



วารสาร วิชชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566

Vol. 42 No. 1 January – June 2023

วารสารวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN (Print) : 0125-2380

ISSN (Online) : 2672-958X



Wichcha Journal

Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

www.nstru.ac.th



วารสาร วิชชา WICHCHA JOURNAL มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566 Vol. 42 No. 1 January – June 2023

เจ้าของ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ที่ปรึกษา ดร.สมปอง รักษาธรรม รักษาการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
บรรณาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ
ผู้ช่วยบรรณาธิการ ดร.รัชชา สามพิมพ์

นโยบาย

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

ขอบเขตงาน

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

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการและงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นสื่อส่งเสริมการสร้างความรู้และองค์ความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อเป็นเวทีนำเสนอผลงานทางวิชาการของบุคลากรในมหาวิทยาลัยและบุคคลทั่วไป

ประเภทบทความ

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

กระบวนการพิจารณาบทความ

บทความทุกบทความที่ได้รับการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารวิชา 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 ฉบับตีพิมพ์ : 0125-2380
ISSN ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ : 2672-958X
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 ตำบลท้าว อำเภอมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

บรรณาธิการที่ปรึกษา ประกอบด้วย

ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ใบไม้	ราชบัณฑิต สาขาชีววิทยา
ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ กาญจนกิจ	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.สมปอง เตชะโต	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.สังวรณ์ กิจทวี	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพร ทศนัยนา	นักวิชาการอิสระ อดีตรองศาสตราจารย์
	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ จรรย์านุกูล	นักวิชาการอิสระ อดีตผู้ช่วยศาสตราจารย์
	คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

กองบรรณาธิการ ประกอบด้วย

ศาสตราจารย์ ดร.เสาวภา อังสุภาณิช	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศาสตราจารย์ ดร.สุวัจน์ ธัญรส	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
รองศาสตราจารย์ ดร.ชิตณรงค์ ศิริสถิตย์กุล	สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววงศ์ดี	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง
รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนพงศ์ เกิดทองมี	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร
	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริโรตม์ เกตุแก้ว
รองศาสตราจารย์ ดร.การุณ ทองประจักษ์แก้ว
รองศาสตราจารย์ ดร.สุปัญญา จิตตพันธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.นคร กนกแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงศ์ โอทอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรศักดิ์ สวัสดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สงรักษ์

ดร.ปิยรักษ์ ปริญาพงษ์ เจริญทรัพย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิระยุทธ สุดสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ศุภพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งนภา พิมพ์เสน

ดร.ศณิษา อีระขุนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
สำนักงานโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจาก
พระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรม
ราชกุมารี (อพ.สธ.)
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
คณะวิทยาการจัดการ
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ผู้ประเมินอิสระหรือพิชญพิจารณา (Peer review) ตรวจสอบทางวิชาการประจำฉบับ

ศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ รัตนวิไล
รองศาสตราจารย์ ดร.คมศร เล้าห้ประเสริฐ
รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววกศักดิ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ทิพรรัตน์ สิทธิวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม

รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.สุปัญญา จิตตพันธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.สุกกร บุญยืน

รองศาสตราจารย์ ดร.โองการ วนิชชีวะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลทิมา เข้าวชัยกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลวดี ปิ่นวัฒนะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
วิทยาเขตพัทลุง
คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตบางเขน
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬารัตน์ ชนะถาวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณพัชร บัวฉุน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงกมล เรืองงาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนเสฏฐ์ ทองใสเกลี้ยง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญนันท์ วรรณธง
บรอกเคิลเลอร์สท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรนาฏ คิตติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมธา อึ้งทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยอดชาย ช่วยเงิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุริต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพล แสนบุญส่ง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย อำคา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายชล สุขญาณกิจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ แห่งงาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชลี เอาผล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอนก เทียนบูชา

ดร.เกษศิรินทร์ รัต
ดร.วรวิทย์ สุขัยยะ

ดร.ศรีวรรณ ขำตรี

ดร.สุนิสา คงประสิทธิ์

ผู้ตรวจทานภาษาต่างประเทศประจำฉบับ

นางสาวนฤพร ธิติประเสริฐ

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์
วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน
รัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
คณะครุศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
คณะเกษตร กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตบางเขน
คณะเกษตรและชีวภาพ
มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน/
ศูนย์ภาษา สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ฝ่ายจัดการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรศักดิ์ แก้วอ่อน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ศุภพันธ์
ดร.สาวิตรี ฤทธิช่วย
ดร.ศณิศา อีระขุนท์
นางสาวกนกต์ฤทัย จรจรัส

ปก เลือคนการพิมพ์

พิมพ์ที่ เลือคนการพิมพ์

439 ถนนศรีธรรมโศก ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80000
โทร. 090-2895246 e-mail: pued2548@gmail.com

	หน้า
บทความวิจัย	
ความหลากหลายทางพันธุกรรมของต้นประ (Elatiospermum tapos) ในป่าดั้งเดิมและป่าปลูกในอุทยานแห่งชาติเขานัน จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยวิเคราะห์จากลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน <i>MaturaseK</i> ในคลอโรพลาสต์ดีเอ็นเอ วรวิฑู มีสุข วีระเกียรติ ทรัพย์มี พัฒนพร รินทจักร และจุฑามาศ ศุภพันธ์*	1
ผลของปุ๋ยสังกะสีที่ให้ทางใบต่อผลผลิตและความเข้มข้นของสังกะสีของข้า อนันต์ พิริยะภัทรกิจ* พัทธี เดชเลิศ พรกมล รูปเลิศ และปัญญพัฒน์ พลพิมพ์	14
ผลการใช้ระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง อะตอมและโครงสร้างอะตอม เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วัชรพร ศรีรักษ์*	24
สมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระเทียมและเปลือกมังคุด นัฐวุฒิ เพ็ชรชาติ พิมพ์ชนก ธาตรีวิจิตร หนึ่งหทัย ธราพร ศราวุฒิ ชูโลก และนวรรตน์ สีตะพงษ์*	39
การพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ ธีรวัฒน์ ทองสง และวีระยุทธ สุดสมบูรณ์*	50
ความสามารถในการดักจับฝุ่นละออง PM ₁₀ ของใบพืชสกุลกะเพรา 4 ชนิด มัทนภรณ์ ไหมคามิ* และเพ็ญศิริ ไพจิตร	64
การพัฒนากระถางเพาะกล้าไม้ที่ย่อยสลายได้จากวัสดุเหลือทิ้งการเพาะเห็ดแครง ชาติรี หอมเขียว นศพร ธรรมโชติ* และวรพงศ์ บุญช่วยแทน	77
ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในจังหวัดสุราษฎร์ธานี กามีละห์ ยะโกะ*	93
การศึกษาชีววิทยาการเจริญของอึ่งปากขวด (<i>Glyphoglossus molossus</i> Günther, 1869) เพื่อเป็นต้นแบบการเพาะเลี้ยง ไกรฤกษ์ ทวีเชื้อ* วุฒิชัย ฤทธิ บุญสนอง ช่วยแก้ว สมิตานันท์ จันทะบุรี ดำรงค์ศักดิ์ อาลัย และ ญาณพัฒน์ พรหมประสิทธิ์	104
ผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ของสาหร่าย สายพันธุ์ <i>Chlorococcum</i> sp. TISTR 8266 สายัณห์ นันชนะ สุพรรณา ชันธโสภา และนาริสรา วงศ์สิงห์*	120
คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ	134

ความหลากหลายทางพันธุกรรมของต้นประ (Elateriospermum tapos)
 ในป่าดั้งเดิมและป่าปลูกในอุทยานแห่งชาติเขานัน จังหวัดนครศรีธรรมราช
 โดยวิเคราะห์จากลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน *MaturaseK* ในคลอโรพลาสต์ดีเอ็นเอ
 Genetic Diversity of the Parah Tree (*Elateriospermum tapos*) in
 Primitive Forests and Planted Forests in Khao Nan National Park,
 Nakhon Si Thammarat Province, Analyzed from Nucleotide
 Sequences from the *MaturaseK* Gene in Chloroplast DNA

วรวิฑู มีสุข¹ วีระเกียรติ ทรัพย์มี¹ พัฒนพร รินทจักร² และจุฑามาศ ศุภพันธ์^{3*}
 Worawitoo Meesook¹, Verakiat Supmee¹, Phatthanaporn Rinthajak²
 and Juthamas Suppapan^{3*}

บทคัดย่อ

ต้นประ (*Elateriospermum tapos*) เป็นพันธุ์ไม้ป่าและพืชเศรษฐกิจระดับท้องถิ่นที่แพร่กระจายในภาคใต้ของประเทศไทย อุทยานแห่งชาติเขานันมีพื้นที่ป่าประมาณใหญ่ซึ่งปัจจุบันมีการนำเมล็ดพันธุ์ประจากป่าดั้งเดิมเพื่อนำมาปลูกเป็นป่าปลูก ดังนั้นจึงควรมีการตรวจสอบลักษณะทางพันธุกรรมเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัดการป่าปลูก การศึกษาครั้งนี้วิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรมของต้นประในป่าดั้งเดิมและป่าปลูกในอุทยานแห่งชาติเขานัน จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยวิเคราะห์จากลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน *maturaseK* ในคลอโรพลาสต์ดีเอ็นเอขนาด 772 คู่เบส ผลการศึกษาพบว่าต้นประในป่าดั้งเดิมมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูงกว่าต้นประในป่าปลูก พบการแยกกลุ่มประชากรเป็น 2 กลุ่ม คือ ต้นประจากป่าดั้งเดิมและต้นประจากป่าปลูก อีกทั้งพบแนวโน้มในการแยกสายวิวัฒนาการของต้นประในป่าปลูกออกจากต้นประในป่าดั้งเดิม จากผลการศึกษาในครั้งนี้คณะผู้วิจัยแนะนำในการจัดการทางพันธุกรรมควรมีการจัดการแยกกันระหว่างต้นประจากป่าดั้งเดิมและต้นประจากป่าปลูก ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนทางพันธุกรรม

คำสำคัญ: พันธุกรรม ต้นประ ยีนในคลอโรพลาสต์ อุทยานแห่งชาติเขานัน

¹ สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

² อุทยานแห่งชาติเขานัน จังหวัดนครศรีธรรมราช

³ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

* Corresponding author e-mail: jutamas_sup@nstru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.256104>

Received: 5 September 2022, Revised: 3 October 2022, Accepted: 17 October 2022

Abstract

The parah tree (*Elateriospermum tapos*) is a species of wild and local economic plant that spreads in the south of Thailand. Khao Nan National Park has a large parah forest area where parah seeds from the primitive forest are now being used for planting. Therefore, genetic traits should be examined as for the information in the management of planting forests. This study aimed to analyze the genetic diversity of parah trees in primitive forests and forests planted in Khao Nan National Park. It was analyzed from nucleotide sequences from the *maturaseK* gene in a 772 based pairs of DNA chloroplasts. The findings indicated that parah trees in primitive forests have a higher genetic diversity than parahs in planted forests. We found a separation of two population groups: parah trees from primitive forests and parah trees from planted forests. We also found a tendency to separate the evolutionary line of parah trees in planted forests from parah trees in primitive forests. Based on the results of this study, we suggest that genetic management should be managed separately between parah trees from primitive forests and parah trees from planted forests to avoid genetic contamination.

Keywords: Genetics, Parah tree, Chloroplast DNA, Khao Nan National Park

บทนำ

ต้นประ (Elateriospermum tapos) เป็นพืชในวงศ์ Euphorbiaceae จัดเป็นพืชชนิดเดียวในสกุล Elateriospermum ที่พบแพร่กระจายในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยเฉพาะในภาคใต้ของประเทศไทย (วิสุทธิ์ และรังสิมา, 2550) ต้นประเป็นไม้ยืนต้นที่เจริญเติบโตในเขตป่าดงดิบหรือตามภูเขาที่มีความชื้นสูง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง โดยเฉพาะเมล็ดประซึ่งมีโปรตีนสูงเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย สามารถนำมาเป็นส่วนผสมในอาหารได้หลายชนิด เช่น เบเกอรี่ น้ำสลัด ไข่กรอก และไอศกรีม เป็นต้น (Choonhahirun, 2010) จัดได้ว่าต้นประเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของชุมชนในท้องถิ่น อุทยานแห่งชาติเขานันมีพื้นที่ป่าประที่คาดว่าจะมีขนาดใหญ่ที่สุดในโลก (ปริญญา และคณะ, 2561) โดยประชาชนในพื้นที่มีการใช้ประโยชน์จากต้นประ โดยเก็บเมล็ดประเพื่อนำมาแปรรูปเป็นอาหารชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้ยังนำเมล็ดประมาปลูกบริเวณสวนยางพาราหรือปลูกเป็นแนวรั้วเพื่อเก็บผลผลิตโดยไม่ต้องเข้าไปเก็บในเขตอุทยานฯ การนำเมล็ดประจากต่างพื้นที่มาปลูกร่วมกันอาจทำให้มีการปนเปื้อนทางพันธุกรรมจากการผสมพันธุ์กับต้นพันธุ์ดั้งเดิม ดังนั้นจึงควรศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมเพื่อเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับการพิจารณาจัดการทรัพยากรต้นประในพื้นที่

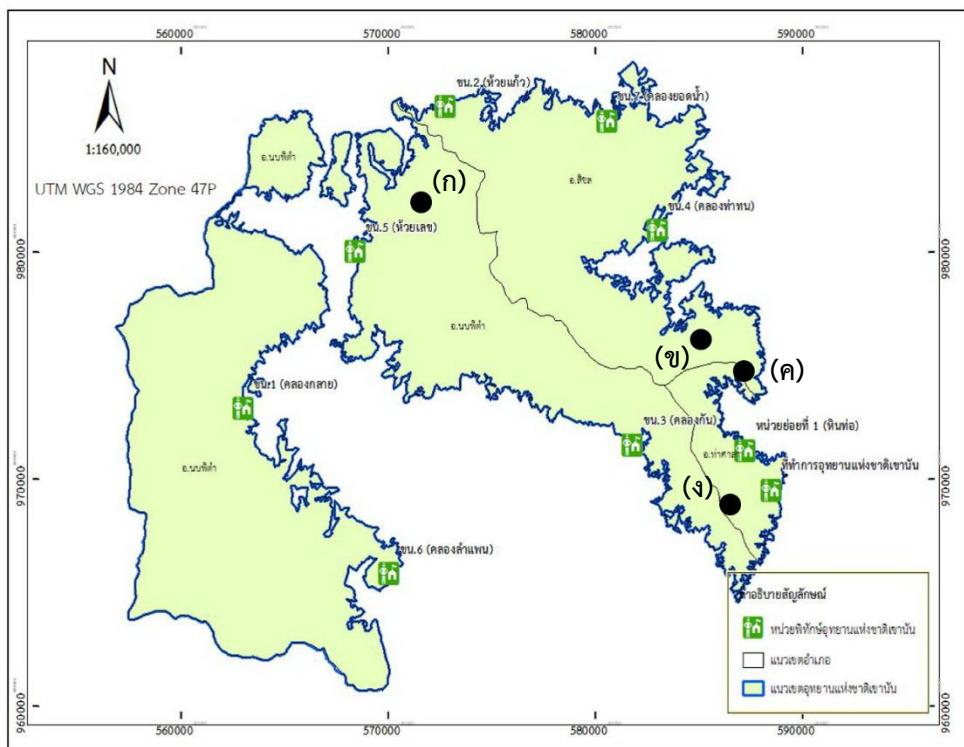
การศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมของต้นประในพื้นที่อุทยานแห่งชาติเขานันมีการศึกษาโดยจุฑามาศ และคณะ (2563) ซึ่งศึกษาจากลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน ribulose-bisphosphate carboxylase ในคลอโรพลาสต์ดีเอ็นเอ พบการแบ่งกลุ่มประชากรออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มประชากร

ต้นประในอำเภอนบพิตำและกลุ่มประชากรต้นประจากประเทศมาเลเซียและบรูไน สำหรับการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมของต้นประโดยการศึกษาจากลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน *maturaseK* ในคลอโรพลาสต์ดีเอ็นเอ โดยใช้ตัวอย่างต้นประที่อยู่ในป่าดั้งเดิมและในป่าปลูก เพื่อตรวจสอบความแตกต่างทางพันธุกรรม ผลการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการพิจารณาการปลูกต้นประทดแทนในธรรมชาติหรือแนวทางในการปลูกต้นประเชิงพาณิชย์โดยหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนทางพันธุกรรมและยังคงความหลากหลายทางพันธุกรรมของต้นประในพื้นที่ไว้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างต้นประ

เก็บตัวอย่างใบสดของต้นประเพื่อนำมาสกัดดีเอ็นเอในห้องปฏิบัติการ โดยพื้นที่เก็บตัวอย่างแบ่งเป็นส่วนพื้นที่ป่าดั้งเดิม ได้แก่ หน่วยพิทักษ์อุทยานห้วยเลข จำนวน 40 ต้น และหน่วยพิทักษ์อุทยานน้ำตกหินท้อ จำนวน 40 ต้น ส่วนพื้นที่ป่าปลูก ได้แก่ บ้านหินท้อ จำนวน 28 ต้น และที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน จำนวน 10 ต้น โดยคัดเลือกจากต้นประที่มีอายุมากกว่า 25 ปี (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 พื้นที่เก็บตัวอย่างต้นประ ได้แก่ หน่วยพิทักษ์อุทยานห้วยเลข (ป่าดั้งเดิม) (ก) หน่วยพิทักษ์อุทยานน้ำตกหินท้อ (ป่าดั้งเดิม) (ข) บ้านหินท้อ (ป่าปลูก) (ค) และที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน (ป่าปลูก) (ง)

2. การสกัดดีเอ็นเอ

นำใบประสมมาสกัด genomic DNA โดยใช้ชุดสกัด Thermo Scientific Phire Plant Direct PCR Kit และใช้วิธีการที่บริษัทแนะนำ

3. การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ

เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป้าหมายด้วยการทำปฏิกิริยาลูกโซ่ (PCR) ใช้ไพรเมอร์ที่ได้จากการออกแบบโดยใช้ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *maturaseK* จากฐานข้อมูล GenBank หมายเลข accession number AB268044.1 เป็นต้นแบบ ซึ่งได้ไพรเมอร์ดังนี้ ET_matK_F 5' GCC AAT GAT TCT AAC CAA AAT CC 3' และ ET_matK_R 5' CCC GGA TCG GTT TAC TAA TG 3' จากนั้นเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป้าหมายในหลอดพีซีอาร์ซึ่งประกอบด้วย nuclease free water 19.5 ไมโครลิตร 2x Phire Plant Direct PCR Master Mix 25 ไมโครลิตร forward primer 2 ไมโครลิตร และ reverse primer 2 ไมโครลิตร นำหลอดทดลองมาเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป้าหมายด้วยเครื่อง PCR MS Major Science Major cycler โดยใช้ขั้นตอน initial denaturation ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอน denaturation ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที annealing ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที และ extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วินาที โดยขั้นตอน denaturation-annealing-extension ใช้จำนวน 40 รอบ และขั้นตอนสุดท้ายคือ final extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที

4. การหาลำดับนิวคลีโอไทด์

ตรวจสอบผลการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป้าหมายด้วยเทคนิค agarose gel electrophoresis เมื่อพบว่าถูกต้องจึงนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วย Gel/PCR Purification Mini Kit (FAVORGEN, BIOTECHCORP.) แล้วส่งตัวอย่างดีเอ็นเอเป้าหมายเพื่อหาลำดับนิวคลีโอไทด์ที่หน่วยบริการ (1st Base Laboratory, Malaysia)

5. การวิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรม

5.1 การวิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรม

เมื่อได้ผลลำดับนิวคลีโอไทด์ ทำการตรวจสอบความถูกต้องของลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้ โดยนำไปเปรียบเทียบกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *maturaseK* จากฐานข้อมูล GenBank Accession นำลำดับนิวคลีโอไทด์มา alignment ด้วยโปรแกรม ClustalW version 2.0.12 (Larkin *et al.*, 2007) แล้วตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง จากนั้นวิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรม ได้แก่ ค่าความหลากหลายของลำดับเบส (nucleotide diversity: π ; Nei, 1987) ค่าความหลากหลายของแฮพลไทป์ (haplotype diversity: h ; Nei, 1987) และค่า polymorphic site ด้วยโปรแกรม DnaSP version 5 (Librado and Rozas, 2009) ทดสอบการเบี่ยงเบนจากประชากรสมมูลโดยการวิเคราะห์ค่า Fu's F_s (Fu, 1997) และค่า Tajima's D (Tajima, 1989) ใช้การทำซ้ำ 10,000 permutations ด้วยโปรแกรม ARLEQUIN version 3.5.1.2 (Excoffier and Lischer, 2010)

5.2 การวิเคราะห์โครงสร้างพันธุศาสตร์ประชากร

ทำการทดสอบความแตกต่างทางพันธุกรรมด้วยวิธีที่เป็นอิสระต่อกัน 4 วิธี ได้แก่

- 1) วิเคราะห์โครงสร้างพันธุศาสตร์ประชากรด้วยวิธี analysis of molecular variance (AMOVA) โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็นสองระดับ คือ แบบที่หนึ่งทำการแบ่งประชากรเป็น 4 กลุ่มตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง (single region) คือ หน่วยพิทักษ์อุทยานห้วยเลฯ หน่วยพิทักษ์อุทยานน้ำตกหินท้อ บ้านหินท้อ และที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน และแบบที่สองทำการแบ่งประชากรเป็น 2 กลุ่มตามสภาพป่า (primitive forest x planted forest) ได้แก่ ป่าดั้งเดิม (หน่วยพิทักษ์อุทยานห้วยเลฯและหน่วยพิทักษ์อุทยานน้ำตกหินท้อ) และป่าปลูก (บ้านหินท้อและที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน) โดยใช้โปรแกรม ARLEQUIN version 3.5.1.2 (Excoffier and Lischer, 2010) ใช้การทำซ้ำ 10,000 permutations
- 2) วิเคราะห์ความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างประชากรด้วยวิธี pairwise F_{ST} โดยใช้การทำซ้ำ 10,000 permutations ด้วยโปรแกรม ARLEQUIN version 3.5.1.2 (Excoffier and Lischer, 2010)
- 3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการ (phylogenetic tree) ของต้นประจากลำดับนิวคลีโอไทด์ของแต่ละตัวอย่าง โดยใช้วิธี Neighbor-joining ตามโมเดล kimura 2-parameter โดยใช้ค่า bootstrap 1,000 ครั้ง ด้วยโปรแกรม MEGA version 6 (Tamura *et al.*, 2013) และ 4) สร้างแผนผังความสัมพันธ์ระหว่างแฮปโลไทป์ (MSN) ด้วยโปรแกรม ARLEQUIN version 3.5.1.2 (Excoffier and Lischer, 2010) ใช้การทำซ้ำ 10,000 permutations

ผลการวิจัย

1. ความหลากหลายทางพันธุกรรม

จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *maturaseK* ในตัวอย่างต้นประจำนวน 118 ต้น โดยวิเคราะห์จากลำดับนิวคลีโอไทด์ขนาด 772 คู่เบส พบตำแหน่ง polymorphic sites 68 ตำแหน่ง สามารถจำแนกแฮปโลไทป์ได้เป็น 5 แฮปโลไทป์ สำหรับค่าความหลากหลายของแฮปโลไทป์ (h) และค่าความหลากหลายของลำดับเบส (π) ของประชากรรวม มีค่า 0.417 และ 0.032 ตามลำดับ ส่วนค่า Tajima's D และ Fu's F_s ของประชากรรวม มีค่า -0.893 และ -1.551 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1) โดยมีแฮปโลไทป์ที่พบได้ในหลายประชากร (shared haplotype) จำนวน 3 แฮปโลไทป์ คือ แฮปโลไทป์ HAP 1 HAP 2 และ HAP 3 และมีแฮปโลไทป์ที่พบเฉพาะในประชากร (rare haplotype) จำนวน 2 แฮปโลไทป์ คือ แฮปโลไทป์ HAP 4 ซึ่งพบเฉพาะในพื้นที่ป่าปลูกบ้านหินท้อ และแฮปโลไทป์ HAP 5 ซึ่งพบเฉพาะในพื้นที่ป่าปลูกที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมวิเคราะห์จากลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *maturaseK* ในคลอโรพลาสต์ดีเอ็นเอของต้นประไนป่าดั้งเดิมและป่าปลูกในอุทยานแห่งชาติเขานัน

พื้นที่เก็บ ตัวอย่าง ป่าประ (collecting sites)	จำนวน ตัวอย่าง (N)	ตำแหน่ง polymorphic sites	ตำแหน่ง แฮพโลไทป์	ค่าความ หลากหลาย ของแฮพโลไทป์ (h) (mean±SD)	ค่าความ หลากหลาย ของลำดับเบส (π) (mean±SD)	Tajima's D	Fu's Fs
(ก)	40	66	2	0.467±0.048	0.039±0.004	-3.554	-4.028
(ข)	40	66	3	0.518±0.069	0.039±0.004	-3.516	-3.452
(ค)	28	65	3	0.140±0.087	0.011±0.006	-1.802	-2.746
(ง)	10	1	2	0.200±0.154	0.000±0.000	-1.111	-4.123
รวม	118	68	5	0.417±0.047	0.032±0.003	1.039	-2.758

หมายเหตุ - (ก) = หน่วยพิทักษ์อุทยานห้วยเลข (ป่าดั้งเดิม)

- (ข) = หน่วยพิทักษ์อุทยานน้ำตกหินท้อ (ป่าดั้งเดิม)

- (ค) = บ้านหินท้อ (ป่าปลูก)

- (ง) = ที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน (ป่าปลูก)

ตารางที่ 2 การกระจายของแฮพโลไทป์จากลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *maturaseK* ในคลอโรพลาสต์ดีเอ็นเอของต้นประไนป่าดั้งเดิมและป่าปลูกในอุทยานแห่งชาติเขานัน

แฮพโลไทป์	(ก)	(ข)	(ค)	(ง)	รวม
HAP 1	26	26	26	9	87
HAP 2	14	10	-	-	24
HAP 3	-	4	1	-	5
HAP 4	-	-	1	-	1
HAP 5	-	-	-	1	1
รวม	40	40	28	10	118

หมายเหตุ - (ก) = หน่วยพิทักษ์อุทยานห้วยเลข (ป่าดั้งเดิม)

- (ข) = หน่วยพิทักษ์อุทยานน้ำตกหินท้อ (ป่าดั้งเดิม)

- (ค) = บ้านหินท้อ (ป่าปลูก)

- (ง) = ที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน (ป่าปลูก)

2. โครงสร้างพันธุศาสตร์ประชากร

จากการศึกษาโครงสร้างพันธุศาสตร์ประชากรโดยการวิเคราะห์โดยแบ่งกลุ่มประชากรเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) เมื่อแบ่งกลุ่มประชากรตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง ได้แก่ หน่วยพิทักษ์อุทยานห้วยเลข หน่วยพิทักษ์อุทยานน้ำตกหินท้อ บ้านหินท้อ และที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน พบว่ามีความแตกต่างทางพันธุกรรมเกิดขึ้น ($\Phi_{ST} = 0.109$ และ $p = 0.010$) (ตารางที่ 3) และ 2) เมื่อวิเคราะห์โดยแบ่งกลุ่มประชากรเป็นกลุ่มประชากรป่าดั้งเดิมและป่าปลูก พบว่ามีความแตกต่างทางพันธุกรรมโดยมีค่า $\Phi_{CT} = 0.206$ และมีค่า $p = 0.023$ (ตารางที่ 3) ผลการวิเคราะห์ระยะห่างทางพันธุกรรมด้วยวิธี

pairwise F_{ST} พบว่ามีความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างประชากรป่าดั้งเดิมหน่วยพิทักษ์อุทยานห้วยเลกกับป่าปลูกบ้านหินท้อและที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน และพบว่าป่าดั้งเดิมหน่วยพิทักษ์อุทยานน้ำตกหินท้อมีความแตกต่างทางพันธุกรรมกับป่าปลูกบ้านหินท้อและที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน (ตารางที่ 4) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการพบว่าสามารถแยกกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม 1 ประกอบด้วยแฮโพลไทป์ HAP 2 HAP 3 และ HAP 4 ส่วนกลุ่ม 2 ประกอบด้วยแฮโพลไทป์ HAP 1 และ HAP 5 (ภาพที่ 2) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแฮโพลไทป์พบว่าสามารถแยกกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม 1 ประกอบด้วยแฮโพลไทป์ HAP 2 HAP 3 และ HAP 4 ส่วนกลุ่ม 2 ประกอบด้วยแฮโพลไทป์ HAP 1 และ HAP 5 โดยแต่ละกลุ่มแยกจากกันด้วยการกลายพันธุ์จำนวน 64 ครั้ง (ภาพที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างพันธุศาสตร์ประชากรของต้นประไในป่าดั้งเดิมและป่าปลูกในอุทยานแห่งชาติเขานัน ทดสอบด้วยวิธี AMOVA

แหล่งความแปรปรวน (source of variation)	df	ค่าผลรวมของ ความเบี่ยงเบน กำลังสอง (sum of squares)	ส่วนประกอบ ความ แปรปรวน (variance components)	ร้อยละความ แปรปรวน (percentage of variation)	p-value
1. ตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง (single region)					
1.1 ระหว่างประชากร (among populations)	3	153.756	1.427Va	10.99	$\Phi_{ST} = 0.109^*$
1.2 ภายในประชากร (within populations)	114	1317.829	11.559Vb	89.01	
รวม	117	1471.585	12.987		
2. ตามสภาพป่าประ: ป่าดั้งเดิมและป่าปลูก (primitive forest x planted forest)					
2.1 ระหว่างกลุ่ม (among groups)	1	150.895	2.910Va	20.64	$\Phi_{CT} = 0.206^*$
2.2 ระหว่างประชากร ภายในกลุ่ม (among populations within groups)	2	2.861	-0.370Vb	-2.62	$\Phi_{SC} = 0.180^*$
2.3 ภายในประชากร (within populations)	114	1317.829	11.559Vc	81.99	$\Phi_{ST} = -0.033^*$
รวม	117	1471.585	14.099		

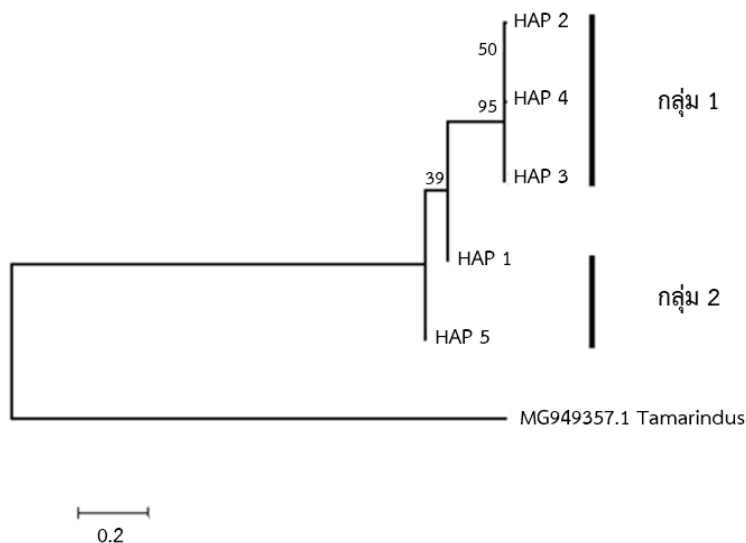
หมายเหตุ: - * และตัวอักษรในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4 ความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างกลุ่มของต้นประในป่าดั้งเดิมและป่าปลูกในอุทยานแห่งชาติเขานัน ทดสอบด้วยวิธี pairwise F_{ST}

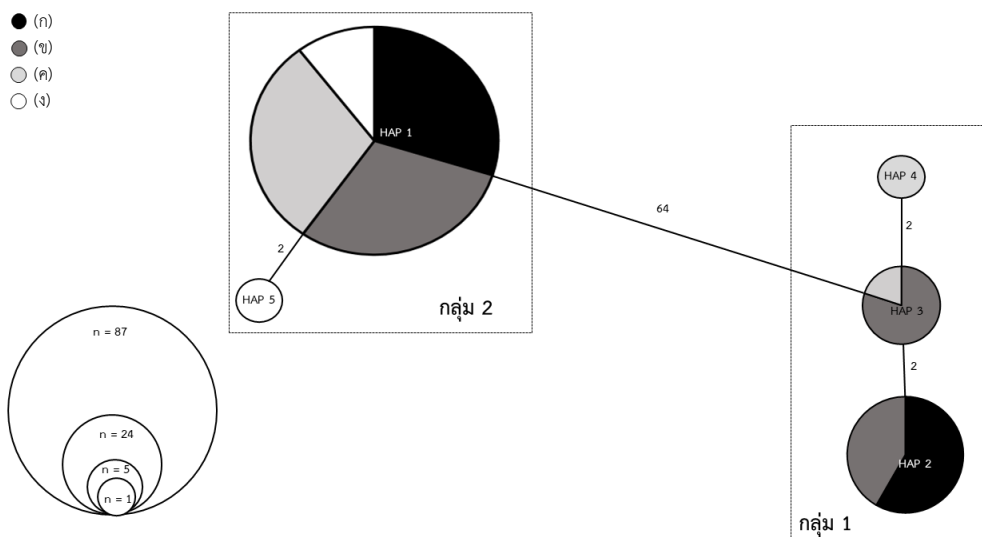
ประชากร	(ก)	(ข)	(ค)	(ง)
(ก)	-			
(ข)	-0.024	-		
(ค)	0.173*	0.170*	-	
(ง)	0.206*	0.204*	-0.018	-

หมายเหตุ - * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

- (ก) = หน่วยพิทักษ์อุทยานห้วยเลข (ป่าดั้งเดิม)
- (ข) = หน่วยพิทักษ์อุทยานน้ำตกหินท้อ (ป่าดั้งเดิม)
- (ค) = บ้านหินท้อ (ป่าปลูก)
- (ง) = ที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน (ป่าปลูก)



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการโดยวิเคราะห์จากลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *maturaseK* ในคลอโรพลาสต์ดีเอ็นเอของต้นประที่ขึ้นในป่าดั้งเดิมและป่าปลูกในอุทยานแห่งชาติเขานัน สร้างโดยวิธี neighbor-joining ตามโมเดล Kimura 2-parameter โดยการซ้ำ 1,000 ครั้ง และมี outgroup คือ *Tamarindus indica* (MG949357.1)



ภาพที่ 3 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแฮพลไทป์: ขนาดวงกลมแสดงตามสัดส่วนของจำนวนสมาชิกในแต่ละแฮพลไทป์ เส้นที่เชื่อมระหว่างแฮพลไทป์ คือ การเกิดการกลายพันธุ์ และตัวเลขที่ปรากฏบนเส้นเชื่อมระหว่างแฮพลไทป์ คือ จำนวนครั้งของการกลายพันธุ์

(ก) = หน่วยพิทักษ์อุทยานห้วยเลข (ป่าดั้งเดิม)
 (ข) = หน่วยพิทักษ์อุทยานน้ำตกหินท้อ (ป่าดั้งเดิม)
 (ค) = บ้านหินท้อ (ป่าปลูก)
 (ง) = ที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน (ป่าปลูก)

การอภิปรายผลการวิจัย

1. ความหลากหลายทางพันธุกรรม

จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *maturaseK* ในต้นประที่ศึกษาครั้งนี้พบว่า ค่าความหลากหลายของลำดับเบส (nucleotide diversity) ของต้นประในพื้นที่ป่าดั้งเดิม ได้แก่ พื้นที่หน่วยพิทักษ์อุทยานห้วยเลขและหน่วยพิทักษ์อุทยานน้ำตกหินท้อมีค่าสูงกว่าต้นประในพื้นที่ป่าปลูก ได้แก่ บ้านหินท้อและที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน โดยค่าความหลากหลายของลำดับเบสเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเกิดโพลิมอร์ฟิซึม (polymorphism) ภายในประชากร (Nei and Li, 1979) ดังนั้นจึงแสดงว่าต้นประในพื้นที่ป่าดั้งเดิมมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูงกว่าต้นประในพื้นที่ป่าปลูก และจากการกระจายของแฮพลไทป์พบว่าประชากรส่วนใหญ่มีแฮพลไทป์ที่พบได้ในหลายประชากร (shared haplotype) จำนวน 3 แฮพลไทป์และเป็นแฮพลไทป์ที่พบเฉพาะประชากร (rare haplotype) จำนวน 2 แฮพลไทป์ โดยมีค่าความหลากหลายของแฮพลไทป์ (haplotype diversity) อยู่ในช่วง 0.140-0.518 ซึ่งแสดงว่ามีความหลากหลายของแฮพลไทป์ปานกลาง (Ma et al., 2010) และพบว่าต้นประในพื้นที่ป่าดั้งเดิมมีความหลากหลายของแฮพลไทป์สูงกว่าต้นประในพื้นที่ป่าปลูกอีกด้วย ผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหลากหลายของแฮพลไทป์และค่าความหลากหลายของลำดับเบส พบว่าในทุกกลุ่มประชากรมีรูปแบบความสัมพันธ์โดยมีค่าความหลากหลายของแฮพลไทป์

สูงกว่าค่าความหลากหลายของลำดับเบส ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเกิดในประชากรที่เคยมีการขยายขนาดประชากรในช่วงเวลาไม่นาน โดยเกิดจากการที่ประชากรมีการกลายพันธุ์เพื่อการปรับตัวให้อยู่รอด และมีการสะสมรูปแบบการกลายพันธุ์ที่เหมาะสมอย่างรวดเร็ว (Watterson, 1984) ความสัมพันธ์ในรูปแบบดังกล่าวเคยมีรายงานจากการศึกษาในต้นประของจังหวัดนครศรีธรรมราชโดยวิเคราะห์จากลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน *ribulose-bisphosphate carboxylase* (จุฑามาศ และคณะ, 2563) และการศึกษาในต้นนาบุตรของจังหวัดนครศรีธรรมราชโดยวิเคราะห์จากลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน *beta subunit of RNA polymerase* (จุฑามาศ และคณะ, 2562) ผลการทดสอบการเบี่ยงเบนไปจากสมดุลของประชากร (neutrality test) พบว่าค่า Tajima's *D* และ Fu's *F_s* มีค่าติดลบซึ่งบ่งบอกว่าประชากรต้นประมีการคัดเลือกการกลายพันธุ์ที่ไม่เหมาะสมทิ้งไป (purifying selection) ทำให้ประชากรที่อยู่รอดเป็นประชากรที่เหมาะสมในพื้นที่นั้นซึ่งจะทำให้ประชากรมีความสามารถในการขยายขนาดประชากรได้ดีขึ้น (Yang, 2006) อีกทั้งค่า Fu's *F_s* เป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการใช้ทดสอบการขยายขนาดประชากรที่ทดสอบโดยเครื่องหมายพันธุกรรมที่มีการถ่ายทอดทางแม่ (maternal inheritance) (Ramirez-Soriano *et al.*, 2008) ซึ่งพบว่ามีค่าติดลบจึงแสดงว่าประชากรต้นประในการศึกษาครั้งนี้ น่าจะเคยมีช่วงเวลาที่มีการขยายขนาดประชากรมาก่อน รูปแบบของการเบี่ยงเบนไปจากสมดุลของประชากรแบบดังกล่าวในจังหวัดนครศรีธรรมราชเคยมีการรายงานในต้นประโดยวิเคราะห์จากลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน *ribulose-bisphosphate carboxylase* (จุฑามาศ และคณะ, 2563) และการศึกษาในต้นนาบุตรโดยวิเคราะห์จากลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน *beta subunit of RNA polymerase* (จุฑามาศ และคณะ, 2562)

2. โครงสร้างทางพันธุศาสตร์ประชากร

จากการวิเคราะห์โครงสร้างพันธุศาสตร์ประชากรพบว่ามี ความแตกต่างทางพันธุกรรมของต้นประในพื้นที่ป่าดั้งเดิม ได้แก่ พื้นที่หน่วยพิทักษ์อุทยานห้วยเลขและหน่วยพิทักษ์อุทยานน้ำตกหินท่อกับต้นประในพื้นที่ป่าปลูก ได้แก่ บ้านหินท่อกและที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน โดยผลการทดสอบ AMOVA และ pairwise *F_{ST}* ซึ่งเป็นการทดสอบตามสมมติฐานอันเนื่องมาจากการมีปัจจัยจากการขัดขวางการถ่ายเทของยีน (gene flow) เป็นผลให้มีความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างประชากรเกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุของความแตกต่างทางพันธุกรรมดังกล่าวน่าจะเป็นผลมาจากการนำเมล็ดต้นประในพื้นที่ดั้งเดิมมาปลูกในพื้นที่นอกเหนือจากบริเวณป่าดั้งเดิมซึ่งเป็นการแยกกลุ่มของประชากรด้วยการกระทำของมนุษย์ จึงอาจเป็นผลให้มีการถูกคัดเลือกและทำให้มีความแตกต่างทางพันธุกรรมเกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมที่พบว่าต้นประในพื้นที่ป่าปลูกมีความหลากหลายทางพันธุกรรมน้อยกว่าต้นประในพื้นที่ป่าดั้งเดิม การเกิดความแตกต่างทางพันธุกรรมเนื่องมาจากการนำต้นไม้ในดั้งเดิมมาปลูกเชิงการค้า เช่น ต้นแพร์ (*Pyrus sp.*) 16 สายพันธุ์ในประเทศอิตาลี (Bennici *et al.*, 2020) ต้นบุกคางคก (*Amorphophallus paeoniifolius*) ในประเทศจีน (Gao *et al.*, 2017) และต้นพริกไทย (*Capsicum annuum*) ในประเทศเม็กซิโก (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001) สำหรับผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการและแผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแฮปโลไทป์ซึ่งเป็นการวิเคราะห์รูปแบบวิวัฒนาการของดีเอ็นเอของต้นประจากยีน *maturaseK* พบว่ามีแนวโน้มในการแบ่งแยกกลุ่มทางประชากรออกเป็นสองกลุ่มซึ่งเป็นหลักฐานว่าประชากรต้นประจากป่าดั้งเดิมที่นำมาปลูกทดแทนเพื่อเป็นป่าปลูกมีแนวโน้มที่จะมีการแบ่งแยก

ทางวิวัฒนาการจากต้นประที่ขึ้นตามธรรมชาติ สอดคล้องกับผลการศึกษาในต้น ice-cream-bean (*Inga edulis*) ที่ขึ้นในป่า Peruvian Amazon ประเทศบราซิลและมีการนำมาปลูกในพื้นที่การเกษตร ซึ่งพบหลักฐานว่าสายพันธุ์ที่นำมาปลูกมีความคล้ายคลึงกับสายพันธุ์ที่ขึ้นในป่าดั้งเดิมและมีแนวโน้มว่าสายพันธุ์ที่นำมาปลูกมีการแยกมาจากสายพันธุ์ในป่าดั้งเดิม (Rollo *et al.*, 2020) เช่นเดียวกัน จากผลการเกิดโครงสร้างพันธุศาสตร์ประชากรที่เกิดขึ้นแสดงว่าต้นประที่เกิดในธรรมชาติมีความแตกต่างทางพันธุกรรมกับต้นประที่มีการปลูกเพื่อเป็นพืชเชิงเศรษฐกิจ ดังนั้นในการจัดการควรแบ่งแยกการจัดการในแต่ละพื้นที่ เช่น มีการขยายพันธุ์ต้นประที่เป็นป่าปลูกเพิ่มเติมหรือมีการตรวจสอบทางพันธุกรรมของต้นประในป่าดั้งเดิมว่ามีพันธุกรรมแบบเดียวกับต้นประที่จะทำเป็นป่าปลูกหรือไม่ หากมีลักษณะทางพันธุกรรมที่ตรงกันจึงจะสามารถนำมาปลูกในพื้นที่ป่าปลูกได้ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนทางพันธุกรรมของต้นประในป่าดั้งเดิมและต้นประในป่าปลูก

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของต้นประในป่าดั้งเดิมและป่าปลูกในอุทยานแห่งชาติเขานัน จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยวิเคราะห์จากลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน *maturaseK* ในคลอโรพลาสต์ดีเอ็นเอขนาด 772 คู่เบส ผลการศึกษาพบว่าประชากรต้นประในป่าดั้งเดิมมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูงกว่าต้นประในพื้นที่ป่าปลูก และจากการศึกษาโครงสร้างพันธุศาสตร์ประชากรสามารถแบ่งประชากรได้เป็น 2 กลุ่ม คือประชากรต้นประในป่าดั้งเดิมและประชากรต้นประในป่าปลูก ซึ่งน่าจะเกิดจากการคัดเลือกเพื่อนำต้นประในธรรมชาติมาแยกปลูกเพื่อเป็นพืชเชิงเศรษฐกิจ และพบหลักฐานทางวิวัฒนาการว่าต้นประในป่าปลูกมีการแยกทางวิวัฒนาการมาจากต้นประในป่าดั้งเดิม

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาครั้งนี้มีข้อเสนอแนะว่าควรมีการตรวจสอบเพื่อยืนยันผลอีกครั้งด้วยเครื่องหมายพันธุกรรมจากนิวเคลียส เช่น เครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ เพื่อให้ผลที่แม่นยำสำหรับใช้ประกอบการพิจารณาการจัดการต้นประในเขตอุทยานแห่งชาติเขานัน จังหวัดนครศรีธรรมราช

กิตติกรรมประกาศ

ทุนวิจัยในการศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้โครงการทำทนายไทย (ABC) ปีที่ 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ขอขอบคุณหัวหน้าอุทยานแห่งชาติเขานัน เจ้าหน้าที่อุทยานทุกท่านที่ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างและการเดินทางในเส้นทางป่าประในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จุฑามาศ ศุภพันธ์ วีระเกียรติ ทรัพย์มี และพัฒนพร รินทจักร. (2563). ความหลากหลายทางพันธุกรรมของต้นประ (Elateriospermum tapos) ในอำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช. *วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 16(1), 115-126.
- จุฑามาศ ศุภพันธ์ วรางคณา ทรัพย์สิน นันทพร ชันทพร วีระเกียรติ ทรัพย์มี วรวิฑู มีสุข และสุภัตฤทธิรัตน์. (2562). ความหลากหลายทางพันธุกรรมของต้นนาแคบุตร (*Mesua ferrea* L.) ในจังหวัดนครศรีธรรมราช. *การประชุมวิชาการชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการ อพ.สช. ครั้งที่ 9 ทรัพยากรไทย : ชาวบ้านไทยได้ประโยชน์*. นครราชสีมา.
- ปริญญา หม่อมพิบูลย์ วันดี แก้วสุวรรณ อนรรักษ์ ตรีเพชร และธราดล วัฒนนาวิน. (2561). แนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเมล็ดประในเชิงพาณิชย์. *วารสารวิชามหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 37(พิเศษ), 114-128.
- วิสุทธิ์ ไบไม้ และรังสิมา ตันทเลขา. (2550). *เขานัน-ป่าเมฆธรรมชาติกับภาวะโลกร้อน*. กรุงเทพฯ: กรุงเทพฯ จำกัด.
- Bennici, S., Guardo, M., Distefano, G., Casas, G.L., Ferlito, F., Franceschi, P.D., Dondini, L., Gentile, A. and Malfa, S.L. (2020). Deciphering S-RNase allele patterns in cultivated and wild accessions of Italian Pear Germplasm. *Forest*, 11(11), doi: <https://doi.org/10.3390/f11111228>.
- Choonhahirun, A. (2010). Proximate composition and functional properties of Pra (*Elateriospermum tapos* Blume) seed flour. *African Journal of Biotechnology*, 9(36), 5946-5949.
- Excoffier, L. and Lischer, H.E.L. (2010). Arlequin suite ver 3.5: A new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources*, 10(3), 564-567, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02847.x>.
- Fu, F.X. (1997). Statistical tests of neutrality of mutations against population growth, hitchhiking and background selection. *Genetics*, 147(2), 915-925, doi: <https://doi.org/10.1093/genetics/147.2.915>.
- Gao, Y., Yin, S., Wu, L., Dai, D., Wang, H., Liu, C. and Tang, L. (2017). Genetic diversity and structure of wild and cultivated *Amorphophallus paeoniifolius* populations in southwestern China as revealed by RAD-seq. *Scientific Reports*, 7(1), doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14738-6>.
- Hernández-Verdugo, S., Luna-Reyes, R. and Oyama, K. (2001). Genetic structure and differentiation of wild and domesticated populations of *Capsicum annum* (Solanaceae) from Mexico. *Plant Systematics and Evolution*, 226(3), 129-142, doi: <https://doi.org/10.1007/s006060170061>.

