศ์ Rutaceae เนื่องจากมีกลิ่นหอม รสชาติอร่อย คุณค่าทางอาหารและคุณค่าทางยาสูง ส้มโอจึงกลายเป็นหนึ่งในผลไม้ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลกและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ส้มโอมีสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมากมายรวมถึงแร่ธาตุและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด เช่น น้ำมันระเหยง่าย วิตามิน ฟีนอล ฟลาโวนอยด์ เพกติน และคูมาริน (Goh *et al.*, 2019) ตามแพทย์แผนจีน เนื้อส้มโอมีฤทธิ์บรรเทาอาการไอและหอบหืด ขับความร้อนและเสมหะ บำรุงม้าม ส่งเสริมการย่อยอาหาร บรรเทาความชื้นเมา และบรรเทาความกระสับกระส่าย การวิจัยทางการแพทย์สมัยใหม่พบว่าส้มโอมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ (Zhao *et al.*, 2019) ต้านออกซิเดชันและต้านไขมันในเลือดสูง (Wang *et al.*, 2019) เพิ่มประสิทธิภาพการล้างพิษตับและกิจกรรมต่อต้านการสร้างเม็ดสีผิว (He *et al.*, 2019) องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพของส้มโอมีหลายชนิด ได้แก่ ปริมาณฟีนอลรวม แคโรทีนอยด์ วิตามินซี และโทโคฟีรอล

โดยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเปลือกส้มโอนั้นมีศักยภาพในการลดเรื้อรังรอย ลดการเกิดผิวหมองคล้ำ และชะลอวัย มักจะเป็นสารประเภทฟีนอลิก เช่น สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นต้น ซึ่งสารประเภทนี้มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันที่ดี และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญที่กระตุ้นการสร้างเม็ดสี ทำให้ผิวหมองคล้ำ สารกลุ่มนี้สามารถจับกับโลหะในโครงสร้างของเมทัลโลเอนไซม์ (metalloenzyme) ที่บริเวณเร่ง (active site) ได้ ทำให้ลดการสร้างเม็ดสีจากการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ทั้งนี้โครงสร้างของฟลาโวนอยด์บางชนิดมีหมู่แอลฟา-คีโต (-keto) หรือ 3-ไฮดรอกซี (3-hydroxy) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับหมู่ไดไฮดรอกซีฟีนิลของ 3,4-dihydroxy-L-phenylalanine (L-DOPA) จะทำให้สามารถจับคอปเปอร์ได้ (Ebanks *et al.*, 2009) และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์คอลลาจีเนส (collagenase) ได้ในระดับหนึ่ง หากร่างกายมีปริมาณคอลลาจีเนส

มากจะกระตุ้นการทำลายเส้นใยคอลลาเจนทำให้ปริมาณคอลลาเจนลดลง ส่งผลให้เซลล์ผิวหนังเสื่อมสภาพ เป็นที่มาของการเกิดริ้วรอยหรือการแก่ก่อนวัย (Fisher *et al.*, 2008) ซึ่งสารประเภทนี้ มักจะไม่เป็นพิษต่อเซลล์

ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกผลไม้เป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ตามธรรมชาติได้ งานวิจัยเกี่ยวกับส้มโอเน้นที่การใช้ประโยชน์จากเปลือกส้มโอ เช่น การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ และการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพมีค่อนข้างมาก ในขณะที่มีงานวิจัยเกี่ยวกับการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกส้มโอที่เป็นลักษณะเปลือกเขียว (ด้านนอก) และเปลือกขาว (ด้านใน) และการนำน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ไปใช้ในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสค่อนข้างน้อย ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาหาสารประกอบทางเคมีที่ได้จากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติโดยเฉพาะจากส่วนสกัดจากเปลือกผลไม้เหลือทิ้งที่มีอยู่ในท้องถิ่น โดยเฉพาะเปลือกส้มโอ ซึ่งน่าจะมีสารที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับสารตั้งต้น และสามารถแสดงผลการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสกัดน้ำมันหอมระเหย

การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอเหลือทิ้ง 1) เปลือกสีเขียว 2) บริเวณเนื้อสีขาวก่อนถึงผล โดยนำตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด มาล้างด้วยน้ำให้สะอาดแล้วผึ่งให้แห้งพอหมาด จากนั้นหั่นตัวอย่างให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ชั่งน้ำหนัก 250 กรัม แล้วนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ในขวดก้นกลม และทำการสกัดโดยการสกัดแยกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ 1) สกัดจากเปลือกสีเขียว 2) สกัดบริเวณเนื้อสีขาวของเปลือกส้มโอ โดยการกลั่นด้วยไอน้ำด้วยชุดอุปกรณ์การกลั่นด้วยไอน้ำ เปิดน้ำเข้าเครื่องควบแน่นและเปิดให้ความร้อน ตามลำดับ ทิ้งไว้จนได้น้ำมันหอมระเหยออกมาในภาชนะรองรับ เก็บสารที่ได้ใส่กรวยแยก ทิ้งไว้ให้เย็นแยกชั้นไข เก็บส่วนน้ำมันหอมระเหย และทำการขจัดน้ำออกด้วยการเติมโซเดียมซัลเฟต (anhydrous Na_2SO_4) และเก็บส่วนที่เป็นน้ำมันหอมระเหยใสขวด จากนั้นชั่งน้ำหนักของน้ำมันหอมระเหยที่ได้ และเก็บในภาชนะขวดสีชาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับนำไปใช้ทดลองต่อไป

2. การตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้น

การตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ โดยแบ่งการทดสอบสารทุติยภูมิ (secondary metabolites) ออกเป็น 9 กลุ่ม ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) แอนทราควิโนน (anthraquinone) คูมาริน (coumarin) ซาโปนิน (saponins) แทนนิน (tannin) โพลบาแทนนิน (phlobatannins) เทอร์พีนอยด์ (terpenoid) สเตียรอยด์ (steroid) และคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ (cardiac glycoside) โดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสีหรือตะกอน โดยการทดสอบนี้เป็นการทดสอบเชิงคุณภาพ (Ayoola *et al.*, 2008; นกตล และคณะ, 2565) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3. การหาปริมาณฟีนอลิกรวม (ดัดแปลงวิธีจาก Tsai *et al.*, 2005)

โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก โดยทำการผันแปรความเข้มข้น 0 20 40 60 และ 80 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย folin-ciocalteu ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน หลังจากนั้นเติมสารละลายโซเดียม

คาร์บอเนต (Na_2CO_3 ร้อยละ 7) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 90 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร โดยนำค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก และนำเสนอในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg GAE/g extract) โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4. การหาปริมาณแทนนินรวม (ดัดแปลงวิธีจาก Tsai *et al.*, 2005)

โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแทนนินให้มีความเข้มข้นเป็น 0 20 40 60 และ 80 ส่วนในล้านส่วน ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย folin-ciocalteu ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และเติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3 ร้อยละ 7) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 90 นาที หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร โดยนำค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐานแทนนินในสารสกัดจากกราฟมาตรฐานของกรดแทนนิกและนำเสนอในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมน้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg TAE/g extract) โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5. การหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวม (ดัดแปลงวิธีจาก Prommuak *et al.*, 2008)

ด้วยวิธี aluminium trichloride colorimetric โดยทำการผสมสารละลายมาตรฐานเคอร์ซีติน ผันแปรความเข้มข้นเป็น 0 20 40 60 และ 80 ส่วนในล้านส่วน ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร กับสารละลายอะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ (AlCl_3 ร้อยละ 1) ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน หลังจากนั้นบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร โดยนำค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐานเคอร์ซีตินและนำเสนอในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีตินต่อกรัมน้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg QE/g extract)

6. การหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (ดัดแปลงวิธีจาก Prommuak *et al.*, 2008)

เตรียมสารละลายมาตรฐาน BHT (butylated hydroxytoluene) BHA (butylated hydroxyanisole) หรือสารสกัดหยาบของตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 500.00 250.00 125.00 62.50 และ 31.25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ($\mu\text{g/mL}$) ปิเปตสารละลายมาตรฐานหรือสารสกัดที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH 6×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที หลังจากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ และคำนวณหาค่าร้อยละการทำลายอนุมูลอิสระ (% radical scavenging) จากสมการ (1)

$$\text{การทำให้ลายอนุมูลอิสระ} = \frac{\text{ร้อยละ} \quad \text{ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับ DPPH}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH}} \times 100 \quad (1)$$

นำค่าที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นของสารสกัดที่ทำให้สารอนุมูลอิสระลดลงร้อยละ 50 (effective concentration: EC50) จากกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารตัวอย่างกับร้อยละการทำลายอนุมูลอิสระ

7. การศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (ดัดแปลงวิธีจาก Li *et al.*, 2010)

โดยนำสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มาทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดโคจิก (kojic acid) ผสมสารละลายให้เข้ากันดีแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมสารละลาย L-DOPA 50 ไมโครลิตรลงในแต่ละหลุม เขย่าให้เข้ากัน แล้ววัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 492 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงในจานหลุม (microplate reader) จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงอีกครั้งที่ความยาวคลื่นเดิม แล้วคำนวณหาค่าร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส (% inhibition) ดังสมการ (2)

$$\text{ร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับ DPPH}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH}} \times 100 \quad (2)$$

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารสกัดกับร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสเพื่อคำนวณค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ร้อยละ 50 (EC50)

ผลการวิจัย

1. การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ

การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอเหลือทิ้ง ได้แก่ 1) เปลือกสีเขียว 2) บริเวณเนื้อสีขาวก่อนถึงผล ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ ณ เวลาต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดด้วยการกลั่นด้วยไอน้ำที่เวลาต่าง ๆ

ชนิดตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหย (มิลลิลิตร)					
		30 นาที	45 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที	180 นาที
เปลือกสีเขียว	500	5.25	4.28	3.55	2.14	2.05	0.10
เปลือกสีขาว	500	2.95	2.89	2.55	1.98	1.85	<0.10

จากตารางที่ 1 แสดงปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ โดยพบว่า การสกัดโดยใช้เวลา 30 นาที ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากที่สุดทั้งเปลือกส้มโอที่เป็นเปลือกสีเขียวและเปลือกสีขาว โดยมีปริมาณ 5.25 มิลลิลิตร และ 2.95 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าเปลือกส้มโอที่เป็นเปลือกสีเขียวมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากกว่าเปลือกสีขาว จึงเลือกน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอที่เป็นเปลือกสีเขียว ในการทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

2. การทดสอบสารพิษเคมีเบื้องต้น

การทดสอบฤทธิ์เคมีเบื้องต้นของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอสีเขียวที่สกัดได้ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 9 กลุ่ม ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ แอนทราควิโนน คูมาริน ซาโปนิน แทนนิน โพลีฟีนอล เทอร์ปีนอยด์ สเตียรอยด์ และคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ อาศัยปฏิกิริยาการเกิดสีหรือตะกอน พบว่าสารออกฤทธิ์ทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ มี 5 ชนิด คือ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน ซาโปนิน โพลีฟีนอล และแทนนิน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบฤทธิ์ทางเคมีเบื้องต้นของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอทั้งสองลักษณะที่สกัดได้

สารออกฤทธิ์ทางเคมี	น้ำมันหอมระเหย
ฟลาโวนอยด์	+
แอนทราควิโนน	-
คูมาริน	+
ซาโปนิน	+
แทนนิน	+
โพลีฟีนอล	+
เทอร์ปีนอยด์	-
สเตียรอยด์	-
คาร์ดิแอกไกลโคไซด์	-

หมายเหตุ: - หมายถึง ทดสอบไม่พบสาร และ + หมายถึง ทดสอบพบสาร

3. ผลการหาปริมาณฟีนอลิกรวม แทนนินรวม และฟลาโวนอยด์รวมของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอสีเขียวที่สกัดได้

เมื่อนำน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอสีเขียวที่สกัดได้มาทำการหาปริมาณฟีนอลิกรวม แทนนินรวม และฟลาโวนอยด์รวม พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอสีเขียวที่สกัดได้ มีปริมาณฟีนอลิกรวม แทนนินรวม และฟลาโวนอยด์รวม เท่ากับ 155.62 ± 0.05 มิลลิกรัมแกลลิกต่อกรัมสารสกัด 162.47 ± 0.03 มิลลิกรัมแทนนินต่อกรัมสารสกัด และ 144.82 ± 0.05 มิลลิกรัมเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณฟีนอลิกรวม แทนนินรวม และฟลาโวนอยด์รวมของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอสีเขียวที่สกัดได้

สารสำคัญ	น้ำมันหอมระเหย ที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอ
ปริมาณฟีนอลิกรวม (มิลลิกรัมแกลลิกต่อกรัมสารสกัด)	155.62±0.05
ปริมาณแทนนินรวม (มิลลิกรัมแทนนินต่อกรัมสารสกัด)	162.47±0.03
ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม (มิลลิกรัมเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด)	144.82±0.05

4. ผลการหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

ผลการทดลองฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอสีเขียว แสดงให้เห็นว่าน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอสีเขียวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่า EC50 เท่ากับ 13.42 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ BHT น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าสารมาตรฐาน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอสีเขียว

สาร	EC50 (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอสีเขียว	13.42 ± 0.06
สารมาตรฐาน BHA	15.85 ± 0.04
สารมาตรฐาน BHT	16.55 ± 0.02

5. ผลการหาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

ผลการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอสีเขียว โดยนำน้ำมันหอมระเหยไปทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสด้วยวิธีโดปาโครม (Dopachrome method) เปรียบเทียบกับวิตามินซี และคำนวณหาความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ร้อยละ 50 (EC50) พบว่าน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอสีเขียวสามารถยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ โดยมีค่า EC50 เท่ากับ 12.58 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอ

สารสกัด	EC50 (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
EC50 (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	12.58 ± 0.04
วิตามินซี	14.25 ± 0.02

การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ พบว่าการสกัดโดยใช้เวลาในการสกัด 30 นาที ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากที่สุดด้วยเปลือกส้มโอสีเขียว โดยมีปริมาณ 5.25 มิลลิลิตร

สำหรับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมในน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอสีเขียว เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณแทนนินรวม และปริมาณฟลาโวนอยด์รวม พบว่าน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอสีเขียวมีปริมาณสารดังกล่าวเท่ากับ 155.62 ± 0.05 มิลลิกรัมแกลลิกต่อกรัมสารสกัด 162.47 ± 0.03 มิลลิกรัมแทนนินต่อกรัมสารสกัดและ 144.82 ± 0.05 มิลลิกรัมเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด ตามลำดับ ซึ่งการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำมันหอมระเหยแปรผกผันกับความเข้มข้นของสารที่ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมักแสดงด้วยค่า EC50 คือ ความเข้มข้นของตัวอย่างพืชที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของอนุมูลอิสระ (DPPH) ลดลงครึ่งหนึ่ง ค่า EC50 ที่ต่ำจึงแสดงถึงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่สูง โดยน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง โดยมีค่า EC50 เท่ากับ 12.58 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกส้มโอมีหลายงานวิจัย ได้แก่ เปลือกส้มโอพบองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ แคโรทีนอยด์ วิตามินอี ฟลาโวนอยด์ โกลโมนอยด์ องค์ประกอบของฟีนอลิก ลิกนิน ไฟเบอร์เพกทิน และน้ำมันหอมระเหย ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ โดยพบสารประกอบฟีนอล เช่น ปริมาณฟีนอลิก ปริมาณฟลาโวนอยด์อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ บัณฑิตวรรณ และคณะ (2559) ได้วิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของส้มโอ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ทับทิมสยาม สายพันธุ์ทองดี และสายพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พบว่าเปลือกนอกสุด (flavedo) จากส้มโอทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณฟีนอลิกสูง โดยมีค่าเท่ากับ 14.20 ± 0.38 12.74 ± 0.24 และ 10.20 ± 0.20 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัด (mg/g extract) ตามลำดับ และ Fidrianny *et al.* (2016) ได้ศึกษาเปลือกส้มโอโดยใช้ตัวละลายเอทานอล เฮกเซน และเอทิลอะซิเตทในการสกัดเปลือกส้มโอเพื่อหาปริมาณฟลาโวนอยด์ พบว่าการสกัดด้วยตัวละลายเอทิลอะซิเตท จะให้ปริมาณฟลาโวนอยด์มากที่สุด รองลงมา คือ เฮกเซนและเอทานอล มีค่าเท่ากับ 5.69 3.31 และ 1.17 กรัมควอร์เซติน (Quercetin) ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกส้มโอโดยจากการศึกษาของกิตติศักดิ์ และรัฐพล (2565) ตรวจหาปริมาณฟีนอลิกรวม โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน ฟลาโวนอยด์รวมโดยใช้ควอร์เซตินเป็นสารมาตรฐาน วิตามินซีโดยใช้วิธีไทเทรตกับสารละลายไอโอดีน และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากส่วนต่าง ๆ ของผลส้มโอ 3 สายพันธุ์ คือ ขาวหอม ทองดี และมณีอีสาน จากการศึกษพบว่าปริมาณฟีนอลิกรวมมีมากที่สุดในส่วนของเปลือกกลางของสายพันธุ์ขาวหอม (98.11 ± 8.70 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม) ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมมีมากที่สุดในส่วนเนื้อของสายพันธุ์ขาวหอม (54.60 ± 1.05 มิลลิกรัมสมมูลควอร์เซตินต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม) ปริมาณวิตามินซีมีมากที่สุดในส่วนเนื้อของสายพันธุ์ทองดี (57.64 ± 2.17 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม) สำหรับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระพบว่าส่วนเนื้อของสายพันธุ์ขาวหอมและทองดีมีฤทธิ์ดีที่สุด

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสจากน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอด้วยวิธีโดปาโครม โดยการเปรียบเทียบกับวิตามินซีที่ใช้เป็นสารมาตรฐานเชิงบวก ผลการศึกษาพบว่าสามารถยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส โดยมีค่า EC₅₀ เท่ากับ 12.58±0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการศึกษาพบว่ากลุ่มสารที่ยับยั้งคือ กลุ่มสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) ที่พบในสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ คุมาริน ซาปอนิน แทนนิน เป็นต้น ที่พบในน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอ มีการศึกษาว่าสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเอนไซม์ไทโรซิเนส ส่งผลให้เกิดไฮโดรไลซิส (hydrolysis) กับซับสเตรต (substrate) ลดลง หรือไม่เกิดปฏิกิริยา (Alam *et al.*, 2011)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมในน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอที่สกัดได้ พบสารพฤกษเคมีเบื้องต้นรวม 5 กลุ่ม คือ ฟลาโวนอยด์ คุมาริน ซาโปนิน แทนนิน และโพลีฟีนอล มีปริมาณฟีนอลิกรวม 155.62±0.05 มิลลิกรัมแกลลิกต่อกรัมสารสกัด ปริมาณแทนนินรวม 162.47±0.03 มิลลิกรัมแทนนินต่อกรัมสารสกัด และปริมาณฟลาโวนอยด์รวม 144.82±0.05 มิลลิกรัมเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง โดยมีค่า EC₅₀ เท่ากับ 13.42±0.06 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ โดยมีค่า EC₅₀ เท่ากับ 12.58±0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ที่ให้การสนับสนุนทุนในการวิจัย อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- นภดล ลาเกสงค์ ทศนัย โสคันธิกอุบล สรวีย์ ศิริพิลา จันจิรา จรามรบูรพงค์ สมปอง ทองงามดี อรุณรัตน์ สันฐิติกวินสกุล และรุ่งทิพา ชิตทอง. (2565). การตรวจสอบพฤกษเคมีเบื้องต้นและปริมาณฟีนอลิกรวมของใบจันทน์หอม. *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม*. นครปฐม.
- กิตติศักดิ์ สุขเพสน์ และรัฐพล ไกรกลาง. (2565). ปริมาณฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม วิตามินซี และฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระของส้มโอสายพันธุ์ขาวหอม ทองดี และมณีอีสาน. *วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 15(4), 14-28.
- บัณฑิตวรรณ ธุระพระ จันทนา บุญยะรัตน์ เยาวเรศ ชูลิขิต และสุภาวดี ดาวดี. 2559. การวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในส้มโอ. *วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน*, 11(พิเศษ), 80-91.
- Alam, N., Yoon, K.N., Cha, Y.J., Kim, J.H., Lee, K.R. and Lee, T.S. (2011). Appraisal of the antioxidant, phenolic compounds concentration, xanthin oxidase and tyrosinase inhibitory activities of *Pleurotus salmoneostramineus*. *African Journal of Agricultural Research*, 6(6), 1555-1563.

- Ayoola, G.A., Coker, H.A., Adesegun, S.A., Adepoju-Bello, A.A., Obaweya, K., Ezennia, E.C. and Atangbayila, T.O. (2008). Phytochemical screening and antioxidant activities of some selected medicinal plants used for malaria therapy in Southwestern Nigeria. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 7(3), 1019-1024, doi: <https://doi.org/10.4314/tjpr.v7i3.14686>.
- Cheong, M.W., Loke, X.Q., Liu, S.Q., Pramudya, K., Curran, P. and Yu, B. (2011). Characterization of volatile compounds and aroma profiles of Malaysian pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) blossom and peel. *Journal of Essential Oil Research*, 23(2), 34-44, doi: <https://doi.org/10.1080/10412905.2011.9700445>.
- Ebanks, J.P., Wickett, R.R. and Boissy, R.E. (2009). Mechanisms regulating skin pigmentation: The rise and fall of complexion coloration. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(9), 4066-4087, doi: <https://doi.org/10.3390/ijms10094066>.
- Fidrianny, I., Sari, E. and Ruslan, K. (2016). Phytochemical content and antioxidant activities in different organs of pomelo (*Citrus maxima* [BURM.] MERR.) using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl and phosphomolybdenum assays. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 9(suppl 2), 185-190, doi: <https://doi.org/110.22159/ajpcr.2016.v9s2.13526>.
- Fisher, G.J., Varani, J. and Voorhees, J.J. (2008). Looking older: Fibroblast collapse and therapeutic implications. *Archives of Dermatology*, 144(5), 666-672, doi: <https://doi.org/10.1001/archderm.144.5.666>.
- Goh, R.M.V., Lau, H., Liu, S.Q., Lassabliere, B., Guervilly, R., Sun, J., Bian, Y. and Yu, B. (2019). Comparative analysis of pomelo volatiles using headspace-solid phase micro-extraction and solvent assisted flavor evaporation. *Food Science and Technology*, 99, 328-345, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.073>.
- He, W., Li, X., Peng, Y., He, X. and Pan, S. (2019). Anti-oxidant and anti-melanogenic properties of essential oil from peel of pomelo cv. Guan Xi. *Molecules*, 24(2), 242-245, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules24020242>.
- Li, X., Guo, L., Sun, Y., Zhou, J., Gu, Y. and Li, Y. (2010). Baicalein inhibits melanogenesis through activation of the ERK signaling pathway. *International Journal of Molecular Medicine*, 25(6), 923-927, doi: https://doi.org/10.3892/ijmm_00000423.
- Prommuak, C., De-Eknamkul, W. and Shotipruk, A. (2008). Extraction of flavonoids and carotenoids from Thai silk waste and antioxidant activity of extract. *Separation and Purification Technology*, 62(2), 444-448, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.02.020>.

- Tsai, C.C., Chen, H.S., Chen, S.L., Ho, Y.P., Ho, K.Y., Wu, Y.M. and Hung, C.C. (2005). Lipid peroxidation: A possible role in the induction and progression of chronic periodontitis. *Journal of Periodontal Research*, 40(5), 378-384, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.2005.00818.x>.
- Wang, F., Lin, J., Xu, L., Peng, Q., Huang, H., Tong, L., Lu, Q., Wang, C. and Yang, L. (2019). On higher nutritional and medical properties of a carotenoid-rich mutant pomelo (*Citrus maxima* (L.) Osbeck). *Industrial Crops and Products*, 127(3), 142-147, doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.065>.
- Zhao, Y.L., Yang, X.W., Wu, B.F., Shang, J.H., Liu, Y.P., Dai, Z. and Luo, X.D. (2019). Anti-inflammatory effect of pomelo peel and its bioactive coumarins. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 67, 8810-8818, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b02511>.

การดูดซับสีย้อมมาลาไคท์กรีนด้วยไบโอชาร์จากขานอ้อย

The Adsorption of Malachite Green Dye Using Biochar from Bagasse

สุพัตน์ บุตรดี¹ ผกาทัน โรจน์ดวง^{1*} และปริญญ์ รัตนบุรี¹
Supat Buddee¹, Phakarat Rotduang^{1*} and Parintip Rattanaburi¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมและศึกษาคุณลักษณะของไบโอชาร์จากขานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากชุมชน และนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับในการบำบัดสีย้อมมาลาไคท์กรีน (malachite green: MG) ในน้ำเสียด้วยกระบวนการดูดซับ เตรียมไบโอชาร์จากขานอ้อยโดยการนำขานอ้อยเผาในสภาวะไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พิสูจน์ฐานของตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffraction: XRD) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) ศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (fourier transform infrared spectroscopy: FT-IR) ประยุกต์ใช้ไบโอชาร์จากขานอ้อยที่เตรียมได้เป็นตัวดูดซับในการกำจัดสีย้อมมาลาไคท์กรีนในน้ำเสีย โดยมีปัจจัยที่ศึกษา คือ ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นของสีย้อม ระยะเวลาการดูดซับ และสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ผลการวิจัยพบว่าจากเทคนิค SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของไบโอชาร์จากขานอ้อยมีความขรุขระและมีรูพรุนสูงกว่าขานอ้อยปกติ ยืนยันหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญด้วยเทคนิค FT-IR ผลจากการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์กรีน พบว่าเมื่อปริมาณตัวดูดซับและค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมมีผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมลดลง โดยไบโอชาร์จากขานอ้อยมีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม (ร้อยละ 97.11) สูงกว่าขานอ้อยปกติ (ร้อยละ 94.96) นอกจากนี้ผลการทดสอบการใช้ซ้ำ พบว่าตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยสามารถใช้ซ้ำได้มากกว่า 5 ครั้ง โดยยังคงประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมสูงกว่าร้อยละ 80.00 งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการดัดแปรวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรใช้เป็นวัสดุดูดซับเพื่อใช้บำบัดน้ำเสียจากสีย้อมได้

คำสำคัญ: ขานอ้อย สีย้อม การดูดซับ มาลาไคท์กรีน ไบโอชาร์

¹ สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

* Corresponding author e-mail: phakarat.r@gmail.com

Received: 17 June 2023, Revised: 6 September 2023, Accepted: 12 September 2023

Abstract

The purpose of this research was to prepare and characterize biochar from sugarcane bagasse, a community waste material. The prepared biochar sugarcane bagasse was applied as an absorbent material for Malachite Green dye (MG) treatment in wastewater by adsorption. Biochar from bagasse was prepared by burning bagasse powder in an anaerobic state at 450 °C for 3 h. The morphology of the biochar sorbents from bagasse was determined by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). The functional groups were studied by fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). Biochar from the prepared bagasse was applied as an adsorbent to remove malachite green dye from wastewater. The effects to be studied are the amount of adsorbent, dye concentration, adsorption period, and acid-base conditions (pH). The results showed that, using the SEM technique, the surface characteristics of biochar from bagasse were rough and higher porosity than normal bagasse. Confirmation of main functional groups by the FT-IR technique. Biochar from the prepared bagasse was applied as an adsorbent to remove malachite green dye from wastewater. As a result of malachite green dye adsorption, it was found that when the amount of adsorbent and the pH value increased, the dye adsorption efficiency increased, while increasing the dye concentration resulted in a decrease in the dye adsorption efficiency. Biochar from bagasse has a dye adsorption efficiency (97.11%) higher than regular bagasse (94.96%). In addition, the results of the reuse test showed that biochar from bagasse could be reused more than five times with a dye adsorption efficiency higher than 80.00%. This research can be used as a guideline for waste material modification. In agriculture, it can be used as an adsorbent material for wastewater treatment.

Keywords: Bagasse, Dye stuff, Adsorption, Malachite green, Biochar

บทนำ

มลพิษทางน้ำถือว่าเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญอันดับต้น ๆ ในประเทศไทย แหล่งที่มาของน้ำเสียส่วนใหญ่มาจากทั้งภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และภาคครัวเรือน เช่น ห้องน้ำ การย้อมผ้า การซักผ้า (สุทธิดา และคณะ, 2564) ซึ่งมีปริมาณน้ำเสียรวมที่เกิดจากบ้านเรือนเฉลี่ย 150 ลิตรต่อคนต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2565) จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นจังหวัดทางภาคใต้ที่มีขนาดใหญ่เป็นอันดับสองรองจากจังหวัดสุราษฎร์ธานีและจากการลงพื้นที่ศึกษา พบว่าในเขตอำเภอเมืองนครศรีธรรมราชมีลักษณะเป็นชุมชนที่ค่อนข้างแออัด และมีการทำอุตสาหกรรมครัวเรือนอยู่หลายประเภท อาทิ การย้อมผ้า โดยเฉพาะการย้อมสีผ้าฝ้าย ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่นิยมนำมาทำการย้อมส่วนใหญ่เป็นพวกเสื้อและกางเกง โดยใช้สีย้อมเคมีซึ่งเป็นสารที่สามารถเกาะติดกับเส้นใยได้โดยตรง (สุภาวดี,

2560) และมีการปล่อยน้ำจากกระบวนการย้อมผ้านั้นลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัดแต่อย่างใด ทำให้มีโลหะหนักตกค้าง เช่น เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) โครเมียม (Cr) รวมทั้งสารอินทรีย์ที่แสดงสีตกค้าง เช่น กลุ่มสีย้อมเร็กซ์ สีย้อม เป็นต้น (ชนิษฐา, 2550)

วิธีการในการกำจัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้ามีหลายวิธี เช่น วิธีการดูดซับด้วยตะกอนจุลินทรีย์ (วีระพงษ์, 2545) วิธีการดูดซับต่อเนื่องด้วยการย่อยสลายด้วยวิธีทางชีวภาพ (สุดสายชล และคณะ, 2554) วิธีการดูดซับด้วยซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว (เทพฤทธิ์, 2544) ซึ่งวิธีการเหล่านี้มีข้อเสีย คือ ต้องการสภาวะที่จำเพาะในการกำจัดสีย้อมและตัวดูดซับมีความคงทนต่ำ นักวิจัยทั้งหลายจึงพยายามพัฒนาตัวดูดซับที่สามารถกำจัดสีย้อมได้ในทุกสภาวะ และมีความคงทนสูงสามารถใช้ซ้ำได้อย่างต่อเนื่องหลายครั้ง ตัวดูดซับที่ประยุกต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ ชี้เลื่อย และเปลือกข้าวโพด สามารถนำมาใช้ในการบำบัดสีย้อมได้ (กิตติโรจน์ และคณะ, 2550) และเป็นตัวดูดซับที่มีราคาต่ำ เนื่องจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเหล่านี้สามารถหาได้ง่าย มีตลอดทั้งปี และมีคุณสมบัติในการดูดซับสูงเหมาะที่จะนำมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (พรสวรรค์, 2555)

อ้อย นอกจากเป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตน้ำตาลแล้ว ยังนิยมนำมารับประทานในรูปแบบน้ำอ้อยสดอีกด้วย โดยในจังหวัดนครศรีธรรมราชมีการจำหน่ายน้ำอ้อยสดอย่างแพร่หลาย กากอ้อยที่เหลือจากการสกัดน้ำออกจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สามารถนำไปแปรรูปและใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น แปรรูปเป็นอาหารสัตว์ ใช้เป็นวัสดุเพาะเห็ด และใช้เป็นส่วนผสมในแผ่นใยซีเมนต์อัด (ปณิธ และคณะ, 2559; คุรุภรณ์, 2564; นิรมล และคณะ, 2563) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมได้ (Mohamad *et al.*, 2019) จากการศึกษาพบว่าชานอ้อยมีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมที่มีความเข้มข้นต่ำในช่วง 10-50 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่านั้น (Mohamad *et al.*, 2019; Sharma and Nandi, 2013) จึงจำเป็นต้องมีการดัดแปรให้ตัวดูดซับมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น วิธีการหนึ่งที่นักวิจัยสนใจ คือ การดัดแปรตัวดูดซับเป็นไบโอชาร์ เป็นกระบวนการที่นำชานอ้อยมาเผาด้วยอุณหภูมิสูงจนเป็นไบโอชาร์ มีผลให้คุณสมบัติของชานอ้อยหลังจากการดัดแปร มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง มีรูพรุนบนพื้นผิวเพิ่มขึ้น และมีความแข็งแรง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของตัวดูดซับ (นัฐวุฒิ และคณะ, 2566) เนื่องจากวิธีการนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับและขั้นตอนการดัดแปรเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้งานวิจัยที่ใช้ชานอ้อยเป็นตัวดูดซับสีย้อมที่มีความเข้มข้นสูงยังมีอยู่น้อย

ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาประสิทธิภาพในการเป็นตัวดูดซับของชานอ้อยที่ดัดแปรด้วยการเผาเป็นไบโอชาร์ โดยการดูดซับน้ำเสียจากกระบวนการย้อมสีผ้า โดยใช้มาลาโคท์กรีนเป็นตัวแทนสีย้อม เพราะหากสีย้อมมาลาโคท์กรีนปนเปื้อนในแหล่งน้ำในปริมาณมาก จะก่อให้เกิดอันตรายเนื่องจากสีย้อมมาลาโคท์กรีนมีความเป็นพิษต่อสารทางพันธุกรรม เป็นสารก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ มีผลกระทบที่ทำให้ทารกพิการแต่กำเนิดและเป็นสารก่อมะเร็ง (Sharma and Nandi, 2013) โดยศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับ และศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม ระยะเวลาในการดูดซับ สภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลาย และความสามารถในการใช้ซ้ำของวัสดุดูดซับ เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับเป็นวัสดุบำบัดน้ำเสียในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สารเคมีและเครื่องมือวิเคราะห์

ขานอ้อย (สายพันธุ์สุพรรณบุรี 50) ได้จากร้านขายน้ำอ้อยสดบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช สีย้อมผ้ามาลาโคท์กรีน (malachite green: MG; $C_{23}H_{25}N_2$) ใช้เป็นสีย้อมตัวอย่างในการศึกษา ใช้กรดไนตริก (HNO_3) 0.1 โมลาร์ (M) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 โมลาร์ เป็นสารปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ใช้เตาเผาความร้อนสูง (Furnace, Shysc, MF-05) ในการเตรียมไบโอชาร์จากขานอ้อย เทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffraction: XRD, Panalytical, Empyrean) ศึกษาลักษณะสัณฐานของสารตัวอย่าง ลักษณะพื้นผิวและรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM, Merlin compact, Zeiss) ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารตัวอย่างด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (fourier transform infrared spectroscopy: FT-IR, Nicolet-6700) และใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโคปี (UV-vis, Spectroquant Prove 300) ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสีย้อมผ้ามาลาโคท์กรีน

2. การเตรียมตัวดูดซับ

ตัวดูดซับ คือ ขานอ้อย ซึ่งเตรียมได้จากการนำอ้อยที่สกัดน้ำออกจนหมดมาล้างด้วยน้ำจนสะอาด อบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส บดและร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้อนุภาคมีขนาด 37 ไมโครเมตร สำหรับไบโอชาร์จากขานอ้อย สามารถเตรียมได้โดยการนำผงขานอ้อยมาเผาในสภาวะไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยอัตราไหลของแก๊สไนโตรเจนที่ 50 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ได้สารตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวดูดซับ คือ ตัวดูดซับขานอ้อย และตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อย

3. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับขานอ้อยและตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อย

โดยนำตัวดูดซับขานอ้อยและตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยที่เตรียมได้ หาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายสีย้อมมาลาโคท์กรีนด้วยกระบวนการดูดซับ โดยปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณของตัวดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมมาลาโคท์กรีน เวลาในการดูดซับ สภาวะกรด-ด่าง และความสามารถในการใช้ซ้ำ ติดตามประสิทธิภาพของตัวดูดซับโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร ดำเนินการทดลองด้วยวิธีการแบบแบตช์ (Batch experiment) จำนวน 3 ซ้ำการทดลอง แบ่งเป็นขั้นตอน ดังนี้

3.1 ศึกษาปริมาณตัวดูดซับ

โดยชั่งตัวดูดซับทั้งสองชนิด น้ำหนัก 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมสารละลายสีย้อมผ้ามาลาโคท์กรีน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ คนสารละลายด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ในที่มืด เป็นเวลา 240 นาที เก็บสารละลายตัวอย่างสีย้อมผ้ามาลาโคท์กรีน ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ทุก ๆ 60 นาที และนำสารละลายตัวอย่างที่เก็บได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์

3.2 ศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมมาลาโคท์กรีน

โดยชั่งตัวดูดซับทั้งสองชนิด น้ำหนัก 1.0 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมสารละลายสีย้อมผ้ามาลาโคท์กรีน ความเข้มข้น 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ คนสารละลายด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ในที่มืด เป็นเวลา 240 นาที