- Larkin, M.A., Blackshields, G., Brown, N.P., Chenna, R., McGettigan, P.A., McWilliam, H., Valentin, F., Wallace, I.M., Wilm, A., Lopez, R., Thompson, J.D., Gibson, T.J. and Higgins, D.G. (2007). Clustal W and Clustal X version 2.0. *Bioinformatics*, 23(21), 2947-2948, doi: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btm404>.
- Librado, P. and Rozas, J. (2009). DnaSP v5: A software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. *Bioinformatics*, 25(11), 1451-1452, doi: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btp187>.
- Ma, C., Cheng, Q., Zhang, Q., Zhuang, P. and Zhao, Y. (2010). Genetic variation of *Coilia ectenes* (Clupeiformes: Engraulidae) revealed by the complete cytochrome b sequences of mitochondrial DNA. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 385(1-2), 14-19, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2010.01.015>.
- Nei, M. (1987). *Molecular evolutionary genetics*. New York: Columbia University press.
- Nei, M. and Li, W.H. (1979). Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 76(10), 5269-5273, doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.76.10.5269>.
- Ramirez-Soriano, A., Ramos-Onsins, S.E., Rozas, J., Calafell, F. and Navarro, A. (2008). Statistical power analysis of neutrality tests under demographic expansions, contractions and bottlenecks with recombination. *Genetics*, 179(1), 555-567, doi: <https://doi.org/10.1534/genetics.107.083006>.
- Rollo, A., Ribeiro, M.M., Costa, R.L., Santos, C., Clavo, Z.M., Mandak, B., Kalousova, M., Vebrova, H., Chuqulin, E., Torres, S.G., Aguilar, R.M.V., Hlavsa, T. and Lojka, B. (2020). Genetic structure and pod morphology of *Inga edulis* cultivated vs. wild populations from the Peruvian Amazon. *Forests*, 11(6), doi: <https://doi.org/10.3390/f11060655>.
- Tajima, F. (1989). Statistical method for testing the neutral mutation hypothesis by DNA polymorphism. *Genetics*, 123(3), 585-595, doi: <https://doi.org/10.1093/genetics/123.3.585>.
- Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipski, A. and Kumar, S. (2013). MEGA6: Molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*, 30(12), 2725-2729, doi: <https://doi.org/10.1093/molbev/mst197>.
- Watterson, G.A. (1984). Allele frequencies after a bottleneck. *Theoretical Population Biology*, 26(3), 387-407, doi: [https://doi.org/10.1016/0040-5809\(84\)90042-X](https://doi.org/10.1016/0040-5809(84)90042-X).
- Yang, Z. (2006). *Computational molecular evolution*. New York: Oxford University press.

ผลของปุ๋ยสังกะสีที่ให้ทางใบต่อผลผลิตและความเข้มข้นของสังกะสีของข้าว Effect of Zinc Foliar Application on Yield and Zinc Concentration of Galangal

อนันต์ ปิริยะภักทรกิจ^{1*} พชรี เดชเลย์¹ พรกมล รูปเลิศ¹ และปัญญพัฒน์ พลพิมพ์¹
Anan Piriayaphattarakit^{1*}, Patcharee Dechlay¹, Ponkamom Ruplert¹ and
Punyaphat Pholphim¹

บทคัดย่อ

การรับประทานอาหารตามหลักโภชนาการเป็นสิ่งสำคัญสำหรับทุกวัย ร่างกายควรได้รับสารอาหารที่จำเป็นในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการ แต่คนส่วนใหญ่รับประทานอาหารที่ไม่มีประโยชน์ เช่น อาหารกึ่งสำเร็จรูป ซึ่งมีความเสี่ยงที่ร่างกายจะมีภาวะขาดแร่ธาตุสังกะสี การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการสะสมของธาตุสังกะสีในข้าว โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ ประกอบด้วย 5 ทริตเมนต์ จำนวน 5 ซ้ำ ได้แก่ ไม่ฉีดพ่นธาตุสังกะสี (ชุดควบคุม) และฉีดพ่นธาตุสังกะสีในอัตราความเข้มข้น 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 กรัมต่อลิตร โดยเก็บผลผลิตข้าวอ่อนที่ระยะเวลา 6 เดือน และข้าวแก่ที่ระยะเวลา 12 เดือนหลังปลูก จากการทดลองพบว่าอัตราการเสริมธาตุสังกะสีมีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดของข้าว โดยข้าวที่ได้รับการเสริมธาตุสังกะสีสูงขึ้น ส่งเสริมให้ปริมาณธาตุสังกะสีเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการไม่ฉีดพ่นธาตุสังกะสี (ชุดควบคุม) เมื่อศึกษาปริมาณสังกะสี พบว่าข้าวอ่อนและข้าวแก่ที่เสริมธาตุสังกะสีที่อัตราความเข้มข้น 10.0 กรัมต่อลิตร มีการสะสมธาตุสังกะสีสูงที่สุดเท่ากับ 131.87 และ 96.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อศึกษาผลผลิตน้ำหนักสด พบว่าข้าวอ่อนที่เสริมธาตุสังกะสี 7.5 กรัมต่อลิตร ให้ค่าผลผลิตน้ำหนักสดมากที่สุดเท่ากับ 903.00 กรัม และข้าวแก่ที่ไม่ฉีดพ่นธาตุสังกะสี (ชุดควบคุม) ให้ค่าผลผลิตน้ำหนักสดเท่ากับ 1057.25 กรัม เมื่อศึกษาปริมาณน้ำหนักแห้งในข้าวอ่อนและข้าวแก่ โดยการไม่ฉีดพ่นธาตุสังกะสี (ชุดควบคุม) ให้ค่ามากที่สุดเท่ากับ 80.84 และ 152.33 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นอัตราการฉีดพ่นธาตุสังกะสีทางใบที่เหมาะสมทั้งปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดและปริมาณการสะสมธาตุสังกะสีในข้าวอ่อน คือ 7.5 กรัมต่อลิตร

คำสำคัญ: ข้าว สังกะสี ผลผลิต

¹ ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

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

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.254742>

Received: 30 May 2022, Revised: 11 October 2022, Accepted: 18 October 2022

Abstract

A nutritious eating is important for all ages. The body should get enough nutrients to meet its needs, but most people eat unhealthy foods such as instant foods at risk of zinc deficiency. The objective of this research was to study the accumulation of zinc in galangal. The experiment used randomized complete block design (RCBD) with 5 treatments and 5 replications. The treatments were consisted of non-zinc applied (control) and zinc foliar applied concentration at a rate 2.5, 5.0, 7.5, and 10.0 grams per litre. The young galangal products were collected at 6 months and old galangal at 12 months. The results showed that the rate of zinc supplementation increased galangal growth and yield compared with the control. In the amount of zinc, young and old galangal given zinc supplementation at the concentration of 10 grams per litre had the highest zinc accumulation rate of 131.87 and 96.87 milligram per kilogram. The fresh weight yield showed that young galangal supplemented with zinc 7.5 grams per litre had the highest fresh weight yield of 903.00 grams, and old galangal (control) had the fresh weight yield of 1057.25 grams. The dry weight content of young and old galangal (controls) had the highest zinc accumulation rates of 80.84 and 152.33 grams. Therefore, the optimum foliar spraying rate of zinc in both quantities, fresh weight yield and zinc accumulation in young galangal, was 7.5 grams per litre.

Keywords: Galangal, Zinc, Yield

บทนำ

ข่ามีชื่อวิทยาศาสตร์ *Alpinia galanga* (L.) Willd. จัดอยู่ในวงศ์ Zingiberaceae เป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่ง เติบโตได้ดีในเขตร้อนชื้น นิยมนำมาใช้ในการประกอบอาหาร ใช้เป็นเครื่องเทศเพื่อช่วยแต่งกลิ่นอาหาร เป็นส่วนผสมในเครื่องแกงหรือน้ำพริก ใช้ปรุงรสในอาหาร เช่น ต้มยำ ต้มข่า ผัดเผ็ด เป็นต้น นอกจากนี้ดอกและลำต้นอ่อนของข่ายังใช้รับประทานเป็นผักสดได้อีกด้วย (เสนาะและคณะ, 2560) ข่ามีสาร 1-acetoxychavicol acetate (ACA) ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดโรคมะเร็งจากการเหนี่ยวนำของสารก่อมะเร็ง จึงช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็งไปด้วยในตัว ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด ช่วยรักษาโรคหลอดเลือดอักเสบ ช่วยขับลม แก้อาการไอ เจ็บคอ ขับเสมหะ ช่วยเพิ่มการไหลเวียนของเลือด และเพิ่มการเผาผลาญของร่างกายให้ดีขึ้น (Phitak et al., 2009)

สังกะสีหรือซิงค์ (Zinc) เป็นแร่ธาตุจำเป็นต่อร่างกายมนุษย์เช่นเดียวกับธาตุซีลีเนียมที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยแต่ไม่สามารถขาดได้ (พัชร และคณะ 2565) ซึ่งสังกะสีมีความสำคัญอย่างมากต่อระบบการทำงานของร่างกายให้ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ สำคัญในการควบคุมให้กระบวนการต่าง ๆ ในร่างกายดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีส่วนช่วยในการทำงานของ

เอนไซม์ในร่างกายถึง 300 ชนิด ซึ่งรวมถึงกระบวนการย่อยและเผาผลาญสารอาหาร มีบทบาทหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีนที่ควบคุมการทำงานของร่างกาย กระบวนการสังเคราะห์สารพันธุกรรม ระบบสืบพันธุ์ ระบบประสาท ฮอรโมน รวมถึงระบบภูมิคุ้มกัน เช่น การสร้างภูมิคุ้มกัน การเจริญเติบโตของร่างกาย การทำงานของฮอรโมนอินซูลิน (พลอย, 2561) โดยปกติแล้วร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสร้างธาตุสังกะสีเองได้จึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารที่มีธาตุสังกะสีเป็นส่วนประกอบ ซึ่งแหล่งอาหารที่มีปริมาณสังกะสีสูง ได้แก่ อาหารทะเล หอยนางรม เมล็ดทานตะวัน เห็ด เนื้อหมู ไข่ ข้าวกล้อง ถั่วลิสง ปลา จมูกข้าวสาลี แป้งงา เมล็ดฝักทอง ธัญพืช เครื่องเทศ ผักโขม เป็นต้น (เอกชัย, 2560) ในขณะที่พืชสมุนไพรเป็นอาหารหลักของประชากรประมาณครึ่งหนึ่งของโลก แต่พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีน้อยกว่าอาหารจำพวกเนื้อสัตว์อยู่หลายเท่า อาทิเช่น หอยนางรมและเนื้อแดง มีปริมาณธาตุสังกะสี 74.0-871.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Saito *et al.*, 2017) แต่ในข้าวมีปริมาณสังกะสีเพียง 3.5-60.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Saenchai *et al.*, 2014) ร่างกายมนุษย์ต้องการสังกะสีในปริมาณ 15-22 มิลลิกรัมต่อวัน โดยทั่วไปการบริโภคอาหารในแต่ละวันจะได้รับสังกะสีเข้าสู่ร่างกายเฉลี่ย 5-22 มิลลิกรัม ซึ่งความแปรปรวนของการได้รับสังกะสีในร่างกายแต่ละวันขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะอาหารที่บริโภคในแต่ละพื้นที่ (Noulas *et al.*, 2018) นอกจากนี้ธาตุสังกะสียังมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของพืชอย่างมาก (Shu *et al.*, 2008) การฉีดพ่นสังกะสีทางใบ โดยทั่วไปใช้ในรูป $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ และ $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ที่ 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาณ) ในอัตรา 500-600 ลิตรต่อเฮกตาร์ (Fu *et al.*, 2016) โดยมีรายงานว่า การฉีดพ่นสังกะสีทางใบสามารถเพิ่มการสะสมของสังกะสีในพืชหลายชนิด เช่น มันฝรั่ง ข้าวสาลี ถั่วเหลือง ข้าวโพด และข้าว เป็นต้น (Dore *et al.*, 2018) หากร่างกายมนุษย์ได้รับธาตุสังกะสีไม่เพียงพอจะส่งผลให้กระบวนการทางสรีรวิทยา และพัฒนาการบกพร่องนำไปสู่ปัญหาทางสุขภาพ เช่น ร่างกายอ่อนแอ ภูมิคุ้มกันลดลง ตลอดจนการทำงานของสมองช้าลง (Maret *et al.*, 2013)

การขาดธาตุสังกะสีนับว่าเป็นปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อประชากรจำนวนหนึ่งในสามของโลก โดยพบประชากรป่วยเป็นโรคขาดธาตุสังกะสีตั้งแต่ 4-73 เปอร์เซ็นต์ (Hotz and Brown, 2004) โดยเฉพาะอย่างยิ่งประชากรในแถบทวีปเอเชียและแอฟริกาที่พบผู้ป่วยดังกล่าวถึง 10-60 เปอร์เซ็นต์ (McLean *et al.*, 2008) สาเหตุของการขาดธาตุสังกะสีส่วนใหญ่เกิดจากการบริโภคธาตุสังกะสีไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย เนื่องจากพฤติกรรมการทานอาหารของคนในปัจจุบันทั้งการทานอาหารที่ไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ทานอาหารไม่ครบ 5 หมู่ และการทานอาหารจำพวกอาหารสำเร็จรูป ทำให้หลายคนมีความเสี่ยงที่ร่างกายจะมีภาวะขาดแร่ธาตุสังกะสีได้ นำมาซึ่งปัญหาด้านสุขภาพได้ รวมทั้งมีการใช้ยาเพื่อปรุงอาหารหรือใช้เป็นยาสมุนไพรในชีวิตประจำวัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอัตราการเสริมธาตุสังกะสีที่เหมาะสมต่อปริมาณการสะสมของสังกะสีในข้าวอ่อนและข้าวแก่ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่ได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการสะสมสังกะสีในข้าวโดยเสริมธาตุสังกะสีในรูป $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (zinc; $\text{Zn} = 15$ เปอร์เซ็นต์ สำหรับพืช) วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) แบ่งการทดลองเป็น 5 สูตร สูตรละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น ได้แก่ ธาตุสังกะสีความเข้มข้น 0.0 (ชุดควบคุม) 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 กรัมต่อลิตร เตรียมแปลงปลูกขนาด 1×2 เมตร จำนวน 25 แปลง ใช้ระยะปลูก 40 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกมาวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter: OM) ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสีที่เป็นประโยชน์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่าค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสี และค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2.80 เดซิซีเมนต่อเมตร 20.25 เปอร์เซ็นต์ 2.15 8.58 5.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 6.92 ตามลำดับ โดยเริ่มปลูกตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2565 ฉีดพ่นสังกะสีทางใบจำนวน 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ฉีดพ่นหลังปลูก 1 เดือน และครั้งที่ 2 ฉีดพ่นหลังปลูก 5 เดือน โดยใช้ น้ำ 25 ลิตรต่อ 1 แปลงปลูก และรดน้ำเข้าเย็นทุกวัน เก็บผลผลิตข้าวอ่อนที่ระยะเวลา 6 เดือน และข้าวแก่ที่ระยะเวลา 12 เดือน บันทึกน้ำหนักผลผลิตน้ำหนักแห้ง นำไปสกัดและวิเคราะห์การสะสมธาตุสังกะสี โดยนำสารละลาย diethylene triamine penta acetic acid (DTPA) และแคลเซียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์มาผสมกันก่อนค่อยเติม TEA buffer เพื่อละลาย DTPA ให้หมด ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 3.7 ด้วยกรดอะซิติก (1:1) หรือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1 นอร์มัล (N) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม (± 0.01) ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร ปิดฝาแน่น (สารละลาย DTPA เข้มข้น 0.005 โมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.3) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร (ใช้ volumetric pipet) ใส่ตัวอย่างลงไป ปิดด้วยจุกยาง เขย่าด้วยเครื่องนาน 2 ชั่วโมง กรองตัวอย่างโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 5 เก็บสารละลายที่กรองได้ไว้ในขวดพลาสติก นำสารละลายที่กรองได้ไปตรวจวัดความเข้มข้นของสังกะสีด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometer (AAS) นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS 15.0 (SPSS, Inc, 2006) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดในข้าวอ่อนอายุ 6 เดือนหลังปลูก พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการฉีดพ่นธาตุสังกะสีในอัตราความเข้มข้น 7.5 กรัมต่อลิตร ส่งผลให้ผลผลิตน้ำหนักสดสูงที่สุดเท่ากับ 903.0 กรัม รองลงมา คือ การฉีดพ่นธาตุสังกะสีในอัตราความเข้มข้น 2.5 0.0 (ชุดควบคุม) และ 10.0 กรัมต่อลิตร ซึ่งให้ค่าผลผลิตน้ำหนักสดเท่ากับ 466.0 420.5 และ 319.0 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่การฉีดพ่นธาตุสังกะสีในอัตราความเข้มข้น 5.0 กรัมต่อลิตร ให้ค่าผลผลิตน้ำหนักสดน้อยที่สุดเท่ากับ 273.50 กรัม

เมื่อศึกษาผลผลิตน้ำหนักแห้ง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการไม่ฉีดพ่นธาตุสังกะสี (ชุดควบคุม) ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 80.84 กรัม รองลงมา คือ การฉีดพ่นธาตุสังกะสีในอัตราความเข้มข้น 7.5 2.5 และ 10.0 กรัมต่อลิตร ซึ่งให้ผลผลิตน้ำหนักแห้ง

เท่ากับ 76.33 64.21 และ 52.76 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ฉีดพ่นธาตุสังกะสีในอัตราความเข้มข้น 5.0 กรัมต่อลิตร ให้ค่าผลผลิตน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 36.43 กรัม

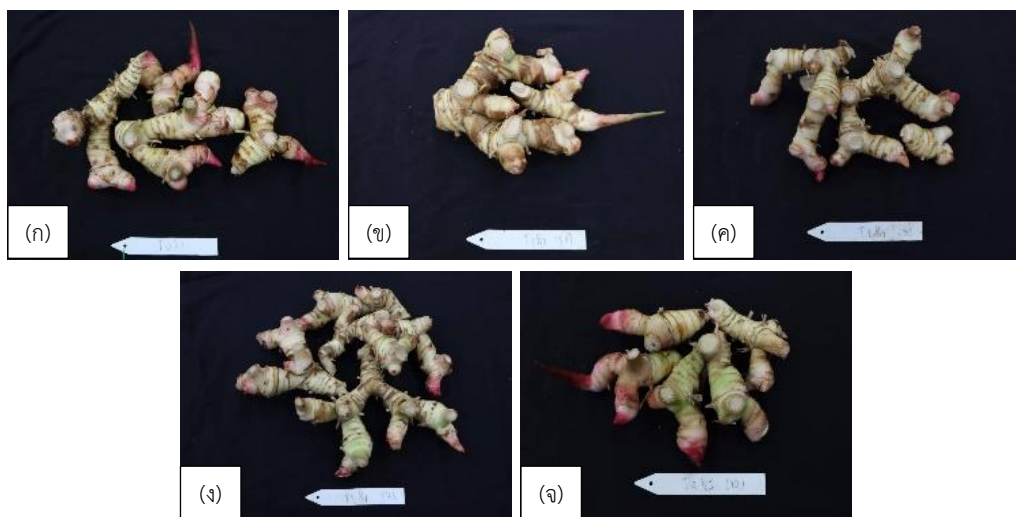
เมื่อศึกษาปริมาณการสะสมของธาตุสังกะสี พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการฉีดพ่นธาตุสังกะสีทางใบที่อัตราความเข้มข้น 10.0 กรัมต่อลิตร ให้ค่าการสะสมของธาตุสังกะสีสูงที่สุดเท่ากับ 131.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ การฉีดพ่นธาตุสังกะสีที่อัตราความเข้มข้น 7.5 2.5 และ 5.0 กรัมต่อลิตร ซึ่งให้ค่าการสะสมของธาตุสังกะสีเท่ากับ 118.05 111.92 และ 108.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ต้นข้าที่ไม่ฉีดพ่นธาตุสังกะสี (ชุดควบคุม) ให้ค่าการสะสมของธาตุสังกะสีน้อยที่สุดเท่ากับ 75.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ปริมาณผลผลิตน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณสังกะสี ในข้าวอ่อนอายุ 6 เดือนหลังปลูก

อัตราความเข้มข้นของ ธาตุสังกะสีที่ฉีดพ่น (กรัมต่อลิตร)	ผลผลิต น้ำหนักสด (กรัม)	ผลผลิต น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาณการสะสม ของธาตุสังกะสี (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
0.0	420.50 ^b	80.84 ^a	75.49 ^d
2.5	466.00 ^{ab}	64.21 ^{ab}	111.92 ^c
5.0	273.50 ^b	36.43 ^b	108.09 ^{bc}
7.5	903.00 ^a	76.33 ^{ab}	118.05 ^{ab}
10.0	319.00 ^b	52.76 ^{ab}	131.87 ^a
F-test	*	*	*
CV (%)	22.26	43.39	12.89

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

เมื่อศึกษาปริมาณการสะสมธาตุสังกะสีในข้าวอ่อน พบว่าอัตราความเข้มข้นการฉีดพ่นธาตุสังกะสี 10.0 กรัมต่อลิตร ส่งผลให้มีการสะสมธาตุสังกะสีสูงที่สุด ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการเสริมธาตุสังกะสี นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราความเข้มข้นการฉีดพ่นธาตุสังกะสีทางใบมีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ปริมาณผลผลิตน้ำหนัสดินในข้าวอ่อนอายุ 6 เดือนหลังปลูกที่ไม่เสริมธาตุสังกะสี (ควบคุม) (ก) และที่เสริมธาตุสังกะสี 2.5 กรัม (ข) 5.0 กรัม (ค) 7.5 กรัม (ง) และ 10.0 กรัม (จ)

จากการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตน้ำหนัสดินในข้าวแก่อายุ 12 เดือนหลังปลูก พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการไม่ฉีดพ่นธาตุสังกะสี (ชุดควบคุม) ให้ผลผลิตน้ำหนัสดินสูงที่สุดเท่ากับ 1057.25 กรัม รองลงมา คือ การฉีดพ่นธาตุสังกะสีในอัตราความเข้มข้น 2.5 7.5 และ 5.0 กรัมต่อลิตร ซึ่งให้ค่าผลผลิตน้ำหนัสดินเท่ากับ 935.75 776.00 และ 759.33 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่การฉีดพ่นธาตุสังกะสีในอัตราความเข้มข้น 10.0 กรัมต่อลิตร ให้ค่าผลผลิตน้ำหนัสดินน้อยที่สุดเท่ากับ 445.50 กรัม

เมื่อศึกษาปริมาณผลผลิตน้ำหนักราก พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการไม่ฉีดพ่นธาตุสังกะสี (ชุดควบคุม) ให้น้ำหนักรากสูงที่สุดเท่ากับ 152.33 กรัม รองลงมา คือ การฉีดพ่นธาตุสังกะสีในอัตราความเข้มข้น 7.5 2.5 และ 5.0 กรัมต่อลิตร ซึ่งให้ค่าผลผลิตน้ำหนักรากเท่ากับ 150.22 145.99 และ 86.41 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่การฉีดพ่นธาตุสังกะสีในอัตราความเข้มข้น 10.0 กรัมต่อลิตร ให้ค่าผลผลิตน้ำหนักรากน้อยที่สุดเท่ากับ 66.39 กรัม

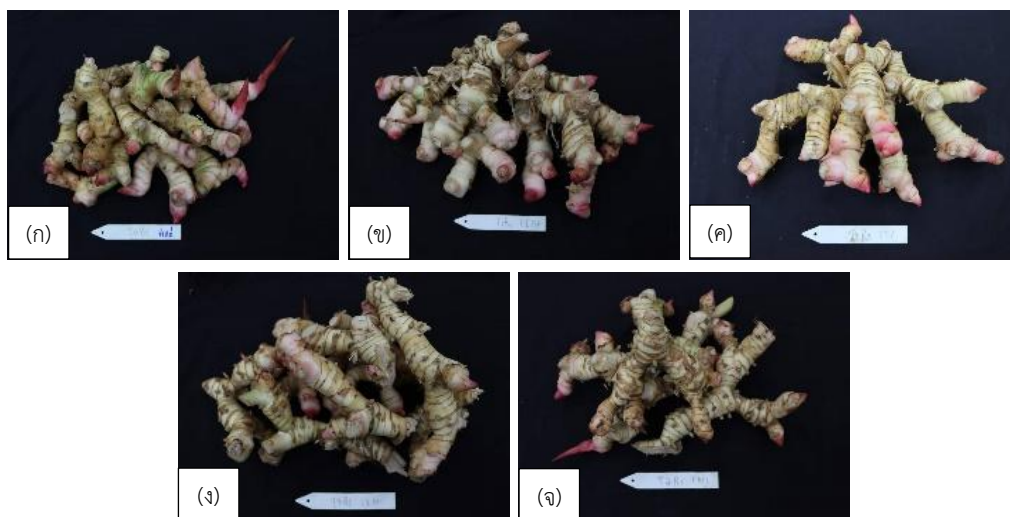
เมื่อศึกษาปริมาณการสะสมของธาตุสังกะสี พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการฉีดพ่นธาตุสังกะสีทางใบที่อัตราความเข้มข้น 10.0 และ 7.5 กรัมต่อลิตร ให้ค่าการสะสมของสังกะสีสูงที่สุดเท่ากับ 96.87 และ 96.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ การไม่ฉีดพ่นธาตุสังกะสี (ชุดควบคุม) ซึ่งให้ค่าการสะสมสังกะสีเท่ากับ 90.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่การฉีดพ่นธาตุสังกะสีในอัตราความเข้มข้น 5.0 และ 2.5 กรัมต่อลิตร ให้ค่าการสะสมของธาตุสังกะสีน้อยที่สุดเท่ากับ 84.80 และ 83.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณผลผลิตน้ำหนกสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณสังกะสี ในข้าวแก่อายุ 12 เดือนหลังปลูก

อัตราความเข้มข้นของ ธาตุสังกะสีที่ฉีดพ่น (กรัมต่อลิตร)	ผลผลิต น้ำหนกสด (กรัม)	ผลผลิต น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาณการสะสม ของธาตุสังกะสี (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
0.0	1057.25 ^a	152.33 ^a	90.18 ^b
2.5	935.75 ^b	145.99 ^b	83.79 ^c
5.0	759.33 ^d	86.41 ^c	84.80 ^c
7.5	776.00 ^c	150.22 ^{ab}	96.72 ^a
10.0	445.50 ^e	66.39 ^d	96.87 ^a
F-test	*	*	*
CV (%)	4.19	2.31	3.13

หมายเหตุ: - * ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสมมุติเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ด้วยวิธี DMRT

เมื่อศึกษาปริมาณการสะสมธาตุสังกะสีในข้าวแก่ พบว่าอัตราความเข้มข้นการฉีดพ่นธาตุสังกะสี 10.0 และ 7.5 กรัมต่อลิตร ให้การสะสมธาตุสังกะสีสูงที่สุด ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการเสริมธาตุสังกะสี นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราความเข้มข้นการฉีดพ่นธาตุสังกะสีทางใบมีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำหนกสดและน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ปริมาณผลผลิตน้ำหนกสดในข้าวแก่อายุ 12 เดือนหลังปลูกที่ไม่เสริมธาตุสังกะสี (ควบคุม) (ก) และที่เสริมธาตุสังกะสี 2.5 กรัม (ข) 5.0 กรัม (ค) 7.5 กรัม และ 10.0 กรัม (ง)

การอภิปรายผลการวิจัย

การเสริมธาตุสังกะสีให้กับข้าวส่งผลให้ข้าวอ่อนและข้าวแก่มีการสะสมธาตุสังกะสีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการฉีดพ่นธาตุสังกะสีที่อัตราความเข้มข้น 10.0 กรัม ให้ค่าการสะสมธาตุสังกะสีสูงที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของพัชรินทร์ และคณะ (2558) ศึกษาผลของการพ่นสังกะสีทางใบต่อผลผลิตและการสะสมธาตุสังกะสีในข้าวกล้องของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุง พบว่าการพ่นสังกะสีทางใบสามารถเพิ่มความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องได้ในสัดส่วนที่แตกต่างกันระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์ปรับปรุงและความเข้มข้นของธาตุสังกะสีที่สะสมในข้าวกล้องมีความสัมพันธ์ต่อผลผลิตของข้าวทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกัน นอกจากนี้รายงานของ Heinemann *et al.* (2011) พบว่าพืชหลายชนิดมีความแตกต่างทางพันธุกรรมในการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ใบเป็นผลจากยีนบางชนิดที่สามารถระงับการคายน้ำในสภาวะที่ดินแห้งสนิท ในขณะที่พืชบางชนิดตอบสนองโดยลดการคายน้ำในสภาพดินอึดด้วยน้ำที่สูง จากเหตุผลดังกล่าวอาจส่งผลให้ข้าวอ่อนและข้าวแก่มีความสามารถในการปรับตัวแตกต่างกัน และมีผลทำให้เกิดความแตกต่างในการสร้างผลผลิต เนื่องจากข้าวอ่อนและข้าวแก่มีการเก็บผลผลิตที่ไม่พร้อมกัน รวมทั้งอาจส่งผลต่อความแตกต่างในการสะสมธาตุสังกะสีในข้าวอ่อนและข้าวแก่อีกด้วย Wissuwa *et al.* (2008) รายงานว่าสภาพที่ดินขาดธาตุสังกะสี (ความเป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสีในดิน 0.79-0.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สามารถให้ความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวเฉลี่ยในช่วง 7.8-27.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดมาจากเสถียรภาพและการดูดใช้สังกะสีซึ่งคาดว่าจะขึ้นอยู่กับศักยภาพและกลไกทางสรีรวิทยาของข้าว แม้ในดินจะมีการขาดธาตุสังกะสีก็ตาม ขณะที่ยงยุทธ และคณะ (2554) รายงานว่าการฉีดพ่นสารละลาย $ZnSO_4$ อัตราความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถช่วยแก้ปัญหาการขาดธาตุสังกะสีของพืชได้เป็นอย่างดี แต่การแก้ไขให้ได้ผลระยะยาวควรปรับปรุงดินและใส่ปุ๋ยทางดินในอัตราที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด แต่อย่างไรก็ตามค่าวิกฤตสังกะสีในดินอาจจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดการสภาพแวดล้อม และการสะสมธาตุสังกะสีในส่วนต่าง ๆ ของพืชแต่ละชนิดอาจจะมีกลไกการดูดซึมของระบบราก และการลำเลียงธาตุอาหารแตกต่างกัน จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุสังกะสี ซึ่งมีผลต่อปริมาณผลผลิตทั้งในข้าวอ่อนและข้าวแก่ และการบริโภคอาหารที่ขาดธาตุสังกะสีส่งผลให้เกิดการขาดธาตุสังกะสีต่อผู้บริโภค ทำให้เกิดความบกพร่องของพัฒนาการทั้งทางด้านร่างกายและสมอง การเพิ่มธาตุสังกะสีในพืชสมุนไพรโดยการฉีดพ่นธาตุสังกะสีทางใบอาจจะสามารถเพิ่มธาตุสังกะสีในพืชสมุนไพรได้ ซึ่งจะทำให้ผู้บริโภคได้รับธาตุสังกะสีมากขึ้นด้วย

สรุปผลการวิจัย

การฉีดพ่นธาตุสังกะสีทางใบในข้าวอ่อนและข้าวแก่ส่งผลให้มีการสะสมธาตุสังกะสีเพิ่มขึ้นตามอัตราความเข้มข้นที่ฉีดพ่นเพิ่มขึ้น โดยข้าวอ่อนและข้าวแก่ที่ได้รับการเสริมธาตุสังกะสีสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตน้ำหนักรวมลดลง ดังนั้นการฉีดพ่นธาตุสังกะสีทางใบที่เหมาะสมสำหรับการเสริมธาตุสังกะสีในข้าวอ่อน คือ 7.5 กรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเสริมธาตุสังกะสีให้กับข้าวได้ในระดับดีกว่าอัตราความเข้มข้นอื่น ๆ และข้าวแก่ที่เสริมธาตุสังกะสีทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำหนักรวม ทำให้การไม่ฉีดพ่นธาตุสังกะสีมีปริมาณผลผลิตมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยจากโครงการการพัฒนาพืชผัก สมุนไพร และผลไม้เสริมธาตุสังกะสีเพื่อสุขภาพ ภายใต้การดำเนินงานโครงการของศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

เอกสารอ้างอิง

- พลอย วงวิไลย. (2561). Zinc แร่ธาตุสังกะสี สารอาหารสำคัญ ประโยชน์ครบครัน ของสุขภาพ. สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2565, จาก: <https://www.megawecare.co.th/content/5462/zinc-essential-nutrient-for-health->.
- พัชรินทร์ ตัญวงศ์ เพ็ญภา จักรสมศักดิ์ เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม และชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัยผล. (2558). ผลของการพ่นสังกะสีที่ใบต่อผลผลิตและการสะสมธาตุสังกะสีในข้าวกล้องของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุง. *วารสารแก่นเกษตร*, 43(4), 605-612.
- พัชรี เดชเลห์ คมกฤษณ์ แสงเงิน ญัฐพงศ์ จันจุฬา และอนันต์ พิริยะภัทรกิจ. (2565). ผลของปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซีลีเนียมต่อการเจริญเติบโตผลผลิต และปริมาณซีลีเนียมของผักกาดหอม. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 41(1), 15-24.
- ยงยุทธ โอสดสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. (2554). ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เสนาะ ขาวขำ เทวัญ ธาณิรัตน์ และพระปลัดสมชาย ปโยโค (2560). การใช้สมุนไพรตามพทุธานุญาตเพื่องานสาธารณสุขมูลฐาน. *วารสารสันติศึกษาปริทรรศน์ มจร*, 5(2), 237-249.
- เอกชัย เรื่องดำ (2560). สังกะสี แร่ธาตุที่ต้องการน้อยแต่สำคัญ. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 65(204), 24-25.
- Dore, V., Koti, R.V. and Math, K.K. (2018). Response of zinc application on growth, zinc content and grain yield of rice genotypes and correlation between zinc content and yield attributes of rice genotypes. *Indian Journal of Animals Research*, 52(6), 625-630, doi: <https://doi.org/10.18805/IJAR.A-5096>.
- Fu, X.Z., Xing, F., Cao, L., Chun, C.P, Ling, L.L, Jiang, C.L. and Peng, L.Z. (2016). Effects of foliar application of various zinc fertilizers with organosilicone on correcting citrus zinc deficiency. *HortScience*, 51(4), 422-426, doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.4.422>.
- Heinemann, A.B., Stone, L.F. and Fageria, N.K. (2011). Transpiration rate response to water deficit during vegetative and reproductive phases of upland rice cultivars. *Agricultural Science Journal*, 68(1), 24-30, doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000100004>.
- Hotz, C. and Brown, K.H. (2004). Chapter 2: Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food and Nutrition Bulletin*, 25(1), 99-203, doi: <https://doi.org/10.1177/156482650402515>.

- Maret, W. (2013). Zinc biochemistry: From a single zinc enzyme to a key element of life. *Advance in Nutrition Journal*, 4(1), 82-91, doi: <https://doi.org/10.3945/an.112.003038>.
- McLean, E., Cogswell, M., Egli, I., Wojdyla, D. and De Benoist, B. (2008). Worldwide prevalence of anaemia, WHO vitamin and mineral nutrition information system, 1993-2005. *Public Health Nutrition*, 12(4), 444-454, doi: <https://doi.org/10.1017/S1368980008002401>.
- Noulas, C., Tziouvalekas, M. and Karyotis, T. (2018). Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Element in Medicine and Biology*, 49, 252-260, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.009>.
- Phitak, T., Choocheep, K., Pothacharoen, P., Pompimon, W., Premanode, B. and Kongtawelert, P. (2009). The effects of p-hydroxycinnamaldehyde from *Alpinia galanga* extracts on human chondrocytes. *Phytochemistry*, 70(2), 237-243, doi: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.11.010>.
- Saenchai, C., Prom-u-thai, C., Jamjod, S., Dell, B. and Rerkasem, B. (2014). Iron and zinc partitioning in rice grain. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 43(1), 67-78.
- Saito, H., Cherasse, Y., Suzuki, R., Mitarai, M., Ueda, F. and Urade, Y. (2017). Zinc-rich oysters as well as zinc yeast and astaxanthin enriched food improved sleep efficiency and sleep onset in a randomized controlled trial of healthy individuals. *Molecular Nutrition and Food Research*, 61(5), 16-82, doi: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600882>.
- Shu, N., Zhou, T. and Hovmoller, S. (2008). Prediction of zinc-binding sites in proteins from sequence. *Journal Article*, 24(6), 775-782, doi: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btm618>.
- Wissuwa, M., Ismail, A.M. and Graham, R.D. (2008). Rice grain zinc concentrations as affected by genotype, native soil-zinc availability and zinc fertilization. *Plant and Soil*, 306(1), 37-48, doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9368-4>.

ผลการใช้ระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบ
ห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง อะตอมและโครงสร้างอะตอม เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์
ทางการเรียนของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

Effect of Using Learning System on Cloud Integrated with Flipped
Classroom on Atom and Atomic Structure for Developing Learning
Achievement of Matthayom Suksa 5 Students

วัชรพร ศรีรักษ์^{1*}

Watcharaporn Srirak^{1*}

บทคัดย่อ

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ในปัจจุบัน ส่งผลให้มนุษย์มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเข้ามาใช้เพื่อตอบสนองความต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการศึกษาที่มีความเกี่ยวข้องกับผู้เรียน การพัฒนาระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง อะตอมและโครงสร้างอะตอม จะสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนและลดช่องว่างทางการศึกษาได้ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนจัดการเรียนการสอน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ และแบบประเมินความพึงพอใจ การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียนวิชาวิทยาศาสตร์ที่เรียนด้วยระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของผู้เรียนวิชาวิทยาศาสตร์ด้วยระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านกับผู้เรียนในรูปแบบปกติ และ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน โดยมีกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/7 จำนวน 30 คน ใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) จากการศึกษาพบว่า 1) ผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของผู้เรียนสูงกว่าก่อนเรียนเมื่อได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 2) ผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของผู้เรียนวิชาวิทยาศาสตร์ด้วยระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านสูงกว่าผู้เรียนในรูปแบบการเรียนการสอนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และ 3) ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านในระดับมากที่สุด (mean = 4.67 SD = 0.59)

¹ สาขาวิชาเคมีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

* Corresponding author e-mail: wcrp2007@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.255794>

Received: 23 August 2022, Revised: 17 October 2022, Accepted: 18 October 2022

คำสำคัญ: โครงสร้างอะตอม คลาวด์ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระบบคลาวด์ ห้องเรียนกลับด้าน

Abstract

From the COVID-19 situation, its effect on human life to use science and technology in response to their needs, especially education that relates to students. The Development of Learning System on Cloud Integrated with Flipping Classroom on Atom and Atomic Structure will be developing learning achievement and reducing educational inequalities for students. The research tools consisted of a lesson plan, the learning achievement test, and the satisfaction questionnaire. The purposes of this study were 1) to compare the learning achievement of students before and after implementations of the cloud computing combined with flipped classes approach, 2) to compare the learning achievement of the experimental group after using the cloud computing combined with flipped classes approach, and the control group who used the traditional lecture approach, and 3) to investigate the satisfaction of students after implementations of the cloud computing combined with flipped classes approach. The samples were Matthayom suksa 5/7 students ($n = 30$). The samples were selected by purposive sampling. The results of this research showed that 1) the mean scores of posttest were significantly higher than pretest after implementations of the cloud computing combined with flipped classes approach ($p < 0.05$). 2) The mean scores of students' posttest after implementations of the cloud computing combined with flipped classes approach were significantly higher than the control group who used the traditional lecture approach ($p < 0.05$). 3) It was found that the students' satisfaction on learning by the cloud computing combined with flipped classroom approach was at highest level (Mean = 4.67, SD = 0.59).

Keywords: Atomic structure, Cloud, Learning achievement, Cloud system, Flipped classroom

บทนำ

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ส่งผลให้มนุษย์มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเข้ามา เพราะต้องตอบสนองความต้องการและช่องว่างที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันของผู้คน โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการศึกษาที่มีความเกี่ยวข้องกับนักเรียน ซึ่งถือว่าเป็นทรัพยากรที่กำลังจะเติบโตไปเป็นผู้ใหญ่ และส่งผลต่อการพัฒนาต่าง ๆ ของประเทศในวันข้างหน้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเจริญต่าง ๆ ต้องอาศัยพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อช่วยให้คนในสังคมมีคุณภาพชีวิตดีขึ้น

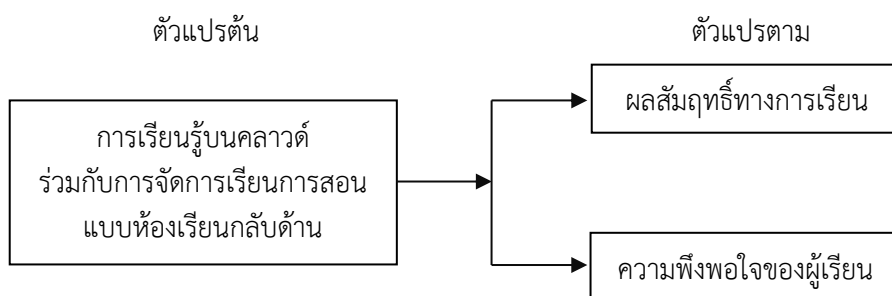
เทคโนโลยีในปัจจุบันมีความก้าวหน้าและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจัดการเรียนการสอน มีการปฏิรูประบบการศึกษาให้เป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ นำเทคโนโลยีและเครื่องมือดิจิทัลมาช่วยในการพัฒนาและขับเคลื่อนการศึกษา ใช้เป็นเครื่องมือช่วยแก้ปัญหาใน

การจัดการเรียนการสอนหรือส่งเสริมสภาพแวดล้อมแห่งการเรียนรู้ได้มากยิ่งขึ้น (Hu, 2021) ทุกวันนี้ทุกคนสามารถเข้าถึงระบบอินเทอร์เน็ตได้ง่าย ทำให้มีโอกาสเกิดการเรียนรู้ได้ทุกสถานที่ ไม่จำเป็นต้องเรียนแค่ในห้องเรียนก็สามารถเรียนรู้ได้ทุกเวลาที่ต้องการ แนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาระบบการเรียนรู้บนคลาวด์อันมีสาเหตุจากความนิยมการสื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ตจึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ซึ่งพิจารณาได้จากการใช้ชีวิตของเด็กรุ่นใหม่ที่ต้องเกี่ยวกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตอย่างแยกจากกันไม่ได้ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2562) และในการจัดการเรียนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์ในหมวดวิชาพื้นฐานตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนในสายศิลป์-ภาษาและศิลป์-คำนวณถูกจัดให้มีการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับวิชาเคมี ซึ่งแม้ในหลักสูตรแกนกลางจะมีการจัดลำดับความยากง่ายของเนื้อหาแต่ละสาระให้มีความเชื่อมโยงกัน แต่นักเรียนเหล่านี้มีพื้นฐานความรู้แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื้อหาไปถึงเกรดเฉลี่ยสะสม ทักษะและความพึงพอใจต่อวิชาวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้วิชาเคมียังมีเนื้อหาจำนวนมาก ความสัมพันธ์กันของแต่ละเรื่องยากต่อการทำความเข้าใจในเวลาที่ยากัด และจากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาการเรียนการสอนในปัจจุบันพบว่าห้องเรียนกลับด้านของ Jonathan Bergman และ Aaron Sams กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีการสอนที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ไม่จำกัดแค่เฉพาะอยู่ในห้องเรียน ช่วยนักเรียนที่มีปัญหาตามชั้นเรียนไม่ทันเพราะต้องขาดเรียนไปเล่นกีฬาหรือไปทำกิจกรรมให้นักเรียนที่ขาดเรียนหรือเรียนช้าสามารถเข้าไปเรียนได้ หากยังไม่เข้าใจก็สามารถที่จะเปิดดูอีกครั้งได้ โดยที่ครูไม่ต้องสอนซ้ำ (Bergmann and Sams, 2012) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าการนำระบบประมวลผลบนคลาวด์มาดำเนินการร่วมกับห้องเรียนกลับด้าน จะสามารถเข้ามาช่วยเป็นสื่อการเรียนการสอนออนไลน์ ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ที่ครอบคลุมการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนที่อยู่ในยุคที่ทุกคนสามารถเข้าถึงเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การใช้สื่อเทคโนโลยียังช่วยควบคุมเวลาในการจัดกิจกรรมทำให้บริหารเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ณัฏฐาทรศญา, 2562) ครูผู้สอนจัดการเรียนรู้โดยคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคล ผู้ที่เรียนรู้ได้ช้าก็สามารถทบทวนเนื้อหาได้ซ้ำ ๆ และสำหรับผู้ที่ได้เรียนรู้ได้เร็วจะสามารถนำความรู้ที่มีมาสร้างการทำงานและแก้ปัญหาพร้อมกับนักเรียนคนอื่นในห้องเรียนได้ ฝึกให้ผู้เรียนเกิดทักษะการสื่อสาร การแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง และยอมรับความแตกต่างระหว่างบุคคล (ชนสิทธิ์, 2560) จากการศึกษาผลงานวิจัยเพื่อทบทวนการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน การศึกษาการเรียนบนเทคโนโลยีการประมวลผลแบบคลาวด์ (เบญจมาศ และอนุชิต, 2562) พบว่าปัจจุบันการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านถูกนำมาประยุกต์ใช้จำนวนมากโดยเฉพาะระดับมหาวิทยาลัย ซึ่งตอนนี้นักลั่งได้รับความนิยมในระดับมัธยมศึกษา (เฉลิมพร และคณะ, 2562) ส่วนการนำเทคโนโลยีคลาวด์มาใช้ในการศึกษากำลังได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากผู้คนในสังคมสามารถเข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้ง่ายขึ้นจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ห้องเรียนกลับด้านได้รับความนิยม เนื่องจากเป็นการปรับการเรียนการสอนที่คำนึงถึงความแตกต่างของผู้เรียนในด้านการเรียนรู้ที่ช้าเร็วไม่เท่ากัน พัฒนาดตนเองได้ต่างกัน และยังเน้นการใช้เทคโนโลยีในการเรียนรู้ซึ่งปัจจุบันเป็นสิ่งที่สำคัญและใกล้ตัวผู้เรียนที่สุด (Akçayır and Akçayır, 2018) ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ทุกที่ ทุกเวลา และผู้เรียนมีอิสระที่จะเรียนรู้ ส่งเสริมให้เกิดการศึกษาต่อเนื่อง และสามารถพัฒนาตนเองได้ตามศักยภาพ รวมถึงการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้ดีขึ้นได้ (Bokosmaty et al., 2019)

จากความเป็นมาที่กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยเห็นว่าการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านร่วมกับการนำเทคโนโลยีคลาวด์มาใช้ในการติดตามผู้เรียน ให้ผู้เรียนสร้างสรรค์ชิ้นงานผ่านการใช้คลาวด์ จะเป็นเครื่องมือสำคัญที่นำมาใช้เสริมสร้างความสามารถในการแก้ปัญหาและเป็นการเปิดโลกทัศน์ นำไปสู่การสร้างสรรค์นวัตกรรมการสอนใหม่ ๆ ให้กับผู้สอน งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำระบบประมวลผลแบบคลาวด์เข้ามาบูรณาการในการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ให้สูงขึ้น ผู้เรียนใช้เทคโนโลยีในการเรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา และมีอิสระที่จะเรียนรู้ ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะที่จำเป็นในการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 นอกจากนี้จะเป็นหนทางพัฒนาผลสัมฤทธิ์ให้ผู้เรียนสูงขึ้นแล้วยังเป็นการฝึกทักษะอันพึงมีเพื่อใช้ในการดำเนินชีวิตในยุคปัจจุบันให้ผู้เรียนด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย quasi-experiment: non-equivalent control group pretest-posttest design ประกอบด้วยกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/7 จำนวน 30 คน และกลุ่มควบคุม คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/5 จำนวน 37 คน ใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีปัญหาเรื่องตารางเรียนตรงกับวันจันทร์และวันศุกร์ ซึ่งมีวันหยุดและกิจกรรมของโรงเรียนเป็นประจำ ทำให้ผู้สอนไม่สามารถให้ความรู้กับผู้เรียนได้เท่ากับห้องเรียนอื่น ๆ ผู้วิจัยทำการตรวจสอบความเท่าเทียมกันระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยการให้ทั้งสองกลุ่มทำแบบทดสอบก่อนเรียน นำคะแนนมาหาค่าสถิติโดยใช้ independent t-test แล้วพบว่าทั้งสองกลุ่มมีความเท่าเทียมกัน คือ ผลของคะแนนก่อนเรียนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับสถิติ 0.05 เมื่อให้สิ่งทดลอง คือ การจัดการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน และทำการวัดผลที่เกิดขึ้นอีกครั้ง คือ ทำการทดสอบหลังเรียน (posttest) กับทั้งสองกลุ่ม ผู้วิจัยจะสามารถเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามก่อนและหลังการทดลองได้ และมีกรอบแนวคิดของงานวิจัย แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

ผู้วิจัยได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง อะตอมและโครงสร้างอะตอม โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้

1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน

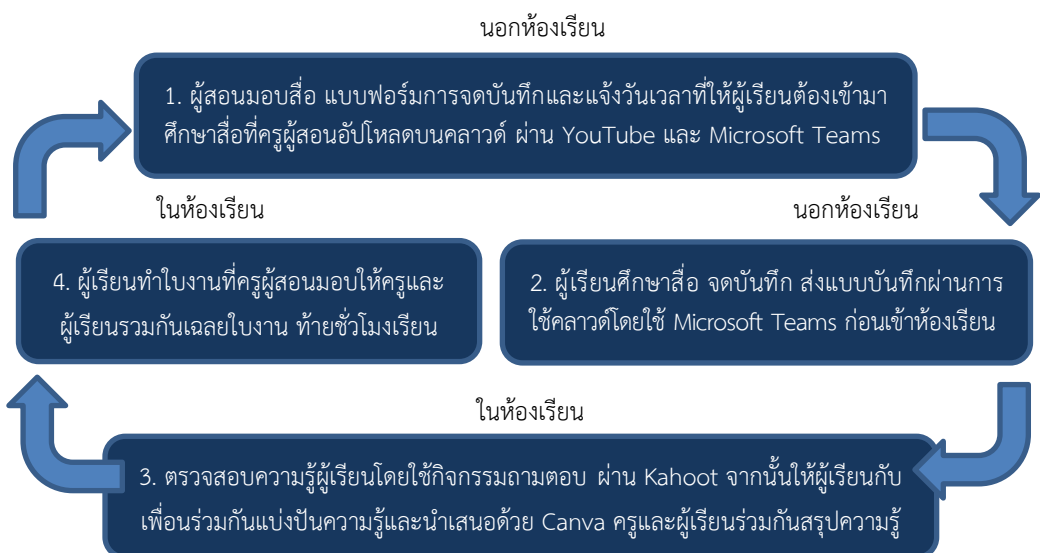
1.1 ศึกษาหลักการและทำความเข้าใจวิธีการจัดการเรียนรู้ด้วยระบบการเรียนรู้บนคลาวด์กับห้องเรียนกลับด้าน ศึกษาจุดมุ่งหมายหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานและมาตรฐานการเรียนรู้ พร้อมทั้งกำหนดเนื้อหา และจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมของแผนการจัดการเรียนรู้

1.2 นำแผนการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เชี่ยวชาญการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 ท่าน คือ ท่านแรกเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ท่านที่สองเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีสื่อสารการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และท่านที่สามเป็นครูชำนาญการพิเศษ (คศ.3) สอนวิชาเคมี โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ ปราณบุรี ตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสม

1.3 นำแผนการจัดการเรียนรู้มาปรับแก้ไขเรื่องเสียงในวิดีโอที่เป็นสื่อให้ชัดเจน เพิ่มเติมเนื้อหาบางเรื่องให้ละเอียดมากขึ้น ตัดภาพที่มีลายน้ำออก ใส่ภาพที่มีความละเอียดแทนไฟล์ภาพที่ไม่ชัด

1.4 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่แก้ไขแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมและประเมินแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกณฑ์ของลิเคิร์ท (Likert) จากนั้นนำคะแนนมาหาค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ 4.42 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.53 แปลความหมายพบว่าแผนการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยเขียนขึ้น จำนวน 4 แผน ใช้เวลาทั้งหมด 8 ชั่วโมง (ตารางที่ 1) โดยการจัดการเรียนรู้บนคลาวด์รวมกับการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน จะมีขั้นตอนการเรียนรู้ 4 องค์ประกอบที่เป็นวัฏจักร หมุนเวียนกันอย่างเป็นระบบ จนครบทั้ง 4 หน่วย ได้แก่ หน่วยที่ 1 แบบจำลองอะตอม หน่วยที่ 2 อนุภาคมูลฐานในอะตอม หน่วยที่ 3 สัญลักษณ์นิวเคลียร์ และหน่วยที่ 4 ไอโซโทป ไอโซโทน ไอโซบาร์ โดยให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนและผู้สอนแนะนำวิธีการเรียน รายละเอียดดังภาพที่ 2 และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการจัดการเรียนรู้ ผู้สอนให้ผู้เรียนทั้งกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุมทำแบบประเมินความพึงพอใจหลังได้รับการจัดการเรียนรู้



ภาพที่ 2 แผนการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน

ตารางที่ 1 แผนการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนด้วยระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับห้องเรียน
กลับด้าน เรื่อง อะตอมและโครงสร้างอะตอม

หน่วยที่	กิจกรรมการเรียนรู้	เครื่องมือวัด และประเมินผล
หน่วยที่ 1 เรื่อง แบบจำลอง อะตอม	คาบเรียนที่ 1 (ในห้องเรียน 50 นาที) 1. ปฐมนิเทศผู้เรียน 2. ชี้แจงภาพรวมเกี่ยวกับเนื้อหา เรื่อง อะตอมและโครงสร้างอะตอม 3. ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน เรื่อง แบบจำลองอะตอมและโครงสร้างอะตอม จำนวน 20 ข้อ 4. แนะนำวิธีการเรียนแบบห้องเรียนกลับด้านร่วมกับระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ 5. สาธิตวิธีการใช้งานและเชิญผู้เรียนเข้าห้องเรียนใน Microsoft Teams นอกห้องเรียน (ไม่จำกัดเวลา แต่ขอให้ศึกษาเนื้อหาและส่งสรุปก่อนเข้าห้องเรียน ลงในแบบบันทึก Cornell) 1. ผู้เรียนศึกษาเนื้อหาจากวิดีโอที่ผู้สอนสร้างขึ้นและอัปโหลดไว้ใน Microsoft Teams	- แบบทดสอบ ก่อนเรียน
	คาบเรียนที่ 2 (ในห้องเรียน 50 นาที) กิจกรรม get and share 1. ผู้เรียนเล่นเกม Kahoot เรื่อง แบบจำลองอะตอม 2. ผู้สอนถามผู้เรียนเกี่ยวกับวิดีโอที่ผู้สอนได้อัปโหลดไว้ที่การมอบหมายงาน โดย ถามถึงความเข้าใจและถามว่าในวิดีโอได้พูดเกี่ยวกับเรื่องอะไร 3. ผู้สอนให้ผู้เรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน แลกเปลี่ยนความรู้จากการจดบันทึก แบบ Cornell ของตนเองกับเพื่อน ๆ 4. ให้ผู้เรียนในกลุ่มร่วมกันหาข้อสรุปของเนื้อหาและสร้างงานนำเสนอผ่าน Canva 5. ส่งตัวแทนนำเสนอหน้าชั้นเรียน 6. ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาอีกครั้ง 7. แจกใบงานให้กับผู้เรียน ให้ผู้เรียนได้ทำกับเพื่อน ๆ ในกลุ่ม 8. ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันเฉลยใบงาน เรื่อง แบบจำลองอะตอม	- แบบบันทึก Cornell - แบบสังเกต พฤติกรรม การเรียนรู้ - ใบงานเรื่อง แบบจำลอง อะตอม 2 ใบ
หน่วยที่ 2 เรื่อง อนุภาค มูลฐาน ในอะตอม	คาบเรียนที่ 1 (ในห้องเรียน 50 นาที) 1. ชี้แจงภาพรวมเกี่ยวกับเนื้อหา เรื่อง อนุภาคมูลฐานในอะตอม 2. มอบหมายให้ผู้เรียนแต่ละคนศึกษาเนื้อหาจากวิดีโอที่ผู้สอนสร้างขึ้น 3. ให้ผู้เรียนปรึกษาหารือ วางแผนการทำงานร่วมกันในการทำกิจกรรมในครั้งต่อไป 4. ผู้สอนคอยให้คำปรึกษาเมื่อผู้เรียนพบปัญหาหรือมีข้อสงสัยทั้งในบทเรียนก่อน หน้านี้นี้และงานที่กำลังจะให้ทำในคาบต่อไป นอกห้องเรียน (ไม่จำกัดเวลา แต่ขอให้ศึกษาเนื้อหาและส่งสรุปก่อนเข้าห้องเรียน ลงในแบบบันทึก Cornell) 1. ผู้เรียนศึกษาเนื้อหาจากวิดีโอที่ผู้สอนสร้างขึ้นและอัปโหลดไว้ใน Microsoft Teams	- แบบสังเกต พฤติกรรม การเรียนรู้
	คาบเรียนที่ 2 (ในห้องเรียน 50 นาที) กิจกรรม get and share 1. ผู้เรียนเล่นเกม Kahoot เรื่อง อนุภาคมูลฐานในอะตอม	- แบบสังเกต พฤติกรรม การเรียนรู้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หน่วยที่	กิจกรรมการเรียนรู้	เครื่องมือวัดและประเมินผล
	2. ผู้สอนถามผู้เรียนเกี่ยวกับวิดีโอที่ผู้สอนได้อัปโหลดไว้ที่การมอบหมายงาน โดยถามถึงความเข้าใจและถามว่าในวิดีโอได้พูดถึงเกี่ยวกับเรื่องอะไร 3. ผู้สอนให้ผู้เรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน แลกเปลี่ยนความรู้จากการจดบันทึกแบบ Cornell ของตนเองกับเพื่อน ๆ 4. ให้ผู้เรียนในกลุ่มร่วมกันหาข้อสรุปของเนื้อหาและสร้างงานนำเสนอผ่าน Canva 5. ส่งตัวแทนนำเสนอหน้าชั้นเรียน 6. ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาอีกครั้ง 7. แจกใบงานให้กับผู้เรียน ให้ผู้เรียนได้ทำกับเพื่อน ๆ ในกลุ่ม 8. ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันเฉลยใบงาน เรื่อง อนุภาคมูลฐานในอะตอมคาบเรียนที่ 1 (ในห้องเรียน 50 นาที)	- ใบงานเรื่องอนุภาค - มूलฐานในอะตอม - แบบสังเกตพฤติกรรม - การเรียน
	1. ชี้แจงภาพรวมเกี่ยวกับเนื้อหา เรื่อง สัณฐานวิทยาเซลล์ 2. มอบหมายให้ผู้เรียนแต่ละคนศึกษาเนื้อหาจากวิดีโอที่ผู้สอนสร้างขึ้น 3. ให้ผู้เรียนปรึกษาหารือ วางแผนการทำงานร่วมกันในการทำกิจกรรมในครั้งต่อไป 4. ผู้สอนคอยให้คำปรึกษาเมื่อผู้เรียนพบปัญหาหรือมีข้อสงสัยทั้งในบทเรียนก่อนหน้านี้นี้และงานที่กำลังจะให้อ่านในคาบต่อไป นอกห้องเรียน (ไม่จำกัดเวลา แต่ขอให้ศึกษาเนื้อหาและส่งสรุปก่อนเข้าห้องเรียนลงในแบบบันทึก Cornell)	- แบบบันทึก Cornell - แบบสังเกตพฤติกรรม - การเรียน
	1. ผู้เรียนศึกษาเนื้อหาจากวิดีโอที่ผู้สอนสร้างขึ้นและอัปโหลดไว้ใน Microsoft Teams คาบเรียนที่ 2 (ในห้องเรียน 50 นาที) กิจกรรม get and share 1. ผู้เรียนเล่นเกม Kahoot เรื่อง สัณฐานวิทยาเซลล์ 2. ผู้สอนถามผู้เรียนเกี่ยวกับวิดีโอที่ผู้สอนได้อัปโหลดไว้ที่การมอบหมายงาน โดยถามถึงความเข้าใจและถามว่าในวิดีโอได้พูดถึงเกี่ยวกับเรื่องอะไร 3. ผู้สอนให้ผู้เรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน แลกเปลี่ยนความรู้จากการจดบันทึกแบบ Cornell ของตนเองกับเพื่อน ๆ 4. ให้ผู้เรียนในกลุ่มร่วมกันหาข้อสรุปของเนื้อหาและสร้างงานนำเสนอผ่าน Canva 5. ส่งตัวแทนนำเสนอหน้าชั้นเรียน 6. ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาอีกครั้ง 7. แจกใบงานให้กับผู้เรียน ให้ผู้เรียนได้ทำกับเพื่อน ๆ ในกลุ่ม 8. ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันเฉลยใบงาน เรื่อง สัณฐานวิทยาเซลล์	- แบบสังเกตพฤติกรรม - การเรียน - ใบงานเรื่องสัณฐานวิทยาเซลล์
หน่วยที่ 3 เรื่อง สัณฐานวิทยาเซลล์	คาบเรียนที่ 1 (ในห้องเรียน 50 นาที) 1. ชี้แจงภาพรวมเกี่ยวกับเนื้อหา เรื่อง สัณฐานวิทยาเซลล์ 2. มอบหมายให้ผู้เรียนแต่ละคนศึกษาเนื้อหาจากวิดีโอที่ผู้สอนสร้างขึ้น 3. ให้ผู้เรียนปรึกษาหารือ วางแผนการทำงานร่วมกันในการทำกิจกรรมในครั้งต่อไป 4. ผู้สอนคอยให้คำปรึกษาเมื่อผู้เรียนพบปัญหาหรือมีข้อสงสัยทั้งในบทเรียนก่อนหน้านี้นี้และงานที่กำลังจะให้อ่านในคาบต่อไป	- แบบสังเกตพฤติกรรม - การเรียน

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หน่วยที่	กิจกรรมการเรียนรู้	เครื่องมือวัดและประเมินผล
	นอกห้องเรียน (ไม่จำกัดเวลา แต่ขอให้ศึกษาเนื้อหาและส่งสรุปก่อนเข้าห้องเรียน ลงในแบบบันทึก Cornell)	- แบบบันทึก Cornell
	1. ผู้เรียนศึกษาเนื้อหาจากวิดีโอที่ผู้สอนสร้างขึ้นและอัปโหลดไว้ใน Microsoft Teams	
	คาบเรียนที่ 2 (ในห้องเรียน 50 นาที)	- แบบสังเกต
	กิจกรรม get and share	พฤติกรรม
	1. ผู้เรียนเล่นเกม Kahoot เรื่อง สัญลักษณ์นิวเคลียร์	การเรียนรู้
	2. ผู้สอนถามผู้เรียนเกี่ยวกับวิดีโอที่ผู้สอนได้อัปโหลดไว้ที่การมอบหมายงาน โดยถามถึงความเข้าใจและถามว่าในวิดีโอได้พูดถึงเกี่ยวกับเรื่องอะไร	- ใบงานเรื่อง สัญลักษณ์นิวเคลียร์
	3. ผู้สอนให้ผู้เรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน แลกเปลี่ยนความรู้จากการจดบันทึก แบบ Cornell ของตนเองกับเพื่อน ๆ	
	4. ให้ผู้เรียนในกลุ่มร่วมกันหาข้อสรุปของเนื้อหา สร้างงานนำเสนอผ่าน Canva	
	5. ส่งตัวแทนนำเสนอหน้าชั้นเรียน	
	6. ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาอีกครั้ง	
	7. แจกใบงานให้กับผู้เรียน ให้ผู้เรียนได้ทำกับเพื่อน ๆ ในกลุ่ม	
	8. ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันเฉลยใบงาน เรื่อง สัญลักษณ์นิวเคลียร์	
หน่วยที่ 4	คาบเรียนที่ 1 (ในห้องเรียน 50 นาที)	- แบบสังเกต
เรื่อง	1. ชี้แจงภาพรวมเกี่ยวกับเนื้อหา เรื่อง ไอโซโทป ไอโซโทน ไอโซบาร์	พฤติกรรม
ไอโซโทป	2. มอบหมายให้ผู้เรียนแต่ละคนศึกษาเนื้อหาจากวิดีโอที่ผู้สอนสร้างขึ้น	การเรียนรู้
ไอโซโทน	3. ให้ผู้เรียนปรึกษาหารือวางแผนการทำงานร่วมกันในการทำกิจกรรมในครั้งต่อไป	
ไอโซบาร์	4. ผู้สอนคอยให้คำปรึกษาเมื่อผู้เรียนพบปัญหาหรือมีข้อสงสัยทั้งในบทเรียนก่อนหน้านี้นี้และงานที่กำลังจะทำได้ในคาบต่อไป	
	นอกห้องเรียน (ไม่จำกัดเวลา แต่ขอให้ศึกษาเนื้อหาและส่งสรุปก่อนเข้าห้องเรียน ลงในแบบบันทึก Cornell)	- แบบบันทึก Cornell
	1. ผู้เรียนศึกษาเนื้อหาจากวิดีโอที่ผู้สอนสร้างขึ้นและอัปโหลดไว้ใน Microsoft Teams	
	คาบเรียนที่ 2 (ในห้องเรียน 50 นาที)	- แบบสังเกต
	กิจกรรม get and share	พฤติกรรม
	1. ผู้เรียนเล่นเกม Kahoot เรื่อง ไอโซโทป ไอโซโทน ไอโซบาร์	การเรียนรู้
	2. ผู้สอนถามผู้เรียนเกี่ยวกับวิดีโอที่ผู้สอนได้อัปโหลดไว้ที่การมอบหมายงาน โดยถามถึงความเข้าใจและถามว่าในวิดีโอได้พูดถึงเกี่ยวกับเรื่องอะไร	- ใบงานเรื่อง ไอโซโทป ไอโซโทน ไอโซบาร์
	3. ผู้สอนให้ผู้เรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน แลกเปลี่ยนความรู้จากการจดบันทึก แบบ Cornell ของตนเองกับเพื่อน ๆ	
	4. ให้ผู้เรียนในกลุ่มร่วมกันหาข้อสรุปของเนื้อหาและสร้างงานนำเสนอผ่าน Canva	- แบบทดสอบ
	5. ส่งตัวแทนนำเสนอหน้าชั้นเรียน	หลังเรียน
	6. ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาอีกครั้ง	
	7. แจกใบงานให้กับผู้เรียน ให้ผู้เรียนได้ทำกับเพื่อน ๆ ในกลุ่ม	
	8. ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันเฉลยใบงาน เรื่อง ไอโซโทป ไอโซโทน ไอโซบาร์	
	9. ทำแบบทดสอบหลังเรียน	

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ก่อนเรียนและหลังเรียน

2.1 ผู้วิจัยศึกษาและรวบรวมเนื้อหา เรื่อง อะตอมและโครงสร้างอะตอม เพื่อสร้างแบบทดสอบเป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 40 ข้อ

2.2 เสนอแบบทดสอบให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ (index of item-objective congruence: IOC)

2.3 เลือกข้อคำถามที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง ตั้งแต่ 0.5-1.0 จาก 40 ข้อ มา 20 ข้อ

2.4 นำแบบทดสอบทดลองใช้กับผู้เรียนที่ไม่ใช่กลุ่มทดลองเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ ได้ผลเท่ากับ 0.788 โดยใช้สูตรของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน 20 (Kuder-Richardson 20: KR-20)

2.5 นำแบบทดสอบไปใช้กับกลุ่มควบคุมและกลุ่มตัวอย่างเพื่อให้ได้มาซึ่งคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

3. แบบประเมินความพึงพอใจ

3.1 ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นแบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) ตามมาตราวัดแบบลิเคิร์ต (likert scale) จำนวน 1 ชุด 15 ข้อ ประกอบด้วย ด้านกระบวนการและขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ และด้านประโยชน์ที่ได้รับ โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนตามระดับการให้คะแนนความคิดเห็น 5 ระดับ คือ ระดับ 1 = น้อยที่สุด ระดับ 2 = น้อย ระดับ 3 = ปานกลาง ระดับ 4 = มาก และระดับ 5 = มากที่สุด

3.2 นำแบบประเมินความพึงพอใจให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ประเมิน ตรวจสอบความถูกต้อง และความชัดเจนของข้อคำถาม แล้วนำคะแนนมาหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ (IOC)

3.3 นำแบบวัดความพึงพอใจมาปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้อง ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ คัดเลือกข้อที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5-1.0 นำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างต่อไป

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียน โดยหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที (dependent t-test)

4.2 วิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของผู้เรียนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที

4.3 การวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เรียนเมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จากคะแนนการทำแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนโดยใช้มาตราส่วนประมาณค่าตามแนวคิดของลิเคิร์ต

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียน

การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียน พบว่าก่อนการจัดการเรียนรู้ผู้เรียนมีคะแนนเฉลี่ย 8.57 คะแนน (mean = 8.57 SD = 2.66) หลังการจัดการเรียนรู้ผู้เรียนมีคะแนนเฉลี่ย 14.57 คะแนน (mean = 14.57 SD = 1.89) และเมื่อทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ พบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับสถิติ 0.05 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สถิติการทดสอบค่าทีของคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มทดลอง

การทดสอบ	จำนวนผู้ทำแบบทดสอบ	คะแนนเต็ม	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	sig.
ก่อนเรียน	30	20	8.57	2.66	-13.27	0.000
หลังเรียน	30	20	14.57	1.89		

2. ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของผู้เรียนที่เรียนด้วยกระบวนการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านกับผู้เรียนที่เรียนในรูปแบบการเรียนการสอนแบบปกติ

การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของผู้เรียนที่เรียนด้วยกระบวนการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านกับผู้เรียนที่เรียนในรูปแบบการเรียนการสอนแบบปกติ พบว่าคะแนนผลสัมฤทธิ์เฉลี่ยหลังเรียนของกลุ่มทดลองอยู่ที่ 14.57 คะแนน (mean = 14.57 SD = 1.89) และคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มควบคุมอยู่ที่ 11.32 คะแนน (mean = 11.32 SD = 1.80) เมื่อนำข้อมูลของคะแนนหลังเรียนของทั้งสองกลุ่มไปทำการทดสอบทางสถิติ พบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สถิติการทดสอบค่าทีของคะแนนผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

การทดสอบ	จำนวนผู้ทำแบบทดสอบ	คะแนนเต็ม	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	sig.
ก่อนเรียน	30	20	14.57	1.89	7.18	0.000
หลังเรียน	37	20	11.32	1.80		

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน โดยวิเคราะห์รวมหมดทั้งสามด้าน ได้แก่ ด้านกระบวนการและขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ (mean = 4.65 SD = 0.36) ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ (mean = 4.51 SD = 0.37) และด้านประโยชน์ที่ได้รับ (mean = 4.85 SD = 0.22) เมื่อนำข้อมูลจากทั้งสามด้านมาวิเคราะห์พบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจโดยเฉลี่ยแล้วอยู่ในระดับมากที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 (mean = 4.67 SD = 0.59) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้

ประเด็นสำรวจความพึงพอใจ	mean	SD	ระดับความพึงพอใจ
1. ด้านกระบวนการและขั้นตอนการจัดการเรียนรู้			
1.1 กระบวนการจัดการเรียนรู้เหมาะสมกับสถานการณ์ปัจจุบัน	4.67	0.66	มากที่สุด
1.2 กระบวนการจัดการเรียนรู้ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้มากกว่ากระบวนการเรียนรู้แบบบรรยายในห้องเรียน	4.57	0.73	มากที่สุด
1.3 กระบวนการจัดการเรียนรู้ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความรับผิดชอบตนเอง	4.60	0.72	มากที่สุด
1.4 กระบวนการจัดการเรียนรู้ส่งเสริมทักษะการเรียนรู้ด้วยตนเอง	4.73	0.58	มากที่สุด
1.5 กระบวนการจัดการเรียนรู้ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้มีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนและครูผู้สอน	4.70	0.60	มากที่สุด
2. ด้านกิจกรรมการเรียนรู้			
2.1 สื่อที่ใช้ในกิจกรรมการเรียนรู้มีความชัดเจน เข้าใจง่าย	4.67	0.61	มากที่สุด
2.2 เวลาของสื่อที่ใช้ในกิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสม	4.63	0.67	มากที่สุด
2.3 กิจกรรมการเรียนรู้ทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาจากง่ายไปสู่เนื้อหาที่ยากได้ตามลำดับ	4.37	0.81	มากที่สุด
2.4 กิจกรรมการเรียนรู้ส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถสร้างความเข้าใจได้ด้วยตนเองจากการดูสื่อที่ผู้สอนมอบให้	4.57	0.73	มากที่สุด
2.5 กิจกรรมการเรียนรู้ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความกระตือรือร้นในการศึกษาหาความรู้	4.33	0.82	มากที่สุด
3. ด้านประโยชน์ที่ได้รับ			
3.1 ผู้เรียนเห็นความสำคัญของการใช้เทคโนโลยีในการศึกษาหาความรู้	4.87	0.35	มากที่สุด
3.2 ผู้เรียนเข้าถึงสื่อการสอนของผู้สอนได้สะดวก ง่ายตาย	4.93	0.25	มากที่สุด
3.3 ผู้เรียนมีเวลาในการทำความเข้าใจเนื้อหาได้อย่างอิสระ	4.90	0.31	มากที่สุด
3.4 ผู้เรียนสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้	4.73	0.58	มากที่สุด
3.5 ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกัน	4.83	0.46	มากที่สุด
เฉลี่ยทั้งหมด	4.67	0.59	มากที่สุด

การอภิปรายผลการวิจัย

1. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียนวิชาวิทยาศาสตร์ที่เรียนด้วยระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง อะตอมและโครงสร้างอะตอม

จากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5/7 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน พบว่าผลสัมฤทธิ์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 การเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านถือเป็นการเรียนรู้แบบ active learning ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการเรียนรู้ของผู้เรียนให้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rau et al. (2017) ผู้เรียนมีโอกาสดูฝึกฝนทักษะด้านการใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษาหาความรู้และการใช้งานเครื่องมือบนระบบคลาวด์ออกแบบสร้างสรรค์ชิ้นงานมานำเสนอนั่นคือ Canva และเมื่อการนำเสนอเสร็จสิ้นผู้เรียนและผู้สอนได้สรุปความรู้ที่ได้ร่วมกันเพื่อความเข้าใจที่ถูกต้อง และผู้สอนตรวจสอบความรู้ของผู้เรียนได้จากการทำแบบฝึกหัดท้ายชั่วโมงเรียนร่วมกับเพื่อน

ในกลุ่ม โดยผลการวิจัยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bokosmaty *et al.* (2019) ที่กล่าวว่าการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านถือเป็นการส่งเสริมการทำงานร่วมกันของผู้เรียนและทำให้ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน เข้าอกเข้าใจผู้อื่นว่าแต่ละคนมีความสามารถในการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะในการอยู่ร่วมกันกับผู้อื่นในสังคมได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเฉลิมพร และคณะ (2562) ที่พบว่าการทำงานร่วมกันของผู้เรียนช่วยให้ผู้เรียนสามารถร่วมกันแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม ผู้เรียนรับฟังความคิดเห็นที่แตกต่างกัน ตลอดจนสามารถให้คำแนะนำกับเพื่อนได้อีกด้วย

2. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของผู้เรียนวิชาวิทยาศาสตร์ด้วยระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านกับผู้เรียนในรูปแบบการเรียนการสอนแบบปกติ เรื่อง อะตอมและโครงสร้างอะตอม

จากการศึกษาผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของผู้เรียน พบว่าผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน มีผลสัมฤทธิ์หลังเรียนสูงกว่าผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบบรรยายในห้องปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับสถิติ 0.05 ผู้เรียนที่เรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านได้มาทำการบ้านกับเพื่อน ๆ ที่อยู่ในห้อง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเบญจพร และสมพงษ์ (2563) ซึ่งศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน พบว่าผู้เรียนมีโอกาสสอบถามความรู้จากเพื่อนและผู้สอน แบ่งปันความคิด มีปฏิสัมพันธ์กัน ร่วมกันหาวิธีแก้ปัญหาโดยมีผู้สอนเป็นผู้คอยแนะนำและอยู่ข้าง ๆ เป็นการเพิ่มทักษะที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต มีการให้คำแนะนำผลการเรียนรู้ของกลุ่มตนเองโดยใช้เครื่องมือประมวลผลบนระบบคลาวด์ในการสร้างสรุคนำเสนอโดยใช้ Canva สอดคล้องกับงานวิจัยของเกรียงไกร และคณะ (2559) จากกิจกรรมที่จัดให้ผู้เรียนได้เล่นเกมตอบคำถามผ่านระบบคลาวด์ นั่นคือ Kahoot ก่อนเริ่มกิจกรรมในห้องเป็นการทบทวนความรู้ที่ผู้เรียนได้มาจากการดูสื่อที่ผู้สอนมอบให้ เป็นกระบวนการดึงเอาความรู้ ความจำของผู้เรียนออกมาใช้ก่อนทำกิจกรรมที่ต้องอาศัยความเข้าใจซึ่งเป็นระดับที่สูงขึ้นตามหลักการพิจารณาการเรียนรู้ทางปัญญา 6 ชั้นของ Anderson and Krathwohl (2001) และสอดคล้องกับงานวิจัยของกิงกมล และกอบสุข (2564) ที่ศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ห้องเรียนกลับด้านร่วมเกม Kahoot วิชาภาษาอังกฤษว่าช่วยทำให้ผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้สูงกว่าก่อนจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับสถิติ 0.05 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hakak *et al.* (2019) ที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการใช้เทคนิคในรูปแบบของเกมบนคลาวด์ช่วยพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนซึ่งพบว่าเกมเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมการศึกษาและเพิ่มความท้าทายในการเรียนรู้ให้กับผู้เรียน

3. การประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการจัดกิจกรรมระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง อะตอมและโครงสร้างอะตอม

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ พบว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมทั้งหมดเท่ากับ 4.67 ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจมากที่สุด ผู้เรียนมีเวลาได้พัฒนาตนเองให้เกิดองค์ความรู้ได้ตามศักยภาพที่ตนเองมี โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ปัจจุบันเป็นสมาร์ตโฟนที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ กระบวนการเรียนรู้กระตุ้นให้ผู้เรียนมีความรับผิดชอบและสร้างปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Arpaci (2019) ที่ศึกษาเรื่องรูปแบบการเรียนรู้แบบผสมผสาน

เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้ของนักศึกษาโดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่บนบริการคลาวด์คอมพิวเตอร์ พบว่าการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่บนการประมวลผลบนคลาวด์ส่งเสริมให้นักศึกษามีความตั้งใจในการเรียนรู้ ทักษะติดต่อการเรียน โดยผู้เรียนให้คะแนนสูงในประเด็นของสื่อว่ามีความเข้าใจง่ายและเวลาของสื่อที่ผู้วิจัยทำให้มีความเหมาะสม อาจเพราะว่าสื่อที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนั้นผ่านการจัดเตรียมเป็นอย่างดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Akçayır and Akçayır (2018) ที่ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับห้องเรียนกลับด้านทั้งหมด 71 บทความแล้วพบว่างานวิจัยจำนวนมากแนะนำให้ผู้สอนสร้างวิดีโอที่มีคุณภาพ ระยะเวลาของวิดีโอไม่ควรยาวจนเกินไป จะทำให้ผู้เรียนสนใจ ลดข้อจำกัดด้านสถานที่และเวลาในการเรียนของผู้เรียนได้นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของศิริพล (2560) ที่ศึกษาเรื่องการพัฒนาแบบการจัดการเรียนรู้ห้องเรียนกลับด้านโดยใช้เทคโนโลยีคลาวด์กับนักศึกษาปริญญาตรี พบว่านักศึกษามีความพึงพอใจกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวอยู่ในระดับมากที่สุด

สรุปผลการวิจัย

จากการจัดการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง อะตอมและโครงสร้างอะตอม ในรายวิชาวิทยาศาสตร์ กับผู้เรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/7 ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา พ.ศ. 2564 พบว่าผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับสถิติ 0.05 แสดงว่าผู้เรียนสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของตนเองได้จากการใช้การจัดการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน เมื่อนำผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของผู้เรียนด้วยระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านเทียบกับผู้ที่เรียนในรูปแบบการเรียนการสอนแบบบรรยายปกติก็ยิ่งพบว่าสูงกว่าผู้ที่เรียนในรูปแบบการเรียนการสอนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับสถิติ 0.05 ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยการพัฒนาระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านในระดับมากที่สุด ผู้เรียนมีเวลาได้พัฒนาตนเองให้เกิดองค์ความรู้ได้ตามศักยภาพที่ตนเองมี โดยการใช้เทคโนโลยีที่ใกล้ตัวที่สุดนั่นคือโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่งเสริมให้ผู้เรียนอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมการเรียนรู้ตลอดเวลา สะดวกต่อการเรียนรู้ มีความตั้งใจในการเรียนรู้ และมีทัศนคติที่ดีต่อการเรียน

ข้อเสนอแนะ

1. ในยุคสมัยที่เทคโนโลยีกำลังได้รับความนิยมสูงสุด ควรนำระบบประมวลผลบนคลาวด์สร้างนวัตกรรมทางการเรียนรู้ในรูปแบบใหม่ ๆ บูรณาการกับรูปแบบการสอนอื่น ๆ อาทิเช่น การเรียนรู้แบบนำตนเอง (self-directed learning) การเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา (case based learning: CBL) เป็นต้น
2. เนื้อหาบทเรียนที่จะใช้กับการจัดการเรียนรู้แบบนี้ ต้องคำนึงถึงความยากง่ายในการสร้าง เพราะสื่อวิดีโอจะเป็นเครื่องมือในการสร้างองค์ความรู้ของผู้เรียน ซึ่งสื่อที่ดีควรกระชับ มีภาพเคลื่อนไหวเพื่อดึงดูดความสนใจ และพูดด้วยภาษาที่เข้าใจง่ายที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มิ่งขวัญ ภาควิชา และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์กรวลัย พันธุ์แพ ที่สละเวลาให้คำปรึกษา ตรวจสอบ แก้ไข ชี้แนะทางอันจะดำเนินการทำวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- กิงกมล ศิริประเสริฐ และกอบสุข คงมนัส. (2564). ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้ห้องเรียนกลับด้านร่วมกับเกม Kahoot วิชาภาษาอังกฤษ ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการกำกับตนเองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. *วารสารวิจัยและนวัตกรรม สถาบันการอาชีวศึกษากรุงเทพมหานคร*, 4(2), 157-180.
- เกรียงไกร พลเสนธิ พลลภ พิริยะสุรวงศ์ และพินันทา ฉัตรวัฒนา. (2559). รูปแบบคลาวด์เลิร์นนิ่งแบบสะสมด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมเพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี. *วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 10(2), 256-264.
- เฉลิมพร เตชะพะโลกุล สกมลชัย ชะนูนันท์ และจินตนา กล่ำทศ. (2562). การศึกษาการประยุกต์ห้องเรียนกลับด้านเพื่อพัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือของผู้เรียนในรายวิชาเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์. *วารสารชุมชนวิจัย*, 13(3), 173-187.
- ชนสิทธิ์ สิทธิสูงเนิน. (2560). ห้องเรียนกลับด้าน: ทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21. *วารสาร มจร สังคมศาสตร์ปริทรรศน์*, 6(2 พิเศษ), 171-182.
- ณัฏฐภัทรศญา เศรษฐโชติสมบัติ. (2562). ผลของการออกแบบแผนการสอนและการพัฒนาสื่อเทคโนโลยีสารสนเทศต่อผลลัพธ์การเรียนรู้. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 38(2), 93-103.
- เบญจพร สุคนธร และสมพงษ์ จิตระดับ. (2563). แนวทางการใช้ห้องเรียนกลับด้านในการเรียนการสอนวิชาเคมี สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ. *วารสารวิจัย มข. สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*, 8(1), 13-24.
- เบญจมาศ ฉิมมาลี และอนุชิต อนุพันธ์. (2562). การเรียนคณิตศาสตร์บนเทคโนโลยีการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี. *วารสารบริหารธุรกิจอุตสาหกรรม*, 1(2), 5-15.
- ศิริพล แสณบุญส่ง. (2560). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ห้องเรียนกลับด้านโดยใช้เทคโนโลยีคลาวด์ ที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาคอมพิวเตอร์สำหรับครูของนักศึกษาปริญญาตรี. *วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 11(พิเศษ), 133-146.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2562). *Cloud computing*. สืบค้นเมื่อ 16 มกราคม 2562, จาก: <https://www.nstda.or.th/th/nstda-knowledge/3071-cloud-computing>.
- Akçayır, G. and Akçayır, M. (2018). The flipped classroom: A review of its advantages and challenges. *Computer & Education*, 126, 334-345, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.07.021>.

- Anderson, L.W. and Krathwohl, D.R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of bloom's taxonomy of educational objectives*, pp. 64-66. New York: Addison Wesley Longman.
- Arpaci, I. (2019). A hybrid modeling approach for predicting the educational use of mobile cloud computing services in higher education. *Computers in Human Behavior*, 90, 181-187, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.09.005>.
- Bergmann, J. and Sams, A. (2012). *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*. United States of America: ISTE and ASCD.
- Bokosmaty, R., Bridgeman, A., and Muir, M. (2019). Using a partially flipped learning model to teach first year undergraduate chemistry. *Journal of Chemical Education*, 96(4), 629-639, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00414>.
- Hakak, S., Noor, N.F.M., Ayub, M.N., Affal, H., Hussin, N., Ahmed, E. and Imran, M. (2019). Cloud-assisted gamification for education and learning-recent advances and challenges. *Computers and Electrical Engineering*, 74, 22-34, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.01.002>.
- Hu, L. (2021). The construction of mobile education in cloud computing. *Procedia Computer Science*, 183, 14-17, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.02.024>.
- Rau, M.A., Kennedy, K., Oxtoby, L., Bollom, M. and Moore, J.W. (2017). Unpacking active learning: A combination of flipped classroom and collaboration support is more effective but collaboration support alone is not. *Journal of Chemical Education*, 94(10), 1406-1414, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00240>.

สมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่ง
จากเปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุด
Fuel Properties of Biomass Briquettes and Biochar Briquettes
from Santol and Mangosteen Peels

นัฐวุฒิ เพ็ชรชาติ¹ พิมพชนก ธาตริวิจิตร¹ หนึ่งหทัย ธราพร¹ ศราวุฒิ ชูโลก²
และนวรรตน์ สีตะพงษ์^{2*}

Nattawut Phetchat¹, Pimchanok Thatriwichit¹, Neunghathai Tharaporn¹,
Sarawut Chulok² and Nawarat Seetapong^{2*}

บทคัดย่อ

การศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุด โดยการเตรียมชีวมวลอัดแท่งผ่านกระบวนการตากแห้ง และถ่านชีวมวลอัดแท่งผ่านการเผาจากเตาเผาไร้ควัน เชื้อเพลิงทั้งสองประเภทถูกบดให้ละเอียด และอัดแท่งขึ้นรูปทรงกระบอกตันด้วยตัวประสานจากการใช้แป้งมันสำปะหลัง น้ำ และวัสดุเชื้อเพลิง ที่มีอัตราส่วน 80:700:1,000 โดยน้ำหนัก และวัดค่าพลังงานความร้อน สมบัติทางเคมี และสมบัติเชิงกล ผลการศึกษาพบว่าทั้งเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกมังคุดมีค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าจากเปลือกกระท้อน ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีทั้งค่า ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว สำหรับสมบัติเชิงกลของเชื้อเพลิงทั้งชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่ง มีค่าความหนาแน่นและดัชนีการแตกร่วนอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการขนส่ง ส่วนเวลาในการเผาไหม้และการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเหมาะสมสำหรับผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในครัวเรือนและชุมชน นอกจากนี้ยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในเชิงพลังงาน

คำสำคัญ: ชีวมวลอัดแท่ง ถ่านชีวมวลอัดแท่ง สมบัติการเป็นเชื้อเพลิง วัสดุเหลือใช้

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

² สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

* Corresponding author e-mail: nawarat.se@skru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.254379>

Received: 21 April 2022, Revised: 18 October 2022, Accepted: 19 October 2022

Abstract

The research aimed to study the fuel properties of biomass briquettes and biochar briquettes from santol and mangosteen peel. The biomass briquettes were prepared through the drying process, and biochar briquette were prepared through the carbonization from smokeless kiln. Both types of fuels were finely grinded and extruded to solid cylindrical rods with a binder from using tapioca starch, water and fuel materials with a ratio of 80:700:1,000 by weight. The thermal energy, chemical properties, and mechanical properties have been measured. The results showed that both biomass briquettes and biochar briquettes from mangosteen peels have higher energy values than those from santol peels which corresponds to the chemical analysis including moisture content, ash content, volatile matter content, and fixed carbon value. For the mechanical properties of both biomass briquettes and biochar briquettes have a density and a fracture index which are suitable for transportation. The burning time and the fuel consumption are propitiated to produce fuel for household and community. In addition, it is the use of waste materials from nature for the benefit of energy.

Keywords: Biomass briquette, Biochar briquette, Fuel properties, Waste materials

บทนำ

ปัจจุบันวิกฤตการณ์ด้านพลังงานได้ทวีความรุนแรงขึ้นและประเทศไทยกำลังประสบปัญหาการขาดแคลนพลังงาน เนื่องจากประเทศไทยไม่ได้มีแหล่งพลังงานที่เพียงพอต่อความต้องการพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ภาครัฐให้ความสนใจ มีการสนับสนุนทั้งด้านงานวิจัยและการนำร่องผลิตพลังงานทดแทนที่มักกล่าวถึง ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานชีวมวลที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร นอกจากเป็นพลังงานทางเลือกแล้วยังช่วยแก้ปัญหาการกำจัดของเสียและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (นฤภัทร, 2557)

กระถอนและมั่งคุดเป็นผลไม้ประจำฤดูกาลของภาคใต้ เป็นที่นิยมในหมู่ผู้บริโภคเป็นอย่างมาก แต่สิ่งที่เหลือจากการบริโภคโดยเฉพาะเปลือกถูกทิ้งเป็นจำนวนมาก ไม่ได้ใช้ให้เกิดประโยชน์ การกำจัดทำได้ยาก เพราะเป็นเศษวัสดุที่มีความชื้นสูง ต้องอาศัยการย่อยสลายเป็นส่วนใหญ่ จึงใช้เวลานานทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและการสูญเสียงบประมาณในการดำเนินการกำจัดของเสียตามมาอีกด้วย และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตถ่านและถ่านอัดแท่งโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบกะลามะพร้าว เหง้ามันสำปะหลัง เปลือกทุเรียน วัสดุจากปาล์มน้ำมัน เศษวัสดุเหลือทิ้งต่าง ๆ และยังมีการผสมส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อเพิ่มสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงองค์ประกอบที่ติดไฟได้และค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง (ธเนศและคณะ, 2557) และจากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกมังคุดมีค่าความร้อนสูงกว่าเปลือกทุเรียนและเปลือกสับปะรด นอกจากนี้ยังมีการแตกปะทุขณะติดไฟน้อยและเวลาในการจุดติดไฟนาน (ธนาพล และคณะ, 2558) อีกทั้งยังสามารถนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์

ทางเลือกที่มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีที่เหมาะสม และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของถ่านกัมมันต์ได้ (สุนันทา, 2563)

ด้วยเหตุผลข้างต้นคณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้เปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุดที่เป็นเศษเหลือทิ้งหลังจากการบริโภคมาใช้ประโยชน์เชิงความร้อน โดยการนำเปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุดดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของพลังงานทดแทนจากเชื้อเพลิงชีวมวลทั้งแบบชีวมวลอัดแท่งและ ถ่านชีวมวลอัดแท่ง เพื่อหาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงและสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาพลังงานรูปแบบอื่น ๆ และมีการออกแบบที่ไม่ซับซ้อน โดยสามารถใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลได้หลากหลายชนิด อีกทั้งไม่มีปัญหาในเรื่องของมลพิษและสุขอนามัยและเป็นการนำวัสดุในท้องถิ่นที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด นอกจากนี้ยังส่งเสริมและสนับสนุนการตัดสินใจให้มีการผลิตเชื้อเพลิงใช้เองภายในครัวเรือนตามหลักเศรษฐกิจพอเพียงหรือจำหน่ายเพื่อเป็นรายได้เสริมแก่ชุมชนท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการผลิตต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุดมีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบ

1.1 นำเปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุดที่เหลือทิ้ง แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปตากแดด แล้วนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเพื่อเป็นชีวมวลอัดแท่ง และส่วนที่สองนำไปเผากับเตาเผาไร้ควัน (ภาพที่ 1 ก) แล้วนำไปบดให้ละเอียดโดยร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เพื่อนำไปทำถ่านชีวมวลอัดแท่ง ในการเตรียมตัวอย่างของถ่านชีวมวลพบว่าเปลือกมังคุด 30 กิโลกรัม เมื่อผ่านการเผาโดยใช้เตาไร้ควันจะได้ถ่านชีวมวล 18 กิโลกรัม ส่วนเปลือกกระท้อน 30 กิโลกรัม ได้ถ่านชีวมวล 15.5 กิโลกรัม

1.2 ใช้แป้งมันสำปะหลัง น้ำ และวัสดุเชื้อเพลิง ในอัตราส่วน 80:700:1,000 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปอัดด้วยเครื่องทำถ่านอัดแท่งแบบอัดเย็น โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 1 (ข)



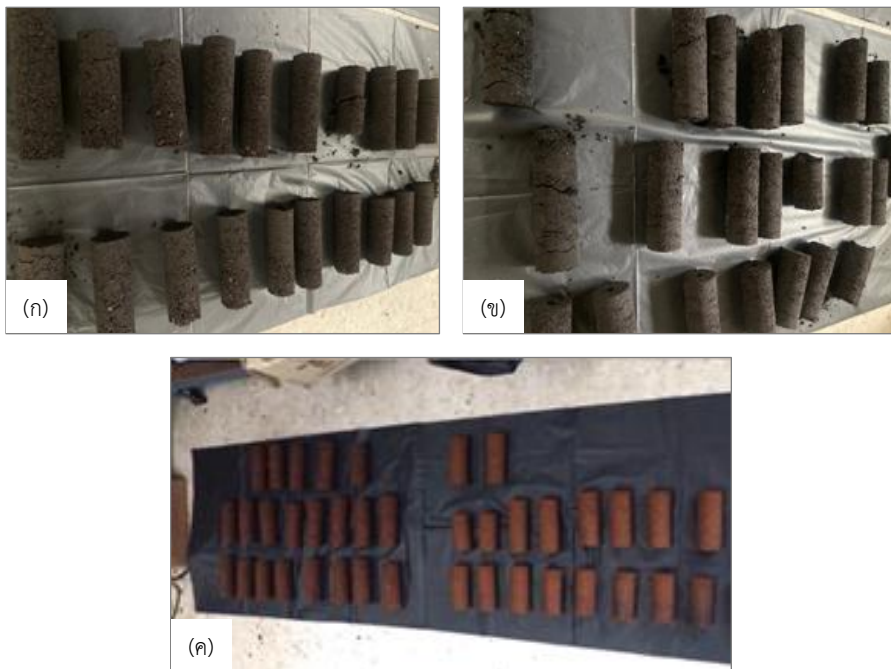
(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 เครื่องมือที่ใช้ในการทำถ่านอัดแท่งเตาเผาถ่านไร้ควัน (ก) และเครื่องทำถ่านอัดแท่ง (ข)

3. นำชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งตากแดดจนแห้งเป็นเวลาประมาณ 5 วัน เพื่อลดความชื้น ดังภาพที่ 2 แล้วนำมาทดสอบหาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงทั้งสมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงกล



ภาพที่ 2 ถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อน (ก) ถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกมังคุด (ข) และชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุด (ค)

2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงกล

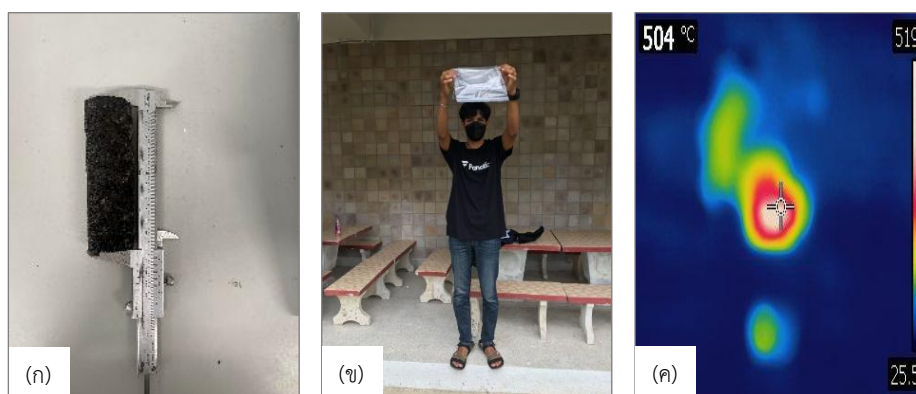
2.1 การทดสอบสมบัติทางเคมี โดยวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมี (proximately analysis) ได้แก่ 1) หาค่าปริมาณความชื้น (% moisture) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3173 (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2011) โดยนำครุชีเบิล (crucible) ออบนาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 3 (ก) 2) วิเคราะห์ปริมาณเถ้า (% ash) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3174 (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2011) โดยนำครุชีเบิลอบนาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม เผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 3 (ข) 3) หาปริมาณสารระเหย (% volatile matter) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3175 (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2011) โดยเผาครุชีเบิลพร้อมฝาท่ออุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม เผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำค่าปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณสารระเหย มาวิเคราะห์หาค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว (% fixed carbon) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3172

(American Society for Testing and Materials (ASTM), 2002) และหาค่าพลังงานความร้อนจากเครื่อง bomb calorimeter ดังภาพที่ 3 (ค)



ภาพที่ 3 การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบเพื่อทดสอบสมบัติทางเคมี โดยการทดสอบหาปริมาณความชื้น (ก) นำตัวอย่างเข้าเตาเผาอุณหภูมิสูงเพื่อหาปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว (ข) และหาค่าพลังงานความร้อนจากเครื่อง bomb calorimeter (ค)

2.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล โดยวิเคราะห์ความหนาแน่น (density) ในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังภาพที่ 4 (ก) ทดสอบดัชนีการแตกร่วน (drop shatter test) โดยใช้วิธีการทดสอบการตกจากที่สูง ดังภาพที่ 4 (ข) วัดค่าอุณหภูมิสูงสุดและอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อหาระยะเวลาในการเผาไหม้เชื้อเพลิง และใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนการเผาไหม้เชื้อเพลิง FLIR E60 ดังภาพที่ 4 (ค) และอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ น้ำจากเชื้อเพลิง โดยวัดอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของถ่านชีวมวลอัดแท่ง โดยหาปริมาตรเพื่อวิเคราะห์หาความหนาแน่น (ก) วิธีการทดสอบการตกจากที่สูง (ข) และภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อนการเผาไหม้เชื้อเพลิง (ค)

ผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ใช้เปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุดที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยทดสอบหาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งที่ได้จากเปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุด ศึกษาสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และพลังงานความร้อน และศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความหนาแน่น ดัชนีแตกร่วน อุณหภูมิสูงสุดของเชื้อเพลิงขณะเผาไหม้ ระยะเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการเผาไหม้ และอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ

1. ผลการทดสอบสมบัติทางเคมี

การทดสอบหาค่าสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิง (ตารางที่ 1) พบว่าเชื้อเพลิงทั้งชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุดมีค่าปริมาณความชื้นไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่ง มผช. 238-2547 ที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 8 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) เช่นเดียวกับปริมาณเถ้า ทั้งเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุดมีค่าปริมาณเถ้าไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่ง มผช. 238-2547 ที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 8 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) แสดงว่ามีสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของธนาพล และคณะ (2558) พบว่าปริมาณเถ้าของแท่งเชื้อเพลิงจากทางมะพร้าวมีค่าร้อยละ 5.30 และสอดคล้องกับการศึกษาของเดือนใจ และคณะ (2561) พบว่าแท่งเชื้อเพลิงเขียวจากวัสดุเศษเหลือในสวนปาล์มน้ำมันมีปริมาณเถ้ามากที่สุดร้อยละ 7.40 ± 0.72

เชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุดมีค่าปริมาณสารระเหยเกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่ง มผช. 238-2547 ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 25 โดยชีวมวลอัดแท่งมีค่าปริมาณสารระเหยมากกว่าถ่านชีวมวลอัดแท่งเนื่องจากถ่านชีวมวลอัดแท่งได้ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) แล้ว และค่าคาร์บอนคงตัวของชีวมวลอัดแท่งมีค่าน้อยกว่าถ่านชีวมวลอัดแท่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของธเนศ และคณะ (2557) เมื่อเปลี่ยนเปลือกมังคุดเป็นถ่านเปลือกมังคุดพบว่าปริมาณของคาร์บอนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 55.30 เป็นร้อยละ 61.94 โดยน้ำหนัก และจากการทดสอบหาค่าสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของลดาวัลย์ และคณะ (2559) ที่ศึกษาถ่านอัดแท่งจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้งจากอัตราส่วนที่ดีที่สุด พบว่ามีค่าความชื้นร้อยละ 7.39 ± 0.02 ค่าปริมาณเถ้าร้อยละ 5.00 ± 0.06 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 85.73 ± 0.40 และค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ 1.18 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่ง

สมบัติทางเคมี	ชีวมวลอัดแท่ง		ถ่านชีวมวลอัดแท่ง	
	เปลือกกระท้อน	เปลือกมังคุด	เปลือกกระท้อน	เปลือกมังคุด
1. ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	6.61±0.22	7.76±0.13	6.56±0.45	6.94±0.15
2. ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	2.75±0.46	2.40±0.33	4.22±0.52	3.70±1.54
3. ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)	88.92±0.18	88.53±0.29	85.06±3.03	82.99±2.15
4. ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	1.72±0.82	1.30±0.31	4.16±2.28	6.37±3.78

หมายเหตุ: - ข้อมูลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

จากการวัดค่าพลังงานความร้อนโดยใช้เครื่อง bomb calorimeter ดังภาพที่ 3 (ค) ชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนมีค่า 3,788.10 แคลอรีต่อกรัม จากเปลือกมังคุดมีค่า 4,167.38 แคลอรีต่อกรัม สำหรับค่าพลังงานความร้อนของถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนมีค่า 5,115.12 แคลอรีต่อกรัม จากเปลือกมังคุดมีค่า 5,883.73 แคลอรีต่อกรัม พบว่าทั้งชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกมังคุดมีค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าจากเปลือกกระท้อน

2. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ผลการหาสมบัติเชิงกลของชีวมวลอัดแท่ง พบว่าชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุดมีความหนาแน่นและดัชนีการแตกร่วนสูงกว่าถ่านชีวมวลอัดแท่ง และเมื่อวัดอุณหภูมิสูงสุดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง พบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดของชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนมีค่า 489.23 องศาเซลเซียส จากเปลือกมังคุดมีค่า 459.46 องศาเซลเซียส และถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนมีค่า 461.92 องศาเซลเซียส จากเปลือกมังคุดมีค่า 354.00 องศาเซลเซียส เวลาในการเผาไหม้และการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง พบว่าชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนมีระยะเวลาในการเผาไหม้นานกว่าและมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยกว่าชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกมังคุด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่ง

สมบัติเชิงกล	ชีวมวลอัดแท่ง		ถ่านชีวมวลอัดแท่ง	
	เปลือกกระท้อน	เปลือกมังคุด	เปลือกกระท้อน	เปลือกมังคุด
1. ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.62±0.01	0.47±0.02	0.48±0.01	0.43±0.02
2. ดัชนีการแตกร่วน	0.99±0.01	0.86±0.14	0.23±0.13	0.31±0.07
3. เวลาในการเผาไหม้ (นาที)	127.67±15.37	75.33±6.03	100.00±10.54	78.34±8.08
4. การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	0.10±0.01	0.16±0.01	0.10±0.02	0.16±0.02

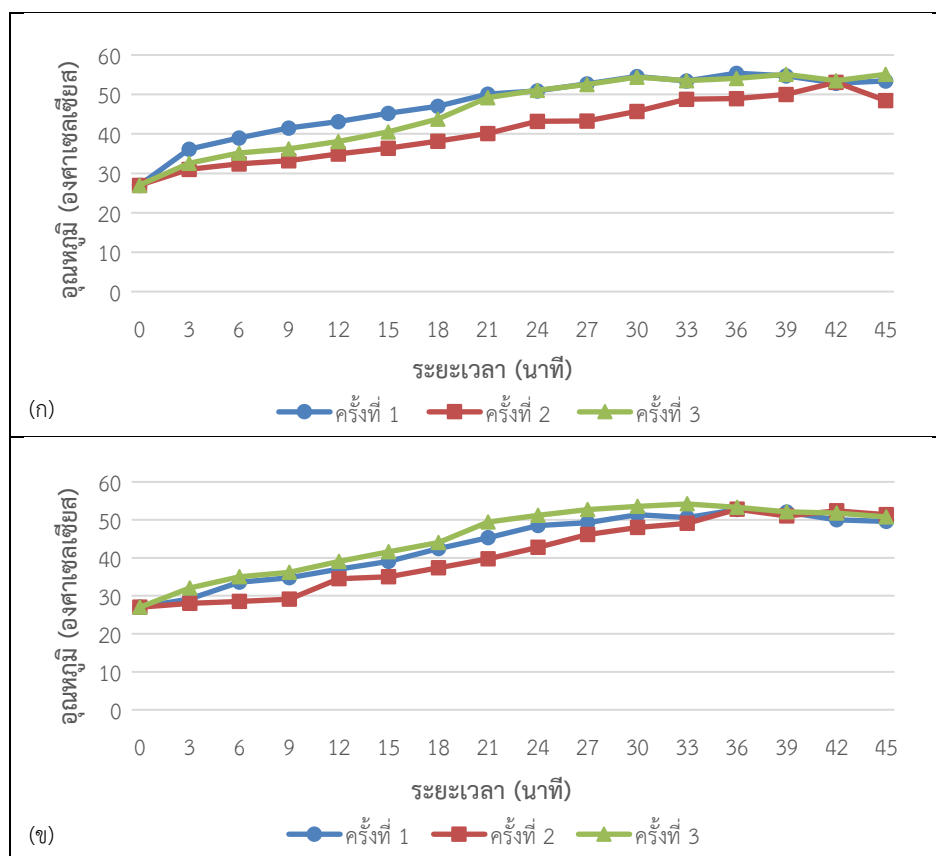
หมายเหตุ: - ข้อมูลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

ผลการทดสอบหาค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำของชีวมวลอัดแท่ง โดยจากการทดสอบ 3 ครั้ง (ตารางที่ 3) พบว่าชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนทำให้น้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ย 54.53 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงสุดที่เวลา 39.00 นาที ดังภาพที่ 5 (ก) ส่วนชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกมังคุดทำให้น้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ย 53.23 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงสุดที่เวลา 35.00 นาที ดังภาพที่ 5 (ข)

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ และเวลาที่อุณหภูมิของน้ำสูงสุดจากชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่ง

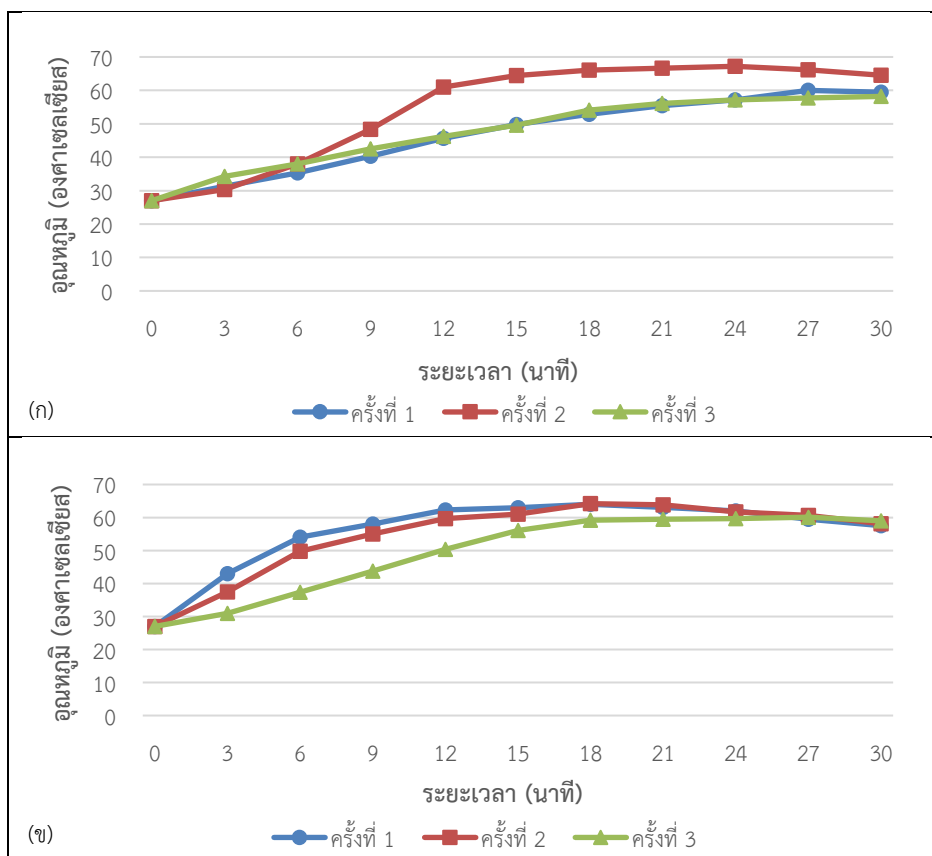
อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ	ชีวมวลอัดแท่ง		ถ่านชีวมวลอัดแท่ง	
	เปลือกกระท้อน	เปลือกมังคุด	เปลือกกระท้อน	เปลือกมังคุด
ค่าอุณหภูมิสูงสุดของน้ำ (องศาเซลเซียส)	54.53±1.25	53.23±0.84	61.80±4.67	62.77±2.31
เวลาที่อุณหภูมิของน้ำสูงสุด (นาที)	39.00±3.00	35.00±1.73	27.00±3.00	21.00±5.20

หมายเหตุ: - ข้อมูลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)



ภาพที่ 5 การเพิ่มอุณหภูมิน้ำจากการเผาไหม้ของชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อน (ก) และจากเปลือกมังคุด (ข)

การทดสอบหาค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำของถ่านชีวมวลอัดแท่ง (ตารางที่ 3) พบว่าถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกมังคุดทำให้น้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ย 62.77 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงสุดที่เวลา 21.00 นาที ดังภาพที่ 6 (ก) ส่วนถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนทำให้น้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ย 61.80 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงสุดที่เวลา 27.00 นาที ดังภาพที่ 6 (ข) จากผลการทดสอบหาค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำและเวลาที่อุณหภูมิของน้ำสูงสุด ถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกมังคุดมีค่าอุณหภูมิสูงสุดของน้ำมากกว่า และใช้ระยะเวลาที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำถึงจุดสูงสุดน้อยกว่าถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อน



ภาพที่ 6 อัตราการเพิ่มอุณหภูมิน้ำจากการเผาไหม้ของถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อน (ก) และจากเปลือกมังคุด (ข)

การอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านอัดชีวมวลแท่งที่ได้จากเปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุด พบว่าเชื้อเพลิงทั้งชีวมวลอัดแท่งและถ่านอัดชีวมวลแท่งจากเปลือกมังคุดมีค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าจากเปลือกกระท้อน และสอดคล้องกับการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี โดยปริมาณความชื้นจะส่งผลต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง หากปริมาณความชื้นมีมากเกินไปอาจจะ

เกิดควันได้มากขณะติดไฟ และปริมาณคาร์บอนคงตัวส่งผลต่อระยะเวลาในการเผาไหม้ หากมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจะทำให้มีระยะเวลาในการเผาไหม้ได้ดีกว่า (กฤษฎา และนิลกุล, 2563) สำหรับเชื้อเพลิงที่มีค่าความหนาแน่นมากเชื้อเพลิงจะแข็งแรงและค่าดัชนีการแตกร่วนมีผลต่อการทนแรงกระแทก หากมีค่าดัชนีการแตกร่วนมากจะทนแรงกระแทกได้ดีกว่า สำหรับค่าพลังงานความร้อนส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำให้น้ำมันอุณหภูมิเพิ่มขึ้นระยะเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหากมีระยะเวลาในการเผาไหม้มากกว่าจะสิ้นเปลืองการใช้เชื้อเพลิงที่น้อยกว่า

สรุปผลการวิจัย

การนำวัสดุจากธรรมชาติมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและสามารถลดปัญหาขยะในทางเกษตรและครัวเรือน จากการผลิตเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและเปลือกกระท้อนจะมีข้อดีแตกต่างกันไป เปลือกมังคุดมีพลังงานความร้อนที่สูงกว่าเปลือกกระท้อนทำให้ระยะเวลาที่ทำให้มีอุณหภูมิสูงสุคน้อยกว่า เมื่อชีวมวลผ่านการเผาเป็นถ่านจะมีปริมาณสารระเหยน้อยกว่า เนื่องจากได้ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชันทำให้ปริมาณค่าคาร์บอนคงตัวสูง ระยะเวลาในการเผาไหม้ได้ดีกว่าเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง และเชื้อเพลิงประเภทนี้เหมาะสำหรับผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในครัวเรือน ชุมชน และเป็นการนำวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือกลาง คณะครุศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่สนับสนุนเครื่องมือและห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ในการทำวิจัย จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กฤษฎา บุญชม และนิลกุล ไชยสมปาน. (2563). การศึกษาถ่านอัดแท่งจากไม้ลำไย. *วารสารนเรศวรพะเยา*, 13(2), 51-56.
- เตือนใจ ปิยัง อเนก สวະอินทร์ และนฤทธิ์ กล่อมพงษ์. (2561). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเศษเหลือในสวนปาล์มน้ำมันบ้านห้วยยูง จังหวัดกระบี่. *วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่*, 10(5), 365-374.
- ธนาพล ดันติสตัยกุล สุริยา พงษ์เกษม ปรีย์ปวีณ ภูหญ้า และภาณุวัฒน์ ไถ่บ้านกวย. (2558). พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 23(3), 418-431.
- ธเนศ ไชยชนะ จอมภพ แวศักดิ์ จตุพร แก้วอ่อน และอุษา อันทอง. (2557). สมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของถ่านเปลือกมังคุด. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 17(3), 29-36.

- นฤภัทร ตั้งมันคงวรกุล. (2557). การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร และครัวเรือน. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 6(11), 66-77.
- ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ ณรงค์ศักดิ์ ลาปิ่น วิภาวดี ชัชวาล และอานันท์ ธีญญเจริญ. (2559). การพัฒนา ก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*, 39(2), 239-255.
- สุนันทา ช้องสาย. (2563). สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมและความสามารถในการดูดซับของถ่าน กัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ในการผลิตไบจากมวนยาสูบ. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัย ราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 39(1), 46-57.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่ง มผช. 238-2547*. กรุงเทพฯ.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2002). *Standard test method for moisture in the analysis sample of coal and coke: ASTM D3172-89*. Pennsylvania: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2011). *Standard test method for moisture in the analysis sample of coal and coke: ASTM D3173-11*. Pennsylvania: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2011). *Standard test method for moisture in the analysis sample of coal and coke: ASTM D3174-11*. Pennsylvania: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2011). *Standard test method for moisture in the analysis sample of coal and coke: ASTM D3175-11*. Pennsylvania: ASTM International.

การพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ The Development of Nipa Palm Sugar Stirrer Machine with Automatic Control

ธีรวัฒน์ ทองสง¹ และวีระยุทธ สุดสมบุญ^{1*}
Thirawat Thongsong¹ and Weerayute Sudsomboon^{1*}

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อสร้างและพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ 2) เพื่อหาประสิทธิภาพเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ และ 3) เพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติและแบบประเมินประสิทธิภาพ เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่แอนดรอยด์ (Android) แผงวงจรอาร์ดูโน (Arduino) สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) โครงสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติสร้างจากเหล็ก ก้านใบกวน และใบกวนผลิตจากสแตนเลสสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ระบบไฟฟ้าติดตั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ควบคุมการทำงานด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่แอนดรอยด์ แผงวงจรอาร์ดูโน 2) ประสิทธิภาพการกวนน้ำตาลจากด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ครั้ง ในปริมาณ 10 15 20 25 และ 30 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 25.0 31.2 40.2 59.4 และ 70.4 นาที ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ จำนวน 5 ครั้ง ในปริมาณ 10 15 20 25 และ 30 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 11.4 17.8 19.8 29.8 และ 35.2 นาที ตามลำดับ และ 3) ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ การนำข้อมูลมาเปรียบเทียบระหว่างการแรงงานคนในการกวนน้ำตาลจากกับการใช้เครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยไม่มีต้นทุนในการสร้างเครื่อง พบว่าต้นทุนการใช้เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ คือ 4,196.70 บาทต่อปี และต้นทุนการใช้แรงงานคนในการกวนน้ำตาลจาก คือ 90,000 บาทต่อปี คิดเป็นต้นทุนที่ประหยัดได้ 85,803.30 บาทต่อปี หรือคิดเป็น 95.33 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เครื่องกวนแบบควบคุมอัตโนมัติ น้ำตาลจาก เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

* Corresponding author e-mail: weerayute_sud@nstru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.255196>

Received: 12 July 2022, Revised: 27 October 2022, Accepted: 1 November 2022

Abstract

The objectives of this research were 1) to innovate and develop the automatic nipa palm sugar mixer, 2) to explore the efficiency of the automatic nipa palm sugar mixer, and 3) to analyze the engineering economy of the automatic nipa palm sugar mixer. The instruments employed in the research consisted of the automatic nipa palm sugar mixer and the automatic nipa palm sugar mixer, and an efficiency evaluation form. Mean and Standard Deviation were used in data analysis. The results of the study reveal that 1) the mixer is made of the steel with the shaft and blades made of food industrial stainless steel; using 220 voltage - 50 hertz power; controlled by the wireless Android application - Arduino Board. 2) In 5 times of nipa palm sugar mixing for the amount of 10, 15, 20, 25, and 30 kilograms, the human workforce took averagely 25.0, 31.2, 40.2, 59.4, and 70.4 minutes, respectively to finish the mixing process. However, in the same conditions, the automatic sugar mixer took averagely 11.4, 17.8, 19.8, 29.8 and 35.2 minutes respectively to finish mixing the sugar. And 3) The results of engineering economy analysis of the automatic nipa palm sugar mixer, comparing between the human workforce and the automatic mixer excluding mixer developing cost, indicated that the mixing the nipa palm sugar by the automatic mixer costs 4,196.70 baht per year; and mixing the nipa palm sugar by human workforce costs 90,000 baht per year. It is concluded that the automatic mixer reduces the nipa palm sugar manufacturing cost for 85,803.30 baht per year or 95.33%.