เก็บสารละลายตัวอย่างสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีน ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ทุก ๆ 60 นาที และนำสารละลายตัวอย่างที่เก็บได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์

3.3 ศึกษาเวลาในการดูดซับ

โดยชั่งตัวดูดซับทั้งสองชนิด น้ำหนัก 1.0 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมสารละลายสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ คนสารละลายด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ในที่มีด เป็นเวลา 120 นาที เก็บสารละลายตัวอย่างสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีน ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ทุก ๆ 15 นาที และนำสารละลายตัวอย่างที่เก็บได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์

3.4 ศึกษาสภาวะกรด-ด่าง

โดยชั่งตัวดูดซับทั้งสองชนิด น้ำหนัก 1.0 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมสารละลายสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเท่ากับ 3 7 และ 10 คนสารละลายด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ในที่มีด เป็นเวลา 15 นาที เก็บสารละลายตัวอย่างสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีน ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และนำสารละลายตัวอย่างที่เก็บได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์

3.5 ศึกษาความสามารถในการใช้ซ้ำ

ศึกษาความสามารถในการใช้ซ้ำของตัวดูดซับ จำนวน 6 ครั้ง โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Surendra and Sharanappa (2000) โดยนำตัวดูดซับที่เหลือจากการดูดซับในแต่ละครั้ง มาแช่น้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร กรองและอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ชั่งตัวดูดซับทั้งสองชนิดที่นำกลับมาใช้ซ้ำ น้ำหนัก 1.0 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมสารละลายสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 คนสารละลายด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ในที่มีดเป็นเวลา 15 นาที เก็บสารละลายตัวอย่างสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีน ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และนำสารละลายตัวอย่างสีย้อมวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์

คำนวณประสิทธิภาพการดูดซับ จากสมการ (1) (Buddee *et al.*, 2011)

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (ร้อยละ)} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

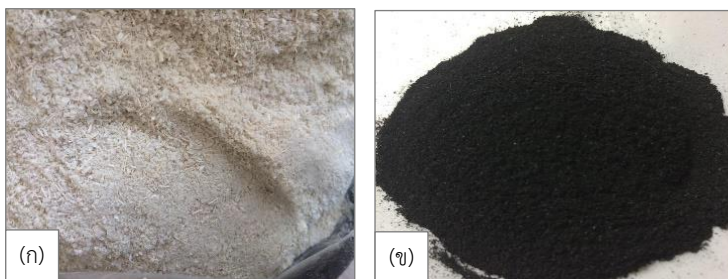
เมื่อ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่เวลาเริ่มต้น $t = 0$

A_t คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่เวลาใด ๆ

ผลการวิจัย

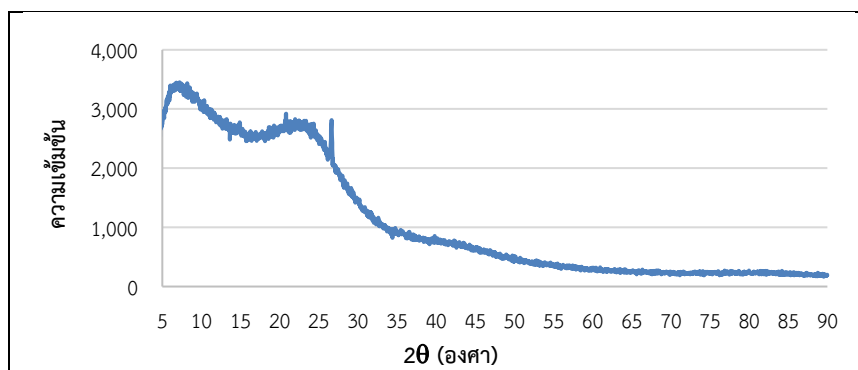
1. ผลการศึกษาคุณลักษณะของตัวดูดซับ

ลักษณะของตัวดูดซับขานอ้อยและตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยหลังผ่านการเผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าลักษณะของตัวดูดซับขานอ้อยที่ได้เป็นผงละเอียดสีขาว ดังภาพที่ 1 (ก) ในขณะที่ลักษณะของตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยเป็นสีดำสนิทและมีความละเอียดมากขึ้น ดังภาพที่ 1 (ข)



ภาพที่ 1 ลักษณะของตัวดูดซับขานอ้อย (ก) และตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อย (ข)

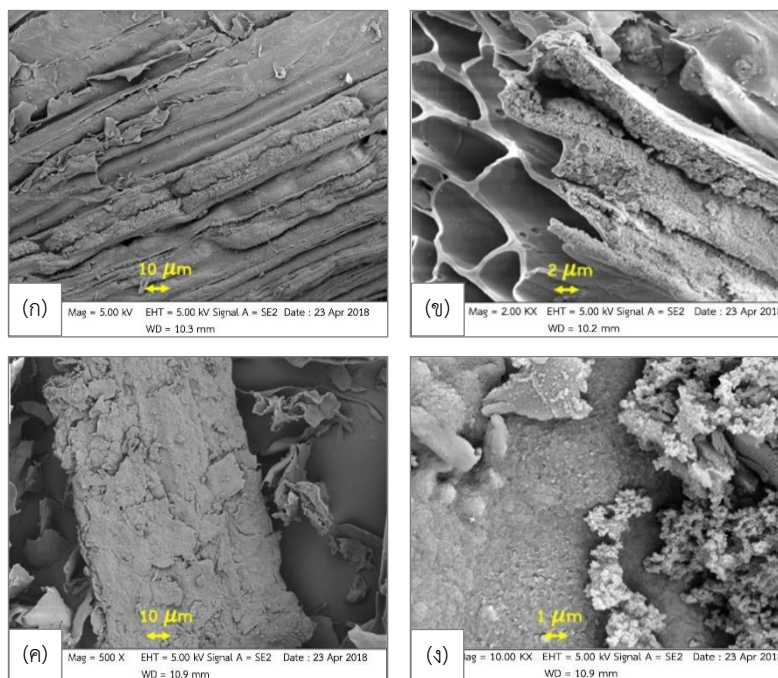
การศึกษาสมบัติความเป็นผลึกของตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยที่เผาในสภาวะไร้ออกซิเจนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ ในช่วง 5-90 องศา ($\lambda = 0.15406$ นาโนเมตร) แสดงผลดังภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยมีลักษณะโดยส่วนใหญ่เป็นอสัณฐาน และมีสัญญาณการเลี้ยวเบนขนาดเล็กที่ $2\theta = 22.0$ และ 26.5 องศา ซึ่งเป็นสัญญาณของเซลลูโลส และ hexagonal quartz ตามลำดับ (Mandal and Chakrabarty, 2011; Adeniyi *et al.*, 2017) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Mali and Nanthagopalan (2021) ซึ่งระบุว่าลักษณะผลึกของขานอ้อยจะเริ่มปรากฏเมื่อเผาด้วยอุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส ดังนั้นการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จึงไม่ทำให้สารตัวอย่างเกิดความเป็นผลึกได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 2 สัณฐานของตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยที่ผ่านการเผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับที่เตรียมได้ ก่อนและหลังการดูดซับสีย้อมผ้า มาลาไคท์กรีน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยก่อนผ่านการดูดซับ (ภาพที่ 3 (ก)) พื้นผิวมีความขรุขระมากกว่าตัวดูดซับขานอ้อย (ภาพที่ 3 (ก)) ซึ่งลักษณะพื้นผิวเช่นนี้จะเอื้ออำนวยต่อการดูดซับโมเลกุลของสารอื่น ๆ ให้ยึดเกาะกับพื้นผิวของตัวดูดซับได้มากขึ้น หลังการดูดซับสีย้อมพื้นผิวของตัวดูดซับมีอนุภาคขนาดเล็กมาเกาะที่พื้นผิวของตัวดูดซับ ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 3 (ข) ซึ่งแสดงพื้นผิวของตัว

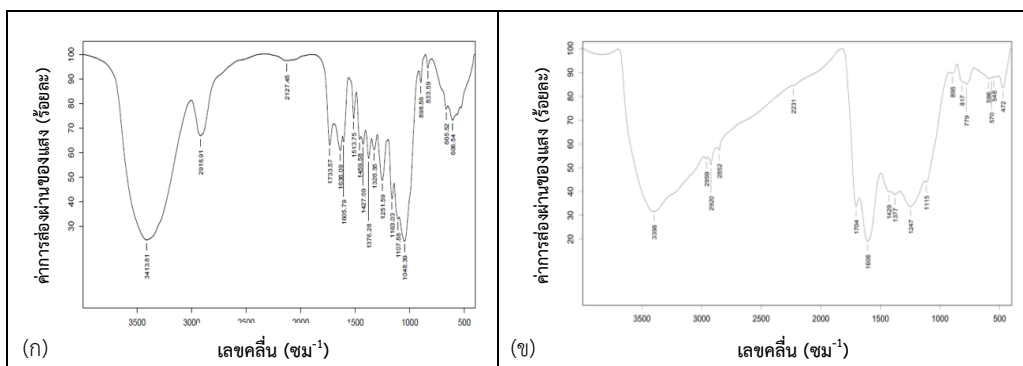
ดูดซับขานอ้อยหลังการดูดซับสีย้อม และภาพที่ 3 (ง) แสดงพื้นผิวของตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยหลังการดูดซับสีย้อม



ภาพที่ 3 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับขานอ้อยก่อนการดูดซับ (ก) ตัวดูดซับขานอ้อยหลังการดูดซับ (ข) ตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยก่อนการดูดซับ (ค) และตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยหลังการดูดซับ (ง)

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับทั้งสองชนิดด้วยเทคนิค FT-IR ในช่วงเลขคลื่น $4,000-400\text{ cm}^{-1}$ ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่าทั้งตัวดูดซับขานอ้อยและตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยแสดงสัญญาณของหมู่ฟังก์ชันเป็นสารประเภทเซลลูโลส โดยพบสัญญาณเป็นแถบกว้างที่เลขคลื่น $3,413-3,398\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นสัญญาณของการสั่นในพันธะไฮดรอกซี (O-H) ของโมเลกุลเซลลูโลส (Mandal and Chakrabarty, 2011) ซึ่งสามารถใช้เกิดพันธะกับโมเลกุลของสีย้อมมาลาไคท์กรีนในกระบวนการดูดซับได้ สัญญาณในช่วง $2,959-2,852\text{ cm}^{-1}$ เป็นสัญญาณการสั่นของพันธะระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจน (C-H) ในโมเลกุลเซลลูโลส (Azaritorbat and Nasernejad, 2023) สัญญาณที่เลขคลื่น $1,733-1,704\text{ cm}^{-1}$ เป็นสัญญาณการสั่นของพันธะคาร์บอนิล (C=O) ของเอมิเซลลูโลสในโมเลกุลสารตัวอย่าง สัญญาณที่เลขคลื่น $1,251-1,247\text{ cm}^{-1}$ เป็นสัญญาณของพันธะเมทิลีน (CH_2) ซึ่งเป็นลักษณะของพอลิแซ็กคาไรด์ประเภทเซลลูโลส (กิตติยา และคณะ, 2563) และสัญญาณที่เลขคลื่น $898-895\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นสัญญาณของพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic) ที่ตำแหน่ง $\beta-1,4$ เป็นลักษณะของเซลลูโลสและพบได้จากทั้ง 2 ตัวอย่าง จึงสามารถยืนยันได้ว่าโครงสร้างหลักของสารตัวอย่างขานอ้อยในงานวิจัยนี้มีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส โดยตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยมีหมู่แอลคีน ($\text{C}=\text{C}$)

ที่เลขคลื่น $1,605 \text{ cm}^{-1}$ ชัดเจน ซึ่งที่ตำแหน่งนี้จะใช้ในการเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของสีย้อมมาลาไคท์กรีน (Saygili and Güzel, 2018) ซึ่งสัญญาณอื่น ๆ สรุปไว้ในตารางที่ 1



ภาพที่ 4 FT-IR สเปกตรัมของตัวดูดซับขานอ้อย (ก) และตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อย (ข)

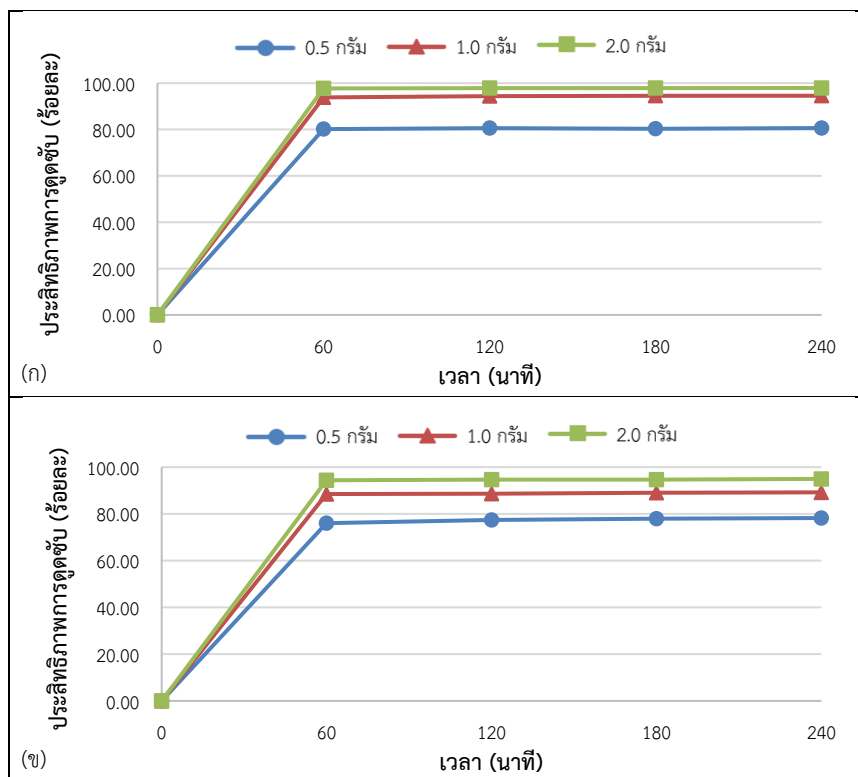
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันจากเทคนิค FT-IR ของตัวดูดซับทั้งสองชนิด

หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm^{-1})	
	ขานอ้อย	ไบโอชาร์จากขานอ้อย
b-1,4 glycosidic	898	895
aromatic C-C	1,163	1,115
-CH ₂ twisting	1,251	1,247
C-H deformation	1,377	1,367
aromatic C=C	1,608	1,605
C=O from hemicelluloses	1,733	1,704
C-H stretching	2,918	2,920
O-H stretching	3,413	3,398

2. ผลของปริมาณตัวดูดซับ

นอกจากประเภทของวัสดุดูดซับแล้ว ปริมาณตัวดูดซับเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารมลพิษออกจากน้ำเสีย งานวิจัยนี้ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับขานอ้อยและตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยจำนวน 3 ปริมาณ ได้แก่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมมาลาไคท์กรีน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการวิจัยในภาพที่ 5 (ก) แสดงการเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละการดูดซับของตัวดูดซับขานอ้อยตามปริมาณตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้น คือ 78.22 89.21 และ 94.96 ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่าการดูดซับเริ่มเข้าสู่สมดุลตั้งแต่ในช่วง 60 นาทีแรก เนื่องจากประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมหลัง 60 นาทีมีค่าคงที่ เช่นเดียวกับภาพที่ 5 (ข) แสดงค่าร้อยละการดูดซับของตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อย ที่มีค่าร้อยละการดูดซับเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ คือ 80.62 94.56 และ 97.11 ตามลำดับ ซึ่งแสดงจุดสมดุลการดูดซับที่เวลา 60 นาทีเช่นกัน

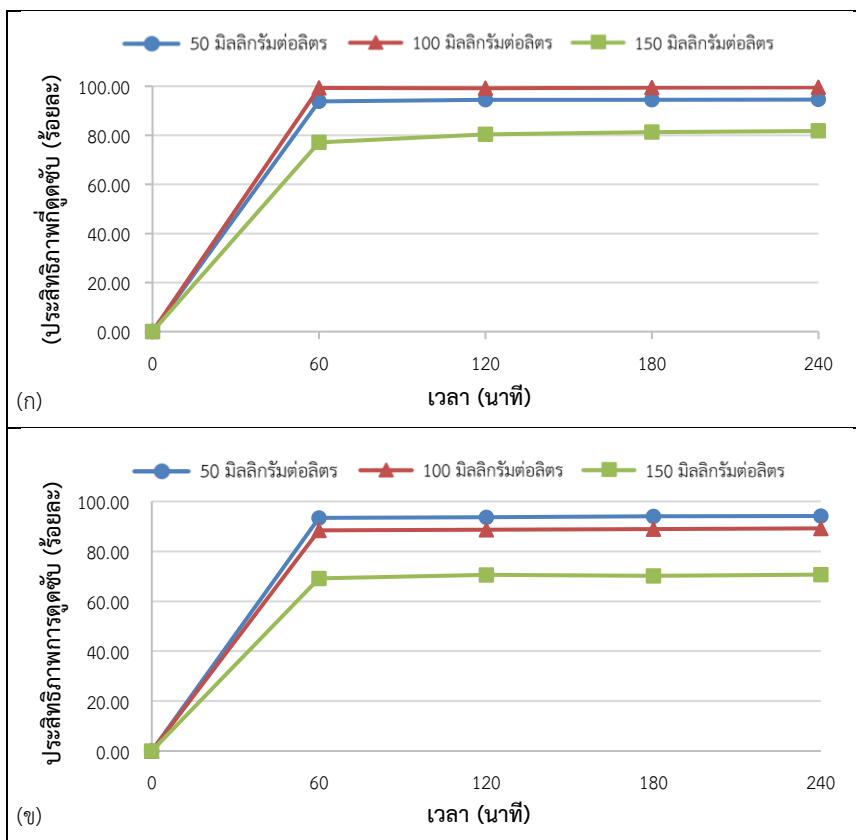
จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีนออกจากสารละลายเพิ่มขึ้น ทั้งตัวดูดซับขานอ้อยและตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อย



ภาพที่ 5 ผลของปริมาณตัวดูดซับขานอ้อย (ก) และตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อย (ข) ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีน

3. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมมาลาไคท์กรีน

น้ำเสียในธรรมชาติมีความเข้มข้นขององค์ประกอบที่หลากหลาย จึงจำเป็นต้องศึกษาตัวแปรด้านความเข้มข้นเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าตัวดูดซับจะสามารถดูดซับปริมาณของสารมลพิษได้ทั้งหมด ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีนที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่สูงกว่างานวิจัยโดยทั่วไป ใช้ปริมาณตัวดูดซับทั้งสองชนิด ชนิดละ 1.0 กรัม เป็นเวลา 240 นาที จากผลการวิจัย ภาพที่ 6 (ก) แสดงค่าร้อยละการดูดซับของตัวดูดซับขานอ้อยลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อม คือ 94.16 89.21 และ 70.67 ตามลำดับ ภาพที่ 6 (ข) แสดงค่าร้อยละการดูดซับของตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อย มีค่าร้อยละการดูดซับลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อม คือ 99.56 94.56 และ 81.76 ตามลำดับ ซึ่งผลการวิจัยเป็นไปในทำนองเดียวกับภาพที่ 5 คือ การดูดซับเข้าสู่จุดสมดุลตั้งแต่ช่วงเวลา 60 นาทีแรก และแสดงค่าการดูดซับคงที่ตลอดระยะเวลาในการทดลอง จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อม ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีนออกจากสารละลายลดลง ทั้งตัวดูดซับขานอ้อยและตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อย



ภาพที่ 6 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีนต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีนของตัวดูดซับขานอ้อย (ก) และตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อย (ข)

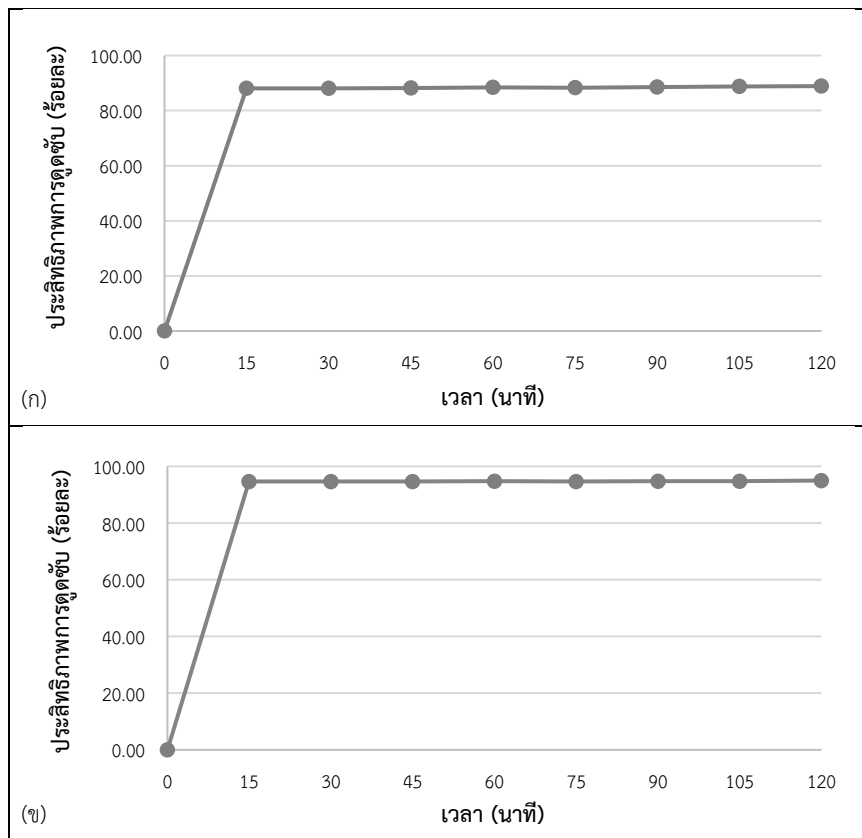
4. ผลของระยะเวลาในการดูดซับ

ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับแสดงความสามารถในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับแบบไดนามิกของตัวดูดซับ ตัวดูดซับที่มีจุดสมดุลการดูดซับเร็วจะมีความคุ้มค่าด้านเวลามากกว่า ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับเพื่อหาจุดสมดุลการดูดซับของตัวดูดซับขานอ้อยและตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อย โดยศึกษาในช่วงเวลาที่ละเอียดขึ้น คือ เก็บตัวอย่างสารละลายทุก ๆ 15 นาที จนครบ 120 นาที ดังภาพที่ 7 (ก) แสดงค่าร้อยละการดูดซับของขานอ้อยเพิ่มขึ้นในช่วง 0 ถึง 15 นาทีแรก จากค่าร้อยละการดูดซับ 0.00 ถึง 88.00 และภาพที่ 7 (ข) แสดงค่าร้อยละการดูดซับของตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยในช่วง 0 ถึง 15 นาที จากค่าร้อยละการดูดซับ 0.00 ถึง 94.60 และตัวดูดซับทั้งสองชนิดมีค่าร้อยละการดูดซับค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าตัวดูดซับทั้งสองชนิดเข้าสู่จุดสมดุลของการดูดซับภายในเวลา 15 นาที

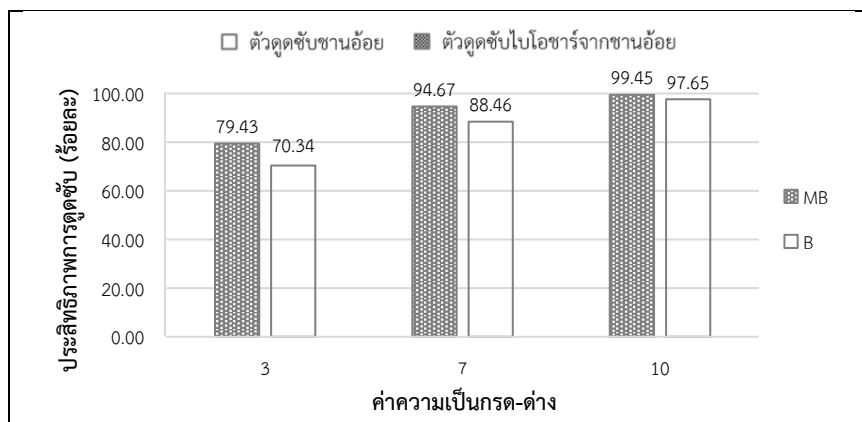
5. ผลของสภาวะกรด-ด่าง

น้ำเสียในธรรมชาตินอกจากจะมีความแปรปรวนเรื่องความเข้มข้นแล้ว ยังมีสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกันด้วย เนื่องจากการปนเปื้อนของมลพิษหลายชนิด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาปัจจัยของสภาวะความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีนที่บำบัดด้วยตัวดูดซับ

ชานอ้อยและตัวดูดซับไบโอชาร์จากชานอ้อย ซึ่งพบว่าตัวดูดซับทั้งสองชนิดจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับที่สูงขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น ดังภาพที่ 8



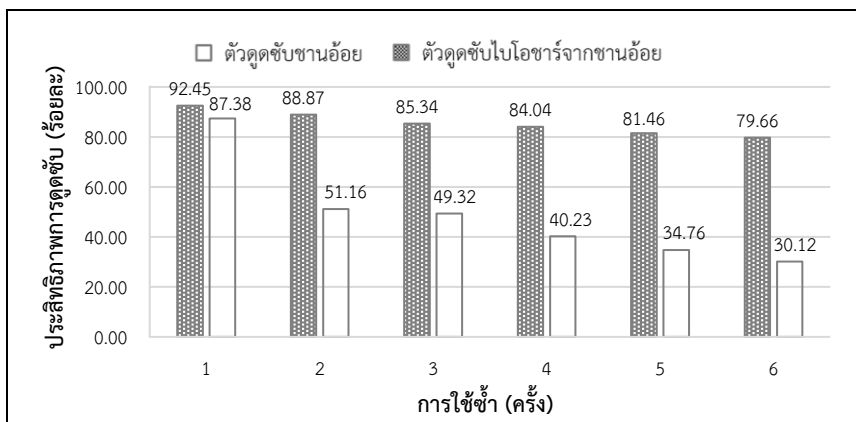
ภาพที่ 7 ผลของเวลาในการดูดซับต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีนของตัวดูดซับชานอ้อย (ก) และตัวดูดซับไบโอชาร์จากชานอ้อย (ข)



ภาพที่ 8 ผลของสภาวะความเป็นกรด-ด่างต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมผ้ามาลาไคท์กรีนของตัวดูดซับชานอ้อยและตัวดูดซับไบโอชาร์จากชานอ้อย

6. ผลของการใช้ซ้ำ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลจากการใช้ซ้ำตัวดูดซับขานอ้อยและตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยโดยไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ จำนวน 6 ครั้ง ดังแสดงผลในภาพที่ 9 ซึ่งพบว่าตัวดูดซับขานอ้อยมีประสิทธิภาพการดูดซับลดลงต่ำกว่าร้อยละ 50 ตั้งแต่การใช้ซ้ำครั้งที่ 2 ในขณะที่ตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยยังคงแสดงประสิทธิภาพการดูดซับมากกว่าร้อยละ 80 จนถึงการใช้ซ้ำครั้งที่ 5



ภาพที่ 9 ผลของประสิทธิภาพการใช้ซ้ำของตัวดูดซับขานอ้อยและตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อย

การอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาลักษณะของตัวดูดซับขานอ้อยที่ผ่านกระบวนการตัดแปรด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ พบว่าตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยยังคงรูปผลึกอสัณฐาน เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาดำกว่าอุณหภูมิก่อผลึก ซึ่งขานอ้อยจะเริ่มเกิดผลึกได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสขึ้นไป (Deepa *et al.*, 2021) อย่างไรก็ตามจากภาพที่ 2 พบการเกิดผลึกที่ $2\theta = 22.0$ และ 26.5 องศา ซึ่งเป็นสัญญาณของเซลลูโลส และซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ตามลำดับ (Mandal and Chakrabarty, 2011; Adeniyi *et al.*, 2017) จึงเป็นไปได้ว่าภายในโมเลกุลของขานอ้อยมีการเปลี่ยนแปลงระดับโครงสร้าง สอดคล้องกับผลการศึกษาด้วยเทคนิค FT-IR ที่สัญญาณหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ของตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยที่ปรากฏ เกิดการเลื่อนไปยังเลขคลื่นที่มีพลังงานสูงขึ้นจากผลของปฏิกิริยาไพโรไลซิส (pyrolysis) (Mimmo *et al.*, 2014) ในภาพที่ 4 พบสัญญาณที่เลขคลื่น 779 cm^{-1} ซึ่งเป็นสัญญาณของพันธะซิลิกอน-ออกซิเจน (Si-O) ในตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยที่อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในโมเลกุล (ชาญชัย และณภัทร, 2563) นอกจากนี้การศึกษาด้วยเทคนิค SEM ยังยืนยันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในจากลักษณะของพื้นผิวตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยที่มีความขรุขระมากขึ้นทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลของสีย้อมได้มากขึ้น (Buddee *et al.*, 2011)

จากการศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม ระยะเวลาในการดูดซับ สภาวะกรด-ด่าง ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมผ่านมาลาไคท์กรีนในน้ำเสีย พบว่าปริมาณตัวดูดซับทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ่านมาลาไคท์กรีนเพิ่มสูงขึ้น

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในภาพที่ 5 ประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับขานอ้อยและตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยปริมาณ 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ คือ ปริมาณ 1.0 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาระหว่างพื้นผิวของตัวดูดซับกับโมเลกุลสีย้อม แต่เมื่อถึงจุดสมดุลการดูดซับ การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ (ชาญชัย และณภัทร, 2563)

ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมผ้ามาลาโคท์กรีนที่ศึกษากันโดยส่วนมากจะอยู่ในช่วง 10-50 มิลลิกรัมต่อลิตร (Mohamad *et al.*, 2019; Sharma and Nandi, 2013) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและความสามารถของตัวดูดซับ ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตรงกับจำนวนโมเลกุลของสีย้อม จากภาพที่ 6 แสดงค่าร้อยละการดูดซับที่ลดลง เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมผ้ามาลาโคท์กรีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่พื้นที่ในการดูดซับคงที่ จึงมีพื้นที่ผิวที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาลดลง และผลจากการบดบังกันเองของโมเลกุลของสีย้อมที่เพิ่มขึ้น จึงมีผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง โดยความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ คือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการดูดซับคงที่ตั้งแต่ 60 นาที แต่เมื่อพิจารณาในภาพที่ 7 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับจะมีค่าเพิ่มขึ้น-ลดลงตลอดช่วงระยะเวลาที่ศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการแบบไดนามิก ที่โมเลกุลของสีย้อมจะถูกดูดซับและปลดปล่อยที่พื้นผิวของตัวดูดซับตลอดเวลา (Henögl *et al.*, 2019)

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของสภาวะกรด-ด่างต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ จากภาพที่ 8 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 มีค่าน้อยที่สุด และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 ทั้งนี้เพราะสีย้อมมาลาโคท์กรีนเป็นสีย้อมชนิดประจุบวก จะแตกตัวในสารละลายให้โครงสร้างที่มีประจุบวก มีผลให้โครโมฟอร์ (chromophore) ที่เป็นบวกกระจายอยู่ทั่วทั้งสารละลาย ในสภาวะกรด (pH 3) จะเกิดแรงผลักระหว่างประจุชั้นระหว่างประจุบวกในโมเลกุลของสีย้อมและประจุบวกที่พื้นผิวตัวดูดซับ (pH_{pzc} 6.86) ส่งผลให้โมเลกุลสีย้อมถูกดูดซับได้น้อย ในทางตรงกันข้ามเมื่อสารละลายอยู่ในสภาวะต่าง (pH 10) จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุบวกของโมเลกุลของสีย้อมและประจุลบที่พื้นผิวขานอ้อย ส่งผลให้โมเลกุลสีย้อมถูกดูดซับได้มากขึ้น (Butdee *et al.*, 2011; Sharma *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตามสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับที่สุด คือ ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 เนื่องจากเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างที่วัดได้จากการเตรียมสารละลายสีย้อมในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ผลรวมของประจุบนพื้นผิวของตัวดูดซับเท่ากับศูนย์ (pH_{pzc} 6.86) ของตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อย

การเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยการนำมาใช้เป็นตัวดูดซับ นอกจากจะเป็นการช่วยลดปริมาณขยะชีวภาพแล้ว หากตัวดูดซับนั้นสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ก็จะเป็นการลดต้นทุนและเวลาในการแปรรูปตัวดูดซับ (Jampa *et al.*, 2020) จากผลการวิจัยการใช้ซ้ำในภาพที่ 9 พบว่าตัวดูดซับไบโอชาร์จากขานอ้อยมีสมบัติการใช้ซ้ำได้มากกว่า 5 ครั้ง โดยผลการใช้ซ้ำในครั้งที่ 6 มีประสิทธิภาพการดูดซับลดลงต่ำกว่าร้อยละ 80.00 อย่างไรก็ตามการที่ตัวดูดซับสามารถใช้ซ้ำได้ก็เนื่องมาจากตัวดูดซับยังคงมีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับได้อยู่นั่นเอง

- ชาญชัย คหาปนะ และณภัทร โพธิ์วัน. (2563). การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้วัสดุดูดซับที่เตรียมจากผักตบชวา. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 15(2), 58-70.
- เทพฤทธิ์ ปิติฤทธิ์. (2544). การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟในสารละลายสีย้อมโดยการดูดซับด้วยซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- นัฐภูมิ เพ็ชรชาติ พิมพ์ชนก ธาตรีวิจิตร หนึ่งหทัย ธราพร ศราวดี ชูโลก และนวรรตน์ สีตะพงษ์. (2566). สมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระเทียมและเปลือกมังคุด. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 42(1), 39-49.
- นิรมล ปั่นลาย ประชุม คำพุ่ม และกิตติพงษ์ สุวิโร. (2563). ผลิตภัณฑ์แผ่นใยซีเมนต์อัดผสมขานอ้อย. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม*, 3(2), 59-69.
- ปณัฏ์ สุขสร้อย ปวีณอิศรชิต์ เคนจันท์ และฉัตรชัย เสนขวัญแก้ว. (2559). ศักยภาพการใช้ขานอ้อยเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 34(2), 133-140.
- พรสวรรค์ อัครแสงรัตน์. (2555). การดูดซับสีย้อมด้วยผลิตภัณฑ์จากเกล็ดปลา. *รายงานวิจัย*. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วีระพงษ์ แซ่โจ้ว. (2545). การบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมโดยระบบ *sequencing batch reactor system*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- สุดสายชล หอมทอง นเรศ เชื้อสุวรรณ และสุภัณฑิต นิมิตรรัตน์. (2554). การกำจัดสีเมทิลเรดด้วยการดูดซับ/วิธีทางชีวภาพ. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 16(2), 63-74.
- สุทธิดา พุทไธสง ปวีณา แอบเพชร และวรินภา ศรีมูล. (2564). ประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบการปลูกแบบไร้ดินจำลอง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 40(6), 415-421.
- สุภาวดี น้อยน้ำใส. (2560). การบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้าประเภทไตรรงค์ด้วยกระบวนการตกตะกอนไฟฟ้าเคมี. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, 18(1), 31-40.
- Adeniyi, O.D., Yakatun, A.A., Adeniyi, M.I., Olutoye, M.A., Okafor, J.O., Dikwal, C.M., Ojo, A. and Kalu, E.E. (2017). Studies on characterization of solid fuel using municipal solid waste from Bida, Nigeria. In Ojurongbe, O. (Ed.). *Translating research findings into policy in deve*, pp. 322-326. Enfield: LAP LAMBERT Academic Publishing.
- Azaritorbat, A. and Nasernejad, B. (2023). Optimization of the removal efficiency of o-toluidine adsorption on sugarcane bagasse or biodegradation using *Phanerochaete chrysosporium* immobilized on bagasse. *South African Journal of Chemical Engineering*, 44, 318-328, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.02.003>.
- Buddee, S., Wongnawa, S., Sirimahachai, U. and Puetpaibool, W. (2011). Recyclable UV and visible light photocatalytically active amorphous TiO₂ doped with M (III) ions (M=Cr and Fe). *Materials Chemistry and Physics*, 126(1-2), 167-177, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.11.044>.