Keywords: Automatic mixer, Nipa palm sugar, Engineering economy

บทนำ

ต้นจากเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประชาชนในลุ่มน้ำปากพนัง เพราะต้นจากนอกจากมีคุณค่าทางนิเวศวิทยาโดยเป็นที่อาศัยของสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งแล้ว ต้นจากยังสามารถผลิตน้ำตาลวันละ 0.7 ลิตร หรือคิดเป็นผลผลิตน้ำตาลปี๊บ 165 กิโลกรัม ต่อไร่ ต่อเดือน จนทำให้เกษตรกรที่อาศัยต้นจากมีมาตรฐานการครองชีพสูงกว่าอาชีพทำนาประมาณ 2-3 เท่า เช่น พื้นที่ต้นจากจำนวน 3 ไร่ เมื่อผลิตเป็นน้ำตาลอย่างเดียวยังทำรายได้ประมาณ 10,000 บาท ต่อเดือน การนำผลผลิตจากยอดจากมาแปรรูปเป็นใบจากใช้สำหรับมวนยาสูบ (สุนันทา, 2563) นอกเหนือไปจากการเป็นแหล่งทำมาหากินแล้วยังเป็นแหล่งอาหาร แหล่งไม้ใช้สอยนานาชนิด แหล่งสมุนไพร รวมถึงการเป็นแนวป้องกันการกัดเซาะและพังทลายของตลิ่งได้อย่างดีอีกด้วย (นพรัตน์, 2540)

จังหวัดนครศรีธรรมราชมีพื้นที่จากซึ่งเรียกว่า ไร่จาก ประมาณ 25,594 ไร่ โดยพื้นที่ตำบลขนานนก อำเภอปากพนัง เป็นพื้นที่ที่มีไร่จากมากที่สุดประมาณ 7,500 ไร่ มีเกษตรกรในตำบลขนานนกประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของครัวเรือนทั้งหมด มีรายได้จากการทำน้ำตาลจากเฉลี่ยประมาณ

11,180 บาท ต่อครัวเรือนต่อเดือน หรือประมาณ 94,464 บาท ต่อครัวเรือนต่อปี ซึ่งถือว่าครัวเรือนที่ประกอบอาชีพการทำน้ำตาลจากได้รับผลตอบแทนสูงเมื่อเทียบกับรายได้เฉลี่ยของชุมชนลุ่มน้ำปากพนัง และจากการสำรวจของมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ในการจัดทำแผนพัฒนาชุมชน พบว่าในแต่ละปีอาชีพการทำน้ำตาลจากจะสร้างรายได้ประมาณ 12 ล้านบาท แก่ชุมชนตำบลขนานนกโดยมีต้นทุนประมาณ 1 ล้านบาทเท่านั้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรายได้สุทธิของผู้ทำอาชีพนาข้าวแล้วอาชีพการทำน้ำตาลจากหรือทำไร่อากถือเป็นอาชีพที่ทำรายได้สูงมากที่สุด

ประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีอาชีพและรายได้ที่ไม่แน่นอนส่วนใหญ่มีอาชีพรับจ้างทั่วไปและเกษตรกรรม ผลการจัดเก็บข้อมูลความจำเป็นพื้นฐานหรือจปฐ. ปีพ.ศ. 2558 ประชาชนในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนังจำนวน 121,647 ครัวเรือน 795 หมู่บ้านต่อชุมชน 7 อำเภอ ประชากรรวม 364,273 คน พบว่าคนลุ่มน้ำปากพนังประกอบอาชีพรับจ้างทั่วไปมากที่สุด คิดเป็น 28.10 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา กำลังศึกษา 21.16 เปอร์เซ็นต์ เกษตรกรรม-ทำสวน 13.21 เปอร์เซ็นต์ และเกษตรกรรม-ทำนา 7.56 เปอร์เซ็นต์ คนลุ่มน้ำปากพนังมีรายได้เฉลี่ยต่อคนต่อปีอยู่ที่ 67,756 บาท โดยที่คนอำเภอเมืองมีรายได้เฉลี่ยต่อคนต่อปีสูงสุด รองลงมาเป็นอำเภอพระพรหม และอำเภอชะอวด ตามลำดับ ส่วนอำเภอที่มีรายได้ต่ำสุด คือ อำเภอปากพนัง เฉลี่ย 58,845 บาทต่อคนต่อปี สำนักงานทรัพยากรป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) กล่าวว่าพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง ตั้งแต่อ่าวปากพนังไปจนถึงพรุควนเคร็ง อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช มีแม่น้ำสายหลัก คือ แม่น้ำปากพนัง มีคลองสาขามากมาย บริเวณที่อิทธิพลของน้ำเค็มเข้าถึงจะพบต้นจากขึ้นอยู่กระจายสองฝั่งแม่น้ำและลำคลองสาขา ซึ่งจะพบหนาแน่นแถบอำเภอปากพนัง อำเภอเชียรใหญ่ และอำเภอหัวไทร จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2538 จังหวัดนครศรีธรรมราชมีพื้นที่ไร่อากประมาณ 25,594 ไร่ โดยพื้นที่ตำบลขนานนก อำเภอปากพนัง เป็นพื้นที่ที่มีไร่อากมากที่สุดประมาณ 7,500 ไร่ ที่ปลูกขึ้นมาโดยเจ้าของที่ดินที่มีเอกสารสิทธิ์ตามกฎหมาย การใช้ประโยชน์เพื่อผลทางเศรษฐกิจชาวบ้านได้สะสมภูมิปัญญาในการประกอบอาชีพจากต้นจากมาอย่างยาวนาน ความรู้เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ของต้นจากได้ถ่ายทอดต่อ ๆ กันมาหลายชั่วอายุคน (ศิริพร, 2561)

จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ของเกษตรกรผู้ผลิตน้ำตาลจากในชุมชนบ้านขนานนก ตำบลขนานนก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 5 คน พบว่า 1) การกวนน้ำตาลจากด้วยแรงงานคนซึ่งจะเป็นการกวนที่ไม่สม่ำเสมอ 2) ประมาณน้ำตาลจากที่ได้จากการกวนน้อยไม่เพียงพอสำหรับความต้องการของลูกค้า 3) ไม่สามารถควบคุมความหนืดของน้ำตาลจากได้ และ 4) ต้องใช้แรงงานคนเป็นจำนวนมากในการกวนน้ำตาลจากเพื่อให้เพียงพอสำหรับความต้องการของลูกค้า (โกวิทย์ จันทรงชี, การสัมภาษณ์, 16 ตุลาคม 2563)

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างและพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติที่สามารถทำได้ง่ายตามท้องตลาดและมีราคาถูกมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติต้นแบบ ที่สามารถเพิ่มผลผลิตของน้ำตาลจากและลดการใช้แรงงานคนในการกวนน้ำตาลจากให้กับเกษตรกรผู้ทำน้ำตาลจากอย่างยั่งยืน

วิธีดำเนินการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความต้องการของเกษตรกรผู้ทำน้ำตาลจาก ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างและพัฒนารูปแบบเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยนำเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติไปทดสอบประสิทธิภาพและประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน รวมถึงวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การสร้างและพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

1.1 การออกแบบโครงสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติถูกออกแบบเน้นการใช้งานที่ง่าย สะดวก ปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน และป้องกันการปนเปื้อนในกระบวนการผลิต ลดการใช้แรงงานคน คำนึงถึงลักษณะการใช้โครงร่างของผู้ปฏิบัติงาน พร้อมประยุกต์ให้สามารถใช้กับวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในท้องถิ่นและไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ 1) ฐานเครื่อง 2) โครงสร้างหลัก 3) ถังกวนควบคุมอัตโนมัติ 4) มอเตอร์ 5) เฟลา 6) ใบกวน และ 7) ฐานรองรับกระเพาะ

การออกแบบซอฟต์แวร์อาร์ดูโน (Arduino IDE) เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติอาร์ดูโน (Arduino) เป็นแพลตฟอร์มแบบเปิด (open source platform) ที่ได้รับความนิยมสูง สำหรับงานด้านระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมและด้าน internet of things (IoT) เนื่องจากตัวฮาร์ดแวร์มีราคาต่ำและใช้งานง่าย สามารถนำไปพัฒนาสร้างระบบควบคุมและ IoT ได้หลากหลาย โดยนำอุปกรณ์ต่าง ๆ มาต่อกับตัวแผงวงจร ได้แก่ ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ รีเลย์ มอเตอร์ หลอดไฟ บลูทูธ GPS หรืออุปกรณ์อื่น ๆ จากนั้นเขียนโปรแกรมแล้วอัปโหลดเข้าตัวบอร์ดเพื่อให้ทำงานอ่านค่าเซ็นเซอร์แล้วประมวลผลส่งงานอุปกรณ์ได้ตามต้องการ โดยอาร์ดูโนเหมาะสำหรับงานด้านการควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์หรืองานประเภทที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์มาประมวลผลเบื้องต้นหรือส่งขึ้นเซิร์ฟเวอร์หรือคลาวด์ (กอบเกียรติ, 2561)

1.2 ออกแบบแบบสอบถามในการวิจัย

คณะผู้วิจัยร่างแบบสอบถามโดยให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องเพื่อการปรับปรุงให้สมบูรณ์ และนำแบบสอบถามที่ผ่านการปรับแก้ไขแล้วให้กับผู้เชี่ยวชาญเพื่อการประเมินค่าประสิทธิภาพ (index of item objective congruence: IOC) ตามเกณฑ์จึงจะนำแบบสอบถามฉบับสมบูรณ์ไปใช้

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ ประกอบด้วย เครื่องมือวัดความเร็วรอบการหมุนของเฟลา และเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

3. วิธีการเก็บข้อมูล

3.1 การทดลองใช้เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

โดยนำเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติที่สร้างเสร็จมาทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ณ ชุมชนบ้านขนานบาก ตำบลขนานบาก อำเภอบางแพ จังหวัด นครศรีธรรมราช ทดลองจำนวน 5 ครั้ง แต่แต่ละครั้งจะทดลองใช้ปริมาณน้ำตาลจาก 10 15 20 25 และ 30 กิโลกรัม เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการกวน ความหนืด สี และรสชาติของน้ำตาลจาก

3.1.1 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

$$\text{จุดคุ้มทุน (BEP)} = Fc / (B - Vc)$$

$$\text{จุดคุ้มทุน (BEP)} = 5,875 / (156.25 - 42.18)$$

$$\text{จุดคุ้มทุน (BEP)} = 51.50 \text{ ชั่วโมงต่อปี}$$

$$\text{ระยะคืนทุน (PBP)} = \frac{\text{ต้นทุนเครื่อง (บาท)}}{\text{กำไรสุทธิต่อปี (บาทต่อปี)}}$$

$$\text{ระยะคืนทุน (PBP)} = \frac{25,000 \text{ (บาท)}}{7,650 \text{ (บาทต่อวัน)}}$$

$$\text{ระยะคืนทุน (PBP)} = 4 \text{ วัน}$$

4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ (percentage) ใช้สูตร

$$P = \frac{F}{N} \times 100$$

เมื่อ P แทน เปอร์เซ็นต์ F แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นเปอร์เซ็นต์ N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

4.2 ค่าเฉลี่ย (mean) ใช้สูตร (Ferguson, 1981)

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

เมื่อ $\bar{x}$ แทน เปอร์เซ็นต์ $\sum x$ แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นเปอร์เซ็นต์ N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

4.3 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD) ใช้สูตร (Ferguson, 1981)

$$SD = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

เมื่อ SD แทน เปอร์เซ็นต์ $\sum x^2$ แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นเปอร์เซ็นต์ $(\sum x)^2$ แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

ผลการวิจัย

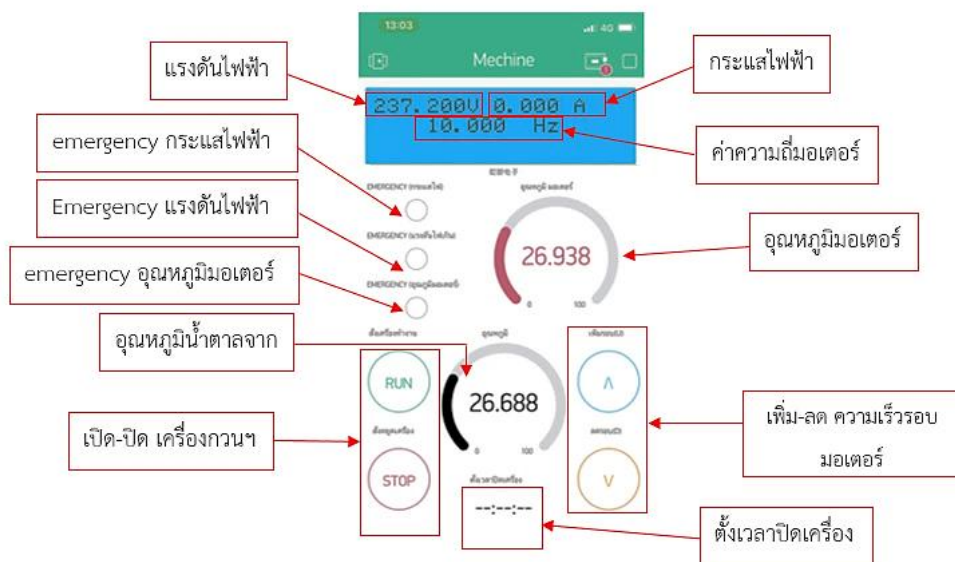
1. การสร้างและพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

โดยสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ 1 เครื่อง มีขนาดความกว้างของฐานเครื่อง 70 เซนติเมตร ความยาว 90 เซนติเมตร และความสูง 150 เซนติเมตร โดยใช้มอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้า (HP) มีความเร็วรอบของมอเตอร์ 1,400 รอบต่อนาที ชุดเกียร์ทดขนาดอัตราทด 10 ต่อ 1 รอบ ใช้อินเวอร์เตอร์ในการปรับความเร็วรอบของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ และใช้อาร์ดูโน้ตควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติผ่านโทรศัพท์มือถือ ดังภาพที่ 1



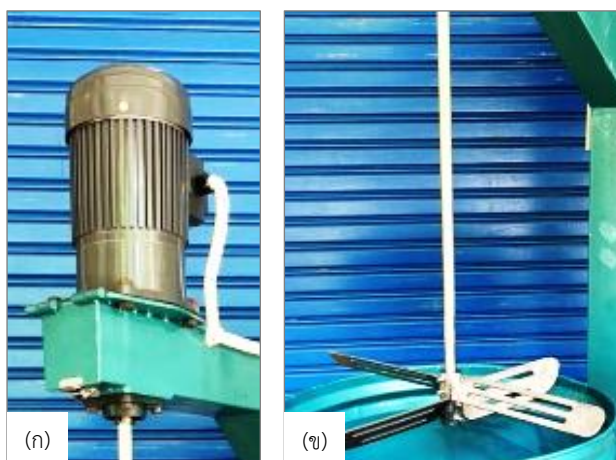
ภาพที่ 1 เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

การออกแบบชุดควบคุมการทำงานของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยใช้อาร์ดูโน้ต ได้ออกแบบโปรแกรมโดยเริ่มจากตัวประมวลผลอาร์ดูโน้ต จากนั้นทำการตั้งค่ากล่องสัญญาณอินเทอร์เนต และตรวจสอบการเชื่อมต่อสัญญาณกับระบบอินเทอร์เนตโดยใช้ซิมการ์ด (sim card) ของเครือข่าย เมื่อบอร์ดตั้งค่าสัญญาณอินเทอร์เนตเสร็จสมบูรณ์ ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติโดยใช้อาร์ดูโน้ตเริ่มรับค่าข้อมูลจากเครื่องกวนน้ำตาลจาก โดยเริ่มที่ค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) ค่าความถี่ของมอเตอร์ (เฮิร์ตซ์) อุณหภูมิความร้อนของมอเตอร์ (องศาเซลเซียส) ปุ่ม emergency มอเตอร์ แจ้งเมื่อความร้อนของมอเตอร์เกิน 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำตาลจากขณะทำการกวน (องศาเซลเซียส) ปุ่มเพิ่ม-ลดความเร็วรอบ ปุ่มสั่งเปิด-ปิดเครื่องกวนน้ำตาลจาก และการตั้งเวลาปิดเครื่องกวนน้ำตาลจาก ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 หน้าจอแสดงผลข้อมูลของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

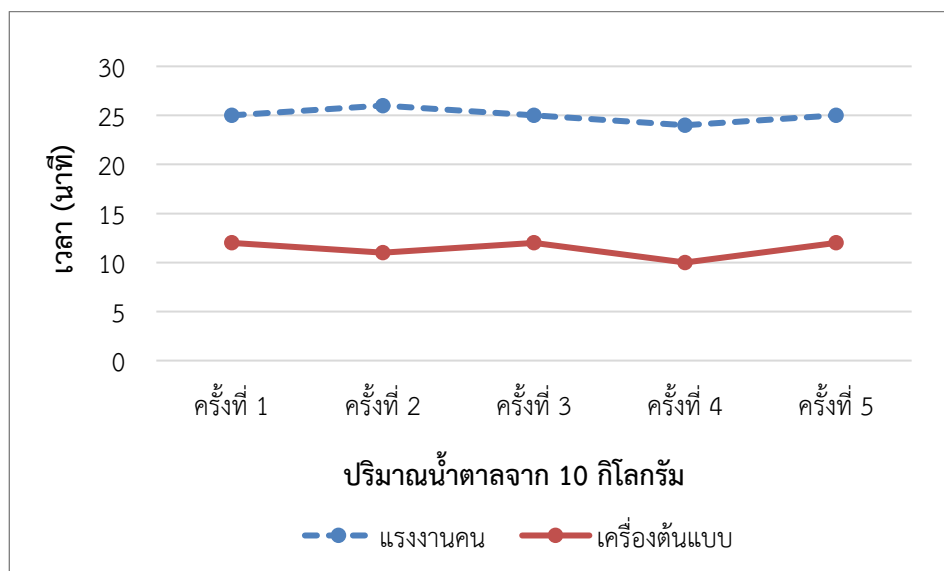
มอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลังของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ คณะผู้วิจัยเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด ½ แรงม้า ความเร็วรอบสูงสุด 1,400 รอบต่อนาที ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ใบกวนที่เลือกใช้สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้คือ ใบกวนแบบ pitched blade turbine ที่ทำให้ลักษณะการไหลเป็นแบบแนวแกน เพราะว่าการให้น้ำตาลจากที่อยู่ด้านล่างกระทะฟุ้งกระจายขึ้นมา แต่ถ้าของไหลในกระทะมีความสูงมากของไหลที่อยู่ด้านบนอาจจะหยุดนิ่ง ไม่เกิดการผสม อาจจะต้องเพิ่มจำนวนใบกวนขึ้นอีกหนึ่งชุดด้านบน เพื่อทำให้เกิดการผสมที่ดีขึ้น ดังภาพที่ 3



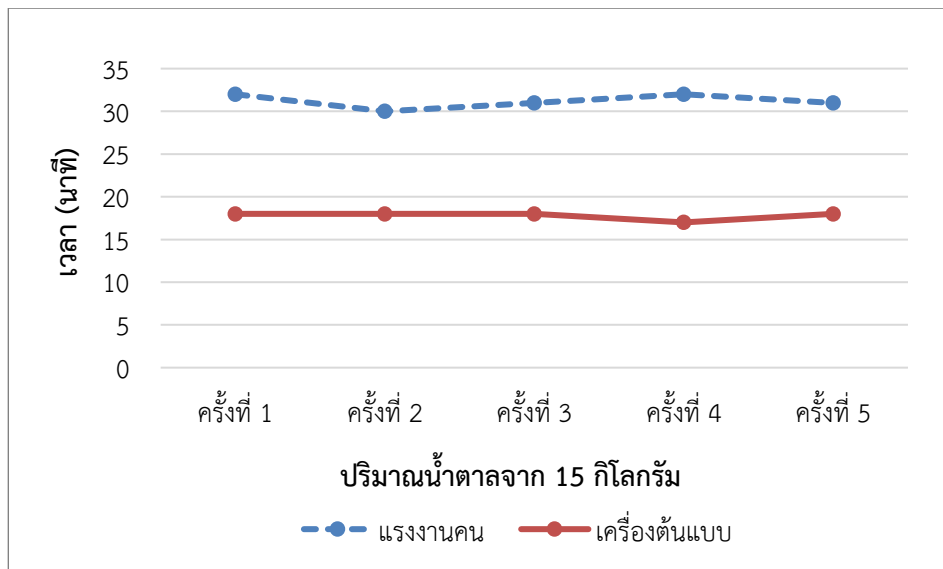
ภาพที่ 3 มอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลัง (ก) และชุดใบกวน (ข) ของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

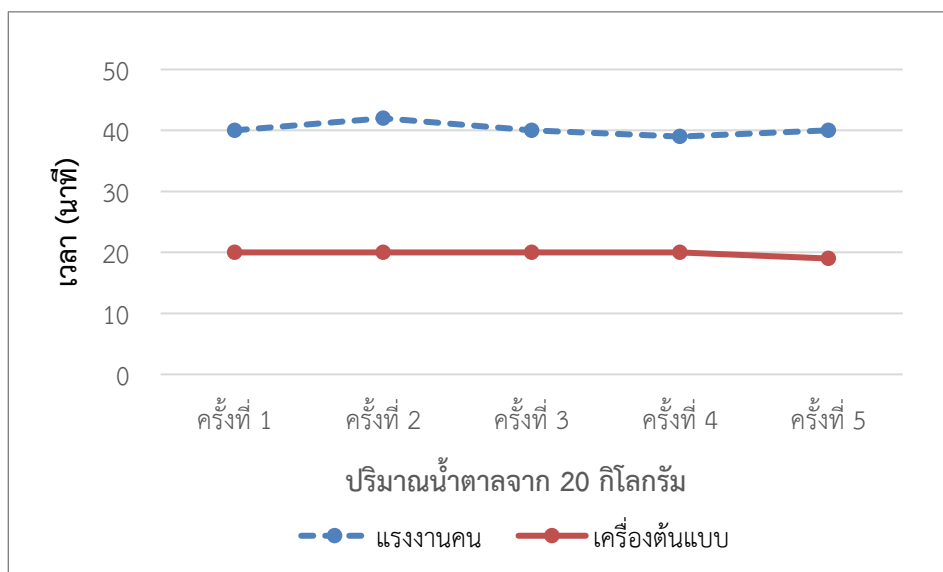
ผลการหาประสิทธิภาพเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติโดยการทดลองกวนน้ำตาลจากที่ปริมาณครั้งละ 10 15 20 25 และ 30 กิโลกรัม โดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับแรงงานคน พบว่าการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 10 กิโลกรัม ด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 25 นาที แต่การกวนน้ำตาลจากด้วยเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ จำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 11.4 นาที (ภาพที่ 4) การกวนน้ำตาลจากปริมาณ 15 กิโลกรัม ด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 31.2 นาที แต่การกวนน้ำตาลจากด้วยเครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติ จำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 17.8 นาที (ภาพที่ 5) การกวนน้ำตาลจากปริมาณ 20 กิโลกรัม ด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 40.2 นาที แต่การกวนน้ำตาลจากด้วยเครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติจำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 19.8 นาที (ภาพที่ 6) การกวนน้ำตาลจากปริมาณ 25 กิโลกรัม ด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 59.4 นาที แต่การกวนน้ำตาลจากด้วยเครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติจำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 29.8 นาที (ภาพที่ 7) และการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 30 กิโลกรัม ด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 70.4 นาที แต่การกวนน้ำตาลจากด้วยเครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติจำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 35.2 นาที (ภาพที่ 8)



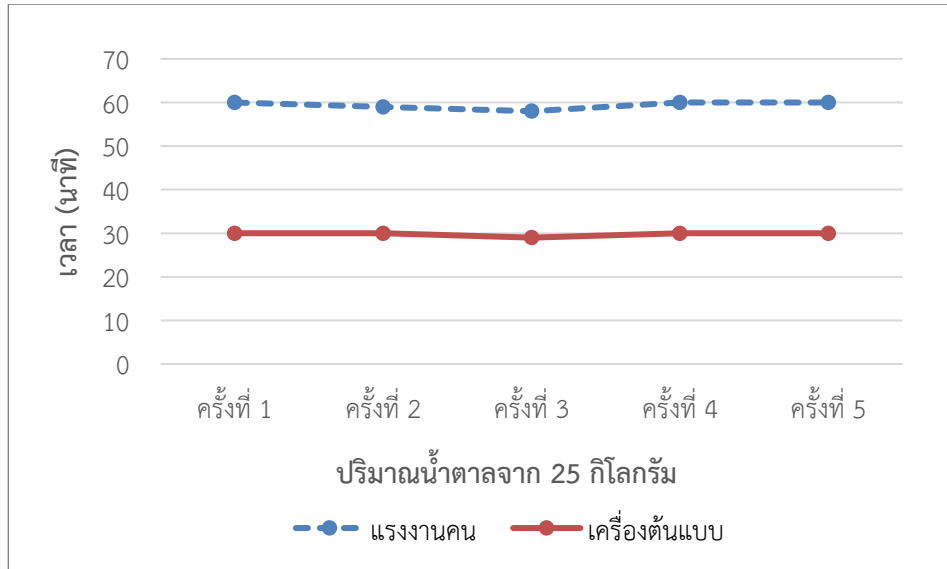
ภาพที่ 4 ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 10 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



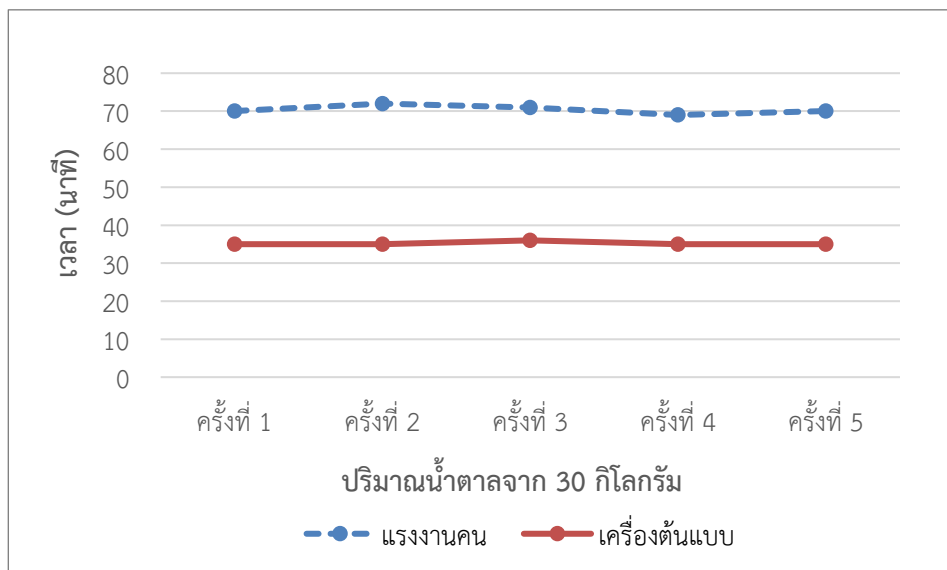
ภาพที่ 5 ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 15 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 6 ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 20 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 7 ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 25 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 8 ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

3. ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

3.1 การวิเคราะห์ต้นทุนของการใช้เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบอัตโนมัติ

จากผลของการศึกษาวิจัยพบว่าต้นทุนของการใช้เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติสามารถแบ่งได้ คือ ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าและบวกค่าเสื่อมราคา ส่วนต้นทุนค่าสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติกับต้นทุนค่าแรงของผู้ควบคุมเครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติไม่มีค่าใช้จ่าย โดยในด้านแรก คือ ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้า ได้ตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าขณะ

เดินเครื่องทำงานพบว่ามีค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้งานเฉลี่ย 1.5 แอมแปร์ และเมื่อนำค่าของกระแสไฟฟ้ามาคำนวณเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้า สามารถหาได้จากสูตร

$$P = E \cdot I$$

เมื่อ P แทน กำลังไฟฟ้า หน่วยเป็น วัตต์ (W)

เมื่อ E แทน แรงดันไฟฟ้า หน่วยเป็น โวลต์ (V)

เมื่อ I แทน กระแสไฟฟ้า หน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

และเมื่อเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติใช้ระบบไฟฟ้า 1 เฟส มีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์

$$\text{ค่ากำลังไฟฟ้า (P)} = 220 \text{ V} \times 1.5 \text{ A}$$

$$\text{ดังนั้นกำลังไฟฟ้า} = 330 \text{ วัตต์}$$

ในการกวนน้ำตาลจากจะใช้เวลา 1 ชั่วโมงต่อวัน

$$\text{เมื่อนำมาคำนวณการใช้งาน} = \frac{330 \text{ วัตต์} \times 1 \text{ ชั่วโมง}}{1,000 \text{ วัตต์}}$$

$$\text{ค่ายูนิตที่ใช้ใน 1 วัน} = 0.33 \text{ หน่วยต่อวัน}$$

$$\text{ใน 1 ปี กวนน้ำตาลจาก 300 วัน} = 0.33 \text{ หน่วย} \times 300 \text{ วัน}$$

$$= 99 \text{ หน่วยต่อปี}$$

อัตราค่าไฟฟ้าแบบปกติ หน่วยละ 1.357 บาท

$$= 1.357 \text{ บาท} \times 99 \text{ หน่วย}$$

$$= 134.34 \text{ บาทต่อปี}$$

$$\text{ค่า Ft หน่วยละ 0.5 บาท} = 0.5 \text{ บาท} \times 99 \text{ หน่วย}$$

$$= 49.5 \text{ บาทต่อปี}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่า Ft} = 134.34 \text{ บาทต่อปี} + 49.5 \text{ บาท}$$

$$= 183.84 \text{ บาทต่อปี}$$

$$\text{ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 เปอร์เซ็นต์} = 12.86 \text{ บาท}$$

$$\text{ดังนั้นค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายทั้งสิ้น} = 183.84 \text{ บาทต่อปี} + 12.86 \text{ บาท}$$

$$= 196.70 \text{ บาทต่อปี}$$

ในด้านการเสื่อมราคาของเครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติ และจากการศึกษาการใช้งานของเครื่องกวนชนิดสแตนเลส พบว่ามีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี ซึ่งคณะผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวมาคิดค่าเสื่อมราคาของเครื่องกวนน้ำตาลจาก โดยเฉลี่ยมูลค่าเสื่อมราคาของสินทรัพย์ให้เป็นค่าเสื่อมราคาในแต่ละปีเท่า ๆ กันตลอดอายุการใช้งาน

อายุการใช้งานเครื่องกวนน้ำตาลจาก 10 ปี

$$\text{ราคาซาก (โครงสร้างเครื่อง + อุปกรณ์ไฟฟ้า)} = 10,000 \text{ บาท}$$

$$\text{ราคาทุนของเครื่องกวนน้ำตาลจาก} = 50,000 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคาต่อปี} = \frac{\text{ราคาทุน} - \text{ราคาซาก}}{\text{อายุการใช้งาน}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{50,000 - 10,000}{10 \text{ ปี}} \\
 \text{ค่าเสื่อมราคาในแต่ละปี} &= 4,000 \text{ บาทต่อปี} \\
 \text{ดังนั้นต้นทุนของการใช้งานเครื่องกวนน้ำตาล} &= \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าเสื่อมราคา} \\
 &= 196.70 \text{ บาทต่อปี} + 4,000 \text{ บาทต่อปี} \\
 &= 4,196.70 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$

3.2 การวิเคราะห์ต้นทุนของการใช้แรงงานคนกวนน้ำตาลจาก

จากผลของการสอบถามข้อมูลในเรื่องค่าจ้างคนงานกวนน้ำตาลจาก พบว่าจะต้องเสียค่าจ้างในการจ้างกวนน้ำตาลจากในราคา 300 บาทต่อวัน และส่วนใหญ่มักเสียเวลารอคอยเป็นเวลานาน ทำให้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ขยายออกสู่ตลาดได้น้อย โดยสามารถวิเคราะห์ต้นทุนได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 &\text{ค่าจ้างแรงงาน 300 บาทต่อวัน} \\
 &\text{ใน 1 ปี กวนน้ำตาลจาก 300 วัน} &= 300 \text{ บาท} \times 300 \text{ วัน} \\
 &\text{ดังนั้นต้นทุนค่าแรงงาน} &= 90,000 \text{ บาทต่อปี} \\
 &\text{เมื่อนำต้นทุนทั้ง 2 กรณีมาเปรียบเทียบกัน} &= 90,000 \text{ บาทต่อปี} - 4,196.70 \text{ บาทต่อปี} \\
 & &= 85,803.30 \text{ บาทต่อปี} \\
 &\text{ต้นทุนที่ประหยัดได้} &= \frac{85,803.30 \text{ บาท} \times 100}{90,000 \text{ บาท}} \\
 & &= 95.33 \text{ เปอร์เซ็นต์}
 \end{aligned}$$

การอภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัย เรื่อง การพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องกวนผลไม้ ซึ่งส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับการสร้างเครื่องกวนผลไม้ คือ มอเตอร์เกียร์ ชุดเพลากวน ใบกวน และอินเวอร์เตอร์ คณะผู้วิจัยเห็นว่าการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นการศึกษาเพื่อออกแบบและนำไปสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยอาศัยหลักการทำงานของมอเตอร์เกียร์ ชุดเพลากวน ใบกวน และอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติสามารถใช้งานได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของฤกษ์ และคณะ (2560) การพัฒนาเครื่องกวนเนื้อมังคุดชนิดควบคุมอุณหภูมิทั้งอัตโนมัติสำหรับวิสาหกิจชุมชนท่าศาลา อำเภอนาทม จังหวัดจันทบุรี คณะผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับหลักการระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติ คือ การเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา C++ และการพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ คณะผู้วิจัยเห็นว่าการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ และนำมาพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้กับเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติสามารถใช้งานได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของชินวัจน์ และคณะ (2561) ที่พัฒนาระบบ

ควบคุมอุปกรณ์ภายในโรงงานขนาดย่อมด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ภายได้แนวคิดอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่ง คณะผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการวิเคราะห์ เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ซึ่งส่วนสำคัญในการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม คือ การวิเคราะห์หา ต้นทุนในการใช้งานเครื่อง และการวิเคราะห์ต้นทุนการใช้แรงงานคน คณะผู้วิจัยเห็นว่าการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นการศึกษาเพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม จึงนำมาวิเคราะห์ เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ รัฐพล (2559) ที่พัฒนาเครื่องกวนทุเรียนแบบผสมผสานเพื่อมาตรฐานผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวน กลุ่ม วิสาหกิจแปรรูปผลไม้ล้นแล คณะผู้วิจัยจึงสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ 1 เครื่อง มีขนาดความกว้างของฐานเครื่อง 70 เซนติเมตร ความยาว 90 เซนติเมตร และความสูง 150 เซนติเมตร โดยใช้มอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้า มีความเร็วรอบของมอเตอร์ 1,400 รอบต่อนาที ชุดเกียร์ทดขนาด อัตราทด 10 ต่อ 1 รอบ ใช้อินเวอร์เตอร์ในการปรับความเร็วรอบของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบ ควบคุมอัตโนมัติ และใช้อาร์ดูโน้ควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่

สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ สามารถแบ่งส่วนประกอบ ออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ คณะผู้วิจัย ออกแบบโครงสร้างของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ มีขนาดความกว้าง 70 เซนติเมตร ความยาว 90 เซนติเมตร และความสูง 150 เซนติเมตร

ส่วนที่ 2 การออกแบบชุดควบคุมการทำงานของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ คณะผู้วิจัยออกแบบชุดควบคุมโดยใช้อาร์ดูโน้ การออกแบบโปรแกรมประมวลผลอาร์ดูโน้ จากนั้น ทำการตั้งค่ากล่องสัญญาณอินเทอร์เน็ต และตรวจสอบการเชื่อมต่อสัญญาณกับระบบอินเทอร์เน็ตโดยใช้ซิมการ์ดของเครือข่าย เมื่อบอร์ดตั้งค่าสัญญาณอินเทอร์เน็ตเสร็จสมบูรณ์ ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติโดยใช้อาร์ดูโน้เริ่มรับค่าข้อมูลจากเครื่องกวนน้ำตาล จาก โดยเริ่มที่ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าความถี่ของมอเตอร์ อุณหภูมิความร้อนของมอเตอร์ ปั๊ม emergency มอเตอร์ แจ้งเมื่อความร้อนของมอเตอร์เกิน 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำตาล จากขณะทำการกวน เพิ่ม-ลดความเร็วรอบ ปั๊มสั่งเปิด-ปิดเครื่องกวนน้ำตาลจาก และการตั้งเวลาปิด เครื่องกวนน้ำตาลจาก

ส่วนที่ 3 การออกแบบมอเตอร์ต้นกำลังของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยใช้มอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้าเป็นต้นกำลัง ชุดเกียร์ทดขนาดอัตราทด 10 ต่อ 1 โดยใช้อินเวอร์เตอร์ในการปรับความเร็วรอบในการกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

ส่วนที่ 4 การออกแบบชุดใบกวนของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ คณะผู้วิจัย ได้ออกแบบใบกวนแบบ pitched blade turbine ที่ทำให้ลักษณะการไหลเป็นแบบแนวแกน เพราะว่าการให้น้ำตาลจากที่อยู่ด้านล่างกระทะฟุ้งกระจายขึ้นมา แต่ถ้าของไหลในกระทะมีความสูงมาก ของไหลที่อยู่ด้านบนอาจจะหยุดนิ่ง ไม่เกิดการผสม อาจจะต้องเพิ่มจำนวนใบกวนขึ้นอีกหนึ่งชุด ด้านบน เพื่อทำให้เกิดการผสมที่ดีขึ้น

ข้อเสนอแนะ

เพื่อเป็นการขยายผลการวิจัยควรรนำเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติไปทดลองใช้ในพื้นที่อื่นของจังหวัดนครศรีธรรมราช และพื้นที่ใกล้เคียงต่อไป และควรพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากให้สามารถกวนน้ำตาลจากได้ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น หรือพัฒนาเครื่องกวนให้สามารถกวนน้ำตาลจากพืชเศรษฐกิจอื่นได้ด้วย เช่น น้ำตาลมะพร้าว น้ำตาลโตนด เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2557). รายงานประจำปี 2557 กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.
- กฤษณะ จันทสิทธิ์ คมสัน มุ่ยสี และศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล. (2560). การพัฒนาเครื่องกวนเนื้อมังคุดชนิดควบคุมอุณหภูมิถึงอัตโนมัติ สำหรับวิสาหกิจชุมชนบ้านท่าศาลา อำเภอนาทม จังหวัดจันทบุรี. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- กอบเกียรติ สระอุบล. (2561). พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspber Pi. กรุงเทพฯ: อินเทอร์เน็ตเดีย.
- ชินวัจน์ งานวรรณการ สุทัศน์ รุ่งระวีวรรณ และอมรเทพ มณีเนียม. (2561). การพัฒนาระบบควบคุมอุปกรณ์ภายในโรงงานขนาดย่อมด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ภายใต้แนวคิดอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่ง. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- นพรัตน์ บำรุงรักษ์. (2540). การศึกษาด้านนิเวศวิทยา ประโยชน์ใช้สอย และการขยายพันธุ์ต้นจากในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ภูมิพัฒน์ กำคำ ฐานา นามประดิษฐ์ ลัคนา เพิ่มพูน และบุญส่ง พลสัมฤทธิ์. (2564). การพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัดสำหรับการเกษตรสมัยใหม่. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 40(2), 1-13.
- รัฐพล ดุลยะลา. (2559). การพัฒนาเครื่องกวนทุเรียนแบบผสมผสาน เพื่อมาตรฐานผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวน กลุ่มวิสาหกิจแปรรูปผลไม้ลับแล. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์.
- ศิริพร หมั่นหส์ถ์ พัทรินทร์ โสมปาน เบญจา ทองพันธ์ และตรีฤกษ์ เพชรมนต์. (2561). รูปแบบการบริหารจัดการและช่องทางการจัดจำหน่ายเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์อาหารจากต้นจากสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนพื้นที่อำเภopakพนัง. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
- สุนันทา ช้องสาย. (2563). สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมและความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ในการผลิตใบจากมวนยาสูบ. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 39(1), 46-57.
- Ferguson, G.A. (1981). *Statistical analysis in psychology and education*. (5th ed). Tokyo: McGraw-Hill.

ความสามารถในการดักจับฝุ่นละออง PM₁₀ ของใบพืชสกุลกะเพรา 4 ชนิด

The Ability of PM₁₀ Capture on Leaf in 4 Species of the Genus *Ocimum* L.

มัทนภรณ์ ใหม่คามิ^{1*} และเพ็ญศิริ ไพจิตร²

Mattanaporn Maikami^{1*} and Pensiri Paijit²

บทคัดย่อ

สภาวะฝุ่นละออง (particulate matter: PM) ที่เกินค่ามาตรฐานเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากขึ้น ซึ่งพืชทุกชนิดมีคุณสมบัติในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศได้ แต่ใบไม้ที่มีโครงสร้างผิวใบที่ไม่เรียบจะมีศักยภาพในการดักจับฝุ่นละอองได้ดีกว่า พืชสกุลกะเพราที่คนไทยนิยมปลูกไว้เป็นพืชผักสวนครัวมีผิวใบไม่เรียบ คือ มีทั้งขนและต่อมที่ผิวใบ ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองได้ดี จึงนำพืชสกุลกะเพรา (*Ocimum*) 4 ชนิด ได้แก่ แมงลัก (*Ocimum x africanum* Lour.) โหระพา (*O. basilicum* L.) ยี่หระ (*O. gratissimum* L.) และกะเพรา (*O. tenuiflorum* L.) มาศึกษารูปร่างใบ ขนาดใบ ขนใบและปากใบ ที่มีผลต่อความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) จากการศึกษาพบว่าใบของแมงลักและกะเพราสามารถดักจับฝุ่นละอองมากกว่าใบของยี่หระและโหระพา โดยประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองของใบแมงลักเกิดจากปากใบขนาดใหญ่ร่วมกับการมีขนใบยาว ส่วนประสิทธิภาพของใบกะเพราเกิดจากขนาดใบใหญ่ร่วมกับการมีความหนาแน่นของขนที่ผิวใบ ส่วนความหนาแน่นของต่อมน้ำมันหอมระเหยของใบพืชทั้ง 4 ชนิดไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองของพืชต้องพิจารณาหลายลักษณะ เช่น การจัดเรียงของใบ ลักษณะวิสัย และทรงพุ่มรวมด้วย

คำสำคัญ: เนื้อเยื่อผิวใบ สกุลกะเพรา การดักจับฝุ่น ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

¹ สาขาวิชานวัตกรรมชีวผลิตภัณฑ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

² สำนักส่งเสริมการเรียนรู้และบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

* Corresponding author e-mail: mattanaporn@vru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.254874>

Received: 13 June 2022, Revised: 11 November 2022, Accepted: 21 November 2022

Abstract

Airborne Particulate Matter (PM) that exceeds standard is a severe problem affecting health of the population. Plants have the ability to capture particulate matter in the air; however, leaves with a rough leaf surface structure has higher efficiency in adsorbing the particulate matter than those with a smooth leaf surface structure. The plants in the genus *Ocimum*, which are the popular home-grown vegetables for Thai people, shows a high ability to adsorb the particulate matter in the air. Their leaves consist of both trichome and gland at the surface which are efficient in capturing particulate matter. Therefore, species of *Ocimum*, namely Lemon Basil (*Ocimum x africanum* Lour.), Sweet Basil (*O. basilicum* L.), Tree Basil (*O. gratissimum* L.) and Holy Basil (*O. tenuiflorum* L.) are investigated to study leaf shape, leaf size, trichome and stomata on the capturing efficiency of particulate matter of a diameter less than 10 micrometer (PM₁₀). The results suggested that lemon basil and holy basil had higher abilities to capture PM₁₀ than the other 2 species. The large stomata size and the long trichome of lemon basil resulted in the higher efficiency of PM₁₀ adsorbing ability. There was no difference in volatile oil gland density among the four species of *Ocimum*. It is worth to note that leaf arrangement, plant habitat and plant canopy are also affected the particulate matter adsorbing ability of the plants.