- Deepa, A., Prakash, P. and Mishra, B.K. (2021). Performance of biochar-based filtration bed for the removal of Cr(VI) from pre-treated synthetic tannery wastewater. *Environmental Technology*, 42(2), 257-269, doi: <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1626912>.
- Henögl, E., Haberl, V., Ablasser, J. and Schennach, R. (2019). Adsorption and desorption of organic molecules from thin cellulose films. *Frontiers in Materials*, 6, doi: <https://doi.org/10.3389/fmats.2019.00178>.
- Jampa, S.S.K., Unnarkat, A.P., Vanshpati, R., Pandian, S., Sinha, M.K. and Dharaskar, S. (2020). Adsorption and recyclability aspects of humic acid using nano-ZIF-8 adsorbent. *Environmental Technology and Innovation*, 19, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100927>.
- Mali, A.K. and Nanthagopalan, P. (2021). Thermo-mechanical treatment of sugarcane bagasse ash with very high LOI: A pozzolanic paradigm. *Construction and Building Materials*, 288, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122988>.
- Mandal, A. and Chakrabarty, D. (2011). Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization. *Carbohydrate Polymers*, 86(3), 1291-1299, doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.030>.
- Mimmo, T., Panzacchi, P., Baratieri, M., Davies, C.A. and Tonon, G. (2014). Effect of pyrolysis temperature on miscanthus (*Miscanthus x giganteus*) biochar physical, chemical and functional properties. *Biomass and Bioenergy*, 62, 149-157, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.004>.
- Mohamad, M., Mohammad, R., May, T.S. and Wei, L.J. (2019). Removal of malachite green by sugarcane bagasse biochar using response surface methodology. *AIP Conference Proceedings*, 2068(1), doi: <https://doi.org/10.1063/1.5089328>.
- Saygili, H. and Güzel, F. (2018). Usability of activated carbon with well-developed mesoporous structure for the decontamination of malachite green from aquatic environments: Kinetic, equilibrium and regeneration studies. *Journal of Porous Materials*, 25, 477-488, doi: <https://doi.org/10.1007/s10934-017-0459-1>.
- Sharma, A., Syed, Z., Brighu, U., Gupta, A.B. and Ram, C. (2019). Adsorption of textile wastewater on alkali-activated sand. *Journal of Cleaner Production*, 220, 23-32, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.236>.
- Sharma, N. and Nandi, B.K. (2013). Utilization of sugarcane bagasse, an agricultural waste to remove malachite green dye from aqueous solutions. *Journal of Materials and Environmental Science*, 4(6), 1052-1065.
- Surendra, S.T. and Sharanappa, S. (2000). Integrated management of nitrogen and phosphorus in maize (*Zea mays*) and their residual effect on cowpea (*Vigna unguiculata*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 70(2), 119-121.

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของกระชายขาวที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก Antioxidant Activities of *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. Fermented with Lactic Acid Bacteria

วันวิสาข์ บุญกล้า¹ อนุศักดิ์ เกิดสิน² และปริยาภรณ์ อิศรานูวัฒน์^{1*}
Wanwisa Boonkla¹, Anusak Kerdsin² and Pariyaporn Itsaranuwat^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของกระชายขาวที่หมักด้วยเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก (lactic acid bacteria: LAB) โดยมีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ เชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติก จำนวน 10 สายพันธุ์ ได้แก่ แบคทีเรีย *Lactobacillus pentosus* JM085 *L. pentosus* JM0812 *L. pentosus* UM055 *L. pentosus* UM054 *L. pentosus* YM122 *L. pentosus* VM096 *L. pentosus* DM068 *L. pentosus* VM095 *Enterococcus faecalis* YM126 และ *L. lactis* A7 ระยะเวลาในการหมัก ได้แก่ 0 24 48 และ 72 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าสายพันธุ์และระยะเวลาในการหมักส่งผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical-scavenging assay (DPPH) และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยกระชายขาวที่หมักด้วยแบคทีเรีย *L. pentosus* DM068 นาน 72 ชั่วโมง มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงสุดเท่ากับ 83.42 ± 1.30 ไมโครกรัมTrolox ต่อมิลลิลิตร ($\mu\text{g TE/ml}$) สำหรับค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP พบว่ากระชายขาวที่หมักด้วยแบคทีเรีย *L. pentosus* VM095 นาน 72 ชั่วโมง มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 295.82 ± 2.15 ไมโครกรัมของเฟอร์รัสต่อมิลลิลิตร ($\mu\text{g Fe(II)/ml}$) การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมักกระชายขาวด้วยเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกสามารถเพิ่มกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเพิ่มคุณค่าและมูลค่าของผลิตภัณฑ์สมุนไพรเพื่อประโยชน์ทางอุตสาหกรรมอาหารและทางเภสัชศาสตร์ได้

คำสำคัญ: กระชายขาว แบคทีเรียกรดแลคติก โพรไบโอติก กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

¹ หน่วยวิจัยอุตสาหกรรมชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

² ภาควิชาอนามัยชุมชน คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ

* Corresponding author e-mail: pariyaporn.i@msu.ac.th

Received: 8 September 2023, Revised: 20 September 2023, Accepted: 21 September 2023

Abstract

This research aimed to study the antioxidant activities of *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf., known as fingerroot, fermented with probiotic lactic acid bacteria (LAB). Ten strains of lactic acid bacteria including *Lactobacillus pentosus* JM085, *L. pentosus* JM0812, *L. pentosus* UM055, *L. pentosus* UM054, *L. pentosus* YM122, *L. pentosus* VM096, *L. pentosus* DM068, *L. pentosus* VM095, *Enterococcus faecalis* YM126, and *L. lactis* A7 were used as starter culture for *B. rotunda* (L.) Mansf. Fermentation was at 0, 24, 48, and 72 hours. The results showed that the antioxidant activities depended on strains and fermentation time. The antioxidant capacity of fermented *B. rotunda* extract increased significantly ($p \leq 0.05$) when fermentation time increased, using DPPH radical-scavenging assay (DPPH) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay. The strongest DPPH scavenging capacity was observed in the sample fermented with *L. pentosus* DM068 at 72 hours ($83.42 \pm 1.30 \mu\text{g TE/ml}$), while FRAP reported in *L. pentosus* VM095, at 72 hours ($295.82 \pm 2.15 \mu\text{g Fe(II)/ml}$). In conclusion, probiotic lactic acid bacteria fermentation increased the antioxidant activities of *B. rotunda* extract. Applying the fermentation process for value addition in the food and pharmaceutical industries might be interesting.

Keywords: *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf., Lactic acid bacteria, Probiotics, Antioxidant activity

บทนำ

การใช้พืชสมุนไพรในการรักษาโรคมีประวัติมาอย่างยาวนานในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลก สมุนไพรมีสรรพคุณทางยาหรือใช้ในการรักษาโรค เนื่องจากสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) หรือสารพฤกษเคมี (phytochemical) ในสมุนไพรเหล่านั้นมีฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างใดอย่างหนึ่งหรือต่ออาการของโรค สมุนไพรหลายชนิดมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant properties) มีกิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial activities) เนื่องจากมีองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารประกอบกลุ่มฟีนอลิกหรือฟลาโวนอยด์ (Pesewu *et al.*, 2008)

กระชายขาวเป็นพืชในวงศ์ Zingiberaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. (Chong *et al.*, 2011; Jing *et al.*, 2010; Yusuf *et al.*, 2013) เป็นพืชสมุนไพรไทยและเป็นเครื่องเทศที่สำคัญที่นำมาประกอบอาหาร และส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ คือ เหง้าหรือราก (rhizomes) เหง้าของกระชายขาวถูกนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์แผนโบราณ โดยนำมารักษาโรคอักเสบ (เช่น ฟันผุ โรคผิวหนัง ไอแห้ง และหวัด) (Chuakul and Boonpleng, 2003; Salguero, 2003) ผลในกระเพาะอาหารและฆ่าพยาธิ (Riswan and Sangat-Roemantyo, 2002) ในเหง้าของกระชายขาวมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นสารทุติยภูมิของพืชหลายชนิด เช่น อนุพันธ์ฟลาโวนอยด์

น้ำมันหอมระเหย และสารประกอบโพลีฟีนอล (Tang *et al.*, 2007; Morikawa *et al.*, 2008; Yusuf *et al.*, 2013; Baharudin *et al.*, 2015; Jing *et al.*, 2010) ในปัจจุบันมีการใช้กระชายขาวเป็นสมุนไพรที่มีฤทธิ์ทางยาหรือส่งเสริมสุขภาพอย่างแพร่หลาย และมีงานวิจัยหลายฉบับพบว่ากระชายขาวมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

แบคทีเรียกรดแลคติก (lactic acid bacteria: LAB) เช่น *Lactobacillus acidophilus* *L. pentosus* *Enterococcus faecalis* และ *Bifidobacterium* เป็นแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ โดยเฉพาะสายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติก (probiotic) คำว่า โพรไบโอติก มีรากศัพท์ดั้งเดิมมาจากภาษากรีก แปลว่า “for life” หรือ “เพื่อชีวิต” หมายถึง แบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ช่วยปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร รักษาอาการท้องร่วง และมีคุณสมบัติทางอายุรเวท (therapeutic properties) เช่น ช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันโรค ลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง เป็นต้น (Fooks *et al.*, 1999; Itsaranuwat *et al.*, 2003) มีรายงานหลายฉบับ พบว่าแบคทีเรียกลุ่มแลคติกสามารถยับยั้งเชื้อโรคในทางเดินอาหาร การผลิตสารต้านจุลชีพ การเพิ่มการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน การปรับปรุงการเผาผลาญแลคโตส และการป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ดี (Kechagia *et al.*, 2013) แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกนี้สามารถผลิตสารประกอบที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ได้หลายชนิด เช่น กรดอินทรีย์ (organic acid) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ไดอะซีทิล (diacetyl) อะซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) แบคทีริโอซิน (bacteriocins) นอกจากนี้กระบวนการหมักยังอาจส่งเสริมการเพิ่มสารสำคัญในผลิตภัณฑ์และทำให้เกิดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วย (ลัญจกรและคณะ, 2559)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของกระชายขาวหมักร่วมกับแบคทีเรียกรดแลคติก โดยใช้แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดแลคติก 10 สายพันธุ์ ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ผ่านการศึกษาคูณสมบัติการเป็นโพรไบโอติก ได้แก่ *L. pentosus* JM085 *L. pentosus* JM0812 *L. pentosus* UM055 *L. pentosus* UM054 *L. pentosus* YM122 *L. pentosus* VM096 *L. pentosus* DM068 *L. pentosus* VM095 *E. faecalis* YM126 และ *L. lactis* A7 โดยการศึกษาที่ระยะเวลาในการหมักต่าง ๆ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แบคทีเรียกรดแลคติกที่ใช้ในงานวิจัย

แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดแลคติกจำนวน 10 สายพันธุ์ ได้แก่ *L. pentosus* JM085 *L. pentosus* JM0812 *L. pentosus* UM055 *L. pentosus* UM054 *L. pentosus* YM122 *L. pentosus* VM096 *L. pentosus* DM068 *L. pentosus* VM095 *E. faecalis* YM126 และ *L. lactis* A7 โดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดแลคติกทั้ง 10 สายพันธุ์ ผ่านการทดสอบคุณสมบัติการเป็นโพรไบโอติก ซึ่งได้รับอนุเคราะห์จากหน่วยวิจัยทาง การแปรรูปชีวมวลด้วยกระบวนการทางกายภาพ/เคมี/ชีวภาพ และอาหารเสริมสุขภาพ (biorefinery and functional food research unit: BIOF) ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

2. การเตรียมสมุนไพร

ผงกระชายขาวได้จากร้านทองอินทร์เฒ่าฯ ถนนสมณวิมลราชบุรี ตำบลตลาด อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนจะทำการสกัดต่อไป

สำหรับการเตรียมสารสกัดเพื่อเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำการสกัดกระชายขาวด้วยน้ำกลั่น โดยใช้สัดส่วนผงกระชายขาวร้อยละ 5 และน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%w/v) ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็น 6.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.01 โมลาร์ (M) เพื่อให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย แล้วนำไปพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำไปใช้งาน

3. การเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย

โดยนำแบคทีเรียกลุ่มผลิตภัณฑ์กักทั้ง 10 สายพันธุ์ มาเพาะเลี้ยงเป็นหัวเชื้อเริ่มต้น โดยใช้เชื้อสต็อกแช่แข็ง (-50 องศาเซลเซียส) ต่อเชื้อลงในอาหารเหลว De Man Rogosa and Sharpe broth (MRS broth) 10 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเทียบเท่ากับค่ามาตรฐาน Mcfarland 0.5 โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ซึ่งจะได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.08-0.10 ก่อนที่จะถ่ายลงหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 โดยปริมาตรต่อปริมาตร (%v/v) ในสารสกัดกระชายขาวที่สกัดด้วยน้ำกลั่น ประกอบด้วย ผงกระชายขาวร้อยละ 5 และน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 2 ปรับให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 6.5 และผ่านพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างทุก ๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 0 24 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ

4. การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

4.1 วิธี 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH radical scavenging activity)

ดัดแปลงจากวิธีการของ Zhang *et al.* (2016) โดยปิเปตตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร ลงในเพลต 96 หลุม จากนั้นเติมสาร 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical ที่มี ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ (mM) ละลายในเมทานอลปริมาตร 180 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องอ่านถาด ไมโครเพลต โดยค่าที่ได้จะถูกคำนวณค่า DPPH radical scavenging activity แสดงในหน่วยไมโครกรัม ไทรอล็อกซ์ต่อมิลลิลิตร ($\mu\text{g TE/ml}$) โดยใช้กราฟมาตรฐานของสารไทรอล็อกซ์ และทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4.2 วิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay

ดัดแปลงจากวิธีการของ Bakar *et al.* (2009) โดยเตรียมสารละลาย FRAP (ferric reducing antioxidant power) reagent โดยผสมสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ (acetate buffer) (ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.6) 300 มิลลิโมลาร์ กับสารละลาย 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-1,3,5-triazine (TPTZ) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ และสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride solution) 20 มิลลิโมลาร์ ให้เข้ากัน เก็บโดยปราศจากแสง จากนั้นทำการปิเปตตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย FRAP ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ลงในเพลต 96 หลุม ผสมให้เข้ากันแล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร (microplate reader spectrophotometer) คำนวณค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในหน่วยไมโครกรัมเฟอร์รัส

ต่อมิลลิลิตร ($\mu\text{g Fe(II)/ml}$) โดยใช้กราฟมาตรฐานของสารเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) และทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์หาข้อมูลเพื่อทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรม SPSS version 20 สถิติที่ใช้ คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแฟกทอเรียล (Factorial experiment in CRD by Univariate) ที่มี 2 ปัจจัย และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan multiple's range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ผลการวิจัย

1. กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และ FRAP assay

จากการศึกษาผลของการหมักสารสกัดกระชายขาวด้วยเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกทั้ง 10 สายพันธุ์ โดยมีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ สายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก และระยะเวลาในการหมักที่มีผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดลองพบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และวิธี FRAP assay เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของการยับยั้งกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบสายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก พบว่าสารสกัดกระชายขาวที่หมักด้วยแบคทีเรีย *L. pentosus* DM068 ที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ส่งผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay สูงที่สุดเท่ากับ 83.42 ± 1.30 ไมโครกรัมTroloxต่อมิลลิลิตร และพบว่าสารสกัดกระชายขาวที่หมักด้วยแบคทีเรีย *L. pentosus* VM095 ที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ส่งผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงด้วยวิธี FRAP assay สูงที่สุดเท่ากับ 295.82 ± 2.15 ไมโครกรัมเฟอร์รัสต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของกระชายขาวที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกด้วยวิธี DPPH assay

จุลินทรีย์กรดแลคติก (LAB microorganisms)	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay (ไมโครกรัมTroloxต่อมิลลิลิตร)			
	0 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง
<i>L. pentosus</i> JM085	$22.04 \pm 5.24^{c,D}$	$41.23 \pm 4.84^{c,C}$	$56.13 \pm 3.96^{c,B}$	$69.92 \pm 1.04^{c,A}$
<i>L. pentosus</i> JM0812	$22.36 \pm 11.13^{c,D}$	$38.18 \pm 8.59^{c,C}$	$60.45 \pm 6.35^{c,B}$	$71.45 \pm 0.95^{c,A}$
<i>L. pentosus</i> UM055	$26.27 \pm 1.13^{c,D}$	$54.20 \pm 3.16^{c,C}$	$57.89 \pm 7.05^{c,B}$	$72.70 \pm 2.27^{cd,A}$
<i>L. pentosus</i> UM054	$21.81 \pm 1.23^{c,D}$	$37.30 \pm 0.79^{c,C}$	$55.00 \pm 3.51^{c,B}$	$75.54 \pm 0.45^{c,A}$
<i>L. pentosus</i> YM122	$20.69 \pm 7.26^{bc,D}$	$57.90 \pm 4.85^{bc,C}$	$63.28 \pm 4.77^{bc,B}$	$73.49 \pm 2.66^{bc,A}$
<i>L. pentosus</i> VM096	$20.28 \pm 2.22^{d,D}$	$42.35 \pm 7.48^{d,C}$	$61.01 \pm 6.18^{d,B}$	$71.34 \pm 0.68^{d,A}$
<i>L. pentosus</i> DM068	$25.62 \pm 5.71^{a,D}$	$57.37 \pm 1.17^{a,C}$	$72.64 \pm 2.50^{a,B}$	$83.42 \pm 1.30^{a,A}$
<i>L. pentosus</i> VM095	$25.27 \pm 2.21^{d,D}$	$19.52 \pm 3.23^{d,C}$	$40.82 \pm 7.66^{d,B}$	$66.29 \pm 0.87^{d,A}$
<i>E. faecalis</i> YM126	$22.63 \pm 6.30^{ab,D}$	$53.62 \pm 7.53^{ab,C}$	$73.15 \pm 4.30^{ab,B}$	$78.83 \pm 2.58^{ab,A}$
<i>L. lactis</i> A7	$21.63 \pm 1.98^{cd,D}$	$48.39 \pm 0.79^{cd,C}$	$57.72 \pm 3.00^{cd,B}$	$73.27 \pm 1.70^{cd,A}$

หมายเหตุ: - ตัวอักษร A B C D ที่แตกต่างกัน หมายถึง ในข้อมูลคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ตัวอักษร a b c d ที่แตกต่างกัน หมายถึง ในข้อมูลแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของกระชายขาวที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกด้วย วิธี FRAP assays

จุลินทรีย์กรดแลคติก (LAB Microorganisms)	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP assays (ไมโครกรัมเฟอรรัสต่อมิลลิลิตร)			
	0 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	0 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง
<i>L. pentosus</i> JM085	220.12±1.42 ^{d,D}	237.57±3.82 ^{d,C}	268.00±0.29 ^{d,B}	276.33±0.76 ^{d,A}
<i>L. pentosus</i> JM0812	219.04±4.66 ^{d,D}	240.86±5.12 ^{d,C}	266.29±0.52 ^{d,B}	277.14±0.31 ^{d,A}
<i>L. pentosus</i> UM055	224.58±1.63 ^{cd,D}	232.45±2.73 ^{cd,C}	267.02±0.31 ^{cd,B}	289.50±0.52 ^{cd,A}
<i>L. pentosus</i> UM054	230.24±5.46 ^{d,D}	227.76±3.06 ^{d,C}	263.57±0.44 ^{d,B}	281.02±0.86 ^{d,A}
<i>L. pentosus</i> YM122	235.32±2.49 ^{d,D}	216.71±5.50 ^{d,C}	270.24±0.86 ^{d,B}	284.19±1.30 ^{d,A}
<i>L. pentosus</i> VM096	231.33±2.22 ^{cd,D}	221.29±4.33 ^{cd,C}	266.25±0.29 ^{cd,B}	289.97±0.60 ^{cd,A}
<i>L. pentosus</i> DM068	225.51±2.44 ^{c,C}	238.69±5.39 ^{c,D}	267.49±0.53 ^{c,B}	284.19±2.56 ^{c,A}
<i>L. pentosus</i> VM095	227.49±10.19 ^{a,A}	255.51±2.66 ^{a,A}	274.23±0.47 ^{a,A}	295.82±2.15 ^{a,A}
<i>E. faecalis</i> YM126	235.55±5.51 ^{b,D}	245.05±2.68 ^{b,C}	269.27±0.66 ^{b,B}	284.97±1.23 ^{b,A}
<i>L. lactis</i> A7	229.93±3.14 ^{d,D}	228.50±8.59 ^{d,C}	263.88±0.53 ^{d,B}	277.84±0.65 ^{d,A}

หมายเหตุ: - ตัวอักษร A B C D ที่แตกต่างกัน หมายถึง ในข้อมูลคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ตัวอักษร a b c d ที่แตกต่างกัน หมายถึง ในข้อมูลแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกระชายขาวที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกโดยวิธี DPPH assay ซึ่งหลักการ คือ การทดสอบคุณสมบัติในการเป็นตัวขจัดอนุมูลอิสระ (free radical scavenger) และวิธี FRAP assay ซึ่งหลักการ คือ การศึกษาคุณสมบัติในการเป็นตัวให้อิเล็กตรอนให้แก่อนุมูลอิสระ พบว่าหลังจากการหมักน้ำหมักกระชายขาวด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากในกระบวนการหมักจะทำให้ปริมาณกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้นจากแบคทีเรียกรดแลคติกที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักส่งผลให้เสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น และส่งผลให้มีฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shori (2013) ที่ศึกษาปริมาณกรดอินทรีย์ในนมวัวหมักที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก พบว่าเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ปริมาณกรดทั้งหมดและกรดอินทรีย์สูงขึ้นจะช่วยเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ นอกจากนี้ในกระบวนการหมักสมุนไพรยังส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ ที่ส่งเสริมกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมักสมุนไพรต่าง ๆ จากการศึกษา ก่อนหน้านั้นของทศพล และคณะ (2559) ศึกษาการเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำพริกด้วยการผสม

กับกระชายดำและหมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก พบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay ของน้ำหมักพุลูควาที่ไม่มีการเติมกระชายดำแต่มีการเติมกล่ำเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก และมีการเติมน้ำอ้อยลงไป มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay เท่ากับ 271.57 ไมโครโมลต่อลิตร ($\mu\text{mol/L}$) ซึ่งเพิ่มมากขึ้นกว่า 3.5 เท่าของน้ำหมักพุลูควาที่ไม่มีการเติมกล่ำเชื้อและน้ำอ้อย และเมื่อน้ำหมักพุลูควาด้วยการผสมกับกระชายดำหมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและเติมน้ำอ้อย พบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay เท่ากับ 891.0 ไมโครโมลต่อลิตร ซึ่งพบว่าสูงกว่า 78.71 ไมโครโมลต่อลิตร ที่ได้จากการหมักที่ใช้ น้ำหมักพุลูควาเพียงอย่างเดียว จะเห็นว่ากระชายดำมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay ของน้ำหมักพุลูควา แต่ไม่มีผลเพิ่มปริมาณของกรดแลคติกและกรดอะซิติก ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าปริมาณของกรดอินทรีย์จากแบคทีเรียกรดแลคติกที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักมีผลเสริมให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น มีการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Chaiyasut *et al.* (2011) ทำการศึกษาสมุนไพรไทย 5 ชนิด ได้แก่ พุลูควา มะขามป้อม ลูกยอ สมอไทย และกระชายดำ หมักรวมกันโดยใช้กล่ำเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นเท่ากับ 31.31 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร (mg GAE/ml) การศึกษาของ Sawangwan *et al.* (2021) ทำการศึกษาด้านอนุมูลอิสระจากการหมักรำข้าวโดยแบคทีเรียกรดแลคติก พบว่าสารสกัดรำข้าวที่มีการหมักแบบสถานะของแข็ง (SSF) ของแบคทีเรียแลคติกทั้งสองสายพันธุ์มีปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดรำข้าวที่ไม่มีการหมักแบบของแข็ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารสกัดข้าวบาหนัหน้าที่มีความชื้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดย *L. plantarum* ที่เวลา 48 ชั่วโมง แสดงค่าสารประกอบฟีนอลิกสูงสุด (2.85 ± 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (mg/ml)) เช่นเดียวกับร้อยละที่ดีที่สุดของสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในสารสกัดรำข้าวหมักที่มีความชื้นร้อยละ 50 โดย *L. casei* ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง (ดอกมะลิไทยร้อยละ 78.79 และข้าวบ้านหน้าร้อยละ 78.49)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษากการส่งเสริมกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกระชายขาวที่หมักด้วยเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก 10 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ของเชื้อเริ่มต้น (starter culture) และระยะเวลาในการหมักส่งผลต่อการเพิ่มฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมักกระชายขาวได้ ซึ่งแบคทีเรียกรดแลคติกทั้ง 10 สายพันธุ์ ให้ฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วย งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดกระชายขาวหมักที่ใช้เชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกสายพันธุ์แตกต่างกันที่ผ่านการศึกษาคุนสมบัติการเป็นโพรไบโอติก เพื่อเพิ่มคุณค่าทางสารอาหาร เครื่องดื่ม ทางยา และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์และน้ำหมักที่ผลิตได้จะนำไปต่อยอดเกี่ยวกับกลไกการต้านแบคทีเรียก่อโรค เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บรรเทาอาการอักเสบ การผลิตกรดของแบคทีเรียในระหว่างการหมัก สารต้านอนุมูลอิสระ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้การยับยั้งการต้านแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดการอักเสบได้ ซึ่งจะช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์จากพืชสมุนไพรร่วมกับการเสริมฤทธิ์ของแบคทีเรียในการบรรเทาอาการอักเสบต่อไป

แนวทางในการศึกษาต่อยอดจากงานวิจัย คือ การศึกษาปริมาณสารสำคัญและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) เช่น สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic compounds) สารประกอบฟลาโวนอยด์ (total flavonoid compounds) และการศึกษากิจกรรมการยับยั้งจุลินทรีย์ (antimicrobial activity) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำสารสกัดกระชายขาวที่หมักด้วยเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกไปใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมอาหารและทางเภสัชศาสตร์ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำหรับ “ทุนสนับสนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี พ.ศ. 2562” ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับการสนับสนุนเครื่องมือและห้องปฏิบัติการจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

- ทศพล พลคำมาก อีระ ฤทธิรอด และสิรินดา ยุ่นฉลาด. (2559). การเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำพลูควด้วยการผสมกับกระชายดำและหมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก. *วารสารวิจัย มข.* (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 16(1), 64-76.
- ลัญจกร จันทร์อุดม นุชวรา องศาธา ดาวีณาณ์ ยี่ละ และสุไรดา มามะแตหะ. (2559). การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ปอเยาะทุเรียนระหว่างการหมัก, *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 35(2), 1-15.
- Baharudin, M.K.A., Hamid, S.A. and Susanti, D. (2015). Chemical composition and antibacterial activity of essential oils from three aromatic plants of the Zingiberaceae family in Malaysia. *Journal of Physical Science*, 26(1), 71-81.
- Bakar, M.F.A., Mohamed, M., Rahmat, A. and Fry, J. (2009). Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*). *Food Chemistry*, 113(2), 479-483, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.081>.
- Chaiyasut, C., Kusirisin, W., Lailerd, N., Lerttrakarnnon, P., Suttajit, M. and Srichairatanakool, S. (2011). Effects of phenolic compounds of fermented Thai indigenous plants on oxidative stress in streptozotocin-induced diabetic rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011, doi: <https://doi.org/10.1155/2011/749307>.
- Ching, A.Y.L., Wah, T.S., Sukari, M.A., Lian, G.E.C., Rahmani, M. and Khalid, K. (2007). Characterization of flavonoid derivatives from *Boesenbergia rotunda* (L.). *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 11(1), 154-159.

- Chong, T.E., Teck, F.G., Ming, W.S., Rahman, N.A., Khalid, N., Karsani, S.A. and Yusof, R. (2011). Optimization of two-dimensional gel electrophoresis protocols for *Boesenbergia rotunda* in vitro suspension culture. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(16), 3777-3780.
- Chuakul, W. and Boonpleng, A. (2003). Ethnomedical uses of Thai Zingiberaceous plant. *Journal Medicine*, 10(1), 33-39.
- Fooks, L.J., Fuller, R. and Gibson, G.R. (1999) Prebiotics, probiotics and human gut microbiology. *International Dairy Journal*, 9(1), 53-61, doi: [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(99\)00044-8](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(99)00044-8).
- Itsaranuwat, P., Al-Haddad, K.S.H. and Robinson, R.K. (2003) The potential therapeutic benefits of consuming 'health-promoting' fermented dairy products: A brief update. *International Journal of Dairy Technology*, 56(4), 203-210, doi: <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2003.00106.x>.
- Jing, L.J., Bakar, M.F.A., Mohamed, M. and Rahmat, A. (2010). Effects of selected *Boesenbergia* species on the proliferation of several cancer cell lines. *Journal of Pharmacology and Toxicology*, 6(3), 272-282, doi: <https://doi.org/10.3923/jpt.2011.272.282>.
- Kechagia, M., Basoulis, D., Konstantopoulou, S., Dimitriadi, D., Gyftopoulou, K., Skarmoutsou, N. and Fakiri, E.M. (2013). Health benefits of probiotics: A review. *International Scholarly Research Notices*, 2013, doi: <https://doi.org/10.5402/2013/481651>.
- Morikawa, T., Funakoshi, K., Ninomiya, K., Yasuda, D., Miyagawa, K., Matsuda, H. and Yoshikawa, M. (2008). Medicinal foodstuffs. XXXIV. structures of new prenylchalcones and prenylflavanones with TNF- α and aminopeptidase N inhibitory activities from *Boesenbergia rotunda*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 56(7), 956-962, doi: <https://doi.org/10.1248/cpb.56.956>.
- Pesewu, G.A., Cutler, R.R. and Humber, D.P. (2008). Antibacterial activity of plants used in traditional medicines of Ghana with particular reference to MRSA. *Journal of Ethnopharmacology*, 116(1), 102-111, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.11.005>.
- Riswan, S. and Sangat-Roemantyo, H. (2002). Jamu as traditional medicine in java, Indonesia. *South Pacific Study*, 23(1), 1-10.
- Salguero, C.P. (2003). *A Thai herbal: Traditional recipes for health and harmony*. Retrieved 4 June 2024, from: https://thaihealingalliance.com/wp-content/uploads/The_Theory_of_Royal_Thai_medicine.pdf.

- Sawangwan, T., Porncharoennop, C. and Nimraksa, H. (2021). Antioxidant compounds from rice bran fermentation by lactic acid bacteria. *AIMS Agriculture and Food*, 6(2), 578-587, doi: <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021034>.
- Shori, A.B. (2013). Antioxidant activity and viability of lactic acid bacteria in soybean-yogurt made from cow and camel milk. *Journal of Taibah University for Science*, 7(4), 202-208, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2013.06.003>.
- Yusuf, N.A., Annuar, M.S.M. and Khalid, N. (2013). Existence of bioactive flavonoids in rhizomes and plant cell cultures of *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. Kulturpfl. *Australian Journal of Crop Science*, 7(6), 730-734.
- Zhang, L., Tu, Z.C., Yuan, T., Wang, H., Xie, X. and Fu, Z.F. (2016). Antioxidants and α -glucosidase inhibitors from *Ipomoea batatas* leaves identified by bioassay-guided approach and structure-activity relationships. *Food Chemistry*, 208, 61-67, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.079>.

การศึกษาคุณสมบัติโพรไบโอติกและฤทธิ์การทำงานของยีสต์ที่แยกได้ เพื่อใช้เป็นอาหารเสริมในสัตว์

Study of Probiotic Properties and Functional Activities of Yeasts Isolated for Feed Supplement

ชนิษฐา นิवासบุตร¹ หนึ่งนุช ไชยวรรณ¹ ณัฐริการ์ นวลศรี¹ ภัทราวดี เก่งกว่าสิงห์¹
กมลศรี นวลคำ¹ จารุวรรณ สิทธิพล^{1*} วัลลภา หล่อเหลี่ยม² และอิงครัต กิ่งแก้ว³

Kanidta Niwasabutra¹, Neungnut Chaiyawan¹, Nattharika Nualsri¹,
Pattarawadee Kengkwasingh¹, Kamonsri Nuankham¹, Jaruan Sitdhipol^{1*},
Wanlapa Lorliam² and Engkarat Kingkaew³

บทคัดย่อ

การศึกษาคุณสมบัติความเป็นโพรไบโอติกของยีสต์จำนวน 18 ไอโซเลท ซึ่งคัดแยกได้จากข้าวหมักและตัวอย่างต่าง ๆ ในธรรมชาติ พบว่าทุกสายพันธุ์ไม่ย่อยเม็ดเลือดแดงและอยู่รอดได้ในสภาวะคล้ายน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหารที่มีความเป็นกรดและกลื่อน้ำดีที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สายพันธุ์ต่าง ๆ ดังกล่าวถูกพิสูจน์เอกลักษณ์ได้ 7 สายพันธุ์ ได้แก่ *Meyerozyma caribbica* *Saccharomyces cerevisiae* *Pichia kudriavzevii* *Starmerella sorbosivorans* *Kodamaea ohmeri* *Ambrosiozyma kamigamensis* และ *Metschnikowia koreensis* โดยทุกสายพันธุ์มีความสามารถในการยีสต์เกาะเซลล์เยื่อบุผนังลำไส้ได้ดี ไม่มีคุณสมบัติในการดื้อต่อยาปฏิชีวนะที่ใช้ในการยับยั้งการเจริญของกลุ่มเชื้อราและยีสต์ จึงยอมรับได้ว่าเป็นสายพันธุ์ที่มีความปลอดภัย ที่สำคัญมีเพียง 2 สายพันธุ์ คือ *M. caribbica* TISTR 6026 และ *M. koreensis* TISTR 6044 ที่สามารถสร้างไซลานเนส (xylanase) นอกจากนี้มีเชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์ คือ *M. caribbica* TISTR 6017 *S. cerevisiae* TISTR 5104 *S. cerevisiae* TISTR 5328 และ *P. kudriavzevii* TISTR 6028 ที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคที่ใช้ทดสอบได้ จึงถูกนำไปศึกษาคุณสมบัติในการปรับระดับภูมิคุ้มกัน โดยตรวจสอบการกระตุ้นให้เกิดกิจกรรมฟาโกไซโตซิส การสร้างไนตริกออกไซด์ และการยับยั้งการสร้างไซโตไคน์ชนิด TNF- α และ IL-6 ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าวได้แสดงถึงความสำคัญของยีสต์ทั้ง 4 สายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติโพรไบโอติกช่วยปรับระบบภูมิคุ้มกันและจัดการกับเชื้อโรคได้ดี

¹ ศูนย์ความหลากหลายทางชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

Biodiversity Research Centre, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR)

² ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Department of Microbiology, Faculty of Science, Srinakharinwirot University

³ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Department of Biology, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

* Corresponding author e-mail: Jaruan_s@tistr.or.th

Received: 23 August 2023, Revised: 25 September 2023, Accepted: 28 September 2023

คำสำคัญ: ยีสต์ โปรไบโอติก ไซลเนส การปรับสมดุลระบบภูมิคุ้มกัน อาหารเสริมสำหรับสัตว์

Abstract

Eighteen isolated yeasts from rice and natural sources are characterized as probiotics. All strains, at 37°C, lack hemolysis and withstand simulated gastrointestinal conditions and bile salts. Strains were identified as *Meyerozyma caribbica*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia kudriavzevii*, *Starmerella sorbosivorans*, *Kodamaea ohmeri*, *Ambrosiozyma kamigamensis*, and *Metschnikowia koreensis*. Strong adherence to intestinal cells was noted, plus sensitivity to certain antifungals, confirming safety. Notably, *M. caribbica* TISTR 6026 and *M. koreensis* TISTR 6044 demonstrated xylanase activity. Also, *M. caribbica* TISTR 6017, *S. cerevisiae* TISTR 5104, TISTR 5328, and *P. kudriavzevii* TISTR 6028 exhibited antimicrobial action against pathogens. These four strains showed immunomodulatory potential, impacting phagocytosis, nitric oxide, TNF- α , and IL-6. These findings underscore their promise as versatile probiotics for immunomodulation and addressing pathogens, showcasing their broad potential.

Keywords: Yeast, Probiotic, Xylanase, Immunomodulation, Feed supplement

Introduction

In recent times, the European Union has prohibited the utilization of antibiotic feed additives. This regulatory measure stems from concerns regarding the emergence of antibiotic resistance in pathogenic microorganisms, the presence of chemical residues in animal-derived products, and the release of antibiotics into the environment (Retta, 2016). Consequently, as a viable alternative to antibiotics, the application of probiotic additives has gained prominence in efforts to enhance animal health and productivity. Among ruminant animals, including cattle, sheep, and goats, the process of microbial degradation of ingested feed is pivotal. These microorganisms provide essential components such as proteins, vitamins, and short-chain organic acids to the host animals, augmenting their nutrition through intricate fermentation processes (Pinloche *et al.*, 2013). Probiotics, constituting live microorganisms, hold the potential to restore equilibrium within the intestinal microflora. In ruminants, commonly used strains of probiotics encompass lactic acid bacteria and yeast. The integration of probiotics within the rumen ecosystem yields significant implications for animal health and performance. As mentioned earlier, yeasts can prevent pathogenic infection. In intricate ecosystems, microorganisms typically develop strategies to secure access to nutrients and space, thereby ensuring their survival. These strategies typically involve inhibiting other coexisting

microorganisms within the same ecosystem. This inhibition is achieved through several mechanisms, including pH changes, release of inhibitory metabolites, direct nutrient competition, and production of killer toxins (i.e., mycocins). Mycocins can interfere with cell division by inhibiting DNA synthesis, cleaving tRNA, blocking calcium uptake, hydrolyzing β -glucans, disrupting plasma membrane permeability, and causing ion leakage (Gil-Rodríguez and García-Gutiérrez, 2021). This enhancement subsequently manifests in a range of multifaceted benefits, including heightened nutrient intake, improved nutrient digestibility, enhanced growth rates, augmented milk yield and composition, elevated meat production, attenuation of pathogenic load, fortification of immune responses, stabilization of ruminal pH, and acceleration of the establishment of cellulolytic populations within the rumen (Retta, 2016).