Keywords: Epidermis, *Ocimum*, Capturing particulate matter, PM₁₀

บทนำ

มลพิษทางอากาศเป็นภาวะของอากาศที่มีสารเจือปนในปริมาณมากเป็นระยะเวลานานพอที่จะก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์และพืช (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) โดยฝุ่นละออง (particulate matter: PM) สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศตั้งแต่ไม่กี่วินาทีจนถึงนานหลายเดือนขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นละออง ซึ่งฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน (PM₁₀) จัดเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กจะแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากกว่า 1 วัน (นิพนธ์ และคณิตา, 2552; กรมควบคุมมลพิษ, 2561) และเป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคหอบหืด กล้ามเนื้อหัวใจตาย และโรคมะเร็งปอด (กรมอนามัย และกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, 2558) โดยภาครัฐได้มีมาตรการต่าง ๆ เพื่อช่วยลดปริมาณฝุ่นละออง ซึ่งการเพิ่มพื้นที่สีเขียวโดยการปลูกต้นไม้เพื่อช่วยลดปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กได้เป็นอย่างดีอีกทางหนึ่ง (แอนนา, 2550; Ram *et al.*, 2014) รวมถึงมีงานวิจัยต่าง ๆ ที่มีการศึกษาเพื่อลดมลภาวะ (เตือนใจ และคณะ, 2561; สุันทา, 2563)

ต้นไม้มักช่วยดักจับฝุ่นละอองได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะใบไม้ที่เนื้อเยื่อชั้นผิวของพืชมีสารคิวตินหรือมีขน (trichome) ปกคลุมจะมีประสิทธิภาพสูงในการดักจับและดูดซับฝุ่นละอองได้ดี (Nowak *et al.*, 2006; Esposito *et al.*, 2020) ซึ่งสอดคล้องกับ Sæbø *et al.* (2012) ที่ศึกษา

ไม้ต้นและไม้พุ่ม 47 ชนิด พบว่าความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองแตกต่างกัน โดยพืชที่ใบมีขน และพืชที่ผิวใบไม่เรียบมีประสิทธิภาพสูงในการดักจับฝุ่นละออง ซึ่งอาจเกิดจากใบที่มีขนหรือผิวไม่เรียบ จึงมีแรงเสียดทานมากกว่าใบที่เรียบและผิวมัน (พาสินี และคณะ, 2559) ฝุ่นละอองจะเกาะแน่นที่ผิวใบ กิ่ง หรือลำต้น เมื่อพืชได้รับน้ำหรือฝน ฝุ่นละอองเหล่านี้จะถูกชะล้างออกแล้วไหลลงสู่พื้นดิน (ราชันย์ และคณะ, 2563) พืชสกุลกะเพรา (*Ocimum*) เป็นพืชสมุนไพรที่อยู่ในวงศ์ Lamiaceae สามารถหาได้ตามท้องถิ่นต่าง ๆ พืชในสกุลกะเพราที่นำมาใช้ประกอบอาหารอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ได้แก่ แมงลัก (*O. x africanum* Lour.: lemon basil) โหระพา (*O. basilicum* L.: sweet basil) ยี่หระ (*O. gratissimum* L.: tree basil) และกะเพรา (*O. tenuiflorum* L.: holy basil) (จิตติมา, 2551) โดยพืชสกุลนี้มีน้ำมันหอมระเหยที่เป็นเอกลักษณ์ที่สังเคราะห์จากต่อมที่ผิวใบ (external glandular structures) นอกจากนั้นใบพืชสกุลกะเพรายังมีขนหลากหลายลักษณะ (Azzazy, 2019; Sanoj and Deepa, 2021) แม้ว่าจะงานวิจัยในปัจจุบันมีการศึกษาประสิทธิภาพของพืชในการดักจับฝุ่นละออง แต่เนื้อเยื่อชั้นผิวที่เป็นส่วนหลักในการดักจับฝุ่นละอองยังมีการศึกษาน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการที่ใบพืชสกุลกะเพราที่มีทั้งต่อมและขนจึงน่าจะมีศักยภาพสูงในการดักจับฝุ่นละออง อย่างไรก็ตามฝุ่นละอองที่ติดอยู่ที่ผิวใบสามารถหลุดออกหรือถูกน้ำชะล้างออกได้ง่าย (Nowak *et al.*, 2006) จึงไม่ส่งผลต่อสุขภาพเมื่อล้างทำความสะอาดก่อนนำมารับประทาน ดังนั้นในการศึกษารุ่นนี้จึงศึกษารูปทรงใบ ขนาดใบ ปากใบ ความหนาแน่นของปากใบ ขนและต่อมที่ผิวใบ ซึ่งเป็นลักษณะที่มีความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กที่แขวนลอยในอากาศได้ รวมถึงผลของลักษณะต่าง ๆ ของใบพืชสกุลกะเพรา 4 ชนิด ต่อประสิทธิภาพของการดักจับฝุ่นละออง PM₁₀

วิธีดำเนินการวิจัย

นำต้นแมงลัก (*O. americanum* L.) โหระพา (*O. basilicum* L.) ยี่หระ (*O. gratissimum* L.) และกะเพรา (*O. tenuiflorum* L.) ที่มีอายุ 2 เดือนนับตั้งแต่การเพาะเมล็ด มาดูแลรดน้ำวันละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น) เป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อเตรียมตัวอย่างพืชในการทดลอง

1. ศึกษาลักษณะใบและเนื้อเยื่อผิวใบของพืชสกุลกะเพรา 4 ชนิด

โดยเลือกใบลำดับที่ 3 นับจากปลายยอดที่สุด แข็งแรง ไม่มีแมลงกัดกิน และมีสภาพสมบูรณ์มาล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดเศษฝุ่นดินและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ออกและซับให้แห้งอย่างระมัดระวัง แล้วนำใบพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิดมาศึกษาลักษณะต่าง ๆ ของใบ ดังนี้

1.1 รูปทรงแผ่นใบ ปลายใบ โคนใบ ขอบใบ ผิวใบ เนื้อใบ และขนาดใบ โดยนำใบวางบนกระดาษกราฟมาตรฐาน แล้วคัดลอกขนาดและรูปทรงใบ จากนั้นนับช่องกระดาษกราฟเพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ใบ (บาร์มี และสัตถาภูมิ, 2558) ทำการทดลองพืชสกุลกะเพราชนิดละ 2 ต้น โดยเก็บตัวอย่างต้นละ 10 ใบ

1.2 ลักษณะขนาดและความหนาแน่นของขนใบทั้งด้านหลังใบ (adaxial size) และด้านท้องใบ (abaxial size) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ Carl Zeiss รุ่น Stemi 305 ส่วนชนิดของเซลล์ ประกอบด้วย ขนาด และความหนาแน่นของปากใบ จะศึกษาโดยการลอกเนื้อเยื่อผิวด้านหลังใบออกให้มากที่สุด จากนั้นแช่ใบที่ลอกเนื้อเยื่อผิวแล้วในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่มีความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ จนกว่าชิ้นตัวอย่างจะใส จากนั้นย้ายไปแช่ในสารละลายคลอโรกซ์

(Clorox®) ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5-10 นาที แล้วล้างชิ้นส่วนใบด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด (มัทนภรณ์ และเพ็ญศิริ, 2564) จากนั้นนำชิ้นส่วนใบไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง Carl Zeiss รุ่น LAB A1 ด้วยกำลังขยาย 400 เท่า (400X) ที่เชื่อมต่อกับกล้องบันทึกภาพ CANON EOS1100D บันทึกขนาดและความหนาแน่นของปากใบ ในการศึกษาลักษณะและความหนาแน่นของขนและปากใบทำการทดลองพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ชนิดละ 10 ใบ โดยแต่ละใบทำการศึกษา 10 ตำแหน่ง (ค่าสังเกต)

2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของใบพืชสกุลกะเพราบางชนิดต่อการดักจับฝุ่นละอองที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน

นำกิ่งพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ชนิดละ 5 กิ่ง โดยแต่ละกิ่งมีความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร มาปักในแจกันที่วางห่างกันจุดละ 30 เซนติเมตร ซึ่งแจกันวางอยู่ในกล่องใสขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร (1x1x1 เมตร) ที่มีพัดลมมอเตอร์ด้านบนเพื่อช่วยกระจายอนุภาค จากนั้นนำแป้งข้าวเจ้าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค 3-5 ไมครอน (วรวิชฌน์ และคณะ, 2560) เป็นตัวแทนในการศึกษาความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน (PM₁₀) ปริมาณ 10 กรัม โรยจากด้านบนผ่านพัดลมมอเตอร์เป็นเวลา 10 นาที ในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส แล้วนำตัวอย่างใบพืชสกุลกะเพราลำดับที่ 3 และ 4 นับจากปลายยอดของแต่ละกิ่ง ชนิดละ 10 ใบ มาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง ที่มีตู้กระจกกันลม (120-AWU Shimadzu) เพื่อช่วยลดการสูญเสียความชื้นระหว่างการชั่ง จากนั้นหยาและคว่ำใบ 3 รอบอย่างเบามือเพื่อให้แป้งส่วนเกินหลุดออก จากนั้นนำไปไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง อีกครั้งอย่างรวดเร็วเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่ใบจะสูญเสียความชื้น แล้วหาปริมาณแป้งที่เหลืออยู่บนแผ่นใบ เพื่อแปรผลเป็นความสามารถของใบพืชในการจับอนุภาคฝุ่นละออง ทำการทดลองชนิดละ 5 ซ้ำ

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

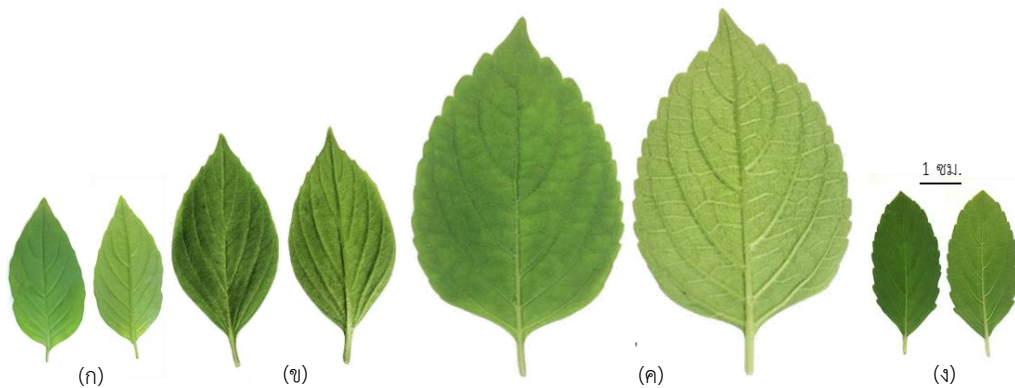
วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) เพื่อทดสอบความแปรปรวนและแสดงผลการทดลองด้วยค่าเฉลี่ย±ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (mean±S.E.) เมื่อพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัย

1. ลักษณะใบและเนื้อเยื่อผิวใบของพืชสกุลกะเพรา 4 ชนิด

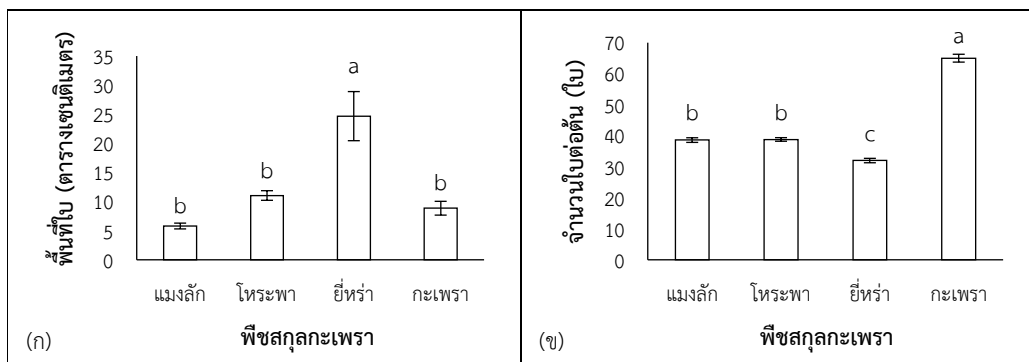
จากการศึกษารูปร่างแผ่นใบ ขนาดใบและปากใบ ความหนาแน่นของปากใบ ขน และต่อมของใบพืชสกุลกะเพรา 4 ชนิด ได้แก่ แมงลัก โหระพา ยี่ห่วย และกะเพรา ที่มีอายุ 2 เดือน ความสูงประมาณ 25 เซนติเมตร พบว่าลักษณะของใบที่เหมือนกันของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ มีลักษณะผิวใบมีขน ปลายใบแบบแหลม ฐานใบแบบมน ส่วนลักษณะใบที่แตกต่างกัน คือ รูปร่างแผ่นใบ และขอบใบ โดยแมงลัก โหระพา และยี่ห่วย มีรูปร่างแผ่นใบเป็นแบบรูปไข่ ส่วนกะเพรา

มีรูปร่างแผ่นใบเป็นรูปรี-ขอบขนาน เมื่อพิจารณาขอบใบแมงลักมีลักษณะขอบใบแบบหยักมน โหระพา ยี่หระ และกะเพรา มีลักษณะขอบใบแบบจักฟันเลื่อย ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 รูปร่างแผ่นใบด้านหลังใบและท้องใบของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แมงลัก (ก) โหระพา (ข) ยี่หระ (ค) และกะเพรา (ง)

พื้นที่ใบในตำแหน่งใบที่ 2-3 นับจากปลายยอดของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยยี่หระมีพื้นที่ใบมากที่สุด (24.67 ± 4.22 ตารางเซนติเมตร) ส่วนใบพืชอีก 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกัน ดังภาพที่ 2 (ก) ส่วนจำนวนใบพบว่ากะเพรามีจำนวนใบต่อต้นมากที่สุด (65 ± 1.27 ใบ) รองลงมา คือ โหระพา (38.8 ± 0.58 ใบ) และแมงลัก (38.6 ± 0.75 ใบ) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนยี่หระมีจำนวนใบน้อยที่สุด (32 ± 0.71 ใบ) ดังภาพที่ 2 (ข)

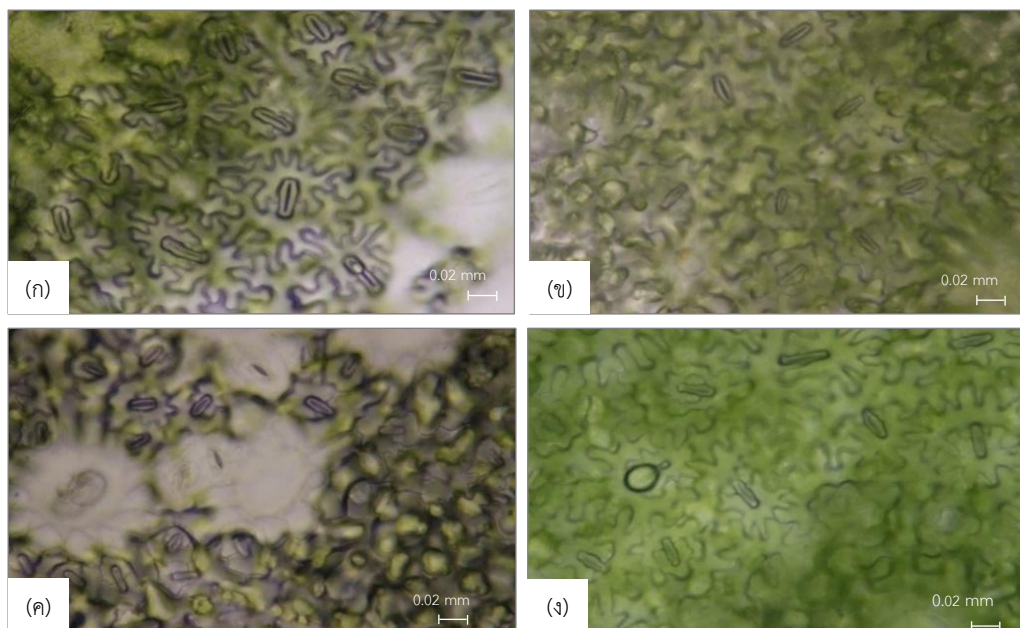


ภาพที่ 2 พื้นที่ใบ (ก) และจำนวนใบต่อต้น (ข) ของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แมงลัก โหระพา ยี่หระ และกะเพรา

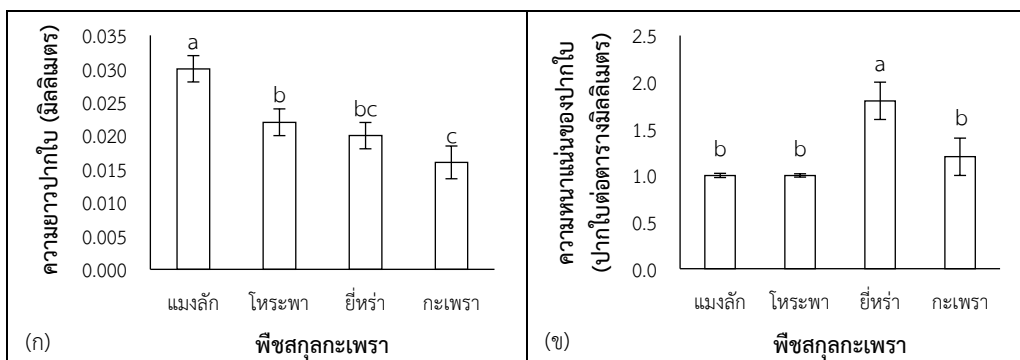
หมายเหตุ: - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (mean $\pm$ S.E.)

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปากใบของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิดมีลักษณะทางกายวิภาคเป็นปากใบแบบไต (kidney shape) ประกบกัน มีเซลล์รอบปากใบจำนวน 2 เซลล์ (diacytic type) (ภาพที่ 3) เมื่อพิจารณาขนาดของปากใบ พบว่าแมงลักมีปากใบขนาดใหญ่ที่สุดโดยมีขนาด 0.03 ± 0.002 มิลลิเมตร รองลงมา คือ โหระพาและยี่หระ โดยทั้งโหระพาและยี่หระมีขนาดปากใบไม่แตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปากใบของกะเพรามีขนาดเล็กที่สุด (0.016 ± 0.003 มิลลิเมตร) ดังภาพที่ 4 (ก) ส่วนความหนาแน่นของปากใบของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด พบว่ายี่หระมีความหนาแน่นของปากใบมากที่สุด ส่วนแมงลัก โหระพา และกะเพรา ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังภาพที่ 4 (ข)



ภาพที่ 3 ปากใบของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แมงลัก (ก) โหระพา (ข) ยี่หระ (ค) และกะเพรา (ง)

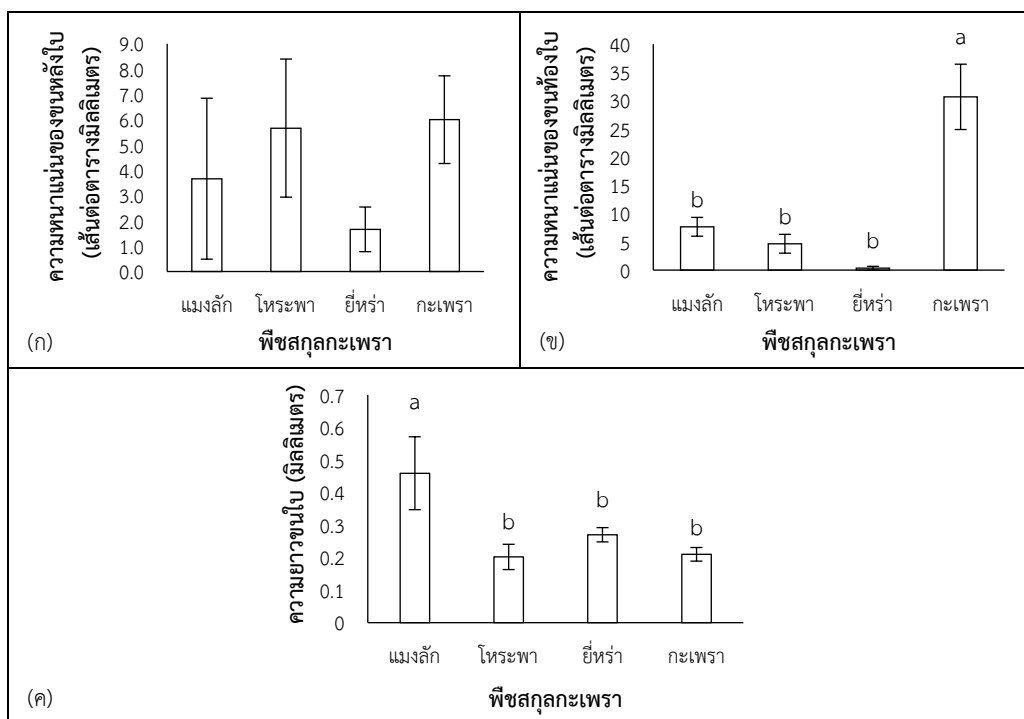


ภาพที่ 4 ความยาวปากใบ (ก) และความหนาแน่นของปากใบ (ข) ของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แมงลัก โหระพา ยี่หระ และ กะเพรา

หมายเหตุ: - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (mean $\pm$ S.E.)

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

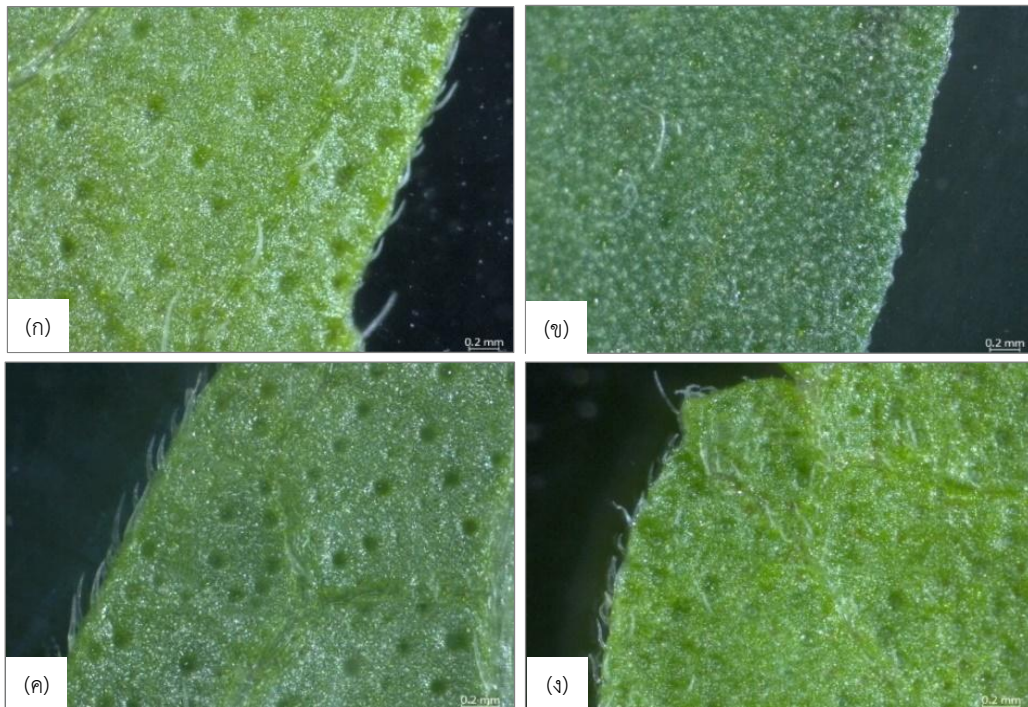
ความหนาแน่นของขนใบบริเวณด้านหลังใบของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังภาพที่ 5 (ก) เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของขนใบบริเวณด้านท้องใบ ดังภาพที่ 5 (ข) พบว่ากะเพรามีความหนาแน่นของขนใบมากที่สุด (30.67 ± 5.78 เส้นต่อตารางมิลลิเมตร) ในขณะที่แมงลัก โหระพา และยี่หระมีความหนาแน่นของขนใบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการศึกษาความยาวของขนใบ (ภาพที่ 6) พบว่าแมงลักมีความยาวของขนใบมากที่สุด (0.45 ± 0.11 มิลลิเมตร) ส่วนความยาวของขนใบของยี่หระ กะเพรา และโหระพาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังภาพที่ 5 (ค) เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของต่อมบริเวณด้านท้องใบและบริเวณด้านหลังใบ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังภาพที่ 7



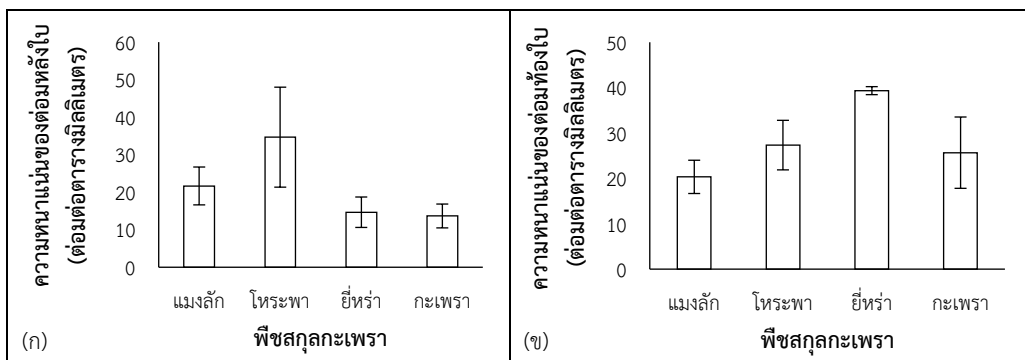
ภาพที่ 5 ความหนาแน่นของขนใบบริเวณด้านหลังใบ (ก) ด้านท้องใบ (ข) และความยาวของขนใบ (ค) ของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แมงลัก โหระพา ยี่หระ และกะเพรา

หมายเหตุ: - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (mean $\pm$ S.E.)

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 6 ลักษณะผิวใบของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แมงลัก (ก) โหระพา (ข) ยี่หระ (ค) และกะเพรา (ง)

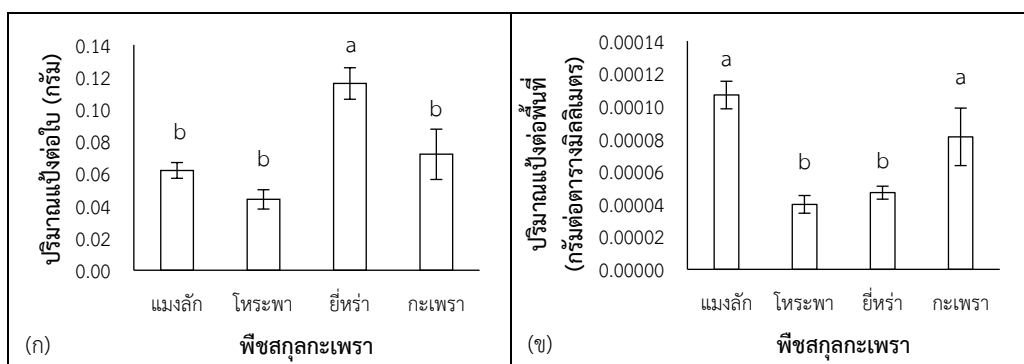


ภาพที่ 7 ความหนาแน่นของต่อมบริเวณด้านหลังใบ (ก) และด้านท้องใบ (ข) ของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แมงลัก โหระพา ยี่หระ และกะเพรา

หมายเหตุ: - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (mean $\pm$ S.E.)

2. การดักจับฝุ่นละอองของพืชสกุลกะเพรา 4 ชนิด

การศึกษาการดักจับฝุ่นละอองของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แมงลัก โหระพา ยี่หระ และกะเพรา โดยการทดสอบกับฝุ่นแป้งข้าวเจ้าปริมาณ 10 กรัม ต่อ 1 ใบของพืชสกุลกะเพรา แต่ละชนิด พบว่าความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองต่อ 1 ใบของยี่หระมีมากที่สุด (0.116 ± 0.009 กรัม) ในขณะที่กะเพรา แมงลัก และโหระพา ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ถ้าพิจารณาฝุ่นแป้งที่เหลืออยู่บนใบของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ต่อพื้นที่ใบขนาด 1 ตารางมิลลิเมตร พบว่าใบแมงลักและกะเพรามีปริมาณฝุ่นแป้งไม่ต่างกันแต่สูงกว่าใบโหระพาและยี่หระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ปริมาณแป้งต่อใบ (ก) และปริมาณแป้งต่อพื้นที่ใบ 1 ตารางมิลลิเมตร (ข) ของพืชสกุลกะเพรา ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แมงลัก โหระพา ยี่หระ และกะเพรา

หมายเหตุ: - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (mean $\pm$ S.E.)

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาลักษณะต่าง ๆ ของใบพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แมงลัก โหระพา ยี่หระ และกะเพรา สอดคล้องกับการรายงานของ Chowdhury *et al.* (2017) แต่รูปร่างใบแตกต่างจากการรายงานของ Sanoj and Deepa (2021) เล็กน้อย อาจเป็นเพราะสายพันธุ์ที่ต่างกัน ส่วนขนาดรูปร่างและขนาดปากใบของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิดมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการศึกษาของ Abdulrahman and Oladele (2005) ที่พบว่าขนาดปากใบของพืชสกุลกะเพรามีขนาด 23.46 ± 2.02 ถึง 31.50 ± 2.15 ไมโครเมตร สำหรับการศึกษาเนื้อเยื่อผิวใบต่อการดักจับฝุ่นละอองของพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แมงลัก โหระพา ยี่หระ และกะเพรา โดยใช้แป้งข้าวเจ้าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค 3-5 ไมครอน (วรศพนม และคณะ, 2560) เป็นตัวแทนของฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน (PM_{10}) (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) ซึ่งใบไม้ที่มีขนหรือผิวใบเป็นคลื่นจะมีประสิทธิภาพสูงในการดักจับและดูดซับฝุ่นละออง (Esposito *et al.*, 2020) เนื่องจากขนจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและช่วยกักเก็บฝุ่นละอองทำให้ฝุ่นละอองหลุดออกจากผิวใบได้ยากขึ้น (Leonard *et al.*, 2016) จากการ

ทดลองพบว่าความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองของใบแมงลักและกะเพรามีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองได้ดีไม่แตกต่างกัน แต่มีความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองมากกว่ายี่หระและโหระพาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใบแมงลักและกะเพราอาศัยลักษณะทางสัณฐานในการดักจับฝุ่นละอองแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาเนื้อเยื่อผิวใบของแมงลักพบว่าแมงลักมีปากใบขนาดใหญ่ที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ogunkunle *et al.* (2013) และ Kwak *et al.* (2020) ที่กล่าวถึงขนาดของปากใบแปรผันตรงกับการดักจับฝุ่นละออง โดยฝุ่นละอองสามารถผ่านเข้าสู่ปากใบและสะสมอยู่รอบ ๆ ปากใบ (Li *et al.*, 2019) นอกจากนั้นใบแมงลักยังมีความยาวขนใบมากที่สุดด้วย ซึ่งลักษณะขนใบยาวนี้สามารถช่วยเก็บกักความชื้นจากการคายน้ำของปากใบที่จะส่งผลให้ใบมีศักยภาพในการดักจับฝุ่นละอองมากขึ้น ส่วนความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองของใบกะเพราเกิดจากจำนวนใบและความหนาแน่นของขนด้านท้องใบมากที่สุด ส่วนใบยี่หระและโหระพามีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองน้อยกว่าแมงลักและกะเพราอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การที่ใบยี่หระมีปริมาณแป้งติดอยู่บนแผ่นใบมากที่สุดเพียงเพราะใบยี่หระมีพื้นที่ใบมากกว่าพืชชนิดอื่น แต่เมื่อเปรียบเทียบในขนาดพื้นที่ที่เท่ากันแล้วพบว่าประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองต่อพื้นที่น้อยกว่าพืชชนิดอื่น เนื่องจากใบพืชที่มีขนาดเล็กกว่ามีลักษณะยาวและแคบมีโอกาสดมผัสกับอนุภาคต่าง ๆ ได้มากกว่าใบที่กว้างและแบน (Sæbø *et al.*, 2012) นอกจากนั้นใบยี่หระยังมีความหนาแน่นของขนทั้งบริเวณหลังใบและท้องใบน้อยกว่าพืชชนิดอื่น ส่วนใบโหระพาแม้ว่าจะมีความหนาแน่นโดยรวมของขนหลังใบและใต้ท้องใบมากกว่าใบยี่หระเล็กน้อย แต่ขนใบสั้น เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองลดลง

นอกจากผิวใบของพืชสกุลกะเพราจะมีขนแล้วยังมีต่อมน้ำมันหอมระเหยที่เป็นเอกลักษณ์ด้วย (Sanoj and Deepa, 2021) จากการทดลองพบว่าพืชสกุลกะเพราทั้ง 4 ชนิด มีความหนาแน่นของต่อมน้ำมันหอมระเหยไม่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลของความหนาแน่นของต่อมน้ำมันหอมระเหยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองได้ แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยของ El-Khatib *et al.* (2011) และ Kwak *et al.* (2020) แสดงให้เห็นว่าใบพืชที่มีขนเหมือนกัน แต่ใบพืชที่มีต่อมน้ำมันหอมระเหยร่วมด้วยมีศักยภาพในการดักจับฝุ่นละอองมากกว่า

สรุปผลการวิจัย

ปัจจัยที่มีผลทำให้ใบแมงลักและกะเพรามีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นแบ่งอนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) มากกว่าใบยี่หระและโหระพา คือ ขนาดของปากใบ ความยาวขนใบ จำนวนใบ และความหนาแน่นของขนใบ โดยแมงลักและกะเพราอาศัยลักษณะผิวใบที่แตกต่างกันในการดักจับฝุ่นละออง ซึ่งแมงลักมีความยาวปากใบและขนใบมากที่สุด ส่วนกะเพรามีจำนวนใบและความหนาแน่นของขนใบมากที่สุด อย่างไรก็ตามนอกจากลักษณะของใบที่มีผลต่อการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กแตกต่างกันแล้ว ลักษณะทรงพุ่มและลักษณะวิสัยล้วนเป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองในอากาศได้ทั้งสิ้น ในการศึกษาระยะถัดไปจึงควรศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย เพื่อเป็นแนวทางนำไปสู่การคัดเลือกชนิดพืชที่เหมาะสมที่สุดในการดักจับฝุ่นละอองให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และศูนย์ประสานงานโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช สำนักส่งเสริมการเรียนรู้และบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือวิทยาศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2561). *โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล*. กรุงเทพฯ: กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2558). *แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศ กรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก*. กรุงเทพฯ: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- เตือนใจ ปิยัง กัตตินาฏ สกสวสดีพันธ์ และอเนก สวาทอินทร์. (2561). การศึกษาเก้าอี้ปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตแผ่นคอนกรีตปูพื้นทางเท้า. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 37(1), 81-94.
- ธิติมา วงษ์ชีรี. (2551). *ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์และการเกิดอาการสะท้อนหนาวของใบพืชสกุลกะเพรา*. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุรักษ์. (2552). *เคมีบรรยากาศ*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บาร์มี โอสีธิกุล และสัธยาภูมิ ไทยพานิช. (2558). การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการจัดจุดเสียบนพื้นที่ใบพืช. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- พาสินี สุนากร งามอาจ ภาพภาณี และพัชรียา บุญก้อแก้ว. (2559). การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการจับฝุ่นละอองของพรรณไม้เลื้อย. *สิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างวิจัย*, 15(2), 175-186.
- มัทนภรณ์ ใหม่คามิ และเพ็ญศิริ ไพจิตร. (2564). อิทธิพลของชนและปากใบต่อความสามารถในการดักจับฝุ่น PM₁₀ ของใบไม้พุ่มและใบไม้รอเลื้อยบางชนิด. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรธานี*, 9(3), 51-65.
- ราชันย์ ภูมา ปิยชาติ ไตรสารศรี จิรพรรณ โสภี นัยนา เทศนา มานพ ผู้พัฒน์ และโสมนัสสา ธนิกกุล. (2563). *ต้นไม้อัดฝุ่น PM2.5*. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- วิเศษชนม์ นิพนธ์ ฤทธิพร พุทธิม และจิรพร สวัสดิการ. (2560). การพัฒนาการผลิตแป้งฟลาวร์และสตาร์ชจากเมล็ดทุเรียน และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

- สุนันทา ช้องสาย. (2563). สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมและความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ในการผลิตไบจากมวนยาสูบ. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 39(1), 46-57.
- แอนนา เขียวขุ่ม. (2550). *ซีฟลักซ์ กายวิภาค และความสามารถของใบในการดักจับฝุ่นของไม้ยืนต้นบางชนิดในเขตเมือง*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Abdulrahaman, A.A. and Oladele, F.A. (2005). Stomata, trichomes and epidermal cells as diagnostic features in six species of genus *Ocimum* L. (Lamiaceae). *Nigerian Journal of Botany*, 18, 214-223.
- Azzazy, M.F. (2019). Micromorphology of pollen grains, trichomes of sweet basil, Egypt. *Advances in Complementary and Alternative medicine*, 5(1), 427-433, doi: <https://doi.org/10.31031/ACAM.2019.05.000604>.
- Chowdhury, T., Mandal, A., Roy, S.C. and De Sarker, D. (2017). Diversity of the genus *Ocimum* (Lamiaceae) through morpho-molecular (RAPD) and chemical (GC-MS) analysis. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 15(1), 275-286, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2016.12.004>.
- El-Khatib, A.A., El-Rahman, A.M., and Elsheikh, O.M. (2011). Leaf geometric design of urban trees: Potentiality to capture airborne particle pollutants. *Journal of Environmental Studies*, 7(1), 49-59, doi: <https://doi.org/10.21608/JESJ.2011.189119>.
- Esposito, F., Memoli, V., Panico, S.C., Di Natale, G., Trifuoggi, M., Giarra, A., and Maisto, G. (2020). Leaf traits of *Quercus ilex* L. affect particulate matter accumulation. *Urban Forestry and Urban Greening*, 54, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126780>.
- Kwak, M.J., Lee, J.K., Park, S., Kim, H., Lim, Y.J., Lee, K.A., Son, J., Oh, C.Y., Kim, I. and Woo, S.Y. (2020). Surface-based analysis of leaf microstructures for adsorbing and retaining capability of airborne particulate matter in ten woody species. *Forests*, 11(9), 1-20, doi: <https://doi.org/10.3390/f11090946>.
- Leonard, R.J., McArthur, C. and Hochuli, D.F. (2016). Particulate matter deposition on roadside plants and the importance of leaf trait combinations. *Urban Forestry and Urban Greening*, 20, 249-253, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.008>.
- Li, Y., Wang, S. and Chen, Q. (2019). Potential of thirteen urban greening plants to capture particulate matter on leaf surfaces across three levels of ambient atmospheric pollution. *International Journal Environmental Research and Public Health*, 16(3), 1-12, doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph16030402>.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., and Stevens, J.C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening*, 4(3-4), 115-123, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>.

- Ogunkunle, C.O., Abdulrahman, A.A., and Fatoba, P.O. (2013). Influence of cement dust pollution on leaf epidermal features of *Pennisetum purpureum* and *Sida acuta*. *Environmental and Experimental Biology*, 11(1), 73-79.
- Ram, S.S., Majumder, S., Chaudhuri, P., Chanda, S., Santra, S.C., Maiti, P.K., Sudarshan, M. and Chakraborty, A. (2014). Plant canopies: Bio-monitor and trap for re-suspended dust particulates contaminated with heavy metals. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(5), 499-508, doi: <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9445-8>.
- Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H.M., Gawronska, H., and Gawronski, S.W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*, 427-428, 347-354, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.084>.
- Sanoj, E. and Deepa, P. (2021). Micromorphological variations of trichomes in the genus *Ocimum* L. *Plant Science Today*, 8(3), 429-436, doi: <https://doi.org/10.14719/pst.2021.8.3.1006>.