The present study explores these promising avenues further by subjecting 18 strains of probiotic yeasts to rigorous screening and comprehensive characterization, thus contributing to our understanding of their functional properties and potential applications.

Materials and Experiment

1. Isolation and identification

Samples from northeastern Thailand were collected and stored at 4°C. Ten-gram samples were suspended in 90 milliliters (ml) of 0.1% peptone solution and mixed using a stomacher. Ten-fold serial dilution was conducted. 0.1 ml of each diluted sample was spread on yeast malt agar and incubated aerobically at 30°C for 24-48 hours. Isolates were purified, identified, and preserved in 15% glycerol for further studies, and the isolates were deposited in TISTR culture collection.

Genomic DNA was extracted following the protocol by Lööke *et al.* (2011). The D1/D2 sequence was amplified, purified, and analyzed using the method described by Lööke *et al.* (2011). Sequences were aligned with GenBank/EMBL/DBJ, and the NCBI BLAST program was used. Alignment was edited, and gaps were removed before constructing the phylogenetic tree. The neighbor-joining method was employed for the phylogenetic tree in MEGA version 11 software (Tamura *et al.*, 2021). Bootstrap resampling (1,000 replications) was used to evaluate the confidence values of nodes for a reliable tree topology (Felsenstein, 1985).

2. Hemolysis activity

Hemolysis activity was assessed using 5% sheep blood agar, as described by Lad *et al.* (2022). Isolates were streaked on 5% sheep blood agar, and incubated aerobically at 30°C for 48 hours.

3. Antibiotic susceptibility

The antibiotic susceptibility of the chosen yeast isolates was assessed using the Method of Antifungal Disc Diffusion Susceptibility Testing of Yeasts, following the guidelines of the Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) (Weinstein and Lewis, 2020). The commercial antibiotic test discs, such as Fluconazole (25 micrograms (µg)), Ketoconazole (15 µg), and Caspofungin (5 µg), were used to determine antibiotic susceptibility.

Yeast isolates were cultivated on Yeast Malt Agar (YM Agar) for 24 hours. An inoculum was prepared by adjusting the yeast culture turbidity to match McFarland standard No. 1 and was then carefully applied to the YM agar. Each antibiotic disc was placed on the inoculated agar under aseptic conditions, with *Candida albicans* used as a positive control. After 24-hour incubation at 30°C, the results were compared with the breakpoint values provided by Espinel-Ingroff (2022). Antibiotic susceptibility was interpreted and reported as "S" (sensitive) or "R" (resistant).

4. Acid and bile salt tolerance

The preparation of simulated gastrointestinal fluid followed the method described by Hyronimus *et al.* (2000). Briefly, 0.1% pepsin was dissolved in 0.85% Sodium Chloride (NaCl), and the pH was adjusted to 2 using 1 molar (M) hydrochloric acid (HCl). Gilliland *et al.* (1984) employed the method to investigate bile salt tolerance. Bile salts were dissolved in 0.85% NaCl at a concentration of 0.3%, with a pH of 8. One milliliter of overnight yeast culture in YM broth was inoculated into 9.0 ml of SGF (pH 2) and incubated anaerobically at 37°C for 3 hours. Then, selected isolates were transferred to a 0.3% bile salt solution (pH 8) and incubated at 37°C for 5 hours. After incubation, viable cells were assessed using the pour-plate method and then incubated at 37°C for 48 hours.

5. HT-29 and Caco-2 cell adhesion assay

The adhesion ability of the yeast strain to human epithelial cells (HT-29 and Caco-2) was assessed following the method outlined by Jacobsen *et al.* (1999). Epithelial cells were seeded in a 24-well culture plate at 1×10^5 cells/well density and incubated for 7 days at 37°C in a 5% CO₂ humidified incubator. After incubation, the cells were washed with phosphate buffer (PBS) (pH 7.2), followed by the addition of 2 ml of serum-free Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) and further incubation at 37°C for 30 minutes. Yeast cultures (1×10^9 Colony forming unit per milliliter (CFU/ml)) were prepared in DMEM, followed by a 1-hour incubation at 37°C in a 5% CO₂. Afterward, non-adherent yeast cells were washed away, and monolayer cells were detached using 1% Triton-X-100, following the method described by Roselli *et al.* (2006). Yeast adhesion

was quantified through pour-plating on YM agar using serial dilutions, followed by incubation at 30°C for 24-48 hours.

6. Antimicrobial activity of isolated yeast strains

Antimicrobial activity was assessed using the spot-on-lawn method (Hudzicki, 2009) against six pathogenic bacteria: TISTR *Escherichia coli* 780, *Pseudomonas aeruginosa* TISTR 1995, *Listeria monocytogenes* TISTR 2196, *Salmonella enteritidis* TISTR 2202, *S. typhimurium* TISTR 2519, and *Staphylococcus aureus* TISTR 1466. To conduct the test, 10 microliters (μl) of yeast suspensions were placed on 15 ml of Yeast Malt agar and incubated at 37°C for 5 days to create yeast spots. The pathogens were cultured under their optimal conditions. The turbidity of the bacterial culture was adjusted to match McFarland standard No. 1 using 0.85% sterile normal saline. Then, 5 ml of the adjusted bacterial culture was overlaid on the yeast spots and incubated at 37°C for 24 hours. Inhibition zones around the yeast indicated antimicrobial activity. The zone diameter was measured and categorized as follows: - (No inhibition zone), + (Inhibition zone diameter ≥ 10-14 millimeter (mm)), ++ (Inhibition zone diameter ≥ 15-20 mm), +++ (Inhibition zone diameter ≥ 20 mm).

7. Cellulase and Xylanase activity

The cellulase and xylanase activity of the yeast strain was screened qualitatively following the method described by Sridevi and Charya (2011). To induce enzyme activity, 0.5% cellulose or Xylan was added as a carbon source in a basal medium. The yeast was then inoculated and incubated at 37°C for 5 days. Colonies that exhibited clear zones around them were selected as cellulase and xylanase-producing strains, indicating their ability to degrade cellulose and Xylan.

8. Cytotoxicity test

The RAW 264.7 mouse macrophage cell line (ATCC® TIB-71™, Virginia, USA) was cultured in DMEM with 10% Fetal Bovine Serum (FBS) and 1% volume/volume (v/v) antimycotic at 37°C in a 5% CO₂ humidified incubator. For the experiment, RAW 264.7 cells were seeded into each well of a 96-well plate at 2x10⁵ cells/well. After 24 hours, cells were pre-incubated with various sample concentrations. 10% of Dimethyl Sulfoxide (DMSO) was used as a positive control, while DMEM supplemented with 10% of FBS was used as a negative control. Cytotoxicity was determined by measuring cell viability. The optical density (OD) was measured at 570 nm. The percentage of cell viability was calculated using the following formula:

$$\text{Cell viability (\%)} = (\text{OD}_s / \text{OD}_m) \times 100$$

Here, OD_s represents the OD values of the stimulated wells, and OD_m represents the OD values of the medium wells.

9. Phagocytic activity

RAW-264.7 cells (1×10^5 cells/ml) were cultured in a 96-well plate using DMEM medium with 10% FBS and incubated at 37°C for 24 hours. After changing the medium, samples were added at 3.13% v/v and incubated for another 24 hours at 37°C. The negative control was DMEM, and the positive control was beta-glucan. Stimulated RAW 264.7 cells were washed twice with PBS to assess phagocytic activity. Then, 100 μ l of 0.075% neutral red in PBS was added to each well, followed by 3 hours of incubation at 37°C. After washing, a mixture of 2% acetic acid and ethanol (1:1) was used to de-stain cells, keeping the plate at 4°C for 1 hour. OD was measured at 540 nanometers (nm). Phagocytic activity (%) was calculated using the following formula:

$$\text{Phagocytic activity (\%)} = (\text{OD}_s / \text{OD}_{pc}) \times 100$$

where OD_s is the OD of stimulated wells, and OD_{pc} is the OD of positive control wells. The untreated cell's phagocytic activity is set as 100%.

10. Nitric oxide production

RAW-264.7 cells (2×10^5 cells/well) were plated in a 96-well culture plate. After 24 hours, cells were pre-incubated with 3.13% (v/v) of the test sample. Lipopolysaccharide (LPS) at 1 microgram per milliliter (μ g/ml) was served as the positive control, and 40 μ g/ml diclofenac (100 μ l) was used as the negative control. Nitric oxide concentration was assessed by using a Griess reagent. The OD was determined at 570 nm and calculated by comparing it with the nitric oxide standard curve.

11. Immunomodulation effects (tumor necrosis factor-alpha (TNF- α) and interleukin-6 (IL-6) productions)

TNF- α and IL-6 levels were assessed using ELISA kits (AlphaLISA Research reagent). Samples or standards (5 μ l) were mixed with freshly prepared MIX reagent (2.5 μ l) and incubated at 23°C for 1 hour. Next, 2X SA-Donor beads were added and incubated at 23°C for 30 minutes in the dark. The OD and the amounts of TNF- α and IL-6 were measured by comparing OD values with the standard curve.

12. Statistical analysis

All experiments were conducted in triplicate. Results were presented as mean $\pm$ standard deviation (SD). All results were subjected to one-way analysis of variance (ANOVA) using SPSS version 22.0 software. For pairwise comparisons, Duncan's Multiple Range Test was applied to mean values with a significance threshold of $p < 0.05$.

Results

1. Isolation and identification

This study obtained 18 diverse yeast isolates from flowers, mushrooms, fermented rice, and natural environments. After purification and initial identification based on morphological and genotypic characteristics, their taxonomic classification was determined through 26S rDNA gene sequencing analysis. The resulting species included *Meyerozyma caribbica* TISTR 6026 and TISTR 6017, *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092, TISTR 5104, TISTR 5161, TISTR 5328, and TISTR 5872, *Pichia kudriavzevii* TISTR 6028, TISTR 6025, TISTR 6022, and TISTR 6030, *Starmerella sorbosivorans* TISTR 6018, TISTR 6027, and TISTR 6019, *Kodamaea ohmeri* TISTR 6020, *Ambrosiozyma kamigamensis* TISTR 6029, and TISTR 6021, and *Metschnikowia koreensis* TISTR 6044. The sequencing analysis revealed a high degree of homology among these species, ranging from 99.43% to 100.00%. For further insights and a visual representation of evolutionary relationships, refer to Figure 1 for detailed information and Table 1 for the comprehensive phylogenetic tree.

2. Hemolysis activity

All eighteen yeast isolates displayed gamma-hemolysis, as seen by the lack of zones around their colonies on the sheep blood agar plate.

3. Antibiotic susceptibility

The susceptibility of all yeast isolates to three antifungal antibiotics, Fluconazole (25 µg), Ketoconazole (15 µg), and Caspofungin (5 µg), was assessed following the Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). These strains demonstrated susceptibility to antifungal antibiotics.

4. Acid and bile salt tolerance

The results demonstrated that the yeast strains exhibited robust survivability, with a survival rate of over 80.00% in acidic conditions and 70.00% in intestinal conditions.

5. HT-29 and Caco-2 cell adhesion assay

The *in vitro* adhesion assay on human colon adenocarcinoma cell lines HT-29 and Caco-2 revealed robust adhesive properties of all yeast strains, with adhesion rates surpassing 60.00% (data not shown).

6. Antimicrobial activity

A coveted trait of probiotic yeasts is their ability to combat human pathogens. The antimicrobial potential of 18 yeast strains was tested via the spot-on-lawn method against six pathogenic bacteria: *E. coli* TISTR 780, *S. aureus* TISTR 1466, *P. aeruginosa* TISTR 1995, *S. typhimurium* TISTR 2519, *S. enteritidis* TISTR 2202, and *L. monocytogenes* TISTR 2196. Table 2 highlights that only four yeast strains, *M. caribbica* TISTR 6017, *S. cerevisiae* TISTR 5104, TISTR 5328, and *P. kudriavzevii* TISTR 6028, exhibited significant antimicrobial activity against these pathogens.

Table 1 Isolation source, and identification of isolates based on 26s rDNA gene sequencing analysis.

No.	Isolated No.	Source	Province	Identification	Similarity (%)
1	YK9/1	Mushroom	Nakhon Ratchasima	<i>M. caribbica</i> TISTR 6026	100.00
2	YE22/1	<i>Great morinda</i>	Nakhon Ratchasima	<i>M. caribbica</i> TISTR 6017	100.00
3	P4	Coconut toddy	Phetchaburi	<i>S. cerevisiae</i> TISTR 5092	100.00
4	P5	Fermented soybean pastes	Pathum thani	<i>S. cerevisiae</i> TISTR 5104	100.00
5	P6	Fermented rice	Phetchaburi	<i>S. cerevisiae</i> TISTR 5161	100.00
6	P8	Fermented rice	Surin	<i>S. cerevisiae</i> TISTR 5328	100.00
7	P9	Fermented rice	Surin	<i>S. cerevisiae</i> TISTR 5872	100.00
8	Y17-1	Yellow elder flower	Chaiyabhum	<i>S. sorbosivorans</i> TISTR 6018	100.00
9	Y17-2	Yellow elder flower	Chaiyabhum	<i>S. sorbosivorans</i> TISTR 6027	100.00
10	Y17-3	Yellow elder flower	Chaiyabhum	<i>S. sorbosivorans</i> TISTR 6019	100.00
11	Y19-1	<i>Kaempferia pulchra</i> Ridl.	Suphan Buri	<i>K. ohmeri</i> TISTR 6020	99.80
12	Y83-2	Tapioca fiber	Chaiyabhum	<i>P. kudriavzevii</i> TISTR 6028	100.00
13	Y101-2/1	Flower	Nakhon Ratchasima	<i>P. kudriavzevii</i> TISTR 6025	100.00
14	Y101-3	Flower	Nakhon Ratchasima	<i>P. kudriavzevii</i> TISTR 6022	100.00
15	Y180-3	<i>Dioscora alata</i>	Nakhon Ratchasima	<i>A. kamigamensis</i> TISTR 6029	100.00
16	SK83-4	<i>Pavetta indica</i> L.	Nakhon Ratchasima	<i>P. kudriavzevii</i> TISTR 6030	100.00
17	SK180-2	<i>D. alata</i>	Nakhon Ratchasima	<i>A. kamigamensis</i> TISTR 6021	100.00
18	SK114-2	<i>P. indica</i> L.	Nakhon Ratchasima	<i>M. koreensis</i> TISTR 6044	99.43

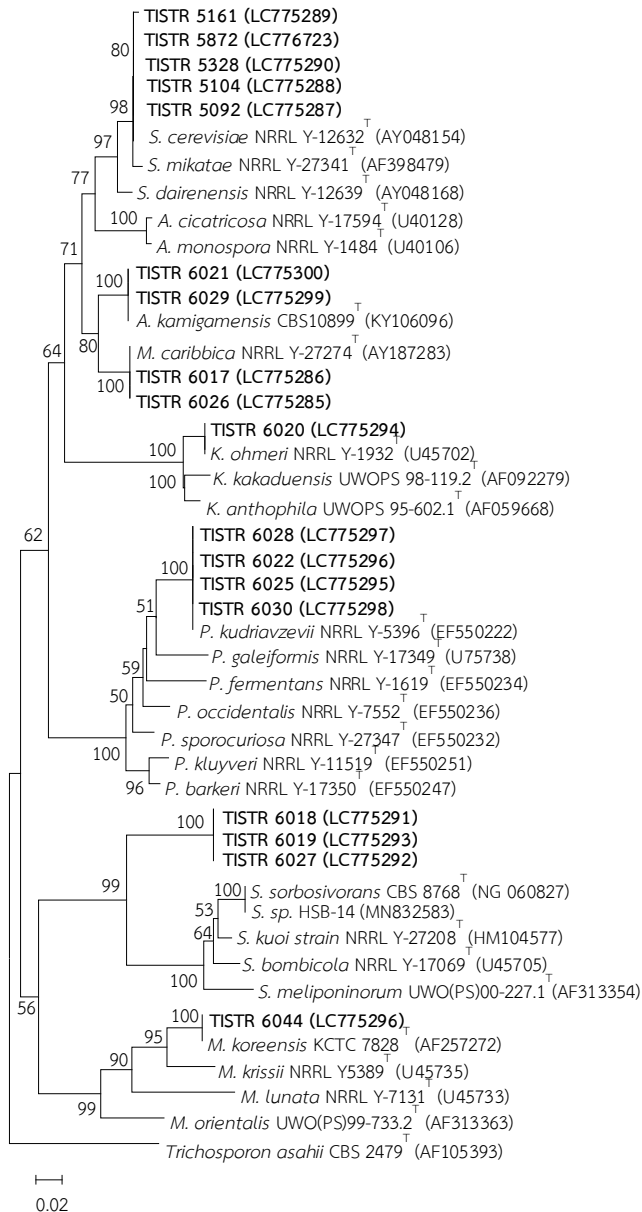


Figure 1 The phylogenetic tree of gene sequences of 26S rRNA was generated by Neighbor-Joining method. Bootstrap values (>50%) based on 1,000 replications are given at branch nodes. Accession of each organism used is given in parentheses.

7. Cellulase and Xylanase activity

Among the 18 yeast strains, *M. caribbica* TISTR 6026 and *M. koreensis* TISTR 6044 exhibited xylanase activity, which was proved by the clear zone around their colonies. However, none of them displayed cellulase activity.

8. Cytotoxicity test

These strains, including *S. cerevisiae* TISTR 5104, TISTR 5328, *M. caribbica* TISTR 6017, and *P. kudriavzevii* TISTR 6028, were tested using the MTT assay at concentrations of 0.00%, 3.13%, 6.25%, 12.50%, 25.00%, and 50.00% (v/v). A key safety criterion was a RAW-264.7 cell survival rate exceeding 80% at each concentration. At 3.13% (v/v), all selected showed survival rates over than 80% (data not shown).

9. Phagocytic activity

The assessment of phagocytic activity revealed significant phagocytic activity in four yeast strains: *S. cerevisiae* TISTR 5328, *M. caribbica* TISTR 6017, *S. cerevisiae* TISTR 5104, and *P. kudriavzevii* TISTR 6028. The uptake percentages for these strains were 60.64 ± 3.45 , 68.86 ± 3.58 , 73.48 ± 3.53 , and 100.00 ± 2.00 , respectively, at a concentration of 3.13% (v/v). These values were compared to the positive control, 100 $\mu\text{g/ml}$ Beta-glucan, as illustrated in Table 3.

10. Nitric oxide production

The NO assay revealed that selected strains triggered and slightly suppressed NO production, differing significantly from the control (Table 3). These strains effectively influenced RAW 264.7 macrophages to generate nitric oxide. Notably, strains TISTR 5104, TISTR 5328, TISTR 6017, and TISTR 6028 induced substantial nitric oxide production in RAW 264.7 cells. At 3.13% (v/v) concentration, nitric oxide values were 37.68 ± 3.68 , 24.65 ± 0.75 , 28.77 ± 0.65 , and 27.42 ± 0.31 , respectively.

11. Immunomodulatory effects

In the TNF- α and IL-6 production assay involving four yeast strains (*S. cerevisiae* TISTR 5104, TISTR 5328, *M. caribbica* TISTR 6017, and *P. kudriavzevii* TISTR 6028) on RAW-264.7 cells at 3.13% (v/v) concentration, strains TISTR 5328 and TISTR 6017 stimulated TNF- α production with values of $1,136.21 \pm 297.18$ picograms per milliliter (pg/ml) and $1,419.10 \pm 814.12$ pg/ml, respectively. Notably, these values were lower than the positive control producing TNF- α at $1,669.00 \pm 1.99$ pg/ml. Conversely, strain TISTR 5104 and strain TISTR 6028 induced TNF- α production with values of $4,478.41 \pm 567.44$ and $1,725.58 \pm 86.92$ pg/ml, respectively, significantly exceeding the LPS positive control (Figure 2). Among these strains, strain TISTR 5104 exhibited the highest capacity to stimulate IL-6 production ($67,455.56 \pm 2,411.11$ pg/ml), followed by strain TISTR 5328 ($42,500.00 \pm 11.11$ pg/ml), strain TISTR 6017 ($32,916.67 \pm 1661.11$ pg/ml), and strain TISTR 6028 ($6,421.00 \pm 412.22$ pg/ml) (Figure 2).

Table 2 Antimicrobial activity of yeast strains against six pathogenic bacteria.

Strain	Antimicrobial activity					
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. Typhimurium</i>	<i>S. enteritidis</i>	<i>L. monocytogenes</i>
	TISTR 780	TISTR 1466	TISTR 1995	TISTR 2519	TISTR 2202	TISTR 2196
<i>M. caribbica</i> TISTR 6017	++	+++	+++	-	+++	-
<i>S. cerevisiae</i> TISTR 5104	-	-	-	++	++	++
<i>S. cerevisiae</i> TISTR 5328	-	-	-	++	+	++
<i>P. kudriavzevii</i> TISTR 6028	-	+++	-	-	-	+++

Note: - Diameter of inhibition clear zone (mm): - (no inhibition zone), + (diameter ≥ 10 -14 mm), ++ (diameter ≥ 15 -20 mm), +++ (diameter ≥ 20 mm)

Table 3 Phagocytosis and nitric oxide modulating effects of selected yeast strains on RAW 264.7 cell.

Treatments	Phagocytosis (%)	Nitric oxide production (μM)
<i>S. cerevisiae</i> TISTR 5104	73.48 $\pm$ 3.53 ^b	37.68 $\pm$ 3.68 ^a
<i>S. cerevisiae</i> TISTR 5328	60.64 $\pm$ 3.45 ^b	24.65 $\pm$ 0.75 ^c
<i>M. caribbica</i> TISTR 6017	68.86 $\pm$ 3.58 ^b	28.77 $\pm$ 0.65 ^b
<i>P. kudriavzevii</i> TISTR 6028	104.54 $\pm$ 2.06 ^a	27.42 $\pm$ 0.31 ^{b,c}
Negative control	Medium 0.05 $\pm$ 2.10 ^c	Diclofenac (40 $\mu\text{g/ml}$) 19.05 $\pm$ 0.53 ^d
Positive control	Beta-glucan (100 $\mu\text{g/ml}$) 100.35 $\pm$ 0.70 ^a	LPS (1 $\mu\text{g/ml}$) 28.41 $\pm$ 0.70 ^b

Note: - Significantly different results were indicated by superscripts, employing Duncan's method for multiple comparisons ($p < 0.05$). The highest value is denoted by the letter 'a,' ordered in descending sequence.

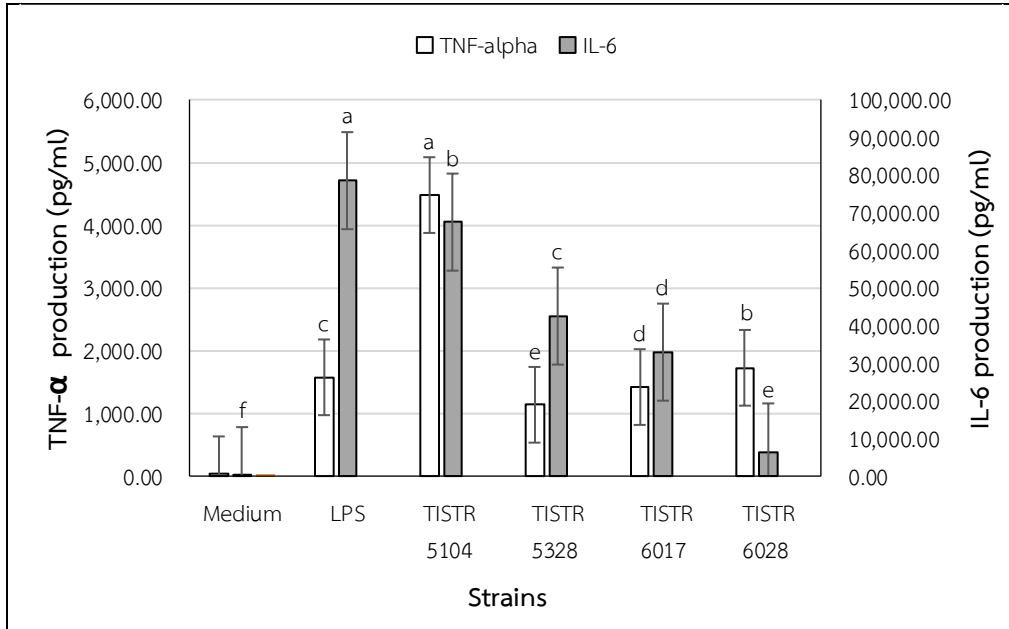


Figure 2 TNF- α and IL-6 productions (pg/ml) in RAW-264.7 cell induced by yeast strains, *S. cerevisiae* TISTR 5104, *S. cerevisiae* TISTR 5328, *M. caribbica* TISTR 6017 and *P. kudriavzevii* TISTR 6028. LPS and medium were used as positive control and negative control. Significantly different results were indicated by superscripts, employing Duncan's method for multiple comparisons ($p < 0.05$). The highest value is denoted by the letter 'a,' ordered in descending sequence. Letters above the bars coded by different colors represent TNF- α and IL-6 productions, respectively. According to Duncan's test ($p < 0.05$), the levels not connected by the same letter are significantly different. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article).

Discussion

This study evaluates the probiotic properties and potential benefits of 18 yeast strains isolated from natural and fermented sources. The results show that these yeast strains are safe, survive well in gastrointestinal conditions, have antimicrobial properties, and can support immune function, making them strong candidates for probiotics. None of the strains showed hemolytic activity (gamma-hemolysis), confirming they are non-pathogenic and safe. Gamma-hemolysis, which indicates no breakdown of blood cells, minimizes health risks. Additionally, the strains were sensitive to antifungal antibiotics, reducing the risk of drug resistance and ensuring they could work well with medical treatments. This aligns with studies by Abulreesh *et al.* (2019) and Maciel *et al.*

(2019), which reported similar antifungal sensitivity in yeast species. The yeast strains also survived in harsh conditions, with over 80% surviving in acidic environments and 70% in bile salt conditions, simulating the human digestive system. This strong survival rate suggests they could thrive in the gut. All strains tested showed survival rates above 70%, making them reliable options for probiotic use. Furthermore, these yeasts showed good adhesion to intestinal cells (HT-29 and Caco-2), with adhesion rates exceeding 60%. This means they can effectively colonize the gut and interact with intestinal cells, a crucial factor for probiotics to function well.

Four strains—*M. caribbica* TISTR 6017, *S. cerevisiae* TISTR 5104 and TISTR 5328, and *P. kudriavzevii* TISTR 6028 stood out for their antimicrobial properties. They inhibited harmful bacteria like *E. coli* and *S. aureus*, showing their potential to support gut health by controlling pathogens. Studies by Rajkowska and Kunicka-Styczyńska (2012) and Syal and Vohra (2013) reported antimicrobial effects in yeasts. Other research supports these findings: *S. cerevisiae* IFST062013 inhibits bacteria and fungi (Fakruddin *et al.*, 2017), *M. caribbica* can control *Penicillium expansum* (Qiu *et al.*, 2022), and *P. kudriavzevii* has antibacterial properties (Choińska *et al.*, 2020). Additionally, two strains—*M. caribbica* TISTR 6026 and *M. koreensis* TISTR 6044—produced xylanase, an enzyme that helps break down dietary fibers. This activity could improve animal digestion, although the lack of cellulase activity limits their role in breaking down cellulose.

Safety testing confirmed that these strains are non-toxic, with over 80% of RAW-264.7 cells remaining viable at all tested concentrations. This demonstrates their safety for further applications. The selected strains also showed strong immune-boosting effects. They enhanced the activity of immune cells and increased the production of key immune signals like TNF- α and IL-6. *S. cerevisiae* TISTR 5104 was particularly effective, showing the highest immune stimulation. Controlled immune responses triggered by these strains could help manage infections or inflammation (Rocha-Ramírez *et al.*, 2020). Yeasts activate defenses by increasing IL-6 and TNF- α production (Fidan *et al.*, 2009). Beta-glucans, a key component of yeast cell walls, likely contribute to these effects (Wang *et al.*, 2020), while other cell components may influence nitric oxide production and immune responses (Kingkaew *et al.*, 2022).

In summary, *S. cerevisiae* TISTR 5104, TISTR 5328, *M. caribbica* TISTR 6017, and *P. kudriavzevii* TISTR 6028 show the most promise as probiotics due to their safety, ability to survive in the gut, antimicrobial activity, and immune-boosting effects. These strains have significant potential for functional foods, animal feed supplements, and therapies to improve gut health and immunity. Further studies are needed to confirm these findings and explore how these strains work, especially in living organisms.

Conclusions

This study aimed to identify and assess 18 yeast isolates for potential probiotic use from various sources. Using 26S rDNA gene sequencing, species such as *M. caribbica*, *S. cerevisiae*, *P. kudriavzevii*, *S. sorbosivorans*, *K. ohmeri*, *A. kamigamensis*, and *M. koreensis* were identified. These strains demonstrated safety, tolerance to gastrointestinal conditions, adhesive properties to human cells, and antimicrobial potential against pathogenic bacteria. Notably, *M. caribbica* and *M. koreensis* exhibited xylanase activity. Certain strains (*S. cerevisiae*, *M. caribbica*, and *P. kudriavzevii*) were non-cytotoxic and showed immune-modulating effects in macrophages. This study highlights these yeast strains' taxonomy, safety, antimicrobial properties, survival capabilities, and immune-modulating potential, suggesting their value as probiotics for diverse applications, including immune therapies and combating bacterial pathogens. Further exploration of these strains is warranted.

References

- Abulreesh, H.H., Organji, S.R., Elbanna, K., Osman, G.E.H., Almalki, M.H.K., Abdel-Malek, A.Y., Ghyathuddin, A.A.K. and Ahmad, I. (2019). Diversity, virulence factors, and antifungal susceptibility patterns of pathogenic and opportunistic yeast species in rock pigeon (*Columba livia*) fecal droppings in Western Saudi Arabia. *Polish Journal of Microbiology*, 68(4), 493-504, doi: <https://doi.org/10.33073/pjm-2019-049>.
- Choińska, R., Piasecka-Jóźwiak, K., Chabłowska, B., Dumka, J. and Łukaszewicz, A. (2020). Biocontrol ability and volatile organic compounds production as a putative mode of action of yeast strains isolated from organic grapes and rye grains. *Antonie van Leeuwenhoek*, 113, 1135-1146, doi: <https://doi.org/10.1007/s10482-020-01420-7>.
- Espinel-Ingroff, A. (2022). Commercial methods for antifungal susceptibility testing of yeasts: Strengths and limitations as predictors of resistance. *Journal of Fungi*, 8(3), doi: <https://doi.org/10.3390/jof8030309>.
- Fakruddin, M., Hossain, M.N. and Ahmed, M.M. (2017). Antimicrobial and antioxidant activities of *Saccharomyces cerevisiae* IFST062013, a potential probiotic. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 17(64), doi: <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1591-9>.
- Felsenstein, J. (1985). Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. *Evolution*, 39(4), 783-791, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1985.tb00420.x>.
- Fidan, I., Kalkanci, A., Yesilyurt, E., Yalcin, B., Erdal, B., Kustimur, S. and Imir, T. (2009). Effects of *Saccharomyces boulardii* on cytokine secretion from intraepithelial lymphocytes infected by *Escherichia coli* and *Candida albicans*. *Mycoses*, 52(1), 29-34, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0507.2008.01545.x>.

- Gilliland, S.E., Staley, T.E. and Bush, L.J. (1984). Importance of bile tolerance of *Lactobacillus acidophilus* used as a dietary adjunct. *Journal of Dairy Science*, 67(12), 3045-3051, doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(84\)81670-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81670-7).
- Gil-Rodríguez, A.M. and Garcia-Gutierrez, E. (2021). Antimicrobial mechanisms and applications of yeasts. *Advances in Applied Microbiology*, 114, 37-72, doi: <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2020.11.002>.
- Hudzicki, J. (2009). Kirby-Bauer disk diffusion susceptibility test protocol. *American Society for Microbiology*, 15, 55-63.
- Hyronimus, B., Le-Marrec, C., Sassi, A.H. and Deschamps, A. (2000). Acid and bile tolerance of spore-forming lactic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 61(2-3), 193-197, doi: [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(00\)00366-4](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(00)00366-4).
- Jacobsen, C.N., Nielsen, V.R., Hayford, A.E., Møller, P.L., Michaelsen, K.F., Paerregaard, A., Sandstrom, B., Tvede, M. and Jakobsen, M. (1999). Screening of probiotic activities of forty-seven strains of *Lactobacillus* spp. by in vitro techniques and evaluation of the colonization ability of five selected strains in humans. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(11), 4949-4956, doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.65.11.4949-4956.1999>.
- Kingkaew, E., Konno, H., Hosaka, Y., Phongsopitanun, W. and Tanasupawat, S. (2022). Distribution, cholesterol-lowering and immunomodulation effects of lactic acid bacteria from fermented mussel (Hoi-dong). *Heliyon*, 8(12), doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12272>.
- Lad, V., Panchal, D., Pithawala, M., Dwivedi, M.K. and Amaresan, N. (2022). Determination of hemolytic activity in biosafety assessment of probiotic potential. In Dwivedi, M.K., Amaresan, N., Sankaranarayanan, A. and Begum, R. (Eds.). *Biosafety assessment of probiotic potential, methods and protocols in food science*, pp. 43-46. New York: Humana.
- Lööke, M., Kristjuhan, K. and Kristjuhan, A. (2011). Extraction of genomic DNA from yeasts for PCR-based applications. *Biotechniques*, 50(5), 325-328, doi: <https://doi.org/10.2144/000113672>.
- Maciel, N.O.P., Johann, S., Brandão, L.R., Kucharíková, S., Morais, C.G., Oliveira, A.P., Freitas, G.J.C., Borelli, B.M., Pellizzari, F.M., Santos, D.A., Van Dijck, P. and Rosa, C.A. (2019). Occurrence, antifungal susceptibility, and virulence factors of opportunistic yeasts isolated from Brazilian beaches. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 114, doi: <https://doi.org/10.1590/0074-02760180566>.
- Pinloche, E., McEwan, N., Marden, J.P., Bayourthe, C., Auclair, E. and Newbold, C.J. (2013). The effects of a probiotic yeast on the bacterial diversity and population structure in the rumen of cattle. *Plos One*, 8(7), doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067824>.

- Qiu, J.E., Zhao, L., Jiang, S., Godana, E.A., Zhang, X. and Zhang, H. (2022). Efficacy of *Meyerozyma caribbica* in the biocontrol of blue mold in kiwifruit and mechanisms involved. *Biological Control*, 173, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105000>.
- Rajkowska, K. and Kunicka-Styczyńska, A. (2012). Probiotic activity of *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* against human pathogens. *Food Technology and Biotechnology*, 50(2), 230-236.
- Retta, K.S. (2016). Role of probiotics in rumen fermentation and animal performance: A review. *International Journal of Livestock Production*, 7(5), 24-32, doi: <https://doi.org/10.5897/IJLP2016.0285>.
- Rocha-Ramírez, L.M., Hernández-Ochoa, B., Gómez-Manzo, S., Marcial-Quino, J., Cárdenas-Rodríguez, N., Centeno-Leija, S. and García-Garibay, M. (2020). Evaluation of immunomodulatory activities of the heat-killed probiotic strain *Lactobacillus casei* IMAU60214 on macrophages in vitro. *Microorganisms*, 8(1), doi: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8010079>.
- Roselli, M., Finamore, A., Britti, M.S. and Mengheri, E. (2006). Probiotic bacteria *Bifidobacterium animalis* MB5 and *Lactobacillus rhamnosus* GG protect intestinal Caco-2 cells from the inflammation-associated response induced by enterotoxigenic *Escherichia coli* K88. *British Journal of Nutrition*, 95(6), 1177-1184, doi: <https://doi.org/10.1079/BJN20051681>.
- Sridevi, B. and Charya, M.A.S. (2011). Isolation, identification and screening of potential cellulase-free xylanase producing fungi. *African Journal of Biotechnology*, 10(22), 4624-4630.
- Syal, P. and Vohra, A. (2013). Probiotic potential of yeasts isolated from traditional Indian fermented foods. *International Journal of Microbiology Research*, 5(2), 390-398, doi: <http://dx.doi.org/10.9735/0975-5276.5.2.390-398>.
- Tamura, K., Stecher, G. and Kumar, S. (2021). MEGA11: Molecular evolutionary genetics analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 38(7), 3022-3027, doi: <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>.
- Wang, H., Chen, G., Li, X., Zheng, F. and Zeng, X. (2020). Yeast β -glucan, a potential prebiotic, showed a similar probiotic activity to inulin. *Food and Function*, 11(12), 10386-10396, doi: <https://doi.org/10.1039/d0fo02224a>.
- Weinstein, M.P. and Lewis, J.S. (2020). The clinical and laboratory standards institute subcommittee on antimicrobial susceptibility testing: Background, organization, functions, and processes. *Journal of Clinical Microbiology*, 58(3), doi: <https://doi.org/10.1128/jcm.01864-19>.

การเจริญเติบโตของต้นเลื้อดมังกรภายใต้ระบบการปลูกเลี้ยงต่างกัน

Growth of *Peristrophe roxburghiana* Plants under Different Growing Systems

อนันต์ พิริยะภัทรกิจ^{1*} พรกมล รูปเลิศ¹ พัชรี เดชเลย์¹ และสุขุมารณ์ แสงงาม²
Anan Piriayaphattarakit^{1*} Ponkamon Ruploet¹ Patcharee Dechlay¹
and Sukhumaporn Saeng-ngam²

บทคัดย่อ

การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นเลื้อดมังกรภายใต้ระบบการปลูกเลี้ยงต่างกัน ณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 3 ระบบการปลูก จำนวน 5 ซ้ำ ได้แก่ การปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้ง การปลูกเลี้ยงในระบบพรางแสง และการปลูกเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ พบว่าต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงภายใต้ระบบต่าง ๆ ในช่วงอายุ 30 และ 60 วันหลังย้ายปลูก มีการเจริญเติบโตด้านความกว้างทรงพุ่มไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์มีความสูงต้นเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมา คือ ต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้งและระบบพรางแสง นอกจากนี้ต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้งมีจำนวนยอดต่อต้นมากที่สุด รองลงมา คือ ต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบพรางแสงและระบบไฮโดรโปนิคส์ ตามลำดับ โดยขอบใบมีลักษณะห่อและม้วนเล็กน้อย นอกจากนี้จำนวนใบต่อต้นของต้นเลื้อดมังกรที่เลี้ยงในระบบปลูกกลางแจ้งมีจำนวนมากกว่าการปลูกเลี้ยงในระบบอื่น ๆ ส่วนใบของต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบพรางแสงและระบบไฮโดรโปนิคส์มีขนาดไม่แตกต่างกัน ดังนั้นควรเลือกปลูกต้นเลื้อดมังกรในระบบกลางแจ้งเหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ: ต้นเลื้อดมังกร การเจริญเติบโต ระบบการปลูกเลี้ยง

¹ ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

² ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

* Corresponding author e-mail: anan_p@tistr.or.th

Received: 15 September 2022, Revised: 13 September 2023, Accepted: 29 September 2023

Abstract

This research aimed to study the growth proper cultivation system of *Peristrophe roxburghiana* at Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), Khlong Ha Sub-district, Khlong Luang District, Pathum Thani Province. A Completely Randomized Design (CRD) trial was conducted planned, consisting of 3 treatments with five replications, namely, an outdoor system, a shaded net system, and hydroponic cultivation systems. When studying the growth, it was found that *P. roxburghiana* plants grown under various planting systems were 30 and 60 days after transplanting. There was no difference in growth in canopy width. However, *P. roxburghiana* plants grown in a hydroponic cultivation system had the highest average plant height, followed by the outdoor and shaded net systems. In addition, plantings in the outdoor system had the highest number of shoots per plant, followed by the shaded net system, and hydroponic cultivation systems, respectively. The edges of the leaves have a wrapped appearance and roll a little. In addition, the number of leaves per plant in outdoor planting areas was higher than in other planting systems. In hydroponic cultivation systems, the leaves are no different in size. Therefore, *P. roxburghiana* planting in the outdoor system is the most appropriate.

Keywords: *Peristrophe roxburghiana*, Growth, Cultivation system

บทนำ

ต้นเลื้อยมังกร (magenta plant) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Peristrophe roxburghiana* อยู่ในวงศ์ Acanthaceae มีถิ่นกำเนิดบริเวณตอนใต้ของสาธารณรัฐประชาชนจีน จัดเป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก สามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณพื้นที่ชื้นและดินร่วนปนทราย สูงประมาณ 1 เมตร มีกิ่งก้านมาก ใบเดี่ยว ปลายใบแหลม สีเขียว มีขนยาวทั้งใบ ใบย่อยแหลม (Oguzie *et al.*, 2021) ดอกเดี่ยวรูปแตร ออกเป็นกระจุกบริเวณซอกใบและปลายยอด ดอกบานเต็มที่สีชมพูอ่อน กลีบดอก 2-3 กลีบ ลักษณะเด่นของต้นเลื้อยมังกร เมื่อนำมาทำแห้งให้เป็นชาสมุนไพร ชงกับน้ำจะได้เครื่องดื่มชาเลื้อยมังกรที่มีสีแดง ปัจจุบันใบชาเลื้อยมังกรไม่เพียงแต่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ แต่ยังมีประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมอาหารเพราะมีสารให้สี นอกจากนี้ต้นเลื้อยมังกรยังเจริญเติบโตได้ง่ายไม่ต้องการธาตุอาหารสูง จึงเหมาะสำหรับเป็นพืชเศรษฐกิจที่ควรพัฒนาและส่งเสริมให้กับเกษตรกร (จารุณี และ นิจปวีรชชา, 2565) ใบเลื้อยมังกรถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเป็นเม็ดสี เพื่อทดแทนสีสังเคราะห์ ในอาหารแบบดั้งเดิม ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายรวมทั้งถูกใช้ในอุตสาหกรรมสีย้อมจากพืช เช่น การใช้สารสกัดจากใบย้อมสำหรับวัสดุสิ่งทอ เช่น ผ้าสิ่งทอหรือการทำสีผ้า (Oguzie *et al.*, 2021) สีม่วงหรือสีส้มแดงได้มาจากใบ และกิ่งก้านใช้สำหรับระบายสีผ้าและปุพรม ไม่ว่าจะเป็นใช้เดี่ยว ๆ หรือผสมกับพืชชนิดอื่น ๆ และนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ สรรพคุณทั่วไปของชาเลื้อยมังกร คือ รักษาผิวหนัง

กำจัดเศษหะ หลอดลมอักเสบเฉียบพลัน ด้านพืช ด้านการอักเสบการติดเชื้อในหลอดลม ตับอักเสบ เบาหวาน ลดไขมัน (Khue *et al.*, 2014) และระดับคอเรสเตอรอลในโลหิต ควบคุมระดับน้ำตาลในโลหิต บำรุงโลหิต ลดความดันโลหิตสูง และบำรุงสายตา (Aluko *et al.*, 2019) การปลูกเลี้ยงต้นเลื้อดมังกรในประเทศไทยควรปลูกในพื้นที่สูง มีอากาศหนาวเย็น และดินมีความอุดมสมบูรณ์ โดยพบว่า มีการเพาะปลูกในพื้นที่จังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่ นิยมใช้พันธุ์ที่ปลูกเลี้ยงตั้งแต่ดั้งเดิม ซึ่งขยายพันธุ์โดยวิธีการปักชำต้น ส่วนการปลูกเลี้ยงในพื้นที่อื่น ๆ ยังไม่พบ อาจเป็นเพราะยังไม่มีมีการศึกษาระบบการปลูกเลี้ยงในพื้นที่อื่นว่าสามารถปลูกต้นเลื้อดมังกรได้ รวมถึงการเจริญเติบโตตามลักษณะนิสัยของพืชชนิดนี้ เพื่อนำไปส่งเสริมหรือถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับเกษตรกร ผู้ประกอบการ และผู้ที่สนใจในรูปแบบของการปลูกเลี้ยงที่เหมาะสม และปริมาณผลผลิตเพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาระบบการปลูกเลี้ยงต้นเลื้อดมังกรในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี ที่มีการจัดการระบบการปลูกเลี้ยงต่างกัน ได้แก่ การปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้ง ระบบพรางแสง และระบบไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ เช่น ศัตรูพืช ดิน การให้อาหารพืช เป็นต้น ทำให้สามารถลดปริมาณสารเคมีที่ใช้กับพืชได้ (อนันต์ และคณะ, 2565) เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตของต้นเลื้อดมังกร เพื่อนำไปถ่ายทอดองค์ความรู้หรือส่งเสริมให้กับเกษตรกร ผู้ประกอบการ และผู้ที่สนใจสำหรับการผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาการเจริญเติบโตของต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบต่าง ๆ และปริมาณผลผลิตของต้นเลื้อดมังกร ณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) ประกอบด้วย 3 ระบบการปลูก จำนวน 5 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น ได้แก่ การปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้ง (outdoor system) การปลูกเลี้ยงในระบบพรางแสง (shaded net system) และการปลูกเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ (hydroponics system) ซึ่งวิธีการปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้ง และระบบพรางแสง ใช้กระถางดำขนาด 20 นิ้ว โดยใช้วัสดุปลูก ได้แก่ ดินผสมใบก้ามปูและมะพร้าวสับ ในอัตราส่วน 1:1 ในระบบพรางแสงใช้สแลนสีดำกรองแสง 50 เปอร์เซ็นต์ ปลูกเลี้ยงโดยใช้ต้นกล้าปักชำที่มีอายุ 14 วัน หลังย้ายปลูก หลังปักชำ นำมาปลูกลงกระถาง โดยมีระยะปลูกระหว่างต้น 10 เซนติเมตร การปฏิบัติดูแลรักษาหลังการปลูก โดยรดน้ำอย่างสม่ำเสมอ (เช้าและเย็น) กำจัดวัชพืชโดยใช้แรงงานคน ไม่มีการเติมปุ๋ยและไม่ใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชตลอดการทดลอง ส่วนการปลูกเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ โดยนำต้นกล้าปักชำใส่ฟองน้ำและถ้วยปลูก ปลูกลงบนกล่องโฟมขนาด 30×60 เซนติเมตร ใส่น้ำให้มีความสูงระดับ 30 เซนติเมตร ใช้ระยะปลูกระหว่างต้น 5 เซนติเมตร โดยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากในระดับลึก (deep flow technique: DFT) เตรียมปั๊มลมเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ เติมสารละลายธาตุอาหารพืช ปรับค่าการนำไฟฟ้า (EC) อยู่ที่ประมาณ 1.5-2.0 เดซิซีเมนต่อเมตร และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6-7 และย้ายต้นกล้าเลื้อดมังกรลงปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ภายนอกโรงเรือนปลูกพืช โดยใช้สารละลายธาตุอาหารพืช สูตรเอ (stock solution A)

(แมกนีเซียมซันเฟต 2,000 กรัม โพแทสเซียมไนเตรด 3,200 กรัม แอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 500 กรัม โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 320 กรัม แมงกานีส 20 กรัม และจุลธาตุรวม 40 กรัม) และสารละลายธาตุอาหารพืช สูตรบี (stock solution B) (แคลเซียมไนเตรด 4,000 กรัม ธาตุเหล็ก คีเลตอีดีทีเอ (Fe-EDTA) 13 เปอร์เซนต์ 240 กรัม และจุลธาตุรวม 80 กรัม) ความเข้มข้น 200 เท่า (ผสมอัตราส่วน 1 ลิตร ต่อน้ำ 20 ลิตร)

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นเลื้อดมังกรที่ช่วงอายุ 30 และ 60 วัน หลังย้ายปลูก ได้แก่ ความกว้างทรงพุ่ม (bush width) (เซนติเมตร) โดยวัดส่วนของต้นแม่พันธุ์ที่มีขนาดกว้างที่สุด ด้วยไม้บรรทัด ความสูงต้น (เซนติเมตร) โดยวัดจากโคนต้นถึงปลายยอดด้วยไม้บรรทัด จำนวนยอดต่อต้น (ยอด) โดยนับจำนวนยอดที่แตกจากต้นแม่พันธุ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบ (มิลลิเมตร) โดยวัดจากจุดกึ่งกลางของใบด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งด้วยไม้บรรทัด จำนวนใบต่อต้น (ใบ) โดยนับจำนวนใบทั้งหมดของต้นแม่พันธุ์ ความเขียวใบ (SPAD unit) ด้วยเครื่อง Chlorophyll Meter SPAD-502 Plus ผลผลิตน้ำหนัสด (กรัม) โดยชั่งน้ำหนักสดต้น ใบ และราก เก็บผลผลิตของต้นเลื้อดมังกรที่อายุ 60 วัน หลังย้ายปลูก วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 26 และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้ค่า least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ผลการวิจัย

การเจริญเติบโตของต้นเลื้อดมังกรด้านความกว้างทรงพุ่ม พบว่าต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบพรางแสง ระบบกลางแจ้ง และระบบไฮโดรโปนิคส์ ในช่วงอายุ 30 วัน หลังย้ายปลูก มีขนาดความกว้างทรงพุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 1) โดยมีขนาดความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยเท่ากับ 21.43 18.97 และ 18.37 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบพรางแสง มีขนาดความกว้างทรงพุ่มมากที่สุด เนื่องจากต้นเลื้อดมังกรได้รับแสงในปริมาณที่น้อยกว่าการปลูกในระบบกลางแจ้งและในระบบไฮโดรโปนิคส์ จึงส่งผลให้มีการแตกทรงพุ่มที่กว้างมากกว่าการปลูกในระบบอื่น ๆ อย่างไรก็ตามเมื่อถึงช่วงอายุ 60 วัน หลังย้ายปลูก การเจริญเติบโตด้านความกว้างของทรงพุ่มของต้นเลื้อดมังกรที่เลี้ยงในระบบการปลูกทั้ง 3 ระบบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การเจริญเติบโตของต้นเลื้อดมังกรด้านความสูงต้น พบว่าต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบต่างกัน ในช่วงอายุ 30 วัน หลังย้ายปลูก มีความสูงต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าพิสัยความสูงต้นเฉลี่ยระหว่าง 20.44-24.84 เซนติเมตร ส่วนในช่วงอายุ 60 วัน หลังย้ายปลูก พบว่าต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์มีความสูงต้นสูงที่สุด เท่ากับ 46.32 เซนติเมตร รองลงมา คือ ต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้งและในระบบพรางแสง โดยมีความสูงต้นเฉลี่ยเท่ากับ 33.94 และ 39.77 เซนติเมตร ตามลำดับ

การเจริญเติบโตของต้นเลื้อดมังกรด้านจำนวนยอดต่อต้น พบว่าต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบต่างกัน มีจำนวนยอดต่อต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในช่วงอายุ 30 และ 60 วัน หลังย้ายปลูก ต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้งให้จำนวนยอดมากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 7.28 และ 18.58 ยอดต่อต้น ตามลำดับ รองลงมา คือ ต้นเลื้อดมังกรที่เลี้ยงในระบบพรางแสงให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 และ 9.28 ยอดต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่ต้นเลื้อดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.17 และ 6.51 ยอดต่อต้น ตามลำดับ

การเจริญเติบโตของต้นเลือดม้งกรด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบ พบว่าต้นเลือดม้งกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบต่างกัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในช่วงอายุ 30 และ 60 วัน หลังย้ายปลูก ต้นเลือดม้งกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิกส์ให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบกว้างที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 4.03 และ 4.15 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมา คือ ต้นเลือดม้งกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบพรางแสง ให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.85 และ 4.14 เซนติเมตร ตามลำดับ และต้นเลือดม้งกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้ง ให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.29 และ 2.52 เซนติเมตร ตามลำดับ

การเจริญเติบโตของต้นเลือดม้งกรด้านจำนวนใบต่อต้น พบว่าต้นเลือดม้งกรในช่วงอายุ 30 วัน หลังย้ายปลูก ที่ปลูกเลี้ยงในระบบต่างกัน มีจำนวนใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีจำนวนใบเฉลี่ยระหว่าง 17.20-25.99 ใบต่อต้น ในขณะที่ในช่วงอายุ 60 วัน หลังย้ายปลูก พบว่าต้นเลือดม้งกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้งมีจำนวนใบต่อต้นมากที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 152 ใบต่อต้น ส่วนต้นเลือดม้งกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบพรางแสงและระบบไฮโดรโปนิกส์ มีจำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 75 และ 60 ใบต่อต้นตามลำดับ

การเจริญเติบโตของต้นเลือดม้งกรด้านความเขียวใบ พบว่าต้นเลือดม้งกรในช่วงอายุ 30 วัน หลังย้ายปลูก ที่ปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้ง ระบบพรางแสง และระบบไฮโดรโปนิกส์ มีความเขียวใบเท่ากับ 49.21 42.82 และ 40.26 SPAD unit ตามลำดับ และในช่วงอายุ 60 วัน หลังย้ายปลูก พบว่าต้นเลือดม้งกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้ง ระบบพรางแสง และระบบไฮโดรโปนิกส์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์หรือความเข้มของสีใบเท่ากับ 54.10 51.43 และ 44.04 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นเลือดม้งกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบต่างกัน ได้แก่ ระบบกลางแจ้ง (ก) ระบบพรางแสง (ข) และระบบไฮโดรโปนิกส์ (ค)

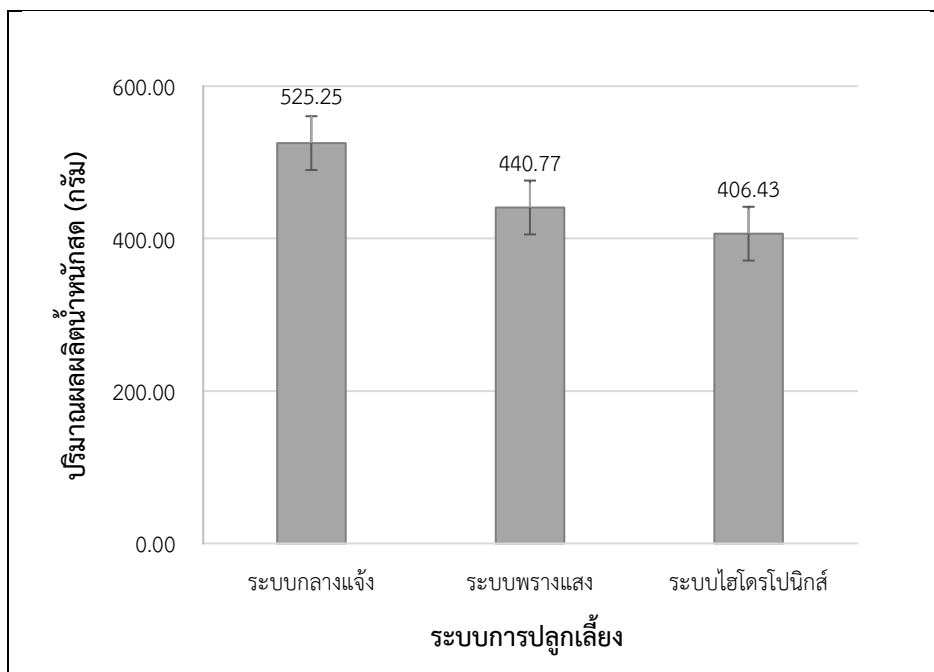
ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของต้นเลื้อดมังกรในช่วงอายุ 30 และ 60 วัน หลังย้ายปลูก ภายใต้การปลูกเลี้ยงในระบบต่างกัน

การปลูกเลี้ยง	การเจริญเติบโตของต้นเลื้อดมังกร											
	ความกว้างทรงพุ่ม		ความสูงต้น		จำนวนยอด		เส้นผ่านศูนย์กลางใบ		จำนวนใบ		ความเขียวใบ	
	(เซนติเมตร)	(เซนติเมตร)	(เซนติเมตร)	(เซนติเมตร)	(ยอด)	(ยอด)	(เซนติเมตร)	(เซนติเมตร)	(ใบ)	(ใบ)	(SPAD unit)	(SPAD unit)
	30 วัน	60 วัน	30 วัน	60 วัน	30 วัน	60 วัน	30 วัน	60 วัน	30 วัน	60 วัน	30 วัน	60 วัน
ระบบกลางแจ้ง	18.97 ^{ab}	34.29	20.44	33.94 ^c	7.28 ^a	18.58 ^a	3.29 ^b	2.52 ^b	25.99	152.73 ^a	49.21 ^a	54.10 ^a
ระบบพรางแสง	21.43 ^{ab}	37.25	24.84	39.77 ^b	4.43 ^b	9.28 ^b	3.85 ^a	4.14 ^a	21.62	75.57 ^b	42.82 ^b	51.43 ^b
ระบบไฮโดรโปนิกส์	18.37 ^b	33.63	23.13	46.32 ^a	3.17 ^b	6.51 ^c	4.03 ^a	4.15 ^a	17.20	60.49 ^b	40.26 ^b	44.04 ^c
F-test	*	ns	ns	**	**	**	**	**	ns	**	**	**
CV (%)	9.14	10.54	11.81	5.61	20.16	10.08	5.48	4.71	15.5	13.02	4.33	2.16

หมายเหตุ: - * ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ต้นเลื้อดม้งกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบต่างกันให้ปริมาณผลผลิตน้ำหนัสดของต้นเลื้อดม้งกรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นเลื้อดม้งกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้งให้ค่าผลผลิตน้ำหนัสดมากที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 525.25 กรัม รองลงมา คือ ต้นเลื้อดม้งกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบพรางแสงและระบบไฮโดรโปนิคส์ ให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 440.77 และ 406.43 กรัม ตามลำดับ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ปริมาณผลผลิตน้ำหนัสดของต้นเลื้อดม้งกรภายใต้ระบบการปลูกเลี้ยงต่างกัน

การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นเลื้อดม้งกรภายใต้ระบบการปลูกเลี้ยงต่างกัน ได้แก่ การปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้ง ระบบพรางแสง และระบบไฮโดรโปนิคส์ ส่งผลให้ต้นเลื้อดม้งกรมีการเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดยการปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้งส่งผลให้ต้นเลื้อดม้งกรมีจำนวนยอดและจำนวนใบมากที่สุด การปลูกเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ส่งผลให้ต้นเลื้อดม้งกรมีความสูงต้นและเส้นผ่านศูนย์กลางใบดีที่สุด อาจเป็นเพราะสารละลายธาตุอาหารพืชที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางใบ แต่ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตในด้านอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าต้นเลื้อดม้งกรไม่สามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ซึ่งส่งผลให้การปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้งและระบบพรางแสงจึงเหมาะสมสำหรับการปลูกต้นเลื้อดม้งกรมากกว่าการปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Thangam and Thamburaj (2008) ที่กล่าวว่าพืชที่ปลูกภายใต้การพรางแสง ความสูงของลำต้นจะเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ปลูกกลางแจ้ง และสอดคล้องกับสมยศ (2561) ที่ศึกษาการพรางแสงมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของหน่อไม้ฝรั่ง พบว่าการเจริญเติบโตด้านความสูงต้นที่พรางแสงมีค่าน้อยที่สุด และผลผลิตน้ำหนัสดของหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่พรางแสงมีค่ามากที่สุด และการทดลองของจริญ และคณะ (2553) ที่พบว่าฟ้าทะลายโจรที่ไม่ได้รับการพรางแสงกับ

ฟ้าทะลายโจรที่พรางแสงให้ผลผลิตแตกต่างกัน การพรางแสงมีผลทำให้ฟ้าทะลายโจรมีผลผลิตลดลงมากถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ต้นเลือดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้งมีการเจริญเติบโตด้านจำนวนยอดและจำนวนใบมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าทั้ง 2 ลักษณะส่งเสริมให้ต้นเลือดมังกรมีน้ำหนักสดสูงที่สุด ส่วนด้านความเขียวใบไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าต้นเลือดมังกรที่ปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้ง เมื่อได้รับแสงแดดอย่างเต็มที่จึงทำให้มีการสังเคราะห์แสงและสร้างอาหารได้มาก ซึ่งอาหารเหล่านี้ได้นำมาใช้ในการเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี ทำให้มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยสมยศ และคณะ (2556) ได้รายงานว่ายัญปักกิ่งที่ไม่มีการพรางแสงจะมีการเจริญเติบโตทางลำต้นที่ดี มีการแตกกิ่งมาก มีการสะสมน้ำหนักใบและต้นแห้งมีค่ามากที่สุด สอดคล้องกับรำจวนและโสระยา (2546) ที่กล่าวว่าความเข้มของแสงมีผลโดยตรงต่อการสังเคราะห์แสง ถ้าความเข้มของแสงเหมาะสม พืชจะสังเคราะห์แสงได้มาก ทำให้ได้คาร์โบไฮเดรตมาก การเจริญเติบโตเกิดขึ้นมาก และเมื่อได้รับการพรางแสง ความเข้มของแสงที่ได้รับลดลง การสังเคราะห์แสงเกิดน้อย การเจริญเติบโตช้าลง ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนี้แตกต่างไปจากการศึกษาของเสนห์ (2536) ที่กล่าวว่า การพรางแสงช่วยให้ยัญปักกิ่งมีการเจริญเติบโตได้ดีและมีการแตกหน่อมาก อาจเป็นไปได้ว่าในการพรางแสงไม่ได้มีการพรางแสงตลอดอายุการเจริญเติบโตหรืออาจจะมีการบังแสงเป็นช่วง ๆ ต่างไปจากการทดลองนี้ ซึ่งมีการบังแสงตลอดอายุการเจริญเติบโต จึงทำให้ยัญปักกิ่งได้รับแสงไม่เพียงพอและมีผลต่อผลผลิตมีค่าลดลงดังกล่าว อย่างไรก็ตามถ้าความเข้มของแสงสูงจนเกินไปอาจจะทำให้การสังเคราะห์แสงตลอดจนการเจริญเติบโตทางลำต้นลดลงได้เช่นกัน ดังนั้นจากการทดลองนี้จึงไม่ควรพรางแสงให้กับต้นเลือดมังกร เนื่องจากแสงเป็นปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่สำคัญในการควบคุมการพัฒนาและการเจริญเติบโตของพืช ผลผลิตพืชมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแสงที่พืชได้รับในช่วงของการเจริญเติบโต ซึ่งการพรางแสงมีผลทำให้พืชได้รับแสงลดลง จึงส่งผลให้การสังเคราะห์แสงของต้นเลือดมังกรมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลการทดลองต่อไปในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นเลือดมังกรภายใต้ระบบการปลูกเลี้ยงต่างกัน ส่งผลให้การปลูกเลี้ยงในระบบกลางแจ้งมีการเจริญเติบโตของต้นเลือดมังกรด้านจำนวนยอด จำนวนใบ และความเขียวใบดีที่สุด และมีผลผลิตน้ำหนักสดมากที่สุด ส่วนการปลูกเลี้ยงในระบบพรางแสง มีการเจริญเติบโตของต้นเลือดมังกรด้านความกว้างทรงพุ่มดีที่สุด และการปลูกเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์มีการเจริญเติบโตของต้นเลือดมังกรด้านความสูงต้นและเส้นผ่านศูนย์กลางใบดีที่สุด ดังนั้นการปลูกเลี้ยงต้นเลือดมังกรในระบบกลางแจ้งจึงเหมาะสมที่สุด เนื่องจากการนำไปใช้ประโยชน์ของต้นเลือดมังกรจะใช้ส่วนของยอดและใบในการผลิตเป็นชาเลือดมังกร ซึ่งการศึกษาระบบการปลูกเลี้ยงในครั้งนี้สามารถนำไปส่งเสริมและพัฒนาองค์ความรู้ให้เกษตรกรและผู้ประกอบการต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยจากโครงการพัฒนาระบบการปลูกเลี้ยงสมุนไพรเลือดมังกร ภายใต้การดำเนินงานของศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ร่วมกับมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เอกสารอ้างอิง

- เจริญ ดิษฐไวยวงศ์ สุชน สุวรรณบุตร จิตภา สุธาผล และอมร เพชรสม. (2553). ผลการพรางแสงที่มีต่อการเจริญเติบโตผลผลิตและปริมาณสารสำคัญของฟ้าทะลายโจร. ใน *การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 9* (หน้า 202-209). พระนครศรีอยุธยา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- จารุณี ภิลุมาวงศ์ และนิจปวีรชชา ภัคตร์จันทร์. (2565). “ชาเล็ดม้งกร” สีสันพรรณพฤกษา. สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2567, จาก: <https://www.hrdi.or.th/articles/Detail/1530>.
- จำจวน ศรีวิชัย และโสระยา ร่วมรังษี. (2546). ผลของการพรางแสงต่อการเจริญเติบโตและการออกดอกของม้งกรคาบแก้ว. *วารสารเกษตร*, 19(1), 46-54.
- สมยศ เดชภีรตันมงคล ธวัชชัย อุบลเกิด และสมมารด อยู่สุขยิ่งสถาพร. (2556). ผลของการพรางแสงที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของหญ้าปักกิ่ง. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51* (หน้า 409-416). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมยศ เดชภีรตันมงคล. (2561). ผลของการพรางแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของหญ้ารี้แพ้ว. *แก่นเกษตร*, 46(1), 501-507.
- เสน่ห์ แสงคำ. (2536). หญ้าเทวดาสมุนไพรรักษาความจน. ใน สมยศ เดชภีรตันมงคล. *หนังสืออภิธานนาการเทคโนโลยีชาวบ้าน*, หน้า 10-20. กรุงเทพฯ: บริษัท ประชาชน จำกัด.
- อนันต์ พิริยะภัทรกิจ พิชรี เดชเลย์ พรกมล รูปเลิศ และปัญญพัฒน์ พลพิมพ์. (2565). การเจริญเติบโตและผลผลิตบวบจาก 5 แหล่งปลูกในระบบไฮโดรโปนิิกส์. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 41(2), 127-140.
- Aluko, E.O., Adejumobi, O.A. and Fasanmade, A.A. (2019). *Peristrophe roxburghiana* leaf extracts exhibited anti-hypertensive and anti-lipidemic properties in L-NAMEhypertensive rats. *Life Sciences*, 234(4), doi: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2019.116753>.
- Khue, D.B., Mai, D.S., Tuan, P.M., Oanh, D.T.B. and Van, L.T.H. (2014). *Peristrophe roxburghiana* - a review. *Annals Food Science and Technology*, 15(1), 1-9.
- Oguzie, C.K., Ichetaonye, S.I., Ajekwene, K.K., Yibowei, M.E., Ulaeto, S.B., Khan, I., Khan, M.M.A., Khan, A. and Asiri, A.M. (2021). Potential of *Peristrophe roxburghiana* (magenta plant) for application in textiles: A review. In Jawaid, M. and Khan, A. (Eds.). *Vegetable fiber composites and their technological applications, Composites Science and Technology*, pp 69-79. Singapore: Springer Nature.
- Thangam, M. and Thamburaj, S. (2008). Comparative performance of tomato varieties and hybrids under shade and open conditions. *Indian Journal of Horticulture*, 65(4), 429-433.

**ประชาคมสัตว์หน้าดินขนาดกลางบริเวณหาดปากบางนาทับ
ถึงชายหาดบ้านบ่อโชน จังหวัดสงขลา**
**Meiofauna Community from Pak Bang Na Thab Beach to
Ban Bo Chon Beach, Songkhla Province**

นราศักดิ์ ธรรมเสน¹ นูร์ไลลี สุหลง¹ และสุธินี หิมยิ^{1*}
Narasak Tummasan¹ Nurlailee Sulong¹ and Sutinee Himyi^{1*}

บทคัดย่อ

การศึกษาสัตว์หน้าดินขนาดกลางบริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อโชน จังหวัดสงขลา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลาย ความหนาแน่น และความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์หน้าดินขนาดกลางกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม โดยดำเนินการเก็บตัวอย่างจำนวน 4 สถานี ในเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม และกันยายน พ.ศ. 2565 ผลการศึกษาพบสัตว์หน้าดินขนาดกลางทั้งหมด 22 กลุ่ม จัดอยู่ใน 8 ไฟลัม ไฟลัม Nematoda (กลุ่มไส้เดือนตัวกลมทะเล) เป็นกลุ่มเด่นที่พบหลายชนิดและเป็นกลุ่มที่มีความหนาแน่นสูงสุดอยู่ในช่วงจำนวน 1-90 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร รองลงมา คือ ไฟลัม Foraminifera (กลุ่มฟอรามินิเฟอร่า) (2-57 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร) และไฟลัม Annelida (กลุ่มไส้เดือนทะเล) (1-51 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร) ตามลำดับ การศึกษาครั้งนี้พบว่าบริเวณสถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับ พบจำนวนกลุ่มและความหนาแน่นเฉลี่ยของสัตว์หน้าดินขนาดกลางมากที่สุด (91.04 ± 24.55 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร) ในขณะที่บริเวณสถานีที่ 3 หาดวังงู พบจำนวนกลุ่มและความหนาแน่นเฉลี่ยของสัตว์หน้าดินขนาดกลางน้อยที่สุด (30.81 ± 18.61 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินขนาดกลางมากที่สุด คือ เเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุและอุณหภูมิของน้ำทะเล ทั้งนี้พบว่าสัตว์หน้าดินขนาดกลางแต่ละกลุ่มมีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันออกไป เมื่อประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยใช้สัดส่วนความหนาแน่นของไฟลัม Nematoda กับชั้น Copepoda (N:C) พบว่าบริเวณสถานีที่ 2 หาดสวนกง มีสภาพแวดล้อมที่เสื่อมโทรม ในขณะที่หาดอื่น ๆ มีสภาพแวดล้อมอยู่ในเกณฑ์ดี

คำสำคัญ: สัตว์หน้าดินขนาดกลาง ปัจจัยสิ่งแวดล้อม หาดปากบางนาทับ ชายหาดบ้านบ่อโชน

¹ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

* Corresponding author e-mail: sutinee.hi@skru.ac.th

Received: 30 March 2023, Revised: 20 October 2023, Accepted: 25 October 2023

Abstract

The study of meiofauna from Pak Bang Na Thap Beach to Ban Bo Chon Beach, Songkhla Province, aimed to study the diversity, density, and relationship between meiofauna and environmental factors. The samples were collected at the four stations during May, July, and September 2022. A total of 22 taxa from 8 phyla of meiofauna were found. Nematoda was the dominant group, showing the most diverse and the highest density ranging from 2-90 individuals (ind) per 10 cm², followed by Foraminifera (2-57 ind/10 cm²), and Polychaeta (1-51 ind/10 cm²), respectively. In this study, the highest diversity and density of meiofauna were found in station 1 (Pak Bang Na Thap Beach) (91.04±24.55 ind/10 cm²), while the lowest diversity and density were found in station 3 (Wang Ngu Beach) (30.81±18.61 ind/10 cm²). Environmental factors closely related to the distribution of meiofauna were the percentages of organic matter and the water temperature. However, each meiofauna taxa had a different relationship to environmental factors. When assessing environmental quality using the density proportion of nematode and copepod (N:C), station 2 (Suan Kong Beach) showed an environmental degradation, whereas the other sites still had the favorable environment.

Keywords: Meiofauna, Environmental factors, Pak Bang Na Thap beach, Ban Bo Chon beach

บทนำ

สัตว์หน้าดิน หมายถึง กลุ่มสัตว์ที่อาศัยและหากินตามพื้นผิวหน้าดินหรือดำรงชีวิตอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำ (พงศธร, 2558) สัตว์กลุ่มนี้แต่ละชนิดมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม บางชนิดต้องอาศัยอยู่ในน้ำสะอาด ในขณะที่บางชนิดสามารถดำรงชีวิตอยู่ในน้ำที่เน่าเสียมาก สัตว์เหล่านี้ที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันสามารถใช้เป็นดัชนีชีวภาพในการบ่งชี้ถึงคุณภาพของแหล่งน้ำและคุณภาพน้ำได้ (วิลาส, 2550; ปฏิพัทธ์ และคณะ, 2564; ธนพรรณ และคณะ, 2565) สัตว์หน้าดินขนาดกลาง (meiofauna) เป็นกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่มีขนาดอยู่ในช่วง 63-1,000 ไมโครเมตร (Giere, 1993) มีบทบาทสำคัญในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศ เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์ทะเลด้วยกันเอง ทั้งสัตว์น้ำวัยอ่อนและสัตว์น้ำอื่น รวมทั้งมีบทบาทสำคัญในการหมุนเวียนธาตุ (ณัฐกิตติ์, 2560)

ชายฝั่งนาทับ อยู่ทางทิศใต้ของปากคลองนาทับ ตำบลนาทับ จนถึงปากคลองสะกอม ตำบลสะกอม อำเภอนะจะ จังหวัดสงขลา มีรูปร่างลักษณะทรายที่เรียบตรง ไม่เว้าแหว่ง มีความกว้างบริเวณด้านหน้าชายหาดตั้งแต่ 2-20 เมตร และด้านหลังชายหาดมีลักษณะเป็นเนินทรายยาวตลอดแนวชายฝั่ง (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556) เป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรนานาชนิด ทำให้มีการอพยพเข้ามาตั้งถิ่นฐานเกิดเป็นชุมชนและยึดอาชีพประมงเพื่อยังชีพ คนในชุมชนใช้ทรัพยากรทางทะเลในการเลี้ยงชีพ ในอดีตชายหาดบริเวณบ้านบ่อโชนมีความอุดมสมบูรณ์มาก ต้นสน

และต้นมะพร้าวมีจำนวนมากตามแนวชายฝั่ง แต่ปัจจุบันปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทำให้ทรัพยากรชายฝั่งเสื่อมโทรมลง เช่นเดียวกับหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อโชนเป็นชายฝั่งทะเลที่ตั้งอยู่ในตำบลนาทับและตำบลสะกอม อำเภोजันนะ จังหวัดสงขลา (องค์การบริหารส่วนจังหวัดสงขลา, 2557) ที่พบว่าในปัจจุบันบางพื้นที่ของหาดปากบางนาทับซึ่งเป็นต้นกำเนิดของปัญหาการกัดเซาะด้านเหนือของปากคลองนาทับ เนื่องจากการสร้างเขื่อนกันคลื่น ทำให้เกิดการกัดเซาะที่รุนแรงขึ้นในพื้นที่ถัดไป จึงได้รับความเสียหายทางด้านสาธารณูปโภคที่เกิดจากการกัดเซาะของน้ำทะเล เมื่อระบบนิเวศชายหาดเสื่อมโทรมลง สัตว์หน้าดินและสัตว์น้ำที่เคยอุดมสมบูรณ์ค่อย ๆ หายไป (นิชฐนัญญ์ และอุทัย, 2558) จากการศึกษาของวัลยา และคณะ (2561) พบว่าบริเวณที่ห่างจากแหล่งชุมชนรวมไปถึงบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่ง มีผลต่อความหนาแน่นและความหลากหลายของสัตว์หน้าดินขนาดกลาง แต่บริเวณนี้ยังไม่มีรายงานการศึกษามาก่อน ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลาย ความหนาแน่น และความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์หน้าดินขนาดกลางกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตและเป็นข้อมูลที่สำคัญที่บ่งบอกคุณภาพสิ่งแวดล้อม บริเวณชายหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อโชน จังหวัดสงขลา และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการสภาพแวดล้อมในบริเวณนี้ได้ต่อไปในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่เก็บตัวอย่าง

กำหนดพื้นที่เก็บตัวอย่าง บริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อโชน จังหวัดสงขลา ในเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม และกันยายน พ.ศ. 2565 โดยกำหนดจุดเป็น 4 สถานี ซึ่งมีพิกัดของแต่ละสถานี ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 1

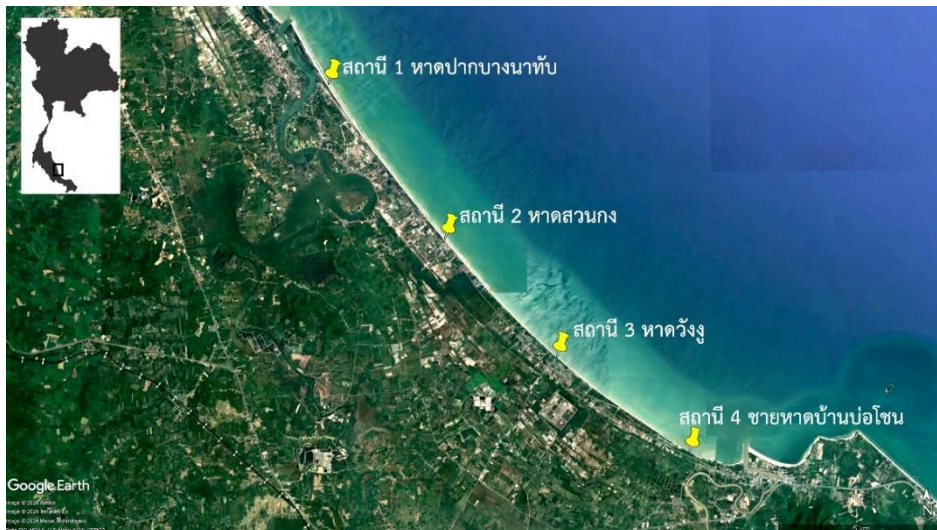
ตารางที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่างและพิกัดภูมิศาสตร์บริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อโชน จังหวัดสงขลา

สถานีเก็บตัวอย่าง	พิกัดภูมิศาสตร์
สถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับ	7°3'19.60"N, 100°42'28.78"E
สถานีที่ 2 หาดสวนกง	7°0'50.53"N, 100°44'20.03"E
สถานีที่ 3 หาดวัง	6°58'56.66"N, 100°46'6.49"E
สถานีที่ 4 ชายหาดบ้านบ่อโชน	6°57'24.38"N, 100°48'13.28"E

2. การเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินขนาดกลาง

เก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินขนาดกลางโดยใช้คอร์ (core) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร กดลงไปในดินลึก 5 เซนติเมตร และใช้มือปิดปากคอร์ด้านบนไว้เพื่อให้ภายในคอร์อยู่ในสภาวะสุญญากาศ นำดินที่เก็บได้ใส่ในกระป๋องเก็บตัวอย่าง จากนั้นเติมฟอร์มาลินที่เป็นกลาง 10 เปอร์เซ็นต์ ลงให้ท่วมตัวอย่างดิน นำกลับมาศึกษาที่ห้องปฏิบัติการ โดยนำตัวอย่างตะกอนดินที่ได้มากรองด้วยถุงขนาดตา 22 ไมโครเมตร เพื่อแยกสัตว์หน้าดินขนาดกลางออกจากตะกอนดิน และจำแนกกลุ่มในระดับชั้น (class) อันดับ (order) วงศ์ (family) สกุล (genus) และ/หรือ ชนิด (species)

โดยใช้เอกสารประกอบการจำแนกของ Giere (1993) และ Higgins and Thiel (1988) และบทความวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งนับจำนวนภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ (compound microscope)



ภาพที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่าง บริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อโชน จังหวัดสงขลา ที่มา: Maxar Technologies (2024)

3. การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ตรวจวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ความเค็มของน้ำทะเล โดยใช้รีแฟรกโตมิเตอร์แบบพกพา (Master-S/Mill M, Atago) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทะเล โดยใช้พีเอชมิเตอร์ (SmartSensor, PH818) อุณหภูมิของน้ำทะเล โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิของตะกอนดินใช้เครื่องวัดพีเอชและอุณหภูมิดินแบบพกพา (soil pH meter S20) รวมทั้งเก็บตัวอย่างตะกอนดินทุกครั้งที่เก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินขนาดกลาง โดยใช้คอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร กดลงไปในดินลึก 5 เซนติเมตร ใส่ถุงพลาสติกเก็บในที่ที่มีอุณหภูมิเย็น เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนดินตามวิธีของ Walkley and Black ที่ดัดแปลงแล้ว (Nelson and Sommers, 1982) และขนาดอนุภาคตะกอนดิน โดยใช้วิธีการร่อนดินที่อบแห้งแล้วผ่านตะแกรงร่อนขนาด 1.000 0.500 0.250 0.150 0.053 และ 0.020 เซนติเมตร ตามลำดับ แล้วนำตะกอนดินที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละขนาดมาชั่งน้ำหนักและคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของตะกอนดินแต่ละขนาดโดยเปรียบเทียบกับตาราง Wentworth (Kenny and Sotheran, 2013)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

4.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับประชาคมสัตว์หน้าดินขนาดกลาง ในแต่ละสถานีด้วยการวิเคราะห์ canonical correspondence analysis (CCA) ด้วยโปรแกรม MVSP 3.2 (free trial) โดยข้อมูลที่น่าวิเคราะห์ได้คัดเลือกเฉพาะชนิดที่มีความหนาแน่นมากกว่า 1.00 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และดัดแปลงข้อมูลเป็น $\log(x+1)$ ก่อนนำไปวิเคราะห์

4.2 ประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อม จากการใช้อัตราส่วนความหนาแน่นมาหาสัดส่วนระหว่างไฟลัม Nematoda ต่อชั้น Copepoda (N:C ratio) โดยบริเวณที่เป็นตะกอนดินทรายสัดส่วนควรมีค่าอยู่ในช่วง 1-10 ส่วนบริเวณที่เป็นตะกอนดินโคลนสัดส่วนควรมีค่าน้อยกว่า 40 ซึ่งบ่งบอกว่าสภาพแวดล้อมยังไม่เสื่อมโทรม (Vincx and Heip, 1991)

ผลการศึกษา

1. ความหลากหลายและความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินขนาดกลาง

จากการศึกษาสัตว์หน้าดินขนาดกลางบริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อโชน จังหวัดสงขลา ในเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม และกันยายน พ.ศ 2565 พบสัตว์หน้าดินขนาดกลางทั้งหมด 22 เทกซา (taxa) จัดอยู่ใน 8 ไฟลัม (phylum) (ตารางที่ 2 และภาพที่ 2) การศึกษาครั้งนี้พบว่าไฟลัม Nematoda (ไส้เดือนตัวกลมทะเล) เป็นกลุ่มที่พบหลากหลายชนิดมากที่สุด โดยพบทั้งหมด 7 ชนิด มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงจำนวน 1-90 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร รองลงมาเป็นไฟลัม Arthropoda (กลุ่มอาร์โทรพอด) ซึ่งพบ 6 เทกซา มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงจำนวน 1-21 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร ไฟลัม Annelida (กลุ่มไส้เดือนทะเล) พบ 3 ชนิด มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงจำนวน 1-51 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร และไฟลัม Rotifera (กลุ่มโรติเฟอร์) พบ 2 ชนิด มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงจำนวน 1 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร ส่วนไฟลัม Foraminifera (กลุ่มฟอรามินิเฟอรา) ไฟลัม Gnathostomulida (กลุ่มเนโทสโตมูลิต) ไฟลัม Gastrotricha (กลุ่มแกสโตรทริช) และไฟลัม Tardigrada (กลุ่มหมีน้ำ) พบเพียงไฟลัมละ 1 เทกซา

เมื่อพิจารณาในแต่ละสถานีพบว่าบริเวณสถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับ พบสัตว์หน้าดินขนาดกลางมากที่สุด จำนวน 20 เทกซา รองลงมา คือ บริเวณสถานีที่ 4 ชายหาดบ้านบ่อโชน พบ 19 เทกซา บริเวณสถานีที่ 3 หาดวังงู พบ 16 เทกซา และบริเวณสถานีที่ 2 หาดสวนกง พบ 15 เทกซา ตามลำดับ โดยพบว่าในเดือนกรกฎาคมพบสัตว์หน้าดินขนาดกลางมากที่สุด คือ 18 เทกซา ในขณะที่เดือนพฤษภาคมพบจำนวนน้อยที่สุด คือ 14 เทกซา (ภาพที่ 3)

ความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินขนาดกลางที่พบทั้งหมดในแต่ละสถานีตลอดการศึกษาโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงจำนวน 39-106 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร โดยบริเวณสถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับมีความหนาแน่นสูงที่สุดจำนวน 106 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร รองลงมา คือ บริเวณสถานีที่ 2 หาดสวนกง มีความหนาแน่นอยู่ที่จำนวน 86 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร และบริเวณสถานีที่ 3 หาดวังงู มีความหนาแน่นจำนวน 39 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร ในขณะที่บริเวณสถานีที่ 4 (ชายหาดบ้านบ่อโชน) มีความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ จำนวน 41 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร (ตารางที่ 2) ในเชิงเวลาพบว่าเดือนกันยายนมีความหนาแน่นมากที่สุด โดยมีจำนวนเฉลี่ย 91.65 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร รองลงมา คือ เดือนพฤษภาคม จำนวนเฉลี่ย 42.84 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร และเดือนกรกฎาคมจำนวนเฉลี่ย 41.61 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 3)

การศึกษาครั้งนี้พบว่าไฟลัม Foraminifera เป็นกลุ่มเด่นที่สามารถพบได้ทุกสถานี่ตลอดการศึกษา มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงจำนวน 2-57 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร โดยพบมากที่สุดบริเวณสถานี่ที่ 2 หาดสวนกง ในเดือนกันยายน กลุ่มที่พบความหนาแน่นรองลงมา คือ ไฟลัม Nematoda ซึ่งมีความหนาแน่นอยู่ในช่วงจำนวน 2-90 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร โดยไฟลัม Nematoda ชนิด *Enoploilaimus* sp. สามารถพบได้ทุกสถานี่ของการศึกษา ส่วนสัตว์กลุ่มอื่น ๆ ที่พบ เช่น ไฟลัม Annelida อันดับ Harpacticoida ชั้น Copepoda ไฟลัม Gastrotricha ไฟลัม Rotifera รวมถึงไฟลัม Tardigrada จะพบความหนาแน่นแตกต่างกันในแต่ละเดือน แต่มักพบมีความหนาแน่นมากบริเวณสถานี่ที่ 1 หาดปากบางนาทับ (ตารางที่ 2)

เมื่อพิจารณาสัดส่วนความหนาแน่นของไฟลัม Nematoda ต่อชั้น Copepoda ในการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อม พบว่ามีค่ามากที่สุดบริเวณสถานี่ที่ 2 (บริเวณหาดสวนกง) คือ 81.87 รองลงมา คือ สถานี่ที่ 4 ชายหาดบ้านบ่อโชน มีค่าสัดส่วน 8.86 ส่วนบริเวณสถานี่ที่ 3 หาดวังงู มีค่าสัดส่วน 4.06 และบริเวณสถานี่ที่ 1 หาดปากบางนาทับ มีค่าสัดส่วน 1.97 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 สัตว์หน้าดินขนาดกลางบริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อโชน จังหวัดสงขลา

สัตว์หน้าดินขนาดกลาง	ตัวย่อ	สถานี่เก็บตัวอย่าง			
		1	2	3	4
ไฟลัม Foraminifera	For	M,J,S (12)	M,J,S (30)	M,J,S (10)	M,J,S (13)
ไฟลัม Gnathostomulida	Gna	J,S (7)	M,J (1)	J,S (3)	J,S (1)
ไฟลัม Nematoda					
อันดับ Enoplida					
<i>Anoplostoma</i> sp.	Ano	M (1)	-	-	M (2)
<i>Enoploilaimus</i> sp.	Eno	M,J,S (16)	M,J,S (1)	M,J,S (1)	M,J,S (1)
<i>Thoracostoma</i> sp.	Tho	M,J,S (4)	M,J,S (1)	J, (1)	M,J,S (2)
อันดับ Plectida					
<i>Camacolaimus</i> sp.	Cam	M,J,S (5)	M,J,S (11)	S, (1)	M,J,S (4)
อันดับ Rhabditida					
<i>Gracilacus</i> sp.	Gra	M,J,S (5)	M,J,S (10)	S, (1)	M,J,S (4)
อันดับ Desmodorida					
<i>Metepsilonema</i> sp.	Met-1	S (1)	J,S (6)	J,S (1)	S (1)
<i>Microilaimus</i> sp.	Mic-2	S (1)	S (2)	-	S (1)
ไฟลัม Gastrotricha	Gas	J,S (1)	S (2)	J,S (1)	S (1)
ไฟลัม Rotifera					
อันดับ Ploima					
<i>Lecane ludwigii</i>	Lud	M,J (1)	J (1)	M,J (1)	J (2)
<i>L. bulla</i>	Bul	M,J (1)	-	-	J (1)

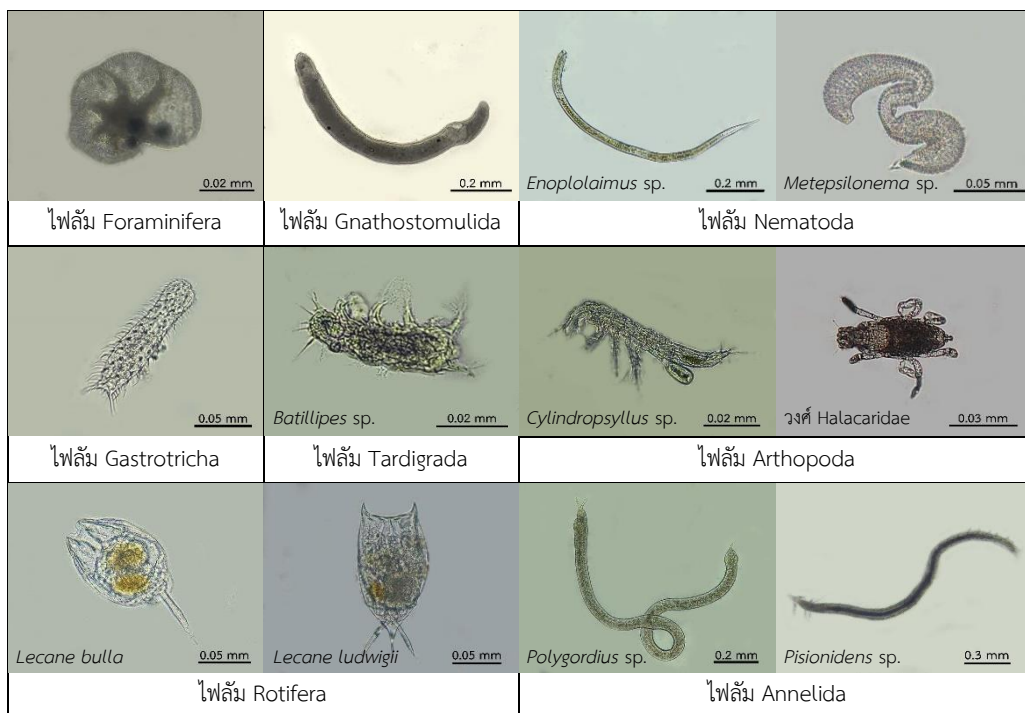
ตารางที่ 2 (ต่อ)

สัตว์หน้าดินขนาดกลาง	ตัวย่อ	สถานีเก็บตัวอย่าง			
		1	2	3	4
ไฟลัม Annelida					
ชั้น Polychaeta					
อันดับ Haplodrili					
<i>Polygordius</i> sp.	Pol	<u>M</u> ,J,S (21)	M,J (15)	M,J,S (6)	M,J (2)
อันดับ Phyllodocida					
<i>Pisione</i> sp.	Gal	<u>J</u> (1)	-	-	-
<i>Pisionidens</i> sp.	Pis	<u>J</u> (1)	J,S (1)	-	-
ไฟลัม Tardigrada					
อันดับ Arthrotardigrada					
<i>Batillipes</i> sp.	Tar	<u>S</u> (13)	S, (4)	<u>M</u> ,J,S (8)	J,S (5)
ไฟลัม Arthropoda					
ชั้น Copepoda					
อันดับ Harpacticoida					
<i>Cylindropsyllus</i> sp.	Cyl	M, <u>J</u> (3)	-	J, (1)	M,J (1)
<i>Leptastacus</i> sp.	Lep	<u>M</u> ,J,S (11)	J,S (1)	M,J (1)	M (1)
<i>Matis</i> sp.	Mat	M,J (1)	-	<u>M</u> (1)	S (1)
อันดับ Cyclopoida	Cyc	-	-	-	S (1)
ชั้น Ostracoda	Ost	<u>M</u> ,J (1)	J (1)	J (1)	S (1)
ชั้น Arachnida					
อันดับ Trombidiformes					
วงศ์ Halacaridae	Hal	-	-	J (1)	-
จำนวนกลุ่ม		20	15	16	19
ความหนาแน่นเฉลี่ย		106±5.04	86±4.09	39±1.85	42±1.96
(ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร)					

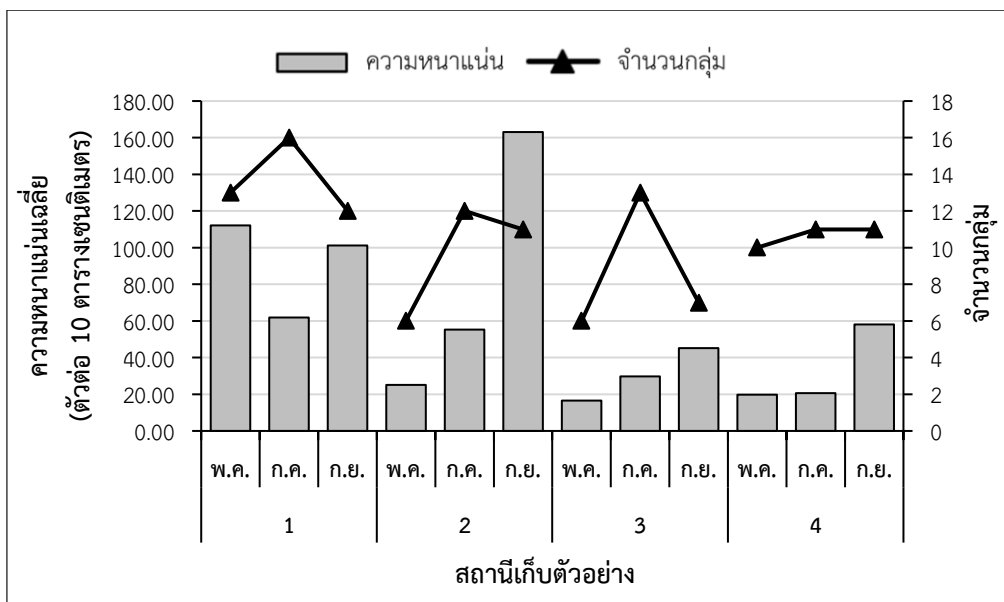
หมายเหตุ: - M คือ เดือนพฤษภาคม J คือ เดือนกรกฎาคม และ S คือ เดือนกันยายน

- เดือนที่ขีดเส้นใต้ คือ เดือนที่พบความหนาแน่นมากที่สุด

- ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าความชุกชุมเฉลี่ย



ภาพที่ 2 สัตว์หน้าดินขนาดกลางกลุ่มเด่นที่พบบริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อไขนในเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม และกันยายน พ.ศ. 2565



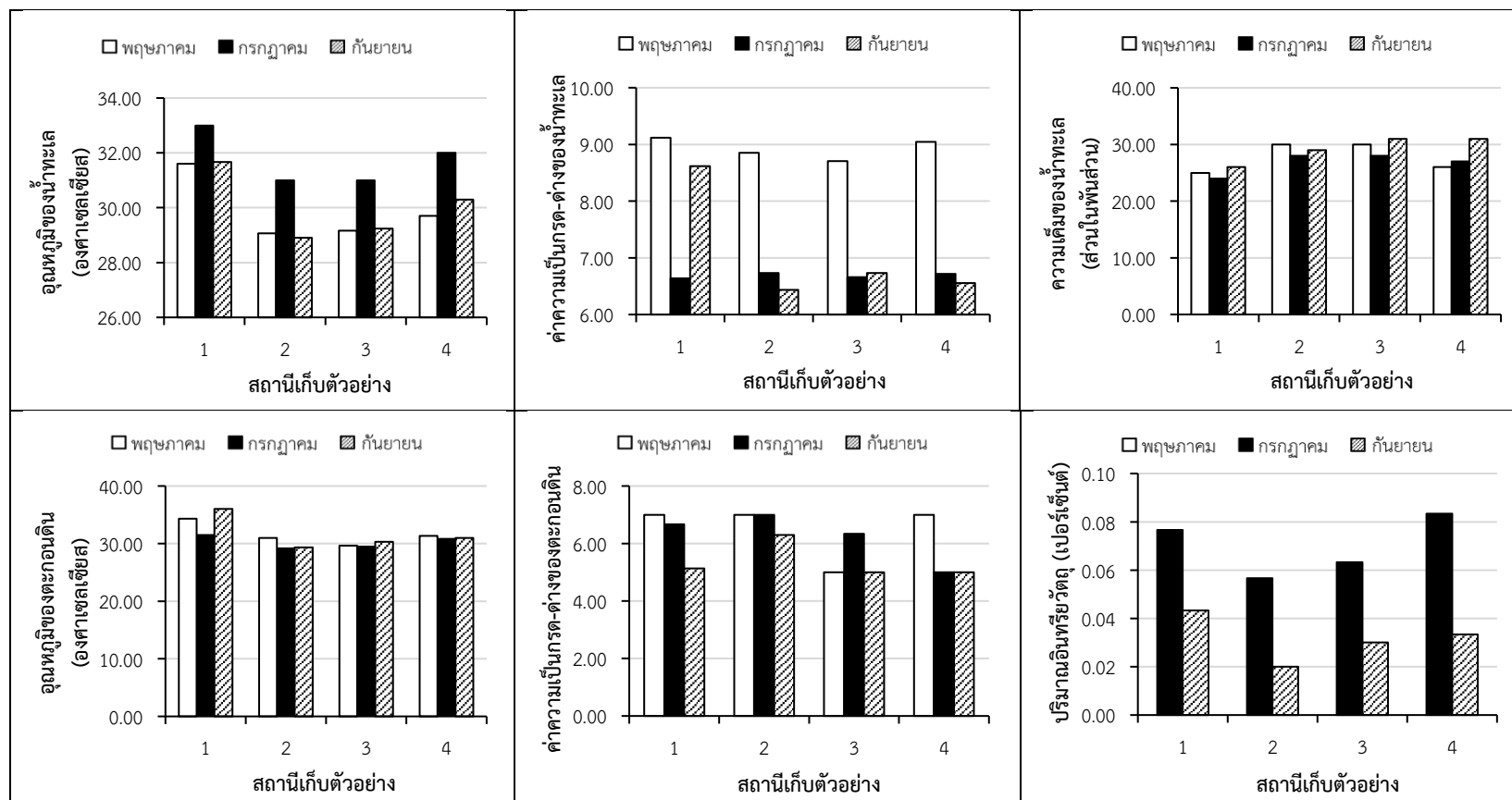
ภาพที่ 3 ความหนาแน่นและจำนวนกลุ่มของสัตว์หน้าดินขนาดกลางในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างในเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม และกันยายน พ.ศ. 2565

2. ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

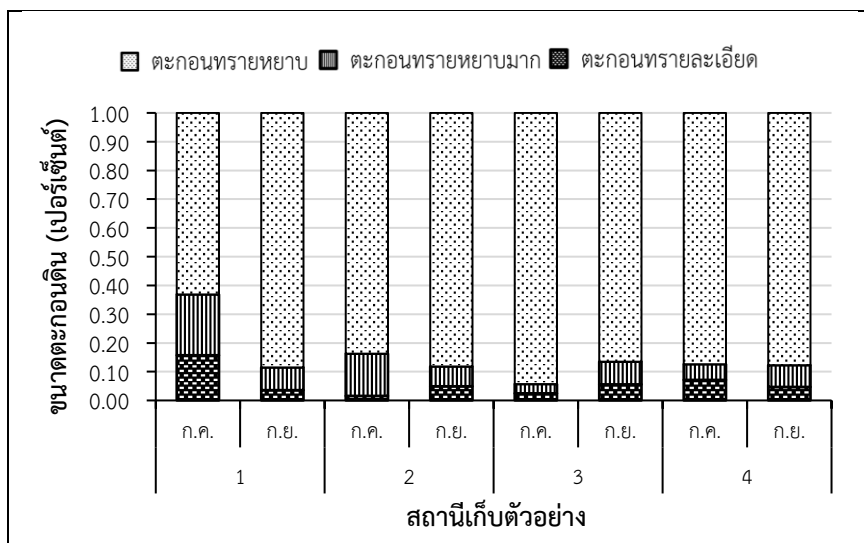
จากการศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมของน้ำทะเล พบว่าอุณหภูมิของน้ำทะเลในแต่ละสถานีมีค่าอยู่ในช่วง 28.90-33.00 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดบริเวณสถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับ ในเดือนกรกฎาคม และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดบริเวณสถานีที่ 2 หาดสวนกง ในเดือนกันยายน ดังภาพที่ 4 (ก) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 6.44-9.12 ในเดือนพฤษภาคมมีค่าเฉลี่ยสูงสุด โดยเฉพาะบริเวณสถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับ และในเดือนกันยายนมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด ดังภาพที่ 4 (ข) ความเค็มของน้ำทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 24.00-31.00 ส่วนในพันส่วน พบว่าบริเวณสถานีที่ 4 ชายหาดบ้านบ่อโชน ในเดือนกันยายนมีค่าเฉลี่ยสูงสุด และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดบริเวณสถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับ ในเดือนกรกฎาคม ดังภาพที่ 4 (ค)

จากการศึกษาคุณภาพของตะกอนดิน พบว่าอุณหภูมิของตะกอนดินมีค่าอยู่ในช่วง 29.33-36.00 องศาเซลเซียส โดยพบว่าเดือนกันยายนมีค่าเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในเดือนกรกฎาคม ดังภาพที่ 4 (ง) ค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนดินมีค่าอยู่ในช่วง 5.00-7.00 ในเดือนพฤษภาคมมีค่าเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในเดือนกันยายน ดังภาพที่ 4 (จ) ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าอยู่ในช่วง 0.02-0.08 เปอร์เซ็นต์ ในเดือนกรกฎาคมมีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยสูงสุด ในขณะที่เดือนกันยายนมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด โดยบริเวณสถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับ และสถานีที่ 4 ชายหาดบ้านบ่อโชน มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยสูงกว่าสถานีอื่น ๆ ดังภาพที่ 4 (ฉ)

การศึกษาขนาดอนุภาคของตะกอนดิน (ภาพที่ 4 (ซ)) ในทุกสถานี พบว่าส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นตะกอนทรายหยาบ (coarse sand) ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 0.150-0.250 มิลลิเมตร คิดเป็น 63.73-94.02 เปอร์เซ็นต์ ตะกอนทรายที่เหลือเป็นตะกอนทรายหยาบมาก (very coarse sand) ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 0.500-1.000 มิลลิเมตรขึ้นไป คิดเป็น 3.15-20.94 เปอร์เซ็นต์ และตะกอนทรายละเอียด (fine sand) ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 0.053 มิลลิเมตรขึ้นไป คิดเป็น 1.50-15.64 เปอร์เซ็นต์ ส่วนตะกอนทรายแป้งปนตะกอนดินเหนียว (silt-clay) ซึ่งมีขนาดน้อยกว่า 0.020 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.01-0.03 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าบริเวณสถานีที่ 3 หาดวังงู มีเปอร์เซ็นต์ตะกอนทรายหยาบสูงที่สุด รองลงมา คือ สถานีที่ 2 หาดสวนกง และสถานีที่ 4 ชายหาดบ้านบ่อโชน ในขณะที่บริเวณสถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับ มีเปอร์เซ็นต์ตะกอนทรายหยาบน้อยที่สุด ในเชิงเวลาพบว่าเดือนกันยายนมีเปอร์เซ็นต์ตะกอนทรายหยาบมากที่สุด รองลงมา คือ เดือนกรกฎาคม



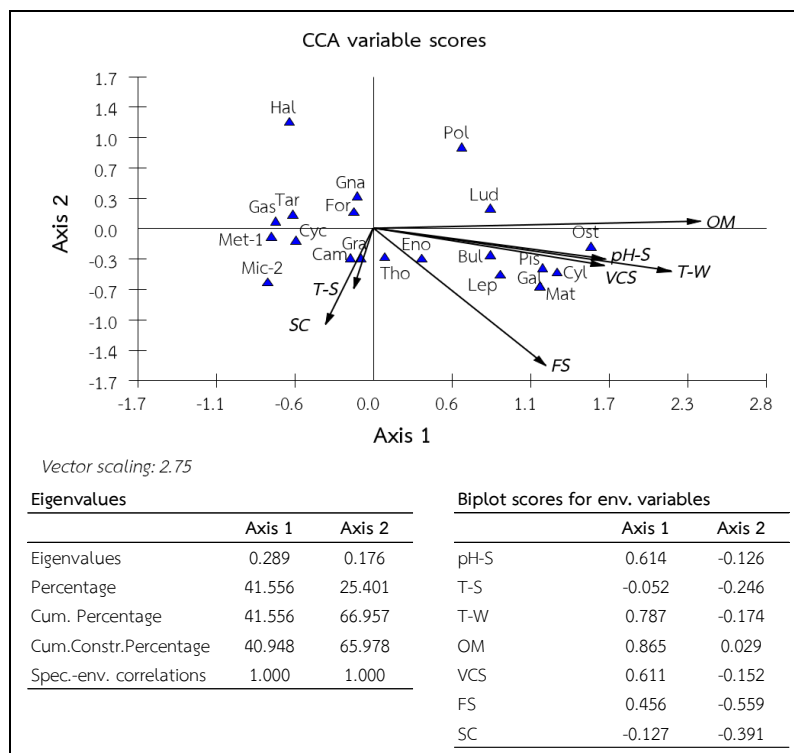
ภาพที่ 4 ปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำทะเล (ก) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทะเล (ข) ความเค็มของน้ำทะเล (ค) อุณหภูมิของตะกอนดิน (ง) ค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนดิน (จ) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ฉ) บริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อไขน จังหวัดสงขลา



ภาพที่ 4 ขนาดตะกอนดินบริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อโชน จังหวัดสงขลา

3. ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับสัตว์หน้าดินขนาดกลาง

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับสัตว์หน้าดินขนาดกลาง บริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อโชน จังหวัดสงขลา พบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์กับสัตว์หน้าดินขนาดกลาง คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนดิน (pH-S) อุณหภูมิของตะกอนดิน (T-S) อุณหภูมิของน้ำทะเล (T-W) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) เปอร์เซ็นต์ทรายหยาบมาก (VCS) เปอร์เซ็นต์ทรายละเอียด (FS) และเปอร์เซ็นต์ทรายแป้งปนตะกอนดินเหนียว (SC) โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและอุณหภูมิของน้ำทะเลเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินขนาดกลางในบริเวณนี้มากที่สุด ทั้งนี้พบว่าสัตว์หน้าดินขนาดกลางแต่ละกลุ่มมีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันออกไป เช่น ชั้น Ostracoda (Ost) *Cylindropsyllus* sp. (Cyl) ไพลัม Annelida ชนิด *Pisionedens* sp. (Pis) และ *Pisione* sp. (Gal) และไพลัม Rotifera (Lud และ Bul) มีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ อุณหภูมิของน้ำทะเล ค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนดิน และเปอร์เซ็นต์ทรายหยาบมาก โดยมีความหนาแน่นมากขึ้นเมื่อปัจจัยเหล่านี้มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ไพลัม Gastrotricha (Gas) ไพลัม Tardigrada (Tar) และไพลัม Nematoda ชนิด *Metepsilonema* sp. (Met-1) และอันดับ Cyclopoida (Cyc) มีความหนาแน่นน้อยลงเมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ อุณหภูมิของน้ำทะเล เปอร์เซ็นต์ทรายหยาบมาก และค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนดินเพิ่มสูงขึ้น ส่วนไพลัม Nematoda ชนิด *Enoplolaimus* sp. (Eno) และ *Thoracostoma* sp. (Tho) พบมากในบริเวณที่มีเปอร์เซ็นต์ทรายละเอียดเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ไพลัม Nematoda ชนิด *Camacolaimus* sp. (Cam) และ *Gracilacus* sp. (Gra) พบมากในบริเวณที่มีเปอร์เซ็นต์ทรายแป้งปนตะกอนดินเหนียว และอุณหภูมิดินเพิ่มสูงขึ้น ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์ CCA แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์หน้าดินขนาดกลางกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมบริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อโชน จังหวัดสงขลา

การอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาสัตว์หน้าดินขนาดกลางบริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อโชน จังหวัดสงขลา พบสัตว์หน้าดินขนาดกลางทั้งหมด 22 กลุ่ม มีความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วงจำนวน 16-163 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณหาดสะกอมที่พบสัตว์หน้าดินขนาดกลางมีความหนาแน่นอยู่ในช่วงจำนวน 179-1,228 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร (วาริกและคณะ, 2560) อาจเนื่องมาจากทั้งสองบริเวณนี้มีลักษณะของตะกอนดินที่แตกต่างกัน โดยหาดสะกอมจะมีลักษณะตะกอนทรายละเอียด (82.32-95.05 เปอร์เซ็นต์) และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนดินสูงกว่า (0.08-0.26 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่หาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อโชนส่วนใหญ่จะมีลักษณะตะกอนทรายหยาบ (63.73-94.02 เปอร์เซ็นต์) และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนดินน้อยกว่า (0.02-0.08 เปอร์เซ็นต์) โดยบริเวณสถานที่ที่ 1 หาดปากบางนาทับ พบสัตว์หน้าดินขนาดกลางหนาแน่นเฉลี่ยสูงสุด โดยเฉพาะในเดือนกันยายน ซึ่งพบจำนวนมากถึง 92 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร อาจเนื่องมาจากสถานที่ที่ 1 หาดปากบางนาทับ มีปริมาณตะกอนทรายหยาบน้อยกว่าแต่มีตะกอนทรายละเอียดสูงกว่าสถานที่อื่น ๆ ประกอบกับการมีปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูงกว่าจึงพบความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินขนาดกลางสูง ในขณะที่บริเวณสถานที่ที่ 3 หาดวังงู พบความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินขนาดกลางน้อยกว่าสถานที่อื่น ๆ อาจเนื่องมาจากบริเวณสถานที่ที่ 3 หาดวังงู มีตะกอนดินทรายหยาบสูงถึง 94.02 เปอร์เซ็นต์ แต่มีตะกอนทรายละเอียดน้อยกว่าบริเวณอื่น จากการศึกษาของ Pinedo *et al.* (1997) พบว่าบริเวณที่อนุภาคตะกอนดินมีขนาดเล็กจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนดิน

มากกว่าบริเวณที่อนุภาคตะกอนดินมีขนาดใหญ่ ซึ่งสัตว์หน้าดินขนาดกลางหลายชนิดกินอินทรีย์วัตถุเป็นอาหาร ทำให้มีความหนาแน่นสูง จึงอาจส่งผลให้บริเวณสถานีที่ 3 หาดวังงู ซึ่งส่วนใหญ่มีตะกอนขนาดใหญ่ นั้นพบความชุกชุมของสัตว์หน้าดินขนาดกลางน้อยตามไปด้วย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Harguinteguy *et al.* (2012) ที่พบว่าบริเวณหาดทรายที่มีเปอร์เซ็นต์ทรายละเอียดสูงจะพบสัตว์มีความชุกชุมสูงตามไปด้วย

ในเชิงเวลาพบว่าในเดือนกันยายนพบความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินขนาดกลางมากที่สุด รองลงมา คือ เดือนกรกฎาคมและพฤษภาคม ตามลำดับ อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่ส่งผลต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมบริเวณชายหาด ทำให้เดือนกันยายนแม้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อยกว่า แต่มีความเค็มของน้ำทะเลสูงกว่าเดือนอื่น ๆ ประกอบกับอุณหภูมิของน้ำทะเลที่มีค่าต่ำกว่า จึงพบสัตว์หน้าดินขนาดกลางหลากหลายชนิดและมีความหนาแน่นเป็นจำนวนมาก ในขณะที่เดือนพฤษภาคมมีฝนตกน้อยและมีอุณหภูมิเฉลี่ยของตะกอนดินสูงกว่าเดือนอื่น ๆ จึงพบสัตว์หน้าดินขนาดกลางน้อย สอดคล้องกับการศึกษาของกัสมา และคณะ (2561) ที่พบสัตว์หน้าดินขนาดกลางบริเวณหาดทรายแก้ว จังหวัดสงขลา มีความหนาแน่นน้อยในช่วงฤดูร้อน

การศึกษาค้นคว้าพบว่าไฟลัม Nematoda เป็นกลุ่มที่พบหลากหลายในระดับชนิดมากที่สุด โดยพบทั้งหมด 6 ชนิด และมีความหนาแน่นเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงจำนวน 1-90 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร เนื่องจากไฟลัม Nematoda เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ และการกินอาหารที่หลากหลาย เช่น กินอินทรีย์วัตถุและสัตว์หน้าดินขนาดกลางอื่น ๆ เป็นอาหาร จึงสามารถพบความหนาแน่นหลากหลายบริเวณตะกอนทรายทุกลักษณะ (ณัฐกิตติ์, 2560) ส่งผลให้มีความหนาแน่นเป็นจำนวนมาก กลุ่มเด่นรองลงมา คือ ไฟลัม Foraminifera มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงจำนวน 2-57 ตัวต่อ 10 ตารางเซนติเมตร โดยณัฐกิตติ์ (2559) กล่าวว่า ไฟลัม Foraminifera เป็นพวกที่กินอินทรีย์วัตถุเป็นหลัก สัตว์กลุ่มนี้มักพบอาศัยตามผิวหน้าดินที่มีแหล่งอาหารสำคัญ และยังทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงทำให้มีความหนาแน่นมากและพบได้ตลอดทุกสถานีของการศึกษา

จากการศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมบริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อไขน พบว่าอุณหภูมิของน้ำทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 28.90-33.00 องศาเซลเซียส โดยในเดือนกรกฎาคมและกันยายนมีค่าสูงกว่าเดือนพฤษภาคม ในบริเวณสถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับ เนื่องจากเป็นสถานีสุดท้ายของการเก็บตัวอย่าง จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำทะเลสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 6.44-9.12 ความเค็มของน้ำทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 24.00-31.00 ส่วนในพันส่วน โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทะเลและความเค็มของน้ำทะเลมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน ซึ่งค่ามาตรฐานของค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทะเลเฉลี่ยประมาณ 8.00 และค่ามาตรฐานของความเค็มเฉลี่ยประมาณ 35.00 ส่วนในพันส่วน (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556) อย่างไรก็ตามพบว่าทุกสถานีของในเดือนพฤษภาคมมีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทะเลสูงกว่าเดือนอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากมีฝนตกชุกในระหว่างการทำเนินการเก็บตัวอย่าง จึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ความเค็มของน้ำทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 24.00-31.00 ส่วนในพันส่วน ในเดือนกันยายนมีค่าสูงกว่าเดือนพฤษภาคมและกรกฎาคม เนื่องจากมีฝนตกเป็นระยะ จึงทำให้มีความเค็มของน้ำทะเลเพิ่มขึ้น (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556) ส่วนคุณภาพของตะกอนดินบริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านบ่อไขน พบว่าในเดือนกันยายน บริเวณสถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับ มีค่าอุณหภูมิของ

ตะกอนดินสูงกว่าเดือนพฤษภาคมและกรกฎาคม เนื่องจากในเดือนกันยายนน้ำลงต่ำ จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำทะเลสูงกว่าเดือนอื่น อุณหภูมิของตะกอนดินมีค่าอยู่ในช่วง 5.00-7.00 ในเดือนพฤษภาคมมีค่าเฉลี่ยสูงสุดบริเวณสถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับ ส่วนเดือนกรกฎาคมมีค่าต่ำสุดบริเวณสถานีที่ 3 หาดวังงู ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าอยู่ในช่วง 0.02-0.08 เปอร์เซ็นต์ ในเดือนกรกฎาคมมีค่าเฉลี่ยสูงสุดบริเวณสถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับ และต่ำสุดในเดือนกันยายน บริเวณสถานีที่ 2 หาดสวนกงมีค่าใกล้เคียงบริเวณหาดทรายแก้วที่พบว่าเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุมีค่าอยู่ในช่วง 0.03-0.07 เปอร์เซ็นต์ (กัสมา และคณะ, 2561) เนื่องจากหาดทรายแก้วและหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านโขนได้รับผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมคล้ายกัน เช่น การกัดเซาะชายฝั่งของคลื่นลมทะเล จากการศึกษาของ Martins *et al.* (2015) พบว่าบริเวณชายฝั่งที่มีคลื่นลมแรงมากกระทบผิวหน้าดิน ทำให้อินทรีย์วัตถุถูกพัดพาลงทะเล ทำให้บริเวณผิวหน้าดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อย

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์กับสัตว์หน้าดินขนาดกลางบริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านโขนมากที่สุด คือ เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุและอุณหภูมิของน้ำทะเล เนื่องจากสัตว์กลุ่มนี้หลาย ๆ ชนิด เช่น ไพลัม Nematoda และไพลัม Annelida กินอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในตะกอนทรายเป็นอาหาร ดังนั้นจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินขนาดกลาง และส่งผลให้สัตว์หน้าดินขนาดกลางเหล่านี้มีความหนาแน่นมากขึ้นในบริเวณที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง บางกลุ่ม เช่น ชั้น Ostracoda และชั้น Copepoda มีความสัมพันธ์กับขนาดของตะกอนดิน เนื่องจากขนาดตะกอนดินมีผลต่อช่องว่างระหว่างเม็ดดินซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่ให้กับสัตว์เหล่านี้ จึงพบสัตว์เหล่านี้มากขึ้นด้วย (Albuquerque *et al.*, 2007) ในขณะที่บางชนิดมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนดิน โดยพบกลุ่มไส้เดือนทะเลบางชนิดชุมมากบริเวณที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนดินที่เหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากไพลัม Nematoda เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้ (ณัฐกิตติ์, 2560)

เมื่อพิจารณาสัดส่วนความหนาแน่นของไพลัม Nematoda ต่อชั้น Copepoda ในการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อม พบว่ามีค่ามากที่สุดบริเวณสถานีที่ 2 หาดสวนกง คือ 81.97 ส่วนบริเวณอื่น ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 1.97-8.86 ซึ่งจากรายงานของ Vincx and Heip (1991) กล่าวว่าบริเวณที่มีลักษณะเป็นตะกอนดินทรายควรมีสัดส่วนของไพลัม Nematoda ต่อชั้น Copepoda น้อยกว่า 10 จึงสรุปได้ว่าคุณภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณสถานีที่ 1 หาดปากบางนาทับ สถานีที่ 3 หาดวังงู และสถานีที่ 4 ชายหาดบ้านโขน ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ยกเว้นบริเวณสถานีที่ 2 หาดสวนกง ที่บ่งบอกว่าสภาพแวดล้อมมีความเสื่อมโทรม อาจเนื่องจากบริเวณสถานีที่ 2 หาดสวนกง มีการกัดเซาะชายฝั่งอย่างรุนแรง ส่งผลต่อสัตว์หน้าดินขนาดกลางที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น ทำให้มีความหนาแน่นน้อยกว่าสถานีอื่น ๆ ดังนั้นเพื่อให้ข้อมูลมีความสมบูรณ์มากขึ้นควรศึกษาให้ครอบคลุมทุกฤดูกาล เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการจัดการสภาพแวดล้อมบริเวณหาดปากบางนาทับถึงชายหาดบ้านโขน

สรุปผลการวิจัย

การศึกษครั้งนี้พบว่าสัตว์หน้าดินขนาดกลางมีความหลากหลายและความหนาแน่นสูงในบริเวณหาดปากบางนาทับซึ่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูงและมีเปอร์เซ็นต์ตะกอนทรายหยาบน้อยกว่าบริเวณอื่น ประกอบการที่บริเวณนี้ห่างจากแหล่งชุมชนและได้รับผลกระทบจากคลื่นลมและผลจากการกัดเซาะชายฝั่งน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับค่าสัดส่วนความหนาแน่นของ

ไฟลัม Nematoda ต่อชั้น Copepoda ที่บ่งบอกว่าบริเวณหาดปากบางนาทับมีคุณภาพสิ่งแวดล้อมอยู่ในเกณฑ์ดี ดังนั้นข้อมูลพื้นฐานความหลากหลายของสัตว์หน้าดินขนาดกลางในครั้งนี้นี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำคัญที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสิ่งแวดล้อมในบริเวณนี้ได้ต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่สนับสนุนการดำเนินงานในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2556). *คู่มือแนวทางการปฏิบัติเบื้องต้นความรู้เกี่ยวกับชายฝั่งและการจัดการปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งสำหรับประชาชน*. ปทุมธานี: วิสสุธิ คอลเลคชั่นแดนท์.
- กัสม่า เจ๊ะมะ ชุติพร สุวรรณะ และสุธินี หีมยิ. (2561). ประชาคมสัตว์หน้าดินขนาดกลางบริเวณหาดแก้ว อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา. ใน *การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล ครั้งที่ 6* (หน้า 606-615). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2559). สัตว์ทะเลหน้าดินขนาดเล็กในบริเวณป่าชายเลนธรรมชาติปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร. *วารสารวิจัยรามคำแหง*, 19(1), 9-11.
- ณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2560). สัตว์ทะเลหน้าดินขนาดกลางในพื้นที่ป่าชายเลนปลูกปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 9(17), 13-14.
- ธนพรรณ จอมบดินทร์ สุธินี หีมยิ และเอกนรินทร์ รอดเจริญ. (2565). การใช้สัตว์หน้าดินเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพเพื่อประเมินสภาวะมลพิษจากสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ บริเวณเกาะยอ จ.สงขลา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 27(2), 825-849.
- นิษฐานัญญ์ เทพสุข และอุทัย ปริญญาสุทธินันท์. (2558). เชื้อกันกลิ่น โครงการพัฒนาของภาครัฐกับวิถีชีวิตชุมชนบ้านบ่ออิฐ. ใน *การประชุมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6* (หน้า 741-752). สงขลา: มหาวิทยาลัยหาดใหญ่.
- ปฏิพัทธ์ สันป่าเป่า สุพัฒน์ พลชา วิทยา ทาวงศ์ ภาวิณี พงษ์ชัยสิทธิ์ และปิยวัฒน์ ปองผดุง. (2564). ความหลากหลายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่และความสัมพันธ์ต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแม่น้ำยม. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 40(2), 118-132.
- พงศธร จันทรัตน์. (2558). *ชีววิทยาทางทะเล. โครงการตำราเฉลิมพระเกียรติ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เนื่องในวโรกาสเฉลิมพระชนมายุ 82 พรรษา*. สงขลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- วัลยา สารสิทธิ์ สุดารัตน์ แดงสละ และสุธินี หีมยิ. (2561). ประชาคมสัตว์หน้าดินขนาดกลางบริเวณชายหาดบ้านทุ่งใหญ่ถึงชายหาดบ้านนาทับ จังหวัดสงขลา. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติเครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ ครั้งที่ 12* (หน้า 1078-1087). ตรัง: เครือข่ายวิจัยอุดมศึกษาภาคใต้ตอนล่าง.
- วาริก เส้นนาฮู อัครเดช แผลมกา และสุธินี หีมยิ. (2560). ประชาคมสัตว์หน้าดินขนาดกลางบริเวณหาดสะกอม จังหวัดสงขลา. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง*, 11(1), 93-105.
- วิลาส รัตนานุกูล. (2550). สัตว์หน้าดิน. สืบค้นเมื่อ 25 มีนาคม 2565, จาก: <https://biology.ipst.ac.th/?p=816>.

- องค์การบริหารส่วนจังหวัดสงขลา. (2557). *สงขลา เมืองมนต์เสน่ห์สองฝั่งทะเล 50 จุดหมายแห่งความประทับใจ*. สงขลา: โพโตสแควร์แอนด์กราฟฟิค.
- Albuquerque, E.F., Pinto, A.P.B., Perez, A.Q. and Veloso, V.G. (2007). Spatial and temporal changes in interstitial meiofauna on a sandy ocean beach of South America. *Brazilian Journal of Oceanography*, 55(2), 121-131, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-87592007000200005>.
- Giere, O. (1993). *Meiobenthology: The microscopic fauna in aquatic sediment*. (2nd ed). Berlin: Springer-verlag Berlin Heidelberg.
- Harguinteguy, C.A., Cofré, M.N. and Pastor de Ward, C.T. (2012). Change in the meiofauna community structure of sandy beaches of the Nuevo Gulf (Chubut, Argentina). *Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo)*, 52(34), 411-422, doi: <https://doi.org/10.1590/S0031-10492012021400001>.
- Higgins, R.P. and Thiel, H. (1988). *Introduction to the study of meiofauna*. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press.
- Kenny, A.J. and Sotheran, I. (2013). Characterising the physical properties of seabed habitats. In Eleftheriou A. (Ed.). *Methods for the study of marine benthos*, pp. 47-95. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Martins, M.O., Almeida, T.C.M. and Domenico, M.D. (2015). Vertical distribution of meiofauna on reflective sandy beaches. *Brazilian Journal of Oceanography*, 63(4), 469-480, doi: <https://doi.org/10.1590/S1679-87592015095606304>.
- Maxar Technologies. (2024). *Location of the sampling sites at Pakbang Nathab beach to BanBochon beach, Songkhla province*. Retrieved 30 March 2024, from: <https://www.google.com/maps/@7.0146002,100.771371,20085m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4?authuser=0&entry=ttu>.
- Nelson, D.W. and Sommer, L.E. (1982). *Total carbon, organic carbon and organic matter*. In Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. and Sumner, M.E. (Eds.). *Methods of soil analysis, part, chemical and microbiological properties*, pp. 961-1010. Madison: ASA-SSSA.
- Pinedo, S., Sardá, R. and Martin, D. (1997). Comparative study of the trophic structure of soft-bottom assemblages in the Bay of Blanes (Western Mediterranean Sea). *Bulletin of Marine Science*, 60(2), 529-542.
- Vincx, M. and Heip, C. (1991). The use of meiobenthos in pollution monitoring studies: A review. In Rees, H.L., Heip, C., Vincx, M. and Parker, M.M. (Eds.). *Benthic communities: Use in monitoring point source discharges, techniques in marine environmental sciences*, no.16, pp. 50-67. Copenhagen: International Council for the Exploration of the Sea.

การเปรียบเทียบวิธีการย่อยต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก
ที่ปนเปื้อนในดินและผัก: กรณีศึกษาตำบลน้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย
A Comparison of Digestion Methods on Evaluation Analytical
Performance Heavy Metals Contamination in Soil and Vegetables:
A Case Study in Nam Suay Subdistrict, Mueang Loei District,
Loei Province

นภัสสร วงเปรี้ยว^{1*} ธิตินันท์ ธรรมโส¹ บุษาวดี พุทธานุ¹
ภัทรานุช พงสุข¹ และสุพัฒน์ พระเมืองคง¹

Napatsorn Wongpriaw^{1*}, Thitinan Thammasom¹, Bussabavadee Puttanu¹
Pattranuch Pongsuk¹ and Suphat Phramueangkhong¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินและผักกาดเขียวกวางตั้งด้วยวิธีการย่อย 6 วิธี คือ วิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริก วิธีที่ 2 การย่อยด้วยกรดไนตริกคั่งคั้น วิธีที่ 3 การย่อยด้วยกรดไนตริกพร้อมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ วิธีที่ 4 การย่อยด้วยกรดไนตริกพร้อมกับกรดเปอร์คลอริก วิธีที่ 5 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก และวิธีที่ 6 การย่อยด้วยการเผาให้เป็นเถ้า โดยวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู ด้วยเทคนิค graphite furnace-atomic absorption spectrophotometry (GF-AAS) ผลการวิจัยพบปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และสารหนูในผักกาดเขียวกวางตั้งที่ความเข้มข้น ND-0.03±0.02 0.07±0.02-0.12±0.04 และ ND-0.02±0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และพบในตัวอย่างดินที่ความเข้มข้น ND-0.15±0.03 18.75±0.36-20.21±0.15 ND-2.04±0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ผลการประเมินวิธีการย่อยตัวอย่างผักกาดเขียวกวางตั้ง 6 วิธี ต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ≥ 0.995 และพบว่าการย่อยผักกาดเขียวกวางตั้งด้วยวิธีที่ 6 การย่อยด้วยการเผาให้เป็นเถ้า ให้ผลดีที่สุด ความแม่นยำของวิธีให้ค่าร้อยละการคืนย้อนกลับ (%recovery) อยู่ในช่วงร้อยละ 99.77-90.17 ปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (LOD) และปริมาณต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (LOQ) คือ 0.0027-0.0519 และ 0.0090-0.0519 รองลงมา คือ วิธีที่ 2 การย่อยด้วยกรดไนตริกคั่งคั้น และพบว่าวิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริก และวิธีที่ 3 การย่อยด้วยกรดไนตริกพร้อมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นวิธีที่ยอมรับได้ ค่าใช้จ่ายไม่สูง ง่ายและมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ มีค่าร้อยละการคืนย้อนกลับอยู่ในช่วง 85.75-80.12 และปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ คือ

¹ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

* Corresponding author e-mail: napatsorn.won@lru.ac.th

Received: 18 September 2023, Revised: 19 April 2024, Accepted: 1 May 2024

0.0497-0.0029 ปริมาณต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ คือ 0.1656-0.0097 การถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่ผักกาดเขียววางต้งพบว่าปริมาณลดลงและการปนเปื้อนโลหะหนักมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลกที่กำหนดไว้ซึ่งแสดงถึงความปลอดภัยต่อการบริโภค

คำสำคัญ: การปนเปื้อน วิธีย่อยตัวอย่าง โลหะหนัก ดิน ผัก

Abstract

The study aims to analyze the content of three heavy metals in soils and *Brassica rapa* L. Six digestion methods, including method-1; prepared the samples; digestion with nitric acid, method-2; digestion with nitric acid in overnight, method-3; digestion with nitric acid and hydrogen peroxide, method-4; digestion with nitric acid and perchloric acid, method-5; digestion with sulfuric acid and method-6; dry ash. Heavy metal contents such as cadmium (Cd), lead (Pb), and arsenic (As) were analyzed using graphite furnace atomic absorption spectrometry (GF-AAS). The results revealed that the concentration ranges of cadmium (Cd), lead (Pb), and arsenic (As) in *B. rapa* L. were $ND-0.03 \pm 0.02$, $0.07 \pm 0.02-0.12 \pm 0.04$, and $ND-0.02 \pm 0.03$ milligram per kilogram (mg/kg), respectively. The soil samples found heavy metal contents in the ranges of $ND-0.15 \pm 0.03$, $18.75 \pm 0.36-20.21 \pm 0.15$, and $ND-2.04 \pm 0.03$ mg/kg, respectively. The evaluation of six digestion methods of *B. rapa* L. on the analytical performance of heavy metals, including cadmium, lead, and arsenic, showed a linearity range of $r^2 \geq 0.995$. The comparison of six digestion methods found the best preparation sample in removing the matrix, and the efficiency of analysis of heavy metal showed in method-6 as dry ash at 480 °C for 4 hours. The recovery percentages for cadmium, lead, and arsenic were found in the 99.77-90.17% range. Limit of detection (LOD) and quantitation (LOQ) were 0.0027-0.0519 and 0.0090-0.0519. In addition, the sample preparation of method-1; prepared the samples; digestion with nitric acid and method-3; digestion with nitric acid and hydrogen peroxide were also acceptable. The substances were inexpensive, easy, and fast to analyze. The recovery percentage, LOD, and LOQ were 85.75-80.12, 0.0497-0.0029, and 0.1656-0.0097, respectively. The transfer factor of heavy metal from soil to vegetables has been found to have decreased. The contamination of heavy metals was less than that of the World Health Organization. This indicates that it is safe for consumption.

Keywords: Contamination, Digestion method, Heavy metals, Soil, Vegetables

บทนำ

ตำบลน้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย ถือเป็นแหล่งเกษตรกรรมที่สำคัญอีกพื้นที่หนึ่งของ จังหวัดเลย มีการเพาะปลูกพืชผลทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก สภาพดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว พื้นที่ส่วนใหญ่ที่เป็นพื้นราบประชาชนใช้ปลูกข้าว ส่วนพื้นที่ซึ่งเป็นเนินใช้ปลูกพืชไร่และทำสวน (เทศบาลตำบลน้ำสวย, 2561) ดินเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญที่สุดในการเพาะปลูก ทั้งนี้การใช้ดินเพื่อทำการเกษตรอย่างต่อเนื่องและเป็นระยะเวลานานทำให้คุณภาพของดินเปลี่ยนแปลงไป (เสื่อมลง) ส่งผลให้เกษตรกรมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุเพื่อการปรับปรุงดิน เช่น ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ยาฆ่าแมลง ยากำจัดศัตรูพืช และยาฆ่าเชื้อรา เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลผลิตที่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งจากการใช้วัสดุปรับปรุงดินดังกล่าวถือเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ดินมีโอกาสสะสมโลหะหนักและ สารอื่น ๆ ได้ โดยโลหะหนักและสารต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ในดินบางส่วนอาจละลายออกมาอยู่ในรูปที่พืช สามารถดูดสะสมได้ ทำให้ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารและเกิดความเสี่ยงด้านสุขภาพ ตามประกาศ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ระบุค่าสารหนู แคดเมียม และ ตะกั่ว ต้องมีได้ไม่เกิน 6 67 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) ดังนั้นการปนเปื้อนโลหะหนักและสารอื่น ๆ ในดินจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง นอกจากต้องให้ความสำคัญกับคุณภาพดิน พืชและผักที่เพาะปลูกแล้ว วิธีการวิเคราะห์ก็ถือเป็นสิ่งสำคัญที่ต้อง คำนึงถึง สำหรับการวิเคราะห์โลหะหนักมีวิธีการวิเคราะห์หลายวิธีซึ่งวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการเตรียม ตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ เช่น การเจือจาง การย่อยและการสกัดด้วยกรด การย่อยด้วยไมโครเวฟ (พุทธิดา และมาริส, 2567) การเผาให้เป็นเถ้าที่อุณหภูมิสูง เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีข้อเสีย ที่แตกต่างกัน นุชจรี และปิยะดา (2564) ศึกษาประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดในดิน นาข้าว 3 อำเภอ จังหวัดสุโขทัย ด้วยการเตรียมตัวอย่างโดยสกัดด้วยกรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริก พบว่าดินนาข้าวมีการปนเปื้อนตะกั่วในช่วง ND-34.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ตรวจไม่พบ ปริมาณแคดเมียมในทุกพื้นที่ นอกจากนี้ สมสุข และคณะ (2558) ศึกษาปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดงในผักสวนครัว จังหวัดมหาสารคาม โดยการนำตัวอย่างเปียกมาอบให้แห้งแล้วย่อยด้วยกรด ไนตริกเข้มข้นหาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (atomic absorption spectrometer: AAS) พบว่าผักแต่ละชนิดมีค่าโลหะหนักทั้งสามชนิดในปริมาณน้อยกว่า ค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก ดังนั้นการเลือกวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมก่อนนำไป วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ได้ข้อมูลถูกต้อง ดังนั้นการศึกษานี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการย่อยตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ 6 วิธีต่อประสิทธิภาพการ วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและผัก กรณีศึกษาบ้านน่าน้ำมัน ตำบลน้ำสวย อำเภอ เมืองเลย จังหวัดเลย รวมทั้งเป็นข้อมูลในการปรับปรุงคุณภาพดินและยังใช้เป็นแนวทางในการลด ความเสี่ยงของสุขภาพจากการบริโภคผัก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สารเคมีและเครื่องมือ

สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และสารหนู (As) สารเคมีสำหรับการย่อยตัวอย่าง ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดไนตริก (HNO₃) กรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) กรดเปอร์คลอริก (HClO₄) และกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) เป็น AR Grade, Merck, Germany

เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น Model AA-6200 Shimadzu, Japan ที่การไหลของแก๊ส 1 ลิตรต่อนาที ความกว้างของช่องแสง 0.7 มิลลิเมตร และความยาวคลื่น 228.8 283.3 และ 193.7 นาโนเมตร สำหรับการวิเคราะห์แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนู ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินจากแปลงปลูกจำนวน 5 แปลง ดังตารางที่ 1 จากบ้านนาน้ำมัน ตำบลน้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย จำนวน 250 กรัม ในแปลงปลูกผักกาดเขียววางตั้งที่ความลึก 5 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วบดละเอียดโดยใช้โกร่งบด แล้วชั่งตัวอย่างดินมาจำนวน 2.5 กรัม เติมสารผสมระหว่างกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ต่อกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 ในอัตราส่วน 3:1 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นและทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Mwegoha and Kihampa, 2010; Rashid *et al.*, 2016) กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 93 แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค graphite furnace-atomic absorption spectrophotometry (GF-AAS)

3. การเก็บและย่อยตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งก่อนการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

เก็บตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งจากแปลงปลูกจำนวน 5 แปลง (ตารางที่ 1) โดยเก็บซ้ำ 5 ครั้ง ๆ ละ 100 กรัม แล้วนำตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งมาล้างทำความสะอาด นำมาหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น โดยความชื้นจะต้องมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 3 เก็บตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งที่ได้ไว้ในโถสุญญากาศก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 1 รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่างดินและผักกาดเขียววางตั้ง

จุดเก็บตัวอย่างดินและ ผักกาดเขียววางตั้ง	รายละเอียด
จุดเก็บที่ 1	พื้นที่ทิศเหนือติดกับสวนลำไยห่างจากพื้นที่ปลูกผัก 1 กิโลเมตร ทิศใต้ทิศตะวันออก และทิศตะวันตกอยู่ติดกับทุ่งนาเป็นนาปี การเกษตรมีการใช้ปุ๋ยเคมี
จุดเก็บที่ 2	พื้นที่อยู่ติดกับทุ่งนาล้อมรอบทุกทิศ การเกษตรมีการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีเพื่อการเกษตร
จุดเก็บที่ 3	พื้นที่อยู่ในระหว่างการเกษตร

ตารางที่ 1 (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่างดินและ ผักกาดเขียววางตั้ง	รายละเอียด
จุดเก็บที่ 4	พื้นที่อยู่บนพื้นที่เกษตรอินทรีย์ ไม่มีการใช้สารเคมีในการทำการ เพาะปลูก ทิศใต้อยู่ติดกับถนนประโยชน์ ทิศเหนืออยู่ติดกับสวนมะม่วง ทิศตะวันออกอยู่ติดกับสวนไผ่ และทิศตะวันตกอยู่ติดกับคลองไส้ไก่
จุดเก็บที่ 5	พื้นที่เป็นพื้นที่ใกล้กับเขตชุมชน และแปลงปลูกข้าวโพดมีการใช้ปุ๋ยเคมี และสารเคมีเพื่อการเกษตร

4. การวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งด้วยวิธีการย่อย 6 วิธี ดังนี้

4.1 วิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริก

โดยชั่งตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งจำนวน 1 กรัม ใส่ในครุชีเบล (crucible) แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนโดยใช้เตาให้ความร้อนจนได้สารละลายใส ทำการย่อยตัวอย่างซ้ำอีกครั้งด้วยกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 93 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS (Hseu, 2004)

4.2 วิธีที่ 2 การย่อยด้วยกรดไนตริกค้ำคืน

โดยชั่งตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้ง จำนวน 1 กรัม ใส่ในครุชีเบลแล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปให้ความร้อนโดยใช้เตาให้ความร้อนจนได้สารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 93 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS (Laing, 2003)

4.3 วิธีที่ 3 การย่อยด้วยกรดไนตริกร่วมกับกรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

โดยชั่งตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งจำนวน 1 กรัม ใส่ในครุชีเบล แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 เข้มข้น 10 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนโดยใช้เตาให้ความร้อนเป็นเวลา 45 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนอีกครั้งจนได้สารละลายใส จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS (Laing, 2003)

4.4 วิธีที่ 4 การย่อยด้วยกรดไนตริกร่วมกับกรดเปอร์คลอริก

โดยชั่งตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้ง จำนวน 1 กรัม ใส่ในครุชีเบล แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนโดยใช้เตาให้ความร้อนเป็นเวลา 45 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมกรดเปอร์คลอริกเข้มข้นร้อยละ 70 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนอีกครั้งจนได้สารละลายใส จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 93 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS (Mwegoha and Kihampa, 2010)

4.5 วิธีที่ 5 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก

โดยชั่งตัวอย่างผักกาดเขียวกวางตุ้งจำนวน 1 กรัม ใส่ในครุชเชิล แล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 98 ปริมาตร 7 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปให้ความร้อนโดยใช้เตาให้ความร้อนเป็นเวลา 45 นาที แล้วเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาตร 7 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ซ้ำอีกครั้ง นำไปให้ความร้อนอีกครั้งจนได้สารละลายใส จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 93 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS (Mwegoha and Kihampa, 2010)

4.6 วิธีที่ 6 การย่อยด้วยการเผาให้เป็นเถ้า

โดยชั่งตัวอย่างผักกาดเขียวกวางตุ้งจำนวน 1 กรัม ใส่ในครุชเชิล แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์ (M) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ทำให้แห้งโดยใช้เตาให้ความร้อน แล้วนำไปเผาอีกครั้งที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่น 4 หยด และเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนโดยใช้เตาให้ความร้อน แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร อีกครั้ง จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 93 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS (Laing, 2003)

5. การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ (method validation)

5.1 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity)

โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนู ที่ความเข้มข้น 7 ระดับ ได้แก่ แบลงค์ 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 และ 30.0 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้น แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ซึ่งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.9950 (AOAC International, 2002)

5.2 การวิเคราะห์หาค่าร้อยละการกลับคืน (% recovery)

การทดสอบความถูกต้องโดยใช้วิธีเติมสารมาตรฐาน (standard addition) โดยการเติมสารละลายมาตรฐานโลหะหนักลงในสารละลายตัวอย่าง จากนั้นนำสารละลายผสมไปทำการวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้ง แล้วคำนวณหาค่าร้อยละการกลับคืน ซึ่งค่าร้อยละการกลับคืนที่ผ่านเกณฑ์ควรอยู่ในช่วงร้อยละ 80.00-115.00 (AOAC International, 2002)

5.3 การวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจวัดได้ (LOD) และการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจหาได้ (LOQ)

โดยใช้วิธีการคำนวณจากสัญญาณของแบลงค์ที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด โดยทำการวิเคราะห์แบลงค์ จำนวน 11 ซ้ำ จากนั้นคำนวณค่าความเข้มข้นจากความเข้มข้นเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบลงค์ โดยทั่วไปความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจวัดได้มีค่าประมาณ 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารละลายแบลงค์ และความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจหาได้มีค่าเป็น 10 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารละลายแบลงค์ (ทิพวรรณ, 2549)

5.4 การวิเคราะห์หาค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

โดยนำตัวอย่างมาทำการทดสอบซ้ำจำนวน 10 ซ้ำ แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารในตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ และหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นของสารในตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ซึ่งค่าที่ได้ไม่ควรเกินร้อยละ 11.00 (AOAC International, 2002)

6. การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนโลหะหนัก (transfer factor: TF)

โดยการนำผลความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีอยู่ในตัวอย่างอาหารด้วยความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดในดิน (Kachenko and Singh, 2006)

7. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way ANOVA) ในโปรแกรม Microsoft excel และแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และทำการทดลองซ้ำ 5 ซ้ำ

ผลการวิจัย

1. ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดิน

ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดินจากสวนปลูกผักกาดเขียววางตั้งในพื้นที่บ้านน่าน้ำมัน ตำบลน้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย วิเคราะห์ด้วยเทคนิค GF-AAS ผลการศึกษาพบการปนเปื้อนของตะกั่วมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.45 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ สารหนู (2.04 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และแคดเมียม (0.19 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดิน

จุดเก็บตัวอย่างดิน	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	แคดเมียม	ตะกั่ว	สารหนู
จุดเก็บที่ 1	0.16 ± 0.04	20.21 ± 0.15	ND
จุดเก็บที่ 2	0.15 ± 0.03	19.58 ± 0.21	1.78 ± 0.09
จุดเก็บที่ 3	0.16 ± 0.04	21.45 ± 0.23	0.65 ± 0.04
จุดเก็บที่ 4	ND	19.26 ± 0.41	ND
จุดเก็บที่ 5	0.19 ± 0.04	18.75 ± 0.36	2.04 ± 0.03
ค่ามาตรฐาน*	67.00	400.00	6.00

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

- ND (not detected) คือ ตรวจไม่พบ

- * ค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2564 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2564)

2. ผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการย่อยตัวอย่าง 6 วิธี และการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักกาดเขียวกวาดงตั้ง

การประเมินวิธีการย่อยตัวอย่างก่อนวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก 6 วิธี ว่ามีความเหมาะสม สามารถใช้วิเคราะห์ตัวอย่างได้ถูกต้อง แม่นยำ และเชื่อถือได้ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) มีผลดีทุกวิธี คือ มีค่า $r^2 \geq 0.9950$ และมีค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของวิธีทั้งหมดแสดงผลที่น่าเชื่อถือและยอมรับได้ โดยมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 11.00 และผลการศึกษาค่าร้อยละการกลับคืน ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถวัดได้ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (ตารางที่ 3) จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการย่อยตัวอย่าง 6 วิธี พบว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยการย่อยวิธีที่ 1 2 3 และ 6 เป็นวิธีที่ให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำโดยเฉพาะวิธีที่ 6 การย่อยด้วยการเผาให้เป็นเถ้า ให้ผลการวิเคราะห์แม่นยำที่สุด รองลงมา คือ วิธีที่ 2 การย่อยด้วยกรดไนตริกค้างคืน เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละการกลับคืน แต่ทั้งสองวิธีจะมีข้อจำกัดในเรื่องของค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการวิเคราะห์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริก และวิธีที่ 3 การย่อยด้วยกรดไนตริกร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เตรียมตัวอย่างด้วยการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 และกรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20 ที่ให้ผลการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ในขณะที่วิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีที่ 4 การย่อยด้วยกรดไนตริกร่วมกับกรดเปอร์คลอริก วิธีนี้มีข้อเสียเนื่องจากกรดเปอร์คลอริกเป็นสารอันตรายที่ค่อนข้างรุนแรงอาจก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่รุนแรงและสามารถเกิดการระคายเคืองได้ และวิธีที่ 5 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก ให้ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (ค่าร้อยละการกลับคืน) ปริมาณโลหะหนักในผักกาดเขียวกวาดงตั้งถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ เพราะถือว่าเป็นผู้ผลิตในห่วงโซ่อาหารที่สามารถถ่ายโอนโลหะหนักและสารอาหารไปถึงผู้บริโภคลำดับต่าง ๆ จากผลการวิเคราะห์พบว่าผักกาดเขียวกวาดงตั้งมีการปนเปื้อนของตะกั่วในปริมาณสูงที่สุด เท่ากับ 0.12 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ แคดเมียม เท่ากับ 0.05 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสารหนู เท่ากับ 0.04 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4) แต่ปริมาณที่พบในการปนเปื้อนมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414) พ.ศ. 2563 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน และขององค์การอนามัยโลก (WHO) โดยผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ในตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดงตั้งจากวิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยทั้ง 6 วิธี ให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการย่อยตัวอย่าง 6 วิธี และการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักกาดเขียวกวาดต้ง

การ ย่อย วิธีที่	การตรวจสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์โลหะหนักในผักกาดเขียวกวาดต้ง ค่าร้อยละการกลับคืน, ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวัดได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร), และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	แคดเมียม	ตะกั่ว	สารหนู
1	85.75, 0.0263, 0.0876	82.84, 0.0295, 0.0983	84.09, 0.0031, 0.0100
2	98.64, 0.0273, 0.0910	97.83, 0.0473, 0.1580	85.73, 0.0031, 0.0100
3	83.72, 0.0269, 0.0897	80.12, 0.0497, 0.1656	81.44, 0.0029, 0.0097
4	74.21, 0.0105, 0.0350	76.97, 0.0300, 0.1003	82.61, 0.0029, 0.0097
5	80.05, 0.0258, 0.0860	71.23, 0.0297, 0.0990	69.89, 0.0018, 0.0060
6	99.77, 0.0255, 0.0850	98.35, 0.0519, 0.1730	90.17, 0.0027, 0.0090

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการย่อยวิธีที่ 1-6 ของการตรวจสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดต้ง มีค่าการวิเคราะห์ F-value เท่ากับ 0.0127 0.0509 0.0147 0.0340 0.0473 และ 0.0328 ตามลำดับ และค่า p-value เท่ากับ 0.9874 0.9507 0.9854 0.9667 0.9540 และ 0.9679 ตามลำดับ เนื่องจากค่า p-value ของการวิเคราะห์ทั้ง 6 วิธีมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 3 ชุด ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดต้ง

จุดเก็บตัวอย่าง ผักกาดเขียวกวาดต้ง	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	แคดเมียม	ตะกั่ว	สารหนู
จุดเก็บที่ 1	0.04±0.05	0.12±0.04	ND
จุดเก็บที่ 2	0.03±0.02	0.08±0.03	0.02±0.03
จุดเก็บที่ 3	0.03±0.04	0.07±0.02	ND
จุดเก็บที่ 4	ND	0.09±0.03	ND
จุดเก็บที่ 5	0.05±0.03	0.10±0.03	0.04±0.03
ค่ามาตรฐาน*	0.20	0.30	2.00

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

- ND (not detected) คือ ตรวจไม่พบ

- * ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414) พ.ศ. 2563 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (กระทรวงสาธารณสุข, 2563)

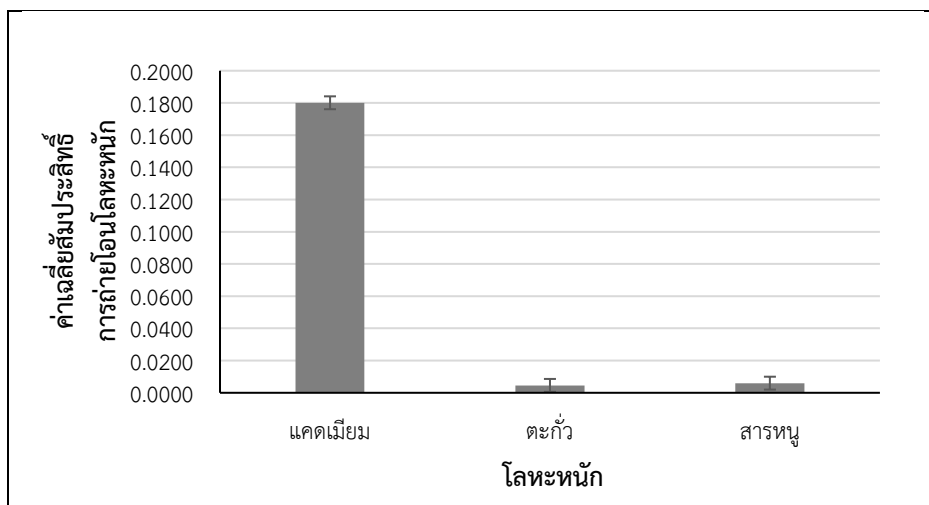
3. ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนโลหะหนัก

การศึกษาการถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่พืชเป็นตัวบ่งชี้ที่วัดความสามารถของพืชในการดูดซับและนำโลหะหนักออกจากดินเข้าสู่ระบบพืชผ่านรากพืช มีความสำคัญในการประเมินความเสี่ยงของการสะสมโลหะหนักในพืช และการจัดการกับการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและพืช ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ เพราะเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญของการได้รับโลหะหนักของมนุษย์และสัตว์ในฐานะผู้บริโภค รวมทั้งเป็นเรื่องที่สำคัญเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพของดินและกระบวนการปลูกพืชและผักเพื่อลดการสะสมของโลหะหนัก ผลการศึกษาทำให้มีวิธีการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการสะสมของโลหะหนักในดินด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การปลูกผักแบบอินทรีย์หรือการใช้วิธีการปลูกที่มีการควบคุมการใช้สารเคมีและปุ๋ยเคมี ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนโลหะหนัก ดังตารางที่ 5 และภาพที่ 1

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่ผักกาดเขียววางตั้ง

จุดเก็บตัวอย่าง ผักกาดเขียววางตั้ง	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่ผักกาดเขียววางตั้ง		
	แคดเมียม	ตะกั่ว	สารหนู
จุดเก็บที่ 1	0.2500±0.05	0.0059±0.02	-
จุดเก็บที่ 2	0.2000±0.04	0.0040±0.04	0.0112±0.03
จุดเก็บที่ 3	0.1875±0.03	0.0032±0.05	-
จุดเก็บที่ 4	-	0.0046±0.03	-
จุดเก็บที่ 5	0.2631±0.04	0.0053±0.05	0.0196±0.02
ค่าเฉลี่ย	0.1801±0.04	0.0046±0.04	0.0060±0.03

หมายเหตุ: - ค่าที่รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)



ภาพที่ 1 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่ผักกาดเขียววางตั้ง

การอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินที่ปลูกผักกาดเขียววางตุ้งในพื้นที่บ้านน่าน้ำมัน ตำบล น้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย ทั้ง 5 จุดเก็บตัวอย่าง พบว่าปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนูในดินอยู่ในช่วงระหว่าง $ND-0.19\pm0.04$ $19.26\pm0.41-21.45\pm0.23$ และ $ND-2.04\pm0.03$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งระดับความเข้มข้นของโลหะหนักไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2564 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน โดยกำหนดให้การปนเปื้อนของสารหนูไม่เกิน 6 ตะกั่วไม่เกิน 400 และแคดเมียมไม่เกิน 67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) มีความสอดคล้องกับการศึกษาของพรรณิภา และปิยะดา (2564) ที่ศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินสำหรับปลูกผักเศรษฐกิจ 5 ชนิด ในพื้นที่ตำบลบึงพระ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่าดินในแปลงผักมีการปนเปื้อนของตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และเหล็กผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2547 ในขณะที่ตรวจไม่พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในแปลงปลูกผักทั้งหมด จากผลการศึกษาพบปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยพบว่าที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 5 มีการปนเปื้อนของแคดเมียมและสารหนูในระดับที่สูงกว่าจุดอื่น คือ 0.19 ± 0.04 และ 2.04 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อาจเป็นเพราะเป็นพื้นที่เกษตรใกล้กับเขตชุมชนและแปลงปลูกข้าวโพด ซึ่งมีการใช้สารเคมีมากกว่าจุดเก็บตัวอย่างจุดอื่น ๆ ในขณะที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 พบการปนเปื้อนของตะกั่วสูงสุด เท่ากับ 21.45 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ระหว่างการเกษตรปลูกพืชและพื้นที่ที่ไม่ถูกใช้งาน ทั้งนี้สรุปได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของโลหะหนักแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมาจากสารหรือวัสดุต่าง ๆ ที่ใส่ลงไปในดิน เช่น ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก วัสดุปรับปรุงดิน ยาฆ่าแมลง ยากำจัดศัตรูพืช และยาฆ่าเชื้อราในการเกษตร รวมถึงปริมาณและความถี่ในการใช้สารหรือวัสดุต่าง ๆ ดังกล่าว และจากผลการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในผักกาดเขียววางตุ้งในพื้นที่เก็บตัวอย่าง พบว่าผักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกในพื้นที่บ้านน่าน้ำมัน ตำบล น้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย มีปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่วสูงที่สุดบริเวณจุดเก็บที่ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.12 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ แคดเมียมและสารหนู บริเวณจุดเก็บที่ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ± 0.03 และ 0.05 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าตรวจไม่พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในตัวอย่างผักกาดเขียววางตุ้งบริเวณจุดเก็บที่ 4 และไม่พบการปนเปื้อนของสารหนูในตัวอย่างผักกาดเขียววางตุ้งบริเวณจุดเก็บที่ 1 3 และ 4 ทั้งนี้ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดที่ตรวจพบมีค่าที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ โดยปริมาณที่กำหนดของตะกั่วและแคดเมียมในผักใบรวมทั้งผักใบตระกูลกะหล่ำยักวั้นผักปวยเล้ง ปริมาณสูงสุดที่มีได้ไม่เกิน 0.3 และ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับสารหนูปริมาณสูงสุดที่มีได้ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2563) ซึ่งผลจากการศึกษาที่ได้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของสมสุข และคณะ (2558) ที่ศึกษาปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดงในผักสวนครัว จังหวัดมหาสารคาม โดยการนำตัวอย่างเปื่อยมาอบให้แห้งแล้วย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ พบว่าผักแต่ละชนิดมีค่าโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในปริมาณน้อยกว่าค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก ระดับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในผักเกิดขึ้น

จากการเคลื่อนย้ายวัตถุแร่ธาตุและสารต่าง ๆ ผ่านทางรากของพืชจากดินที่ปนเปื้อน นอกจากนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความสามารถในการปลดปล่อยแร่ธาตุและสารต่าง ๆ จากดินสู่พืช โลหะหนักทำให้เกิดพิษต่อร่างกาย เช่น เอนไซม์หลายชนิดไม่ทำงาน ระบบย่อยและเผาผลาญสารอาหารและระบบพลังงานบกพร่อง ขัดขวางการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง อ่อนเพลีย มีไข้ ความดันโลหิตสูง เกิดภาวะโปรตีนในปัสสาวะสูง ไตทำงานผิดปกติ ปวดตามข้อและกระดูก สายตาพร่ามัว ท้องร่วง อาเจียน ตับวาย และมีโอกาสเสียชีวิตตามมา การถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่พืชถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มนุษย์มีโอกาสได้รับโลหะหนักผ่านห่วงโซ่อาหาร ซึ่งในการศึกษาการถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่พืชครั้งนี้พบปริมาณการถ่ายโอนของแคดเมียมสูงที่สุด รองลงมา คือ สารหนู และตะกั่ว โดยมีค่าเฉลี่ยการวิเคราะห์อยู่ที่ 0.1801 0.0060 และ 0.0046 ตามลำดับ สำหรับการประเมินวิธีการย่อยตัวอย่าง 6 วิธีต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก โดยประเมินผ่านผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ผลดีทุกวิธีการเตรียมตัวอย่าง คือ มีค่า $r^2 \geq 0.9950$ ผลการศึกษาค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ แสดงผลยอมรับได้ คือ มีค่าไม่เกินร้อยละ 11.00 และผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละการกลับคืน ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ พบว่าวิธีที่ 6 การย่อยด้วยการเผาให้เป็นเถ้ามีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดตัวรบกวนซึ่งให้ผลการวิเคราะห์เป็นค่าร้อยละการกลับคืนของแคดเมียม ตะกั่ว และสารหนู จากการทำการวิเคราะห์ซ้ำ 5 ครั้ง มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 99.77 98.35 และ 90.17 ตามลำดับ ถึงแม้การเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีนี้จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด แต่ก็มีข้อจำกัดเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง เพราะต้องใช้เตาเผาอุณหภูมิสูงในกระบวนการเผาให้เป็นเถ้า นอกจากนี้ยังใช้เวลานานในการเตรียมตัวอย่างถึง 5 ชั่วโมง รองลงมา คือ วิธีที่ 2 การย่อยด้วยกรดไนตริกค้างคืน วิธีนี้มีข้อจำกัด คือ ใช้เวลานานในการเตรียมตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริก และวิธีที่ 3 การย่อยด้วยกรดไนตริกร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ให้ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถวัดได้ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ และค่าร้อยละการกลับคืน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ โดยเฉพาะวิธีที่ 1 วิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกชนิดเดียวในกระบวนการย่อยเพื่อเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ ซึ่งถือเป็นวิธีการที่ประหยัด ง่าย และมีความรวดเร็ว ด้วยเหตุผลนี้จึงนำตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดต้งทั้งหมด (ทุกจุดเก็บตัวอย่าง) มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนัก ให้ผลการวิเคราะห์เป็นค่าร้อยละการกลับคืนของโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนู มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 85.75 82.84 และ 84.09 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันวิธีที่ 5 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก ให้ค่าร้อยละการกลับคืนต่ำที่สุด อาจเนื่องมาจากวิธีที่ 5 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก ไม่มีกรดไนตริกในกระบวนการย่อย ซึ่งกรดไนตริกเป็นสารที่ช่วยกำจัดตัวรบกวน โดยให้ค่าร้อยละการกลับคืนของตะกั่วและสารหนูอยู่ที่ร้อยละ 76.23 และ 74.89 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่าขีดจำกัดที่ยอมรับได้ ในขณะที่วิธีที่ 4 การย่อยด้วยกรดไนตริกร่วมกับกรดเปอร์คลอริก ไม่แนะนำวิธีนี้เนื่องจากกรดเปอร์คลอริกเป็นสารอันตรายที่ค่อนข้างรุนแรงกว่าสารชนิดอื่น หากเป็นสารผสมจะก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่รุนแรง สามารถทำลายดวงตาและการระคายเคืองอาจทำให้ตาบอดได้ นอกจากนี้วิธีนี้ยังให้ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละการกลับคืนที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานตาม AOAC International (2002) คือ มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80.00

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินและผัก กรณีศึกษาบ้านน่าน้ำมัน ตำบลน้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย ด้วยวิธีการเตรียมตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดตั้งผ่านกระบวนการย่อยทั้ง 6 วิธี แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GF-AAS พบว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดตั้งผ่านกระบวนการย่อยทั้ง 6 วิธี ให้ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนูในตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่าวิธีที่ 6 การย่อยด้วยการเผาให้เป็นเถ้า เป็นวิธีที่สามารถกำจัดตัวรบกวนออกจากตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดตั้งที่ทำการวิเคราะห์ได้ดีที่สุด และมีค่าร้อยละการกลับคืนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ แต่วิธีนี้มีข้อจำกัด คือ มีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ต้องผ่านกระบวนการเผาให้เป็นเถ้าด้วยเตาเผาที่อุณหภูมิสูง (480 องศาเซลเซียส) เพื่อกำจัดตัวรบกวนในการวิเคราะห์และใช้เวลานาน ในขณะที่วิธีที่ 2 การย่อยด้วยกรดไนตริก ค้างคืน ก็ให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือและยอมรับได้เช่นเดียวกัน แต่มีข้อจำกัด คือ ใช้เวลานานในการเตรียมตัวอย่าง (การย่อยใช้เวลา 24 ชั่วโมง) ก่อนนำมาวิเคราะห์ วิธีนี้จึงไม่นิยมนำมาใช้ สำหรับวิธีที่ 4 การย่อยด้วยกรดไนตริกพร้อมกับกรดเปอร์คลอริก และวิธีที่ 5 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก ไม่แนะนำให้ใช้ทั้ง 2 วิธีนี้ในการเตรียมตัวอย่าง เนื่องจากประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ค่อนข้างต่ำ (ค่าร้อยละการกลับคืนในการวิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน) และยังมีข้อจำกัดเรื่องความเป็นพิษของกรดเปอร์คลอริก ในทางกลับกันวิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริก และวิธีที่ 3 การย่อยด้วยกรดไนตริกพร้อมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นวิธีที่ยอมรับได้ ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่สูง และมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์โดยเฉพาะวิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริกเพียงชนิดเดียวในกระบวนการย่อยตัวอย่างและใช้เวลาในการเตรียมตัวอย่างเพียง 1 ชั่วโมง ซึ่งจากการวิเคราะห์การสะสมปริมาณโลหะหนักในดิน พบว่าการสะสมปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2564 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน และจากผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนักในผักกาดเขียวกวาดตั้ง พบว่าผักกาดเขียวกวาดตั้งบริเวณจุดเก็บที่ 2 และ 5 มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนู มีค่าอยู่ระหว่าง 0.03 ± 0.02 - 0.05 ± 0.03 0.10 ± 0.03 - 0.08 ± 0.03 และ 0.02 ± 0.03 - 0.04 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ในการศึกษาตรวจไม่พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในผักกาดเขียวกวาดตั้งบริเวณจุดเก็บที่ 4 และตรวจไม่พบการปนเปื้อนของสารหนูในผักกาดเขียวกวาดตั้งบริเวณจุดเก็บที่ 1 3 และ 4 ทั้งนี้ปริมาณโลหะหนักที่พบมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414) พ.ศ. 2563 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน และขององค์การอนามัยโลก (WHO) การศึกษาการถ่ายโอนโลหะหนักจากดินไปสู่ผักผ่านทางรากผักพบแนวโน้มการถ่ายโอนโลหะหนักสูงที่สุด คือ แคดเมียม และน้อยที่สุด คือ ตะกั่ว

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาควรเพิ่มเติมในพื้นที่อื่น ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและพืชผักที่ครอบคลุมมากขึ้น เนื่องจากการศึกษานี้เป็นเพียงกรณีศึกษาในพื้นที่เฉพาะบ้านน่าน้ำมัน ตำบลน้ำสวย อำเภอเมือง จังหวัดเลย และในอนาคตควรทำการศึกษาวิธีการบำบัดหรือลดการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและพืชผัก เช่น การใช้จุลินทรีย์ การใช้ปุ๋ยชีวภาพ เป็นต้น รวมถึงการพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์โลหะหนักที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้งบประมาณต่ำ แต่ให้ผลที่น่าเชื่อถือ เพื่อสนับสนุนการศึกษาวิจัยด้านนี้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2564). *ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2564 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน*. สืบค้นเมื่อ 19 เมษายน 2567, จาก: <https://www.pcd.go.th/laws/25162/>.
- กระทรวงสาธารณสุข. (2563). *ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414) พ.ศ. 2563 ออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน*. สืบค้นเมื่อ 19 เมษายน 2567, จาก: https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2563/E/118/T_0017.PDF.
- ทิพวรรณ นิงน้อย. (2549). แนวปฏิบัติการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ทางเคมีโดยห้องปฏิบัติการเดียว. *รายงานวิจัย*. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.
- เทศบาลตำบลน้ำสวย. (2561). *แผนพัฒนาท้องถิ่น พ.ศ. 2561-2565*. สืบค้นเมื่อ 19 เมษายน 2567, จาก: https://www.kluaykwang.go.th/index/add_file/Ztx2SpiMon21132.pdf.
- นุชจรี ท้ายสนิท และปิยะดา วชิระวงศกร. (2564). การประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักบางชนิดในดินนาข้าวของจังหวัดสุโขทัย. *PSRU Journal of Science and Technology*, 6(1), 99-108.
- พรรณีภา แท้มติ และปิยะดา วชิระวงศกร. (2564). การปนเปื้อนโลหะหนักในดินของพื้นที่ผลิตผักเศรษฐกิจในจังหวัดพิษณุโลก. *PSRU Journal of Science and Technology*, 6(2), 98-108.
- พุทธิดา ด้วงกลัด และมาริสา อินทวงศ์. (2567). การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง โดยเทคนิคอินดักทีฟลีคัปเปิลพลาสมาออปติคอลมิสชันสเปกโทรเมตรี. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 43(1), 108-121.
- สมสุข ไตรศุกิตติ มนขวัน วังกลางกูร และวัชรนา เสนาจักร. (2558). การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม. *วารสารสังคมศาสตร์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 2(4), 127-133.

- AOAC International. (2002). *AOAC guidelines for single laboratory validation of chemical methods for dietary supplements and botanicals*. Retrieved 19 April 2024, from: https://s27415.pcdn.co/wp-content/uploads/2020/01/64ER20-7/Validation_Methods/dAOAC_Guidelines_For_Single_Laboratory_Validation_Dietary_Supplements_and_Botanicals.pdf.
- Hseu, Z.Y. (2004). Evaluating heavy metal contents in nine composts using four digestion methods. *Bioresource Technology*, 95(1), 53-59, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.008>.
- Kachenko, A.G. and Singh, B. (2006). Heavy metals contamination in vegetables grown in urban and metal smelter contaminated sites in Australia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 169(1), 101-123, doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-006-2027-1>.
- Laing, G.D., Tack, F.M.G. and Verloo, M.G. (2003). Performance of selected destruction methods for the determination of heavy metals in reed plants (*Phragmites australis*). *Analytica Chimica Acta*, 497(1-2), 191-198, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.08.044>.
- Mwegoha, W. and Kihampa, C. (2010). Heavy metal contamination in agricultural soils and water in Dar es Salaam city, Tanzania. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(11), 763-769, doi: <https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150306.13>.
- Rashid, H., Fardous, Z., Chowdhury, A.Z., Alam, K., Bari, L., Moniruzzaman, M., and Gan, S.H. (2016). Determination of heavy metals in the soils of tea plantations and in fresh and processed tea leaves: An evaluation of six digestion methods. *Chemistry Central Journal*, 10(7), doi: <https://doi.org/10.1186/s13065-016-0154-3>.

**คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับสำหรับผู้พิมพ์
เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช**

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จัดทำขึ้นเพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่บทความวิจัย (research article) และบทความวิชาการ (academic article) ของคณาจารย์ บุคลากร นักศึกษา ภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะรับตีพิมพ์บทความในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบด้วย ด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งมีกลุ่มเป้าหมายคือคณาจารย์ นักศึกษา และนักวิจัยทั้งในและนอกสถาบัน ทั้งนี้วารสารมีกำหนดตีพิมพ์เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ในเดือนมกราคม-มิถุนายน และฉบับที่ 2 ในเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม

บทความทุกบทความที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช “ต้องไม่เคยได้รับการตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการเสนอเพื่อพิจารณาเผยแพร่ในวารสารฉบับอื่น” พร้อมทั้งได้รับการพิจารณาจากผู้ประเมินอิสระ (peer review) ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง อย่างน้อย 3 ท่าน แบบผู้ประเมินอิสระและผู้แต่งไม่ทราบชื่อกันและกัน (double-blind review) และได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ ทั้งนี้ บทความอาจถูกตัดแปลง แก้ไขคำ สำนวน รูปแบบการอ้างอิง รูปแบบการนำเสนอ และอื่น ๆ (ซึ่งไม่เกี่ยวกับเนื้อหาหรือสาระสำคัญ) ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร และผู้เขียนต้องรับผิดชอบในเนื้อหาของบทความ โดยกองบรรณาธิการวารสารวิชา และมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ไม่จำเป็นต้องรับผิดชอบใด ๆ

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ

- พิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้
- การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์และการเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ควรหลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีคำแปลหรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนปนภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ
- สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาเป็นเบื้องต้นก่อน
- ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 16 หน้า รวมตาราง ภาพและเอกสารอ้างอิง ควรระบุเลขหน้าให้ชัดเจนและจัดให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันทั้งฉบับ

2. รายละเอียดตัวอักษรและรูปแบบการพิมพ์

- จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word ขนาดของต้นฉบับใช้กระดาษขนาด Executive (18.41 × 26.67 เซนติเมตร)
- ตั้งค่าน้ำกระดาษสำหรับการพิมพ์
 ด้านบน 2.5 เซนติเมตร ด้านล่าง 2.5 เซนติเมตร
 ด้านซ้าย 2.3 เซนติเมตร ด้านขวา 2.5 เซนติเมตร
- พิมพ์คอลัมน์เดียวกระจายเต็มบรรทัด
- ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดตัวอักษร 15

3. ส่วนประกอบในบทความ

3.1 บทความวิจัย (research article) เป็นบทความที่เป็นผลงานต่อเนื่อง สกัดมาจากงานวิจัยที่เสร็จสมบูรณ์แล้วซึ่งผู้เขียนได้ดำเนินการด้วยตนเอง ประมวลสรุปกระบวนการวิจัยให้มีความกระชับและสั้น

3.1.1 ส่วนประกอบตอนต้น

➤ ชื่อเรื่อง (title) ควรสั้น กระชับ ไม่ยาวจนเกินไป ให้เขียนชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษในบรรทัดถัดไป

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

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

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

3.1.2 เนื้อหาในบทความวิจัย ให้มีองค์ประกอบดังนี้

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

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

➤ ผลการวิจัย (results) รายงานผลการวิจัยให้ได้ใจความชัดเจนและตรงประเด็นโดยยึดแนวทางตามวัตถุประสงค์เป็นหลัก ควรอธิบายผลการวิจัยด้วยคำบรรยายเป็นหลัก แต่ถ้ามีตัวเลขหรือตัวแปรมากควรนำเสนอเป็นภาพและตาราง แทรกในเนื้อหา พร้อมอธิบายผลการวิจัยให้ได้สาระครบถ้วน

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

➤ สรุปผลการวิจัย (conclusion) สรุปผลการวิจัยให้ได้ใจความชัดเจนและตรงประเด็น

➤ ข้อเสนอแนะ (suggestion) (ถ้ามี)

➤ กิตติกรรมประกาศ (acknowledgements) ให้ระบุว่างานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนหรือความช่วยเหลือจากองค์กรใด และบุคคลใดบ้าง

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

3.2 บทความทางวิชาการ (academic article) เป็นบทความที่ผู้เขียนได้เรียบเรียงโดยศึกษาค้นคว้าจากเอกสาร งานแปล และผลงานจากประสบการณ์ของผู้เขียนหรือได้รับการถ่ายทอดจากผู้อื่น มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ องค์กรความรู้ การเสนอความคิดเห็นที่มีคุณค่า และเป็นประโยชน์ทางวิชาการของสาขาต่าง ๆ

3.2.1 ส่วนประกอบตอนต้น

➤ ชื่อเรื่อง (title) ควรสั้นกะทัดรัด ไม่ยาวจนเกินไป ให้เขียนชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษในบรรทัดถัดไป

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

➤ สาระสังเขป (summary) เป็นการย่อเนื้อความของบทความทั้งเรื่องให้สั้นได้เนื้อหาสาระครบถ้วน

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

3.2.2 เนื้อหา (main text) ในบทความทางวิชาการมีองค์ประกอบดังนี้

- บทนำ (introduction) กล่าวถึงความน่าสนใจของเรื่องที่น่าสนใจก่อนเข้าสู่เนื้อหา
- เนื้อความ (content) ควรนำเสนอพัฒนาการของเรื่องได้อย่างน่าสนใจ และเนื้อเรื่องมีเนื้อหาใหม่เหมาะสมกับสภาพปัจจุบัน
- สรุป (conclusion) เป็นการย่อเฉพาะข้อมูลจากเนื้อความให้สั้นได้เนื้อหาสาระของเนื้อความครบถ้วน
- เอกสารอ้างอิง (references) ให้ระบุเฉพาะเอกสารที่ผู้เขียนบทความได้นำมาอ้างอิงในบทความวิชาการอย่างครบถ้วนรูปแบบของการเขียนเอกสารอ้างอิงให้จัดทำตามที่ระบุไว้ในข้อ 4 (เอกสารอ้างอิง)

3.3 ตารางและภาพประกอบ ให้จัดแทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็นเท่านั้น โดยเนื้อหาและคำอธิบายในตารางและภาพสามารถใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น

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

ตารางที่ 1 จำนวนฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง และความเร็รรอบของจานโซ่

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

ที่มา: จารุณี (2559)

- ภาพประกอบ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ เป็นภาพที่ใช้ประกอบเนื้อหา
เมื่อจัดภาพเสร็จแล้วต้อง “กำกับ” ไว้ที่ได้ภาพด้วยข้อความที่เป็น “ภาพที่.. (เว้น 1 บรรทัด และตาม
ด้วยชื่อภาพหรือคำอธิบายภาพประกอบสั้น ๆ)” และบรรทัดที่ถัดลงมาคือ “ที่มา:...” ใช้รูปแบบ
เดียวกับตารางทุกประการ ดังตัวอย่าง

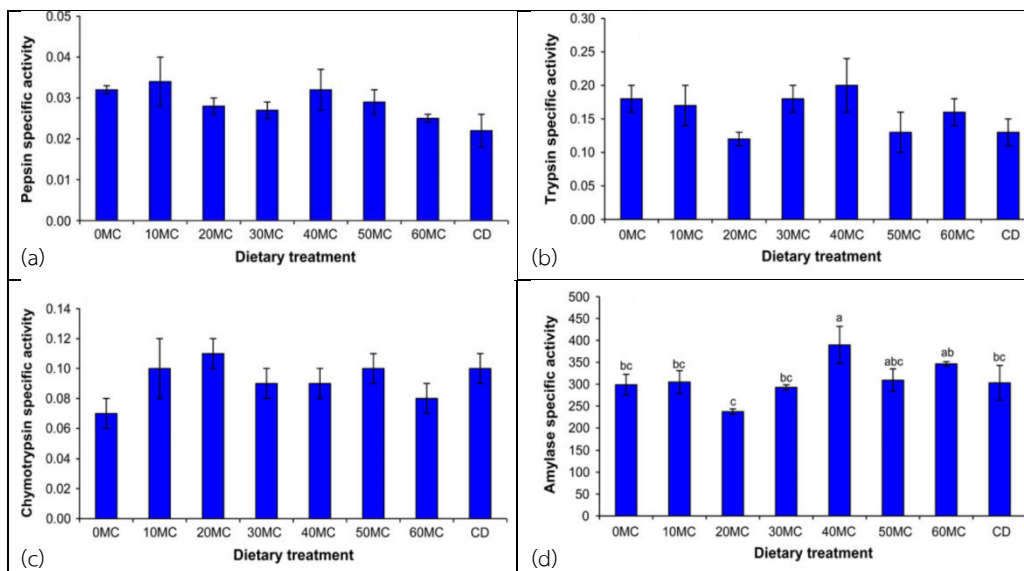


Figure 1 The specific activities (U/mg protein) of pepsin (a), trypsin (b), chymotrypsin (c) and amylase (d) in giant freshwater prawns subjected to various dietary replacements of protein from fish meal with mackerel condensate (MC). The data are expressed as mean $\pm$ SEM ($n = 3$). Different superscripts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

Source: Wattanakul *et al.* (2017)

ตารางสรุปรูปแบบการพิมพ์ส่วนประกอบของบทความ

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

4. การอ้างอิง (References)

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชใช้รูปแบบการอ้างอิงที่ดัดแปลงมาจากสมาคมจิตวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (American Psychological Association: APA) ดังนี้

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

4.1.1 การเขียนอ้างอิงก่อนเนื้อหา

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

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

4.1.2 การเขียนเนื้อหาก่อนการอ้างอิง

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

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

กรณีมีผู้แต่งคนเดียว

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

กรณีมีผู้แต่ง 2 คน

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

กรณีมีผู้แต่งมีตั้งแต่ 3 คนขึ้นไป

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

4.2 การอ้างอิงท้ายบทความ (reference section)

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

วารสาร (journal)
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อบทความ/ชื่อวารสาร/ปีที่หรือเล่มที่ (ฉบับที่)/หน้าแรก-หน้าสุดท้าย, doi:/http://doi.org/..... .
ตัวอย่าง สมรักษ์ รอดเจริญ และการณ ทองประจักษ์. (2559). สภาวะการเลี้ยงและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (<i>Nostoc commune</i> TISTR 8870) ที่ผ่านการดัดแปรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. <i>วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย</i>, 8(2), 219-229. Palazzo, A.J., Cory, T.J. and Hardy, S.E. (2003). Root growth and metal uptake in four grasses grown on Zn-contaminated soil. <i>Journal of Environmental Quality</i>, 32(3), 834-840. Whan-air, W., Thongprajukaew, K., Salaeharae, T. and Yoonram, K. (2018). Identification of wild and farmed broadhead catfish (<i>Clarias macrocephalus</i> Günther, 1864) based on morphometry, digestive indexes and flesh quality. <i>Journal of Oceanology and Limnology</i>, doi: https://doi.org/10.1007/s00343-018-7205-7.
นิตยสารหรือหนังสือพิมพ์
ชื่อ/ชื่อสกุล/(วัน/เดือน/ปี)/ชื่อบทความ/ชื่อนิตยสารหรือหนังสือพิมพ์/ปีที่/หน้า.
ตัวอย่าง มาลินี ป้องกัน. (3 กรกฎาคม 2560). ลงทะเบียนคนจน. <i>มติชน</i>, 50, หน้า 12.
บทหนึ่งในหนังสือ (book chapter)
ชื่อ/ชื่อสกุลผู้เขียนบท/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อบทหรือตอน/ใน/ชื่อ/ชื่อสกุลบรรณาธิการ/ชื่อหนังสือ/หน้าแรก-หน้าสุดท้ายของบท/สถานที่พิมพ์/สำนักพิมพ์.
ตัวอย่าง มาลินนท์ วุฒิจักร. (2560). สาหร่ายพวงองุ่น. ใน บัณฑิต คิตติ. <i>เกษตรหน้าใหม่</i>, หน้า 100-110. กรุงเทพฯ: อุดมศิลป์. Zambonino-Infante, J., Gisbert, E., Sarasquete, C., Navarro, I., Gutiérrez, J. and Cahu, C.I. (2009). Ontogeny and physiology of the digestive system of the marine fish larvae. In Cyrino, J.E.O., Bureau, D. and Kapoor, B.G. (Eds.). <i>Feeding and digestive function of fish</i>, pp. 277-344. Enfield: Science Publishers, Inc.

วิทยานิพนธ์
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อวิทยานิพนธ์/ระดับวิทยานิพนธ์/ชื่อมหาวิทยาลัย/เมืองที่ตั้งมหาวิทยาลัย.
ตัวอย่าง จงลักษณ์ จิมนับใจ. (2550). สมรรถนะแห่งตนต่อการเฝ้าระวังโรคความดันโลหิตสูงของอาสาสมัครสาธารณสุขอำเภอหามีน จังหวัดน่าน. วิทยานิพนธ์พยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. Mirera, D.O. (2013). Capture-based mud crab (<i>Scylla serrata</i>) aquaculture and artisanal fishery in East Africa-Practical and ecological perspectives. Ph.D. thesis in Environmental Science. Linnaeus University, Kalmar.
เว็บไซต์ (website)
ชื่อผู้จัดทำ/(ปีที่ออนไลน์)/ชื่อเรื่อง/สืบค้นเมื่อ/วัน/เดือน/ปี/จาก:/http:..... .
ตัวอย่าง อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. (2542). ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2542, จาก: http://158.108.200.11/scil/009hom~1/009421/chap1.html. Adkins, J. (2016). Marine scientist devotes career to reversing trend of by catch. Retrieved 1 July 2018, from: https://phys.org/news/2016-03-marine-scientist-devotes-career-reversing.html.
รายงานการประชุม
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อเรื่อง/ชื่อการประชุมหรือการสัมมนา/เมืองที่พิมพ์.
ตัวอย่าง สุรยุทธ แฉ่งเกิด. (2559). ความมั่นคงทางอาหารของชุมชนบ้านบางปรก. การประชุมวิชาการความมั่นคงทางอาหารแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.
รายงานการวิจัย
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อเรื่อง/รายงานวิจัย/ชื่อมหาวิทยาลัย.
ตัวอย่าง จันทิมา ชั่งสิริพร พรศิริ แก้วประดิษฐ์ และพญกระยา พงศ์ยี่หล้า. (2559). การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราที่ได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับงานเครื่องกรองน้ำ. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บทหนึ่งในหนังสือการประชุม (proceeding) และเอกสารการสัมมนา
ชื่อ/ชื่อสกุล./ (ปีที่พิมพ์)./ชื่อบทความหรือบท./ใน/ชื่อการประชุมหรือการสัมมนา/(หน้าแรก-หน้าสุดท้าย)./เมืองที่พิมพ์:/หน่วยงานที่จัดทำ.
ตัวอย่าง กรวรรณ มากสุข. (2555). วากรรมความงามของเต็กมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏวิจัย ครั้งที่ 3 (หน้า 22-35). นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
บทคัดย่อในการประชุมวิชาการ (abstract in conference)
ชื่อ/ชื่อสกุล./ (ปีที่พิมพ์)./ชื่อบทความ./ในบทคัดย่อ/ชื่อการประชุม/(หน้า)./เมืองที่พิมพ์:/หน่วยงานที่จัดทำ.
Kovitvadhi, A., Chandang, P., Luapan, J., Sriyaphai, P., Buahom, R., Cham-iam, T., Leelehapongsathon, K., Tirawattanawanich, C. and Thongprajukaew, K. (2018). Screening three cricket species (<i>Gryllus bimaculatus</i>, <i>Acheta domestica</i> and <i>Modicogryllus confirmata</i>) for broiler diets by <i>in vitro</i> digestibility techniques. In <i>Abstract of the 6th Mediterranean Poultry Summit</i> (pp. 62). Torino: The Mediterranean Poultry Network of the World's Poultry Science Association.



วารสาร วิชชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

วารสารวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN 3027-737X (Online)

WICHCHA
JOURNAL

NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