การพัฒนากระถางเพาะกล้าไม้ที่ย่อยสลายได้จากวัสดุเหลือทิ้งการเพาะเห็ดแครง Development of Biodegradable Pots from Wastes of Cockle Mushroom Cultivation

ชาตรี หอมเขียว¹ นศพร ธรรมโชติ^{2*} และวรพงศ์ บุญช่วยแทน¹

Chatree Homkhiew¹, Nasaporn Thammachot^{2*} and Worapong Boonchouytan¹

บทคัดย่อ

ก้อนเห็ดที่หมดเชื้อเห็ดจากการเพาะเห็ดแครงมักกำจัดโดยการกองรวมกันในสวนยางพาราให้เกิดการย่อยสลายไปเองตามธรรมชาติหรือการเผาทำลาย ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามเชื้อเห็ดที่ย่อยสลายในก้อนเห็ดเป็นวัชพืชธรรมชาติที่สามารถนำมาพัฒนาเป็นกระถางเพาะกล้าไม้ได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อพัฒนากระถางเพาะกล้าไม้จากก้อนเชื้อที่หมดเชื้อเห็ด โดยศึกษาผลกระทบของปริมาณเชื้อเห็ดจากก้อนเห็ดแครงเก่าช่วง 120-150 กรัม และความเข้มข้นกาบแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เป็นตัวประสานช่วง 100-150 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตร ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่าที่ความเข้มข้นกาบแป้งมันสำปะหลังเท่ากัน การผสมเชื้อเห็ดจากก้อนเห็ดแครงเก่าเป็นส่วนผสมในกระถางเพิ่มขึ้นในช่วง 120-150 กรัม ส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และการผสมเชื้อเห็ดจากก้อนเห็ดแครงเก่าเป็นส่วนผสมในกระถางเพิ่มขึ้นในช่วง 120-135 กรัม ส่งผลให้ค่าแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอนเพิ่มขึ้นตามปริมาณเชื้อเห็ดไม้ ขณะเดียวกันพบว่าที่ปริมาณเชื้อเห็ดเท่ากัน การเพิ่มความเข้มข้นกาบแป้งมันสำปะหลังในช่วง 100-150 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตร ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนและเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดลง แต่ค่าแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอนเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของตัวประสานอย่างชัดเจน นอกจากนี้กระถางเพาะกล้าไม้จากเชื้อเห็ดก้อนเห็ดแครงเก่าทุกสูตรไม่มีรอยร้าว แตก หรือเกิดความเสียหายใด ๆ เมื่อตกกระแทกจากความสูง 60 เซนติเมตร สรุปได้ว่ากระถางเพาะกล้าไม้ที่ผลิตจากเชื้อเห็ด 120 กรัม และแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตรมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ผลิตกระถางเพาะกล้าไม้มากที่สุด เนื่องจากให้การเจริญเติบโตของพืชในมิติต่าง ๆ ดีที่สุด เป็นเพราะเชื้อเห็ดจากก้อนเห็ดเก่ามีปริมาณธาตุหลักในปริมาณที่สูง อีกทั้งเชื้อเห็ดไมยางพารายังมีธาตุอาหารหลักมากกว่าเชื้อเห็ดไม้เบญจพรรณ

คำสำคัญ: กระถาง เชื้อเห็ดไมยางพารา วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร แป้งมันสำปะหลัง ก้อนเชื้อเห็ดแครง

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

² สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

* Corresponding author e-mail: nasaporn.t@rmutsv.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.256634>

Received: 8 October 2022, Revised: 14 December 2022, Accepted: 27 December 2022

Abstract

Unleavened cockle mushroom lumps from mushroom cultivation were often eliminated by piles in the rubber plantations for decomposing in nature or incineration, resulting in an impact on the environment. However, the wood sawdust contained in the mushroom lumps is a natural material that can be developed into a seedling pot. Thus, the objective of this research is to develop the seedling pot from unleavened mushroom lumps, which investigates the effect of sawdust from unleavened cockle mushroom lumps in a range of 120-150 grams and concentration of the binder form cassava starch in a range of 100-150 grams per half liter of water. The results from the experiment showed that an increase of sawdust from old cockerel lumps as a pot mixture in range of 120-150 grams resulted in an increase of water absorption percentage with the same concentration of cassava starch. Also, an increase of sawdust as a pot mixture in range of 120-135 grams resulted in an increase in vertical and horizontal compressive forces with the amount of wood sawdust. Likewise, it was also found that with the same amount of sawdust, an increase of cassava starch concentration in range of 100-150 grams per half liter of water resulting in percentage of porosity and percentage of water absorption was reduced, but the vertical and horizontal compressive forces clearly increased with concentration of the binder. Furthermore, the pots from sawdust in all formulations had no cracks or any damage when dropped from a height of 60 centimeter. Finally, the seedling pot made from 120 grams of sawdust and 150 grams of tapioca starch per half liter of water is suitable for use in the production of seedling pots due to the best growth of plants in different dimensions. As a result, the sawdust from old mushroom lumps contains high amounts of major trace elements, and rubberwood sawdust contains more primary nutrients than other wood sawdust.

Keywords: Pot, Rubberwood sawdust, Agricultural waste, Cassava starch, Cockle mushroom lump

บทนำ

วิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เพาะเลี้ยงเห็ดแครง ตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เป็นวิสาหกิจชุมชนที่มีศักยภาพในการผลิตเห็ดแครง อย่างไรก็ตามเมื่อก่อนเห็ดหมดเชื้อเห็ดจากการเพาะเห็ด ขี้เลื่อยไม้ที่อยู่ในก้อนเห็ดจะถูกกำจัดโดยการกองรวมกันในสวนยางพาราเพื่อให้เกิดการย่อยสลายไปเองตามธรรมชาติหรือการเผาทำลาย ดังภาพที่ 1 ซึ่งการกำจัดด้วยวิธีเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มลพิษทางอากาศจากการหมักหมม เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์มีพิษ และไม่เป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือทิ้ง แต่ขี้เลื่อยไม้ที่อยู่ในก้อนเห็ดเป็นวัสดุธรรมชาติที่สามารถนำมาพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องดังเช่นกระถางเพาะกล้าไม้ได้ ซึ่งการจัดการด้วยวิธีดังกล่าวจะเป็นการพัฒนา

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เพาะเลี้ยงเห็ดแครงให้เป็นไปตามแนวทางโมเดลเศรษฐกิจใหม่ที่เรียกว่า "BCG" หรือ bio-circular-green economy เศรษฐกิจชีวภาพ-เศรษฐกิจหมุนเวียน-เศรษฐกิจสีเขียว โดย BCG โมเดล ประกอบด้วย 3 เศรษฐกิจหลัก คือ "B" bio economy ระบบเศรษฐกิจชีวภาพ มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรชีวภาพอย่างคุ้มค่า เชื่อมโยงกับ "C" circular economy ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน ที่คำนึงถึงการนำวัสดุต่าง ๆ กลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด และทั้ง 2 เศรษฐกิจนี้อยู่ภายใต้ "G" green economy ระบบเศรษฐกิจสีเขียว ซึ่งมุ่งแก้ไขปัญหามลพิษ เพื่อลดผลกระทบต่อโลกอย่างยั่งยืน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2563)



ภาพที่ 1 ก้อนเชื้อเห็ดแครงเก่าที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งในชุมชน

การเพาะพันธุ์ต้นกล้าไม้ดอกและไม้ประดับมีความสำคัญอย่างมากกับเกษตรกรไทย และกระถางเพาะกล้าไม้มักถูกนำมาใช้ในกระบวนการเริ่มต้นของการขยายพันธุ์พืชเพื่อการเพาะปลูกต่อไป ในปัจจุบันอุปกรณ์หลักสำหรับการเพาะพันธุ์ต้นกล้าไม้ส่วนใหญ่นิยมใช้ถุงพลาสติกหรือกระถางพลาสติก ซึ่งเมื่อเกษตรกรปลูกลงดินก็จะนำต้นกล้าไม้ออกจากถุงเพาะก่อน ปัญหาหลักที่ตามมาคือปัญหาด้านมลภาวะที่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเป็นผลมาจากการมั่วจัดการกำจัด เช่น การเผาทำลายหรือฝังกลบ ดังนั้นการพัฒนานวัตกรรมกระถางเพาะกล้าไม้ที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติและผลิตมาจากวัสดุธรรมชาติ 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างเช่น ขี้เลื่อยจากก้อนเห็ดแครงเก่า จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดปริมาณการใช้พลาสติก เป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือใช้ และสามารถลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมได้ อย่างไรก็ตามในอดีตพบว่าการนำวัสดุธรรมชาติหรือวัสดุเศษเหลือใช้จากภาคการเกษตรหลายชนิดมาใช้ผลิตกระถาง ได้แก่ ผักตบชวา ขุยมะพร้าว ฟางข้าว กากตะกอนน้ำมันปาล์ม กากกาแฟ ทะลายปาล์มน้ำมัน และขี้เลื่อยไม้ ยกตัวอย่างการศึกษาของนิพนธ์ และคณะ (2565) ผลิตกระถางชีวภาพจากวัสดุธรรมชาติ 2 ชนิด คือ ชนิดแรกเป็นส่วนผสมของผักตบชวากับแยมันสำปะหลัง และชนิดที่สองเป็นส่วนผสมของผักตบชวากับกากมันสำปะหลัง โดยใช้แยมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังทำหน้าที่ตัวประสาน การศึกษาของนศพร และคณะ (2565) พัฒนาระถางเพาะกล้าไม้ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างทะลายปาล์มน้ำมันต่อขี้เลื่อยไม้ยางพารา ในขณะที่การศึกษาของจุฑามาศ (2564) ผลิตกระถางต้นไม้ย่อยสลายได้จากกากตะกอนโรงงานยางพาราร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดและทะลายปาล์ม การศึกษาของปิ่นประภา และสิรินารี (2563) พัฒนาระถางเพาะชำที่ย่อยสลายได้จากขุยมะพร้าวของอุตสาหกรรมผลิตสุราชาวร่วมกับขุยมะพร้าว การศึกษาของชัชวินทร์ และคณะ (2563) พัฒนาระถางต้นไม้อชีวภาพจากฝุ่นผงไบโอสบร่วมกับ

ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก การศึกษาของศิริศักดิ์ และจรัสชัย (2562) ศึกษาอัตราส่วนการผสมและคุณภาพของกระถางปลูกจากวัสดุเหลือใช้จากมะพร้าว การศึกษาของ Jirapornvaree *et al.* (2017) ผลิตกระถางต้นไม้จากวัสดุเศษเหลือจากสับปะรด การศึกษาของเตือนใจ และคณะ (2561) ผลิตกระถางต้นไม้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด โดยใช้ตัวประสานเป็นกาบแปงเปือก ขณะเดียวกันวรรณวิภา และคณะ (2561) ศึกษาธาตุอาหารของพืชและระยะเวลาในการย่อยสลายของกระถางเพาะชำชีวภาพที่มีส่วนประกอบของกากกาแฟผสมปูนขาวจากเปลือกหอย และการศึกษาของกิตติชัย และคณะ (2558) นำขุยมะพร้าว ฟางข้าว และผักตบชวาที่เป็นวัสดุในท้องถิ่นมาใช้ในการเพาะชำชีวภาพและใช้กาบแปงเปือกเป็นตัวประสาน

จากข้อมูลของงานวิจัยในอดีตแสดงให้เห็นว่าการผลิตกระถางจากวัสดุเศษเหลือใช้เป็นการนำวัสดุธรรมชาติในท้องถิ่นมาผสมกับตัวประสานจำพวกกาบแปงเปือก โดยเฉพาะแปงมันสำปะหลังมีการนำมาประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ งานวิจัย อย่างไรก็ตามยังไม่พบการนำก้อนเห็ดแครงมาใช้เป็นวัสดุดิบและมีการเติมสารอาหารสำหรับพืชเป็นส่วนผสมเพื่อพัฒนาเป็นกระถางเพาะกล้าไม้ ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนากระถางเพาะกล้าไม้ที่สามารถย่อยสลายได้ โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดแครงและมีการเติมสารอาหารสำหรับพืชเป็นส่วนผสม และศึกษาผลกระทบของปริมาณเชื้อเห็ดแครงแก่ และความเข้มข้นตัวประสานที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล การเจริญเติบโตของต้นไม้ที่ปลูก และสรุปผลหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตกระถางเพาะกล้าไม้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยสามารถผลิตกระถางเพาะกล้าไม้จากก้อนเชื้อเห็ดแครงแก่ที่มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการใช้งาน สามารถสร้างอาชีพเสริมให้แก่สมาชิกวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เพาะเลี้ยงเห็ดแครง อีกทั้งยังช่วยลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมที่ชุมชนประสบปัญหาอยู่ในปัจจุบัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่นำมาใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) ขี้เลื่อยไม้ยางพาราจากก้อนเชื้อเห็ดแครงแก่ได้รับมาจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เพาะเลี้ยงเห็ดแครง ตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เนื่องจากขี้เลื่อยจากก้อนเห็ดแก่มีปริมาณธาตุหลักในปริมาณที่สูงกว่าขี้เลื่อยไม้ยางพารา ดังตารางที่ 1 2) แปงมันสำปะหลังชนิดพิเศษ ตราแมวแดงดาวเทียมลูกโลก จัดซื้อจากห้างหุ้นส่วนจำกัดเกรียงไกรค้าแปง และ 3) ปุ๋ยเคมี สูตร 46:0:0 ที่มีเฉพาะธาตุไนโตรเจน ใช้ผสมเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตของพืช

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร

วัสดุเศษเหลือ	ไนโตรเจน (N)	ฟอสฟอรัส (P2O5)	โพแทสเซียม (K2O)
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา (จรรุวรรณ, 2547)	0.25 เปอร์เซ็นต์	0.04 เปอร์เซ็นต์	0.21 เปอร์เซ็นต์
ขี้เลื่อยจากก้อนเห็ดแก่	1.70 เปอร์เซ็นต์	0.61 เปอร์เซ็นต์	1.13 เปอร์เซ็นต์
(พรศิลป์ และคณะ, 2559-2560)			

2. การผลิตกระถางเพาะกล้าไม้

ในการผลิตกระถางเพาะกล้าไม้จากวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดแครงสำหรับใช้เป็นชิ้นงานทดสอบสมบัติต่าง ๆ เริ่มจากการนำก้อนเชื้อเห็ดแครงแก่จากเกษตรกรมาฉีกถุงพลาสติกออก จากนั้น

ทำให้ร้อนเป็นซีเลื้อย แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นเตรียมตัวประสานโดยการนำแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำอัตราส่วนตามที่แสดงในตารางที่ 1 จากนั้นให้ความร้อนด้วยไฟอ่อน ๆ จนสีแป้งเปียกใส แล้วนำไปพักไว้ให้เย็นตัวก่อนนำไปผสมกับซีเลื้อย

เมื่อเตรียมซีเลื้อยจากวัสดุเหลือทิ้งและตัวประสานเรียบร้อยแล้ว นำวัสดุเหล่านั้นคลุกเคล้าให้เข้ากันตามสูตรส่วนผสมที่แสดงในตารางที่ 2 จากนั้นนำวัสดุผสมใส่ในแม่พิมพ์กระถางที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากกระถาง 105 มิลลิเมตร สูง 73 มิลลิเมตร และหนา 5 มิลลิเมตร แล้วอัดขึ้นรูปเป็นกระถางโดยใช้เครื่องอัดระบบไฮดรอลิก และใช้แรงดันในการอัด 1,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 วินาที หลังจากนั้นนำวัสดุที่ผ่านการขึ้นรูปออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปอบไล่ความชื้นหรืออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง จะได้กระถางเพาะกล้าไม้ (ภาพที่ 2)

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองอัตราส่วนผสมต่าง ๆ เพื่อใช้ขึ้นรูปกระถางเพาะกล้าไม้

สูตร	ก้อนเชื้อเห็ดเก่า (กรัม)	แป้งมันสำปะหลัง (กรัม)	น้ำ (มิลลิลิตร)	ปุ๋ยสูตร 46:0:0 (กรัม)
S120C100	120	100	500	1
S120C125	120	125	500	1
S120C150	120	150	500	1
S135C100	135	100	500	1
S135C125	135	125	500	1
S135C150	135	150	500	1
S150C100	150	100	500	1
S150C125	150	125	500	1
S150C150	150	150	500	1

หมายเหตุ: - S คือ ซีเลื้อยก้อนเชื้อเห็ดเก่า
- C คือ แป้งมันสำปะหลัง



ภาพที่ 2 กระถางเพาะกล้าไม้จากวัสดุเหลือทิ้งการเพาะเห็ดแครงสำหรับใช้เป็นชิ้นงานทดสอบสมบัติต่าง ๆ

3. การทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล

3.1 การทดสอบหาค่าความพรุนของกระถางเพาะกล้าไม้ โดยทำการทดสอบและคำนวณค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) หาความหนาแน่นรวม โดยนำกระถางมาตวัดเป็นขึ้นทดสอบขนาด 2.5 เซนติเมตร x 2.5 เซนติเมตร สูตรละ 3 ตัวอย่าง จากนั้นทำการชั่งน้ำหนัก วัดความกว้าง ความยาว และความสูง เพื่อคำนวณหาปริมาตรของขึ้นทดสอบ โดยใช้สมการ (1)

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

m คือ น้ำหนักขึ้นทดสอบ (กรัม)

v คือ ปริมาตรขึ้นทดสอบ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

2) หาความหนาแน่นของวัสดุ โดยชั่งขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ที่แห้งและสะอาด บันทึก (m_1) แล้วชั่งน้ำหนักขวดปรับปริมาตรที่บรรจุขึ้นส่วนตัวอย่างหลังบดละเอียด บันทึก (m_2) เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำขวดปรับปริมาตรไปอุ่น เมื่อปรากฏไอน้ำอุ่นต่ออีก 2-3 นาที จากนั้นให้น้ำเย็นไหลผ่านกันขวดปรับปริมาตรจนกระทั่งเย็นลง เติมน้ำกลั่นเพิ่มจนถึงขีดปริมาตร 50 มิลลิลิตร เช็ดขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่งอีกครั้ง บันทึก (m_3) โดยกำหนดความจุของขวดปรับปริมาตรเท่ากับ 50 มิลลิลิตร (V_S) (เตือนใจ และคณะ, 2561) จากนั้นคำนวณน้ำหนักของวัสดุ (m_S) จากสมการ (2)

$$m_S = (m_2 - m_1) \quad (2)$$

คำนวณหาปริมาตรของวัสดุ โดยใช้สมการ (3) และ (4)

$$V_W = \frac{(m_3 - m_2)}{\rho_{\text{อุณหภูมิ น้ำ ที่ทำการทดลอง}}} \quad (3)$$

$$V_S = (V_F - V_W) \quad (4)$$

เมื่อ V_W คือ ปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยวัสดุ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

V_S คือ ปริมาตรของวัสดุ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

V_F คือ ปริมาตรของของเหลว (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

คำนวณหาความหนาแน่นของวัสดุ จากสมการ (5)

$$\rho_S = \frac{m_S}{V_S} \quad (5)$$

เมื่อ ρ_S คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

m_S คือ มวลของวัสดุ (กรัม)

3) คำนวณหาความพรุน โดยใช้สมการ (6)

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ ε คือ ความพรุน

ρ_b คือ ความหนาแน่นของกระถาง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

ρ_s คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

3.2 การทดสอบการดูดซับน้ำของกระดาษเพาะกล้าไม้ ดำเนินการตามมาตรฐาน TAPPI T441 om-90 (TAPPI T 441, 2013) โดยนำกระดาษมาตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด 5 เซนติเมตร × 5 เซนติเมตร สุ่มละ 3 ตัวอย่าง จากนั้นชั่งน้ำหนักขึ้นทดสอบก่อนการแช่น้ำด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลที่มีความละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง แล้วนำชิ้นทดสอบแช่น้ำให้ผิวด้านบนอยู่ใต้ผิวน้ำเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำชิ้นทดสอบซับน้ำด้วยกระดาษซับน้ำ และชั่งน้ำหนักขึ้นทดสอบหลังการแช่น้ำอีกครั้ง หลังจากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้น โดยใช้สมการ (7)

$$\%WA = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (7)$$

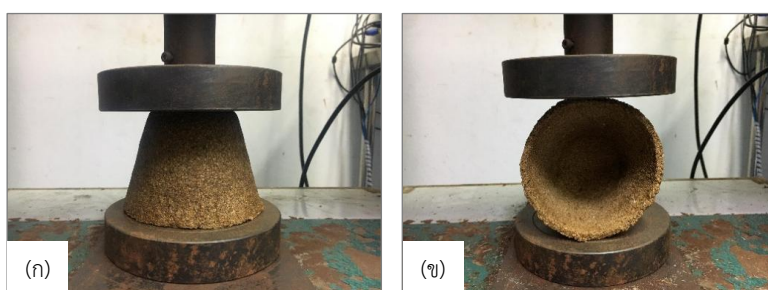
เมื่อ WA คือ การดูดซับน้ำ

W_1 คือ น้ำหนักหลังการแช่น้ำ

W_0 คือ น้ำหนักก่อนการแช่น้ำ

3.3 การทดสอบการต้านทานการตกกระแทกของกระดาษเพาะกล้าไม้ ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D 5276 (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2019) โดยนำกระดาษตัวอย่างยกสูงขึ้นจากพื้น ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร จากนั้นปล่อยกระดาษตัวอย่างให้ตกกระทบพื้น ซึ่งหากกระดาษไม่แตกหรือเสียหาย จะทำการเพิ่มระดับความสูงขึ้นครั้งละ 30 เซนติเมตร จนถึงความสูงสูงสุดคือ 150 เซนติเมตร โดยทำการทดสอบสุ่มละ 3 ตัวอย่าง

3.4 การทดสอบการต้านทานแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอนของกระดาษเพาะกล้าไม้ (ภาพที่ 3) ดำเนินการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางกลอเนกประสงค์ รุ่น NRI-TS500-50 จากบริษัท นรินท์ อินสทรูเมนต์ จำกัด ซึ่งในการทดสอบดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D642 (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2020) โดยใช้ความเร็วในการอัด 30 มิลลิเมตรต่อนาที ทดสอบสุ่มละ 3 ตัวอย่าง และบันทึกค่าแรงอัดที่การเสียรูป 15 มิลลิเมตร (พรฤดี, 2552)



ภาพที่ 3 การทดสอบการต้านทานแรงอัดในแนวตั้ง (ก) และแนวนอน (ข)

3.5 การทดสอบปลูกกล้าไม้ในกระดาษเพาะกล้าไม้เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของกล้าไม้ ดำเนินการโดยเตรียมดินปลูกสูตรเดียวกัน จากนั้นคัดเลือกกล้าไม้เป็นต้นพริกนำมาทดลองปลูก ซึ่งในการปลูกต้นกล้าจะรดน้ำทุก ๆ วัน วันละ 1 ครั้ง เช่นเดียวกับการปลูกปกติ หลังจากนั้นเก็บผลการเจริญเติบโต โดยวัดความสูงของกล้าไม้ ที่วัดจากผิวดินปลูกถึงยอดสูงสุดของต้นกล้า วัดความโตของ

ลำต้น โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับความสูงจากผิวดิน 1 เซนติเมตร อีกทั้งยังได้เก็บผลจำนวนใบอีกด้วย ในการทดสอบปลูกกล้าไม้ในกระถางเพาะกล้าไม้ดำเนินการเป็นระยะเวลา 1 เดือน (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การทดสอบปลูกกล้าไม้ในกระถางเพาะกล้าไม้

ผลการวิจัย

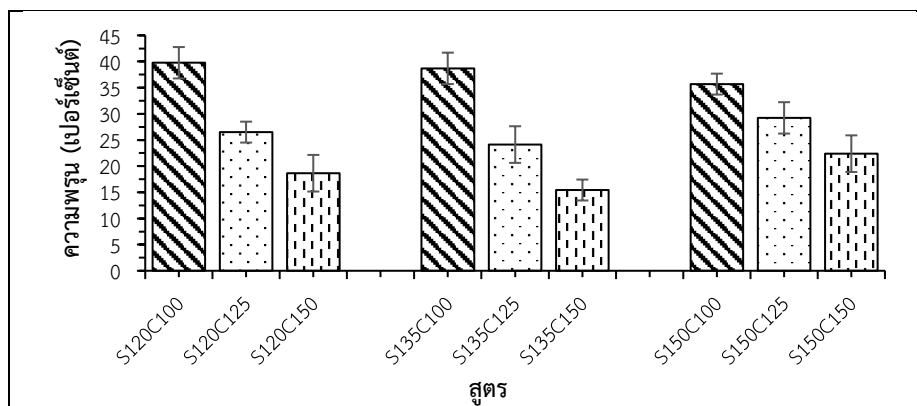
จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล คือ การทดสอบความพรุน การทดสอบการดูดซับน้ำ การทดสอบการต้านทานการตกกระแทก การทดสอบการต้านทานแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอน และการทดสอบปลูกกล้าไม้ในกระถางเพาะกล้าไม้ สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

1. ผลการทดสอบความพรุนของกระถางเพาะกล้าไม้

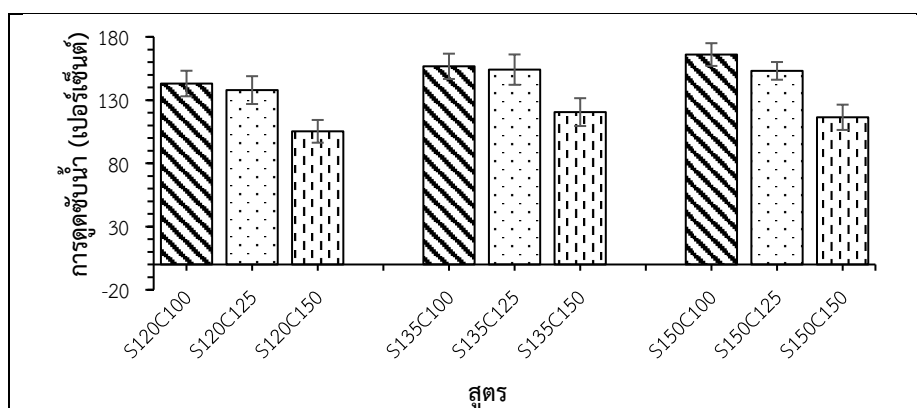
ผลกระทบของปริมาณซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าและปริมาณความเข้มข้นของตัวประสานต่อเปอร์เซ็นต์ความพรุนของกระถางเพาะกล้าไม้ ดังภาพที่ 5 พบว่าที่ความเข้มข้นแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตร การผสมซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าเป็นส่วนผสมในกระถางเพิ่มขึ้นในช่วง 120-135 กรัม ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณซีลี้อยาก แต่ที่ความเข้มข้นของแป้งมันสำปะหลัง 125-150 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตร การผสมซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าเป็นส่วนผสม 135 กรัม มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าที่ปริมาณซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าเท่ากัน การเพิ่มความเข้มข้นแป้งมันสำปะหลังในช่วง 100-150 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตร ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนลดลงตามความเข้มข้นของตัวประสานอย่างชัดเจน

2. ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของกระถางเพาะกล้าไม้

ผลกระทบปริมาณซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าและปริมาณความเข้มข้นของตัวประสานต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของกระถางเพาะกล้าไม้ ดังภาพที่ 6 โดยแสดงให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นแป้งมันสำปะหลังเท่ากัน การผสมซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าเป็นส่วนผสมในกระถางเพิ่มขึ้นในช่วง 120-135 กรัม ส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีลี้อยากที่เดิมเป็นส่วนผสม ในทางตรงกันข้ามเมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าเท่ากัน กระถางเพาะกล้าไม้ที่มีส่วนผสมของตัวประสานเข้มข้นมากขึ้น มีแนวโน้มของค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดลง



ภาพที่ 5 ผลกระทบปริมาณซีเมนต์จากก้อนเห็ดแครงเก่าต่อเปอร์เซ็นต์ความพรุนของกระถาง



ภาพที่ 6 ผลกระทบปริมาณซีเมนต์จากก้อนเห็ดแครงเก่าต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

3. ผลการทดสอบการต้านทานการตกกระแทกของกระถางเพาะกล้าไม้

การทดสอบการตกกระแทกเป็นอีกหนึ่งคุณสมบัติที่สำคัญในการใช้งานของกระถางเพาะกล้าไม้ เพราะในการใช้งานกระถางจะเกิดเหตุการณ์ตกกระแทกพื้นบ่อยครั้ง ซึ่งผลการทดสอบการตกกระแทกที่ระดับความสูงต่าง ๆ ดังตารางที่ 3 พบว่ากระถางเพาะกล้าไม้ทั้ง 9 สูตร ไม่มีรอยร้าว แตก หรือเกิดความเสียหายใด ๆ เมื่อตกกระแทกจากความสูง 30 และ 60 เซนติเมตร แต่เมื่อความสูง 90 เซนติเมตร พบว่ามีกระถางเพียงสูตรเดียวที่ตกกระแทกแล้วเกิดความเสียหาย คือ กระถางเพาะกล้าไม้ในสูตรที่มีส่วนผสมซีเมนต์ 150 กรัม และแบริ่งมันสำปะหลัง 100 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตร (S150C100) ขณะเดียวกันเมื่อทดสอบการตกกระแทกที่ระดับความสูง 120 เซนติเมตร พบว่ามีกระถางเพาะกล้าไม้จำนวน 6 สูตร คือ S120C100 S120C150 S135C100 S135C125 S150C125 และ S150C150 ไม่มีรอยร้าว แตก หรือเกิดความเสียหายใด ๆ อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบการตกกระแทกที่ระดับความสูง 150 เซนติเมตร พบว่ากระถางเพาะกล้าไม้ทั้ง 9 สูตร มีรอยร้าวและแตกเกิดขึ้น หมายความว่าในการใช้งานกระถางเพาะกล้าไม้ที่พัฒนาขึ้น สามารถทนต่อการตกกระแทกได้ดีในระยะไม่เกิน 120 เซนติเมตร

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการตกกระแทกของกระถางเพาะกล้าไม้

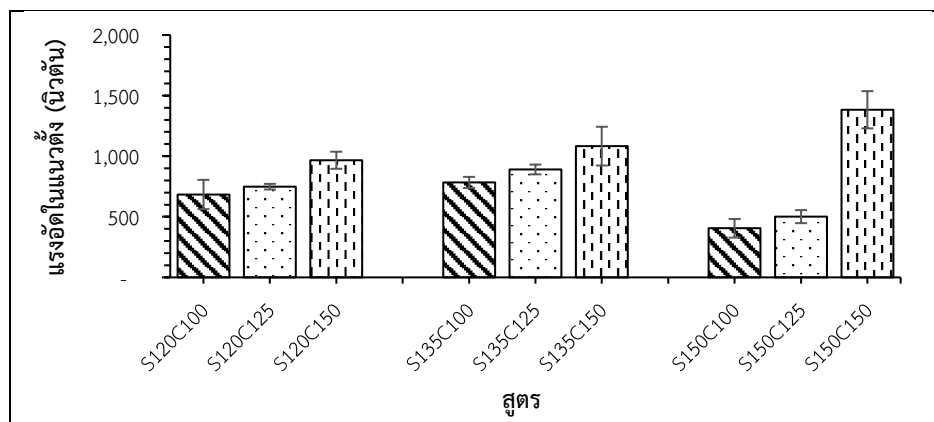
สูตร	ความสูงการทดสอบการตกกระแทก (เซนติเมตร)				
	30	60	90	120	150
S120C100	✓	✓	✓	✓	✗
S120C125	✓	✓	✓	✗	✗
S120C150	✓	✓	✓	✓	✗
S135C100	✓	✓	✓	✓	✗
S135C125	✓	✓	✓	✓	✗
S135C150	✓	✓	✓	✗	✗
S150C100	✓	✓	✗	✗	✗
S150C125	✓	✓	✓	✓	✗
S150C150	✓	✓	✓	✓	✗

หมายเหตุ: - ✓ คือ สภาพหลังทดสอบปกติ
 - ✗ คือ สภาพหลังทดสอบมีรอยร้าวหรือแตก

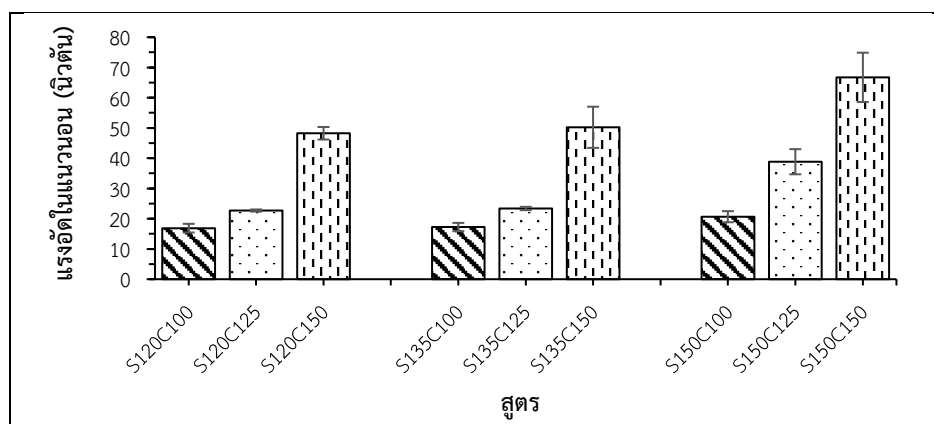
4. ผลการทดสอบการต้านทานแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอนของกระถางเพาะกล้าไม้

ผลกระทบปริมาณซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าและปริมาณความเข้มข้นของตัวประสานต่อค่าแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอนของกระถางเพาะกล้าไม้ ดังภาพที่ 7 และ 8 ตามลำดับ โดยชี้ให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นแป้งมันสำปะหลังในช่วง 100-125 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตร การผสมซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าเป็นส่วนผสมในกระถางเพิ่มขึ้นในช่วง 120-135 กรัม ส่งผลให้ค่าแรงอัดในแนวตั้งเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีลี้อยาก แต่เมื่อผสมซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าเป็นส่วนผสม 150 กรัม กลับส่งผลให้ค่าแรงอัดในแนวตั้งลดลงอย่างชัดเจน สิ่งนี้เป็นไปได้ว่าการผสมซีลี้อยากในปริมาณมากจนเกินไป ทำให้ตัวประสานไม่สามารถประสานได้อย่างทั่วถึง อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตร การผสมซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าเป็นส่วนผสมในกระถางเพิ่มขึ้นในช่วง 120-150 กรัม ส่งผลให้ค่าแรงอัดในแนวตั้งเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีลี้อยากอย่างเห็นได้ชัด

ขณะเดียวกันสำหรับค่าแรงอัดในแนวนอน ที่ความเข้มข้นของตัวประสานเท่ากัน การเพิ่มปริมาณซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าในช่วง 120-150 กรัม ส่งผลให้ค่าแรงอัดในแนวนอนเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีลี้อยาก และที่ปริมาณซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าเท่ากัน การเพิ่มความเข้มข้นแป้งมันสำปะหลังในช่วง 100-150 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตร ส่งผลให้ค่าแรงอัดในแนวนอนเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของตัวประสานอย่างชัดเจน นอกจากนี้สังเกตเห็นได้ว่าที่ปริมาณซีลี้อยากก่อนเห็ดแครงเก่าเท่ากัน การเพิ่มความเข้มข้นแป้งมันสำปะหลังในช่วง 100-150 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตร ส่งผลให้ค่าแรงอัดในแนวตั้งเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของตัวประสาน



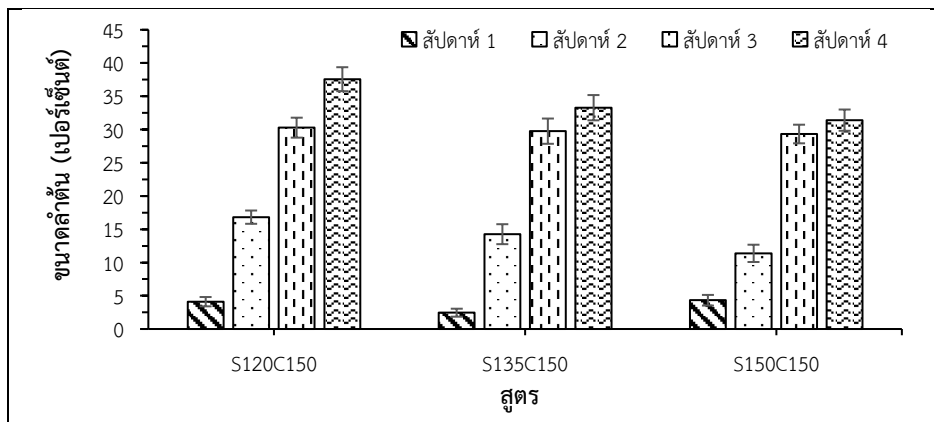
ภาพที่ 7 ผลกระทบปริมาณขี้เลื่อยจากก้อนเห็ดแครงแก่ต่อค่าการต้านทานแรงอัดในแนวตั้ง



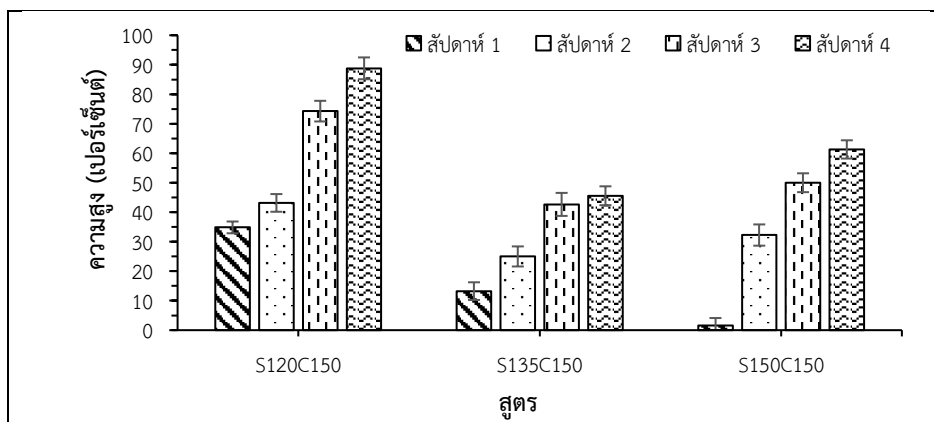
ภาพที่ 8 ผลกระทบปริมาณขี้เลื่อยจากก้อนเห็ดแครงแก่ต่อค่าการต้านทานแรงอัดในแนวนอน

5. ผลการทดสอบปลูกกล้าไม้ในกระถางเพาะกล้าไม้

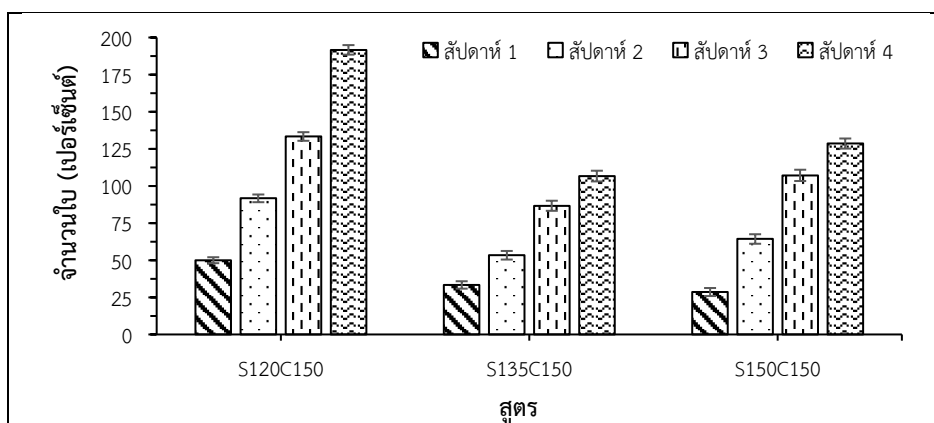
เมื่อพิจารณาผลการทดลองสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของกระถางเพาะกล้าไม้ที่มีผลกระทบมาจากปริมาณขี้เลื่อยจากก้อนเห็ดแครงแก่และความเข้มข้นตัวประสาน พบว่าสูตรส่วนผสมที่ใช้ผลิตกระถางเพาะกล้าไม้ที่มีความโดดเด่นในค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนต่ำ ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำน้อย ค่าการต้านทานการตกกระแทกได้ดี และค่าแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอนสูง คือ S120C150 S135C150 และ S150C150 โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนอยู่ในช่วง 15-22 เปอร์เซ็นต์ ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 105-120 เปอร์เซ็นต์ ค่าแรงอัดในแนวตั้งอยู่ในช่วง 967-1383 นิวตัน และค่าแรงอัดในแนวนอนอยู่ในช่วง 48.3-66.7 นิวตัน ดังนั้นสูตรส่วนผสมทั้ง 3 สูตรนี้จึงถูกนำไปใช้ผลิตกระถางเพาะกล้าไม้และนำไปทดสอบปลูกกล้าไม้ และผลการทดสอบปลูกกล้าไม้ในกระถางเพาะกล้าไม้สามารถแสดงได้เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ขนาดลำต้นของต้นกล้า ค่าเปอร์เซ็นต์ความสูงของต้นกล้า ค่าเปอร์เซ็นต์จำนวนใบของต้นกล้าในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังภาพที่ 9 10 และ 11 ตามลำดับ



ภาพที่ 9 เปอร์เซนต์ขนาดลำต้นของต้นกล้าในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ปลูกในกระถางเพาะกล้าไม้สูตรต่าง ๆ



ภาพที่ 10 เปอร์เซนต์ความสูงของต้นกล้าในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ปลูกในกระถางเพาะกล้าไม้สูตรต่าง ๆ



ภาพที่ 11 เปอร์เซนต์จำนวนใบของต้นกล้าในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ปลูกในกระถางเพาะกล้าไม้สูตรต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์ขนาดลำต้นของต้นกล้าในช่วงเวลาต่าง ๆ (ภาพที่ 9) พบว่าขนาดลำต้น (เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น) ของต้นกล้ามีขนาดใหญ่ขึ้นตามระยะเวลาการปลูกที่นานขึ้น อย่างไรก็ตามสามารถสังเกตเห็นได้ว่าต้นกล้าที่ปลูกในกระถางที่ผลิตมาจากสูตร S120C150 มีเปอร์เซ็นต์การเติบโตของลำต้นสูงที่สุด รองลงมาเป็นสูตร S135C150 และสูตร S150C150 มีเปอร์เซ็นต์การเติบโตของลำต้นต่ำที่สุด เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์ความสูงของต้นกล้าในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังภาพที่ 10 มีผลการทดลองที่สอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์ขนาดลำต้นของต้นกล้า โดยต้นกล้าที่ปลูกในกระถางที่ผลิตจากสูตร S120C150 มีเปอร์เซ็นต์ความสูงของต้นกล้ามากกว่าต้นกล้าที่ปลูกในกระถางสูตรอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์จำนวนใบของต้นกล้าในช่วงเวลาต่าง ๆ (ภาพที่ 11) ชี้ให้เห็นว่าต้นกล้าที่ปลูกในกระถางเพาะกล้าไม้สูตร S120C150 มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของจำนวนใบต้นกล้ามากกว่าต้นกล้าที่ปลูกในกระถางสูตรอื่น ๆ ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลการทดลองปลูกต้นกล้าในกระถางที่ผลิตมาจากส่วนผสมทั้ง 3 สูตร สามารถสรุปได้ว่าสูตรส่วนผสมที่มีซีลี้อยาก่อนเห็ดเครงเก่า 120 กรัม และแ่งมันสำปะหลัง 150 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตร (S120C150) มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ผลิตกระถางเพาะกล้าไม้ เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชในมิติต่าง ๆ ดีที่สุด

การอภิปรายผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อพัฒนากระถางเพาะกล้าไม้โดยศึกษาผลกระทบของปริมาณซีลี้อยาก่อนเห็ดเครงเก่าและความเข้มข้นตัวประสานทั้งหมด 9 สูตร แล้วศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกล ประกอบด้วย การหาค่าความพรุน การดูดซับน้ำ การต้านทานการตกกระแทก และการต้านทานแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอน ผลการวิจัยพบว่าที่ความเข้มข้นแ่งมันสำปะหลังเท่ากัน การผสมซีลี้อยาก่อนเห็ดเครงเก่าปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งนี้เป็นเพราะซีลี้อยาก่อนเห็ดเครงเก่ามีคุณสมบัติที่ดีในการดูดซับน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเดือนใจ และคณะ (2561) ที่พบว่าการดูดซับน้ำของกระถางต้นไม้ออกจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและก้อนเชื้อเห็ดเก่าสุดเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณอัตราส่วนผสมของก้อนเชื้อเห็ดเก่า และการผสมซีลี้อยาก่อนเห็ดเครงเก่าเป็นส่วนผสมในกระถางเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอนเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีลี้อย่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของชัชวรินทร์ และคณะ (2563) ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณส่วนผสมหลักในกระถาง ส่งผลให้สามารถรับแรงกดอัดตามแนวตั้งได้สูงขึ้น ขณะเดียวกันพบว่าที่ความเข้มข้นแ่งมันสำปะหลังที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนและเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดลง เนื่องจากแ่งมันสำปะหลังจะทำหน้าที่ประสานซีลี้อย่าให้ติดกัน ลดการเกิดช่องว่างระหว่างซีลี้อย่า ซึ่งจะส่งผลให้กระถางเพาะกล้าไม้มีความแข็งแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตามความเข้มข้นแ่งมันสำปะหลังที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้กระถางเพาะกล้าไม้จากซีลี้อย่าก่อนเห็ดเครงเก่า ไม่มีรอยร้าว แตก หรือเกิดความเสียหายใด ๆ เมื่อตกกระแทกจากความสูง 60 เซนติเมตร ซึ่งหลังจากนั้นจะเลือกอัตราส่วนผสมของกระถางที่มีสมบัติทางกายภาพและทางกลดีที่สุดจำนวน 3 สูตร เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืชในระยะเวลา 1 เดือน ผลการศึกษาพบว่ากระถางเพาะกล้าไม้ที่ผลิตจากซีลี้อย่า 120 กรัม และแ่งมันสำปะหลัง 150 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตร มีความเหมาะสมในการนำไปใช้มากที่สุด เนื่องจากพืชเจริญเติบโตได้ดี มีความโตของลำต้น ความสูง และจำนวนใบมากที่สุด เป็นเพราะซีลี้อยาก่อนเห็ดเก่ามีปริมาณธาตุหลักในปริมาณที่สูง ประกอบด้วย ไนโตรเจน (N) 1.70 เปอร์เซนต์ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 0.61

เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม (K_2O) 1.13 เปอร์เซ็นต์ (พรศิลป์ และคณะ, 2559-2560) อีกทั้งซีลีเนียมไม่เพียงพออาจมีธาตุอาหารหลักมากกว่าซีลีเนียมเบญจพรรณ (อัจฉรา และวัชรวิทย์, 2559)

สรุปผลการวิจัย

ปริมาณซีลีเนียมจากก้อนเห็ดแครงเก่าและความเข้มข้นตัวประสานมีผลกระทบอย่างชัดเจนต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของกระถางเพาะกล้าไม้ พบว่าปริมาณซีลีเนียมจากก้อนเห็ดแครงเก่ามีผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและค่าแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอนเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีลีเนียม เนื่องจากซีลีเนียมมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำที่ดี และมีคุณสมบัติในการต้านทานแรงกดอัดทั้งในแนวตั้งและแนวนอนได้ดี แต่ปริมาณซีลีเนียมมีผลเล็กน้อยต่อความพรุนของกระถางเพาะกล้าไม้ ในขณะเดียวกันพบว่าความเข้มข้นแอมโมเนียสำหรับเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนและเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดลง เนื่องจากแอมโมเนียสำหรับทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ซึ่งไปลดการเกิดช่องว่างระหว่างซีลีเนียม และถ้ายังมีความเข้มข้นมากจะทำให้ความพรุนและการดูดซับน้ำได้น้อยลง แต่ค่าความเข้มข้นแอมโมเนียสำหรับเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ค่าแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอนเพิ่มสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้กระถางเพาะกล้าไม้จากซีลีเนียมก้อนเห็ดแครงเก่า ไม่มีรอยร้าว แตก หรือเกิดความเสียหายใด ๆ เมื่อตกกระแทกจากความสูง 60 เซนติเมตร และผลจากการศึกษาการเจริญเติบโตของพืช พบว่ากระถางเพาะกล้าไม้ที่ผลิตจากซีลีเนียม 120 กรัม และแอมโมเนียสำหรับ 150 กรัมต่อน้ำครึ่งลิตร มีความเหมาะสมในการนำไปใช้มากที่สุด เป็นเพราะซีลีเนียมจากก้อนเห็ดเก่ามีปริมาณธาตุหลักในปริมาณที่สูง อีกทั้งซีลีเนียมไม่เพียงพออาจมีธาตุอาหารหลักมากกว่าซีลีเนียมเบญจพรรณ นอกจากนี้การนำซีลีเนียมจากก้อนเห็ดแครงเก่ามาใช้ทำกระถางจะช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรและคนในชุมชน ช่วยให้เกิดการรวมกลุ่มอาชีพเพิ่มมากขึ้น ลดการย้ายถิ่นทำงาน ช่วยในการลดปัญหาขยะพลาสติก และใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กสว.) (รหัสโครงการ 2239853) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 ภายใต้ชุดโครงการ “การวิจัยและพัฒนานวัตกรรมเพื่อสร้างคุณค่าและยกระดับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เพาะเลี้ยงเห็ดแครง ตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา บนพื้นฐานศักยภาพและทรัพยากรท้องถิ่นอย่างยั่งยืน”

เอกสารอ้างอิง

- กิตติชัย โสพันนา วิชชุดา ภาโสสม กนกวรรณ วรดวง และอนันตสิทธิ์ ไชยวังราช. (2558). การประดิษฐ์และสมบัติของกระถางชีวภาพ. *SNRU Journal of Science and Technology*, 7(2), 1-7.
- จารุวรรณ มณีศรี. (2547). การใช้ซีลีเนียมไม่เพียงพอเป็นสับสเตรทในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42* (หน้า 347-353). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- จุฑามาศ แก้วมณี. (2564). การผลิตกระถางต้นไม้ย่อยสลายได้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา ร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดและทะลายปาล์ม. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 24(1), 84-93.
- ชัชวินทร์ นวลศรี จักรกฤษ ศรีระออ คงเดช พะสีนาม ธันวมาส กาศสนุก ปุณณดา ทะรังสี และ นนทพร รัตนจักร. (2563). การพัฒนากระถางต้นไม้ชีวภาพจากฝุ่นผงใบยาสูบร่วมกับปุ๋ยหมัก และปุ๋ยคอก. *แก่นเกษตร*, 48(พิเศษ 1), 1003-1010.
- เตือนใจ ปิยัง วรณวิภา ไชยชาญ และกัตตินาฏ สุกสวัสดิพันธ์. (2561). การผลิตกระถางต้นไม้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 10(3), 497-511.
- นศพร ธรรมโชติ ขวกร มุกสาน ชโลธร ศักดิ์มาศ เศรษฐวัฒน์ ถนิมกาญจน์ และชาติรี หอมเขียว. (2565). สมบัติทางกายภาพของกระถางเพาะกล้าไม้ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างทะลายปาล์ม น้ำมันต่อขี้เลื่อยไม้ยางพารา. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม*, 15(1), 65-74.
- นิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล ธรพร บุศย์น้ำเพชร กนกวรรณ ศุภนันท์ และพิมพ์กา โพธิ์ลังกา. (2565). กระถางชีวภาพจากผักตบชวาโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, 8(1), 56-69.
- ปิ่นประภา โสมากุล และสิรินารี เงินเจริญ. (2563). กระถางเพาะชำที่ย่อยสลายได้จากขุยมะพร้าวและขุยมะพร้าว. ใน *การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา* (หน้า 36-45). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรฤดี สงวนสุข. (2552). การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียสำหรับกล้าไม้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พรศิลป์ สีเผือก ชัยสิทธิ์ ปรีชา และจุฑิชา สีเผือก. (2559-2560). ความหลากหลายของเชื้อราและแบคทีเรียในก้อนเชื้อเห็ดเก่าและแนวทางการใช้ประโยชน์. *รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*.
- วรรณวิภา ไชยชาญ เอนก สวาทอินทร์ และวีระศักดิ์ ไชยชาญ. (2561). ธาตุอาหารของพืชและระยะเวลาการย่อยสลายของกระถางเพาะชำชีวภาพ. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 37(พิเศษ), 12-26.
- ศิริศักดิ์ แสนสุขกะโต และจรัสชัย เย็นพยับ. (2562). การศึกษาอัตราส่วนการผสมและคุณภาพของกระถางปลูกจากวัสดุเหลือใช้จากมะพร้าว. *แก่นเกษตร*, 47(พิเศษ 1), 1485-1490.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2563). *BCG economy model คืออะไร*. สืบค้นเมื่อ 14 ตุลาคม 2565, จาก: https://www.nstda.or.th/home/knowledge_post/what-is-bcg-economy-model/.
- อัจฉรา บุญโรจน์ และวัชรวิทย์ รัตมี. (2559). การเพิ่มมูลค่าขี้เลื่อยเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดโดยการหมักร่วมกับมูลไก่เพื่อทำเป็นปุ๋ยหมัก. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม* (หน้า 58-64). นครปฐม: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.

- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2019). *Standard test method for drop test of loaded containers by free fall: ASTM D5276*. Pennsylvania: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2020). *Standard test method for determining compressive resistance of shipping containers, components, and unit loads: ASTM D642*. Pennsylvania: ASTM International.
- Jirapornvaree, I., Suppadit, T. and Popan, A. (2017). Use of pineapple waste for production of decomposable pots. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6, 345-350, doi: <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0183-5>.
- TAPPI T 441. (2013). *Water absorptiveness of sized (non-bibulous) paper, paperboard, and corrugated fiberboard (Cobb test)*. Chicago: Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

Antioxidant Activity of Indigenous Vegetables

in Suratthani Province

กามีละห์ ยะโกะ^{1*}Kameelah Yakoh^{1*}

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านและเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้าน 10 ชนิด ได้แก่ กระถิน ขี้เหล็ก ชะคราม ตะลิงปลิง เนียง ใบมะกอก ยอดสะเดา สะตอ เสม็ดแดง และเหลียง ทั้งในฤดูฝนและฤดูร้อนในจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าควอร์ไทล์ ความแปรปรวนทางเดียว และการทดสอบค่าที ผลการวิจัยพบว่าผักพื้นบ้านในฤดูฝนมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 2.87-92.03 โดยผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในระดับสูง ได้แก่ ขี้เหล็ก (ร้อยละ 92.03 ± 18.01) รองลงมา คือ ยอดสะเดา (ร้อยละ 78.83 ± 13.64) และสะตอ (ร้อยละ 73.73 ± 18.08) ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในฤดูร้อนอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 2.70-79.16 โดยผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระระดับสูง ได้แก่ กระถิน (ร้อยละ 79.16 ± 14.38) ขี้เหล็ก (ร้อยละ 71.16 ± 7.75) และสะตอ (ร้อยละ 64.06 ± 5.81) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในฤดูฝนและฤดูร้อน พบว่าประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านทั้ง 2 ฤดูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผักพื้นบ้านเป็นแหล่งที่ดีของสารต้านอนุมูลอิสระ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการบริโภคผักพื้นบ้านเพื่อสุขภาพ

คำสำคัญ: ผักพื้นบ้าน ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ฤดูกาล ดีพีพีเอช

¹ สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

* Corresponding author e-mail: armiday@hotmail.com

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.256643>

Received: 19 October 2022, Revised: 3 January 2023, Accepted: 9 January 2023

Abstract

The study was experimental research in order to analyze antioxidant activity and to compare the differences of 10 varieties of indigenous vegetables including *Leucaena leucocephala*, *Senna siamea*, *Suaeda maritima*, *Averrhoa bilimbi*, *Archidendron pauciflorum*, *Spondias mombin*, *Azadirachta indica*, *Parkia speciosa*, *Syzygium gratum* and *Gnetum gnemon* in rainy and summer season by 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) from Suratthani province. Statistical analyses were expressed as mean, standard deviation, quartile deviation, One Way ANOVA and t-test. The data of the present study showed indigenous vegetables in rainy season varied widely ranging from 2.87-92.03%. *S. siamea* ($92.03 \pm 18.01\%$) had the highest antioxidant activity, followed by *A. indica* ($78.83 \pm 13.64\%$), and *P. speciosa* ($73.73 \pm 18.08\%$), respectively. In addition, indigenous vegetables in summer season ranged from 2.70-79.16%. *L. leucocephala* ($79.16 \pm 14.38\%$) exhibited abundant the highest antioxidant activity, followed by *S. siamea* ($71.16 \pm 7.75\%$), and *P. speciosa* ($64.06 \pm 5.81\%$). To compare the difference of indigenous vegetables in rainy and summer season, the result showed a significant level at 0.05. This study revealed that indigenous vegetables are good sources of antioxidants. Therefore, healthy indigenous vegetables are another alternative for consumers.

Keywords: Indigenous vegetables, Antioxidant activity, Season, DPPH

บทนำ

โรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (non-communicable diseases) เช่น โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคมะเร็ง โรคระบบทางเดินหายใจ และโรคเบาหวาน เป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลขององค์การอนามัยโลกพบว่าโรคไม่ติดต่อเรื้อรังเป็นสาเหตุหลัก ทำให้มีผู้เสียชีวิตมากที่สุด ในปี พ.ศ. 2565 พบผู้เสียชีวิตทั่วโลกจากโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง 41 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 74 ของสาเหตุการเสียชีวิตทั้งหมดของประชากรทั่วโลก ในแต่ละปีมีผู้เสียชีวิต 17 ล้านคนที่อยู่ในกลุ่มอายุระหว่าง 30-69 ปี หรือร้อยละ 86 เสียชีวิตก่อนวัยอันควร ซึ่งเกิดขึ้นในกลุ่มประเทศที่มีรายได้ต่ำและกลุ่มประเทศที่มีรายได้ปานกลาง โดยพบผู้เสียชีวิตจากโรคหลอดเลือดหัวใจมากที่สุด (17.9 ล้านคน) รองลงมา คือ โรคมะเร็ง (9.3 ล้านคน) โรคระบบทางเดินหายใจ (4.1 ล้านคน) และโรคเบาหวาน (2 ล้านคน) (World Health Organization, 2022) สำหรับสถานการณ์ในประเทศไทย ในระหว่างปี พ.ศ. 2557-2561 สาเหตุการตายจากโรคไม่ติดต่อเรื้อรังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2561 โรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่มีอัตราการเสียชีวิตมากที่สุด ได้แก่ โรคมะเร็ง (ร้อยละ 123.3) รองลงมา คือ โรคหลอดเลือดสมอง (ร้อยละ 47.1) โรคหัวใจขาดเลือด (ร้อยละ 31.8) โรคเบาหวาน (ร้อยละ 21.9) และโรคความดันโลหิตสูง (ร้อยละ 13.1) ตามลำดับ (อรรถเกียรติ และคณะ, 2562) ทั้งนี้เนื่องจากปัจจุบันวัฒนธรรมการบริโภคของคนไทยเปลี่ยนแปลงไปตามโครงสร้างของสังคมจาก

สังคมชนบทสู่สังคมเมืองมากขึ้น เกิดกระแสนิยมบริโภคอาหารจานด่วน อาหารขยะ การบริโภคขนมกรุบกรอบ อาหารสำเร็จรูป มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทำให้ได้รับสารอาหารที่ด้อยคุณค่า และนำไปสู่การเกิดโรคต่าง ๆ ตามมา

อนุมูลอิสระเป็นสารที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมหรือผลจากการเผาผลาญของเซลล์ รวมถึงปัจจัยจากภายนอก เช่น รังสี มลพิษทางอากาศ ยารักษาโรคบางชนิด ความเครียด ควันบุหรี่ โอโซน เป็นต้น อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำลายโครงสร้างและหน้าที่ของผนังเซลล์ ทำให้เซลล์และระบบต่าง ๆ ในร่างกายเสื่อมสภาพและถูกทำลายในที่สุด เกิดเป็นโรคชราหรือแก่ก่อนวัย และนำไปสู่การเกิดโรคอื่น ๆ ตามมา เช่น การพัฒนาปลายพันธุ์เป็นเซลล์มะเร็ง โรคหลอดเลือดและหัวใจขาดเลือด เป็นต้น อย่างไรก็ตามร่างกายมีกลไกในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยใช้เอนไซม์ที่ร่างกายสร้างขึ้น ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอก ซึ่งพบมากในพืชผักและผลไม้ต่าง ๆ ที่มีสารพฤกษเคมีและวิตามินเป็นองค์ประกอบ เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน แอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิก สารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระและชะลอความเสื่อมของเซลล์ในร่างกาย ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้รับจากผักและผลไม้มีประสิทธิภาพในการช่วยชะลอกระบวนการแก่ (anti-aging) ลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งและโรคหัวใจ นอกจากนี้ยังสามารถลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งได้ จากข้อมูลทางระบาดวิทยาพบว่าผู้บริโภคผักและผลไม้ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงเป็นประจำ ช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคมะเร็ง เป็นต้น (Jideani *et al.*, 2021; Aune, 2019, Arias *et al.*, 2022)

สุราษฎร์ธานีเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคใต้ที่มีทรัพยากรอุดมสมบูรณ์ มีความหลากหลายทางชีวภาพ โดยเฉพาะผักพื้นบ้านที่มีให้เลือกรับประทานได้ตลอดปี หาได้ง่ายตามท้องถิ่น มีความปลอดภัยจากยาฆ่าแมลง รวมทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีสารพฤกษเคมีเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ อีกทั้งยังมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาสามารถใช้ในการป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ หากรับประทานเป็นประจำจะช่วยให้สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดโรคได้ ปัจจุบันผักพื้นบ้านได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายมากขึ้น จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าผักพื้นบ้านอุดมไปด้วยแร่ธาตุ วิตามิน และสารต้านอนุมูลอิสระสูง เช่น ขี้เหล็ก กระถิน สะเดา เถลิง ผักหนาม และผักหวานป่า เป็นต้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระพบว่าส่วนใหญ่มีสารประกอบฟีนอลิกสูง (phenolic compound) รวมทั้งมีสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (สุนันทา และลักษมี, 2562; ดลฤดี และนพรัตน์, 2557) ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้าน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านทั้งในฤดูฝนและฤดูร้อน เพื่อนำไปส่งเสริมให้มีการบริโภคผักพื้นบ้านเพื่อสุขภาพให้มากขึ้น อันจะนำไปสู่การมีสุขภาพที่ดีต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้าน 10 ชนิดในฤดูฝนและฤดูร้อน ได้แก่ กระถิน ขี้เหล็ก ชะคราม ตะลิงปลิง เนียง ใบมะกอก ยอดสะเดา สะตอ สมัดแดง และเถลิง ส่วนของผักพื้นบ้านที่นำมาใช้ในการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 1

1. การเก็บตัวอย่าง

เลือกซื้อผักพื้นบ้านจาก 5 ตลาด คือ ตลาดสดเทศบาล ตลาดภูธร 8 ตลาดสำเภาทอง ตลาดดอนนก และตลาดไคมอนด์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยเลือกซื้อผักพื้นบ้านชนิดละ 3 ร้าน ต่อตลาด ร้านละ 0.5-1.0 กิโลกรัม ผักพื้นบ้านแต่ละชนิดเก็บทั้ง 2 ฤดูกาล คือ ฤดูฝน (เดือนกันยายน ถึงเดือนธันวาคม) และฤดูร้อน (กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม) บรรจุตัวอย่างผักใน ถุงที่บ่งแสดงระหว่างนำไปยังห้องปฏิบัติการ (Somsub *et al.*, 2008)

2. การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างผักพื้นบ้านเพื่อสกัดทำตามวิธีของ Kahkonen *et al.* (1999) โดย นำผักพื้นบ้านแต่ละชนิดของทั้ง 3 ร้าน ในตลาดเดียวกันมารวมกัน จากนั้นเตรียมตัวอย่างผักพื้นบ้าน โดยการล้างผักทุกชนิดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก ด้วยน้ำประปาแล้วนำไปผ่านน้ำปราศจากไอออน (deionized water) คัดเลือกเฉพาะส่วนที่รับประทานได้ แล้วทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างและ จดบันทึก แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดให้ละเอียด (ทำซ้ำแบบเดียวกันทั้ง 5 ตลาด) ทำให้แห้งด้วยวิธีการ แห้งเยือกแข็ง (lyophilization) และนำตัวอย่างผักใส่ขวด ระบุรหัสตัวอย่างไว้ข้างขวด เก็บตัวอย่างผัก ไว้ที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างผักพื้นบ้านทั้ง 10 ชนิดทำการทดลอง 2 ซ้ำ (duplicate analysis)

3. การสกัดตัวอย่าง

การสกัดผักพื้นบ้านเพื่อศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระทำตามวิธีของ Thaipong *et al.* (2006) โดยนำตัวอย่างผักแต่ละชนิดจำนวน 5 กรัม มาสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 70 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปวางบนเครื่องเขย่า (อัตราส่วน 1:10 น้ำหนักต่อปริมาตร) ด้วยวิธีการเขย่า (shaking) ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาจึงนำไปกรองสารสกัด โดยใช้ปั๊มดูดสุญญากาศ (suction) จากนั้นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไป วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ทำตามวิธีของ Prior *et al.* (2005); Thaipong *et al.* (2006); Sharma and Bhat (2009) โดยนำตัวอย่างสารสกัดพืชแต่ละชนิดจำนวน 10 ไมโครลิตร เติมสารละลายดีพีพีเอช (DPPH) ที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 190 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันอย่างรวดเร็ว ทิ้งไว้ ให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืดนาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของ trolox การเตรียมสารมาตรฐาน trolox ละลายด้วยเอทานอลร้อยละ 70 ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร และนำไปเจือจางตามความเข้มข้น 0.1 1.0 10.0 25.0 50.0 และ 80.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และรายงานผลเป็นร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ โดยคำนวณจากค่า $[(OD_{control} - OD_{sample}) / OD_{control} \times 100]$

4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ (percentage) ค่าเฉลี่ย (mean) ส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ค่าควอร์ไทล์ (quartile deviation) ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และการทดสอบค่าที (t-test)

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่าผักพื้นบ้านในฤดูฝนมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 2.87-92.03 ดังตารางที่ 1 เมื่อคำนวณหาค่าควอร์ไทล์สามารถแบ่งข้อมูลเป็น 3 ระดับ คือ ผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในระดับสูง (มากกว่าร้อยละ 75.01) ได้แก่ ขี้เหล็กและยอดสะเดา ส่วนผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในระดับกลาง (ร้อยละ 17.03-75.01) ได้แก่ เสม็ดแดง ใบมะกอก เหลียง ชะคราม กระถิน และสะตอ และผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในระดับต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 17.03) ได้แก่ เนียงและตะลิงปลิง

สำหรับผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระผักพื้นบ้านในฤดูร้อน พบว่า มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 2.70-79.16 ดังตารางที่ 1 เมื่อคำนวณหาค่าควอร์ไทล์สามารถแบ่งข้อมูลได้เป็น 3 ระดับ คือ ผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในระดับสูง (มากกว่าร้อยละ 65.84) ได้แก่ กระถินและขี้เหล็ก ส่วนผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในระดับกลาง (ร้อยละ 10.96-65.84) ได้แก่ ใบมะกอก เหลียง เสม็ดแดง ชะคราม ยอดสะเดา และสะตอ และผักที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในระดับต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 10.96) ได้แก่ เนียงและตะลิงปลิง

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในฤดูฝนและฤดูร้อน พบว่าประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านทั้ง 2 ฤดูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในฤดูฝนสูงกว่าฤดูร้อน ได้แก่ ขี้เหล็ก ชะคราม ตะลิงปลิง เนียง ใบมะกอก ยอดสะเดา สะตอ เสม็ดแดง และเหลียง ส่วนผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในฤดูฝนที่ต่ำกว่าฤดูร้อน ได้แก่ กระถิน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในฤดูฝนและฤดูร้อน

ชื่อไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	ส่วนที่ใช้	ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ)		p-value
			ฤดูฝน	ฤดูร้อน	
กระถิน	<i>Leucaena leucocephala</i>	เมล็ด	44.06±12.46 ^{ad}	79.16±14.38 ^a	0.03*
ขี้เหล็ก	<i>Senna siamea</i>	ใบ	92.03±18.01 ^b	71.16±7.75 ^a	0.14
ชะคราม	<i>Suaeda maritima</i>	ใบ	39.16±7.14 ^{acd}	23.70±2.19 ^{cd}	0.02*
ตะลิงปลิง	<i>Averrhoa bilimbi</i>	ผล	14.43±3.36 ^{ac}	8.13±1.26 ^d	0.04*
เนียง	<i>Archidendron pauciflorum</i>	ผล	2.87±0.68 ^c	2.70±1.44 ^d	0.86
ใบมะกอก	<i>Spondias mombin</i>	ใบ	21.30±3.81 ^{ac}	11.90±1.99 ^d	0.02*
ยอดสะเดา	<i>Azadirachta indica</i>	ใบ	78.83±13.64 ^{de}	39.63±8.61 ^{bc}	0.01*
สะตอ	<i>Parkia speciosa</i>	ผล	73.73±18.08 ^{de}	64.06±5.81 ^{ab}	0.43
เสม็ดแดง	<i>Syzygium gratum</i>	ใบ	17.90±2.76 ^{ac}	17.80±8.17 ^{cd}	0.22
เหลียง	<i>Gnetum gnemon</i>	ใบ	30.93±7.47 ^{ac}	13.80±2.80 ^d	0.02*

หมายเหตุ: - ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

- * แสดงค่า $p < 0.05$

- a b c d หมายถึง ความแตกต่างของชุดข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าผักพื้นบ้านในฤดูฝนและฤดูร้อนที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด 3 อันดับแรก คือ ขี้เหล็ก (ร้อยละ 92.03 ± 18.01 และ 71.16 ± 7.75) รองลงมา คือ ยอดสะเดา (ร้อยละ 78.83 ± 13.64 และ 39.63 ± 8.61) และสะตอ (ร้อยละ 73.73 ± 18.08 และ 64.06 ± 5.81) ตามลำดับ ส่วนผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระต่ำสุด 3 อันดับ ได้แก่ เนียง (ร้อยละ 2.87 ± 0.68 และ 2.70 ± 1.44) รองลงมา คือ ตะลิงปลิง (ร้อยละ 14.43 ± 3.36 และ 8.13 ± 1.26) และเสม็ดแดง (ร้อยละ 17.90 ± 2.76 และ 17.80 ± 8.17) ตามลำดับ จากการศึกษาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการจับดีฟิเพอซซึ่งเป็นอนุมูลอิสระชนิดหนึ่ง พบว่าผักพื้นบ้านทุกชนิดทั้งในฤดูฝนและฤดูร้อนมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ) อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 2.70 ± 1.44 ถึง 92.03 ± 18.01 ผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ได้แก่ ขี้เหล็ก รองลงมา คือ ยอดสะเดา สะตอ และกระถิน ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าผักพื้นบ้านภาคใต้มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูง เช่น ยอดสะเดา ยอดขี้เหล็ก ยอดกระถิน ผักเหลียง ผักหนาม และเหริ่ง เป็นต้น (ดลฤดี และคณะ, 2557; ชัชฎาพร, 2558) และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผักพื้นบ้านในภาคอื่น ๆ ที่พบว่าผักพื้นบ้านมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ ใบอ่อนของส้มอ ชะมวง เม็ก กระโดนบก และส้มลม เป็นต้น (พินิตา, 2561) การศึกษาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในครั้งนี้ พบว่าผักพื้นบ้านมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าผักทั่วไปที่นิยมบริโภค 1 ถึง 65 เท่า เช่น คენห่า (ร้อยละ 85.79) กวางตุ้ง (ร้อยละ 80.59) กะหล่ำปลี (ร้อยละ 75.59) กะหล่ำดอก (ร้อยละ 65.20) บรอกโคลี (ร้อยละ 47.93) ผักบุ้ง (ร้อยละ 21.60) และแครอท (ร้อยละ 1.4) (Porter, 2012; Anwar *et al.*, 2013; Fidrianny *et al.*, 2014; Tharasena and Lawan, 2014)

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระอาศัยกลไกหลักในการวิเคราะห์ 2 กลไก คือ การวิเคราะห์จากการส่งผ่านอะตอมไฮโดรเจน (hydrogen atom transfer: HAT) เป็นการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธีการให้อะตอมไฮโดรเจน ได้แก่ oxygen radical absorbance capacity assay (ORAC) และวิธี total radical-trapping antioxidant parameter (TRAP) และการวิเคราะห์จากการส่งผ่านอิเล็กตรอน (single electron transfer: SET) เป็นการวัดความสามารถในการส่งผ่านอิเล็กตรอนรีดิวซ์สารอื่น ได้แก่ diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging assay (DPPH) ferric reducing antioxidant power assay (FRAP) และวิธี trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) ดังนั้นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระจึงสามารถศึกษาโดยผ่านกลไก HAT และ SET ซึ่งให้ผลผลิตที่เหมือนกันในขั้นสุดท้าย แม้ว่าจะมีกลไกทางจุลศาสตร์ที่แตกต่างกัน (โอภา, 2550; Ou *et al.*, 2002; Aksoy *et al.*, 2013) การวิเคราะห์ด้วยวิธีดีฟิเพอซเป็นการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการกำจัดอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลดีฟิเพอซเป็นอนุมูลไนโตรเจน มีสีม่วง เมื่ออนุมูลดีฟิเพอซได้รับไฮโดรเจนจากสารต้าน

อนุมูลอิสระ สารละลายของดีพีพีเอจะเปลี่ยนจากสารละลายสีม่วงเป็นสีเหลือง ในการศึกษครั้งนี้ จึงเลือกวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอเนื่องจากวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่นิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ มีความสะดวก รวดเร็ว และไม่ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง (บุหริน, 2556)

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในฤดูฝนและฤดูร้อน พบว่าผักพื้นบ้านในฤดูฝนและฤดูร้อนมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมักมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ฤดูกาล สภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศ สายพันธุ์ของพืช แต่ละชนิด พื้นที่เพาะปลูก ระยะของพืชที่เก็บเกี่ยว การขนส่ง การเก็บรักษา และการเตรียมตัวอย่าง เป็นต้น (Aldrich *et al.*, 2011; Samec *et al.*, 2013; Venkatachalam *et al.*, 2014; Wan *et al.*, 2014; Kongkachuichai *et al.*, 2015) ฤดูกาลจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารพฤกษเคมีในพืชต่าง ๆ จากการศึกษาของ Bhandari and Kwak (2014) ศึกษาผลของฤดูกาลต่อประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของบรอกโคลี พบว่าส่วนดอกของบรอกโคลีมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในฤดูใบไม้ผลิ (spring season) สูงกว่าฤดูใบไม้ร่วง (fall season) ส่วนใบและลำต้นมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในฤดูใบไม้ร่วงสูงกว่าฤดูใบไม้ผลิ สอดคล้องกับการศึกษาของ Aires *et al.* (2011) ศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักตระกูลกะหล่ำสายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่าบรอกโคลีและคะน้า (portuguese kale) มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดในช่วงฤดูใบไม้ผลิจนถึงฤดูร้อน (spring-summer) ในขณะที่กะหล่ำปลี (savoy cabbage) กะหล่ำปลีขาว (white cabbage) กะหล่ำปลีสายพันธุ์ Portuguese tronchuda ใบเทอร์นิฟ (turnip leaves) และรากเทอร์นิฟ (turnip roots) มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดในช่วงฤดูร้อนจนถึงฤดูหนาว (summer-winter) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Sivaci and Duman (2014) วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกในใบและลำต้นของอัลมอนด์ (*Prunus amygdalus*) สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่าประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล โดยใบของอัลมอนด์จะมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดในเดือนเมษายน และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดในเดือนตุลาคม ในขณะที่ลำต้นมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดในเดือนเมษายน และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดในเดือนมกราคม

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าผักพื้นบ้านมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูง โดยเฉพาะขี้เหล็ก ยอดสะเดา สะตอ และกระถิน จากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก คือ เมื่อประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะสูงด้วย ซึ่งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจัดเป็นสารพฤกษเคมีกลุ่มใหญ่ที่พืชสร้างขึ้น มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Kasangana *et al.*, 2015) นอกจากนี้ผักพื้นบ้านมักพบสารประกอบฟลาโวนอยด์สูง ซึ่งเป็นสารพฤกษเคมีที่พืชสร้างขึ้นซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยฟลาโวนอยด์บางชนิดมีฤทธิ์ทางชีวภาพต้านอนุมูลอิสระเหนือกว่าวิตามินซีหรือวิตามินอี (สุนันทา และลักษมี, 2562) สอดคล้องกับการศึกษาของประกิต และคณะ (2562) ศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวมและปริมาณฟลาโวนอยด์รวม พบว่าผักพื้นบ้านภาคใต้ ได้แก่ แห้วและหมากหมก มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงมีค่าเท่ากับ $IC_{50} = 37.47 \pm 8.18$

มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ปริมาณฟีนอลิกรวมและปริมาณฟลาโวนอยด์รวมมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ ผักพื้นบ้านเหล่านี้เป็นพืชที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นปลอดภัยจากยาฆ่าแมลง เหมาะสำหรับนำมาบริโภคเป็นผักเคียงหรือนำไปประกอบอาหาร มีสรรพคุณทางยาช่วยในการป้องกันและรักษาโรคต่าง ๆ ดังนั้นการบริโภคผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการดูแลสุขภาพและป้องกันการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังได้อย่างไรก็ตามในการบริโภคประจำวันควรบริโภคผักให้มีความหลากหลาย เนื่องจากพืชผักแต่ละชนิดมีสารอาหารและคุณค่าทางโภชนาการที่แตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

ผักพื้นบ้านในฤดูฝนมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 2.87-92.03 โดยผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในระดับสูง ได้แก่ ขี้เหล็ก (ร้อยละ 92.03 ± 18.01) รองลงมา คือ ยอดสะเดา (ร้อยละ 78.83 ± 13.64) และสะตอ (ร้อยละ 73.73 ± 18.08) ตามลำดับ ส่วนผักพื้นบ้านในฤดูร้อนมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 2.70-79.16 โดยผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในระดับสูง ได้แก่ กระถิน (ร้อยละ 79.16 ± 14.38) ขี้เหล็ก (ร้อยละ 71.16 ± 7.75) และสะตอ (ร้อยละ 64.06 ± 5.81) ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านทั้ง 2 ฤดูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทดสอบผลของวิธีการประกอบอาหาร เช่น การต้ม ลวก หรือผัด เพิ่มเติมเพื่อให้ทราบแนวโน้มของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านแต่ละชนิด
2. ควรศึกษาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในเซลล์หรือสัตว์ทดลองเพิ่มเติม
3. ควรศึกษาผักพื้นบ้านชนิดอื่น ๆ เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการส่งเสริมให้ประชาชนหันมาบริโภคผักพื้นบ้านมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

เอกสารอ้างอิง

- ชัยภาพร องอาจ. (2558). คุณสมบัตินิการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 46(3), 321-324.
- ดลฤดี พิษยรัตน์ และนพรัตน์ มะเท. (2557). ผลของการลวกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัตินิการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของผักพื้นบ้านภาคใต้บางชนิด. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 6(2), 36-46.
- บุหรัน พันธุ์สุวรรณ. (2556). อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 21(3), 275-286.

- ประกิต ไชยธาดา อัญญารัตน์ ลำเลิศ ชารีน่า เกตุมณี และธวัชชัย คงนุ้ม. (2562). ความสัมพันธ์ของปริมาณฟีนอลิกรวมและปริมาณฟลาโวนอยด์รวมที่มีต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเหาะและหมากหมก. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 38(2), 120-134.
- พินิดา แสนประกอบ. (2561). การศึกษาสารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในจังหวัดร้อยเอ็ด. *วารสารวิชาการเกษตร*, 36(3), 293-301.
- สุนันทา ช้องสาย และลักขมี วิทยา. (2562). สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเสม็ดขาวและเสม็ดแดง. *รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*.
- อรรถเกียรติ กาญจนพิบูลวงศ์ ภาณุวัฒน์ คำวังสง่า และสุธิดา แก้วทา. (2562). รายงานสถานการณ์โรค NCDs เบาหวาน ความดันโลหิตสูง และปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้อง พ.ศ. 2562. กรุงเทพฯ: อักษรกราฟฟิคแอนดี้ดีไซน์.
- โอภา วัชรคุปต์ ปรีชา บุญจูง จันทนา บุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดดีสินทอง. (2550). สารต้านอนุมูลอิสระ (*radical scavenging agents*). (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: นิเวศมิตรการพิมพ์.
- Aires, A., Fernandes, C., Carvalho, R., Bennett, R.N., Saavedra, M.J. and Rosa, E.A. (2011) Seasonal effects on bioactive compounds and antioxidant capacity of six economically important Brassica vegetables. *Molecules*, 16(8), 6816-6832, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules16086816>.
- Aksoy, L., Kolay, E., Agilonua, Y., Aslan, Z. and Kargioglu, M. (2013). Free radical scavenging activity, total phenolic content, total antioxidant status, and total oxidant status of endemic *Thermopsis turcica*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(3), 235-239, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.02.003>.
- Aldrich, H.T., Kendall, P., Bunning, M., Stonaker, F., Kulen, O. and Stushnoff, C. (2011). Environmental temperatures influence antioxidant properties and mineral content in broccoli cultivars grown organically and conventionally. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2, 1-10.
- Anwar, F., Kalsoom, U., Sultana, B., Mushtaq, M., Mehmood, T. and Arshad, H.A. (2013). Effect of drying method and extraction solvent on the total phenolics and antioxidant activity of cauliflower (*Brassica Oleracea* L.) extracts. *International Food Research Journal*, 20(2), 653-659.
- Arias, A., Feijoo, G. and Moreira, M.T. (2022). Exploring the potential of antioxidants from fruits and vegetables and strategies for their recovery. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 77(10), 1-16, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102974>.
- Aune, D. (2019). Plant foods, antioxidant biomarkers, and the risk of cardiovascular disease, cancer, and mortality: A review of the evidence. *Advances in Nutrition*, 10(4), S404-S421, doi: <https://doi.org/10.1093/advances/nmz042>.

- Bhandari, S.R. and Kwak, J.H. (2014). Seasonal variation in phytochemicals and antioxidant activities in different tissues of various Broccoli cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 13(4), 604-615, doi: <https://doi.org/10.5897/AJB2013.13432>.
- Fidrianny, I., Utari, P. and Ruslan, W.K. (2014). Evaluation of antioxidant capacities, flavonoid, phenolic, carotenoid content from various extracts of four kinds Brassica herbs. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(2), 265-272.
- Jideani, A., Silungwe, H., Takalani, T., Omolola, A.O., Udeh, H.O. and Anyasi, T.A. (2021). Antioxidant-rich natural fruit and vegetable products and human health. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 41-67, doi: <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1866597>.
- Kahkonen, M.P., Hopia, A.I., Vuorela, H.J., Rauha, J.P., Pihlaja, K., Kujala, T.S. and Heinonen, M. (1999). Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10), 3954-3962, doi: <https://doi.org/10.1021/jf990146l>.
- Kasangana, P.B., Haddad, P.S. and Stevanovic, T. (2015). Study of polyphenol content and antioxidant capacity of *Myrianthus arboreus* (Cecropiaceae) root bark extracts. *Antioxidants*, 4(2), 410-426, doi: <https://doi.org/10.3390/antiox4020410>.
- Kongkachuichai, R., Charoensiri, R., Yakoh, K., Kringkasemsee, A. and Insung, P. (2015). Nutrients value and antioxidant content of indigenous vegetables from Southern Thailand. *Food Chemistry*, 173, 838-846, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.123>.
- Ou, B., Huang, D., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J.A. and Deemer, E.K. (2002). Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: A comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(11), 3122-3128, doi: <https://doi.org/10.1021/jf0116606>.
- Porter, Y. (2012). Antioxidant properties of green broccoli and purple-sprouting broccoli under different cooking conditions. *BioscienceHorizons*, 5, 1-11, doi: <https://doi.org/10.1093/biohorizons/hzs004>.
- Prior, R.L., Wu, X., and Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290-4302, doi: <https://doi.org/10.1021/jf0502698>.

- Samec, D., Piljac-Zegarac, J., Bogovic, M., Habjanic, K. and Gruz, J. (2011). Antioxidant potency of white (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) and Chinese (*Brassica rapa* L. var. *pekinensis* (Lour.)) cabbage: The influence of development stage, cultivar choice and seed selection. *Scientia Horticulturae*, 128(2), 78-83, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.01.009>.
- Sharma, O.P. and Bhat, T.K. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chemistry*, 113(4), 1202-1205, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.008>.
- Sivaci, A. and Duman, S. (2014). Evaluation of seasonal antioxidant activity and total phenolic compounds in stem and leaves of some almond (*Prunus amygdalus*) varieties. *Biological Research*, 47(9), 1-5, doi: <https://doi.org/10.1186/0717-6287-47-9>.
- Somsub, W., Kongkachuichai, R., Sungpuag, P. and Charoensiri, R. (2008). Effects of three conventional cooking methods on vitamin c, tannin, myo-inositol phosphates contents in selected Thai vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(2), 187-197, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.08.002>.
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosbyb, K., Cisneros-Zevallos, L., and Byrne, D.H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(1), 669-675, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>.
- Tharasena, B. and Lawan, S. (2014). Phenolics, flavonoids and antioxidant activity of vegetables as Thai side dish. *APCBEE Procedia*, 8, 99-104, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.03.008>.
- Venkatachalam, K., Rangasamy, R. and Krishnan, V. (2014). Total antioxidant activity and radical scavenging capacity of selected fruits and vegetables from South India. *International Food Research Journal*, 21(3), 1039-1043.
- Wan, H., Liu, R., Sun, H., Yu, X., Li, Y., Cong, T. and Liu, D. (2014). Caco-2 cell-based antioxidant activity of 36 vegetables commonly consumed in China. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2(2), 88-95, doi: <https://doi.org/10.12691/jfnr-2-2-5>.
- World Health Organization. (2022). *Health topics*. Retrieved 1 September 2022, from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>.

การศึกษาชีววิทยาการเจริญของอึ่งปากขวด (*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) เพื่อเป็นต้นแบบการเพาะเลี้ยง

The Study on Developmental Biology of Truncate-snouted Burrowing Frog (*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) for Rearing System Model

ไกรฤกษ์ ทวีเชื้อ^{1*} วุฒิชัย ฤทธิ¹ บุญสนอง ช่วยแก้ว¹ สมิตานันท์ จันทะบุรี¹ ดำรงค์ศักดิ์ อาลัย²
และญาณพัฒน์ พรหมประสิทธิ์¹

Krailerk Taweechue^{1*}, Wuttichai Ritti¹, Boonsanong Chuaykaew¹,
Sumitahnun Chunthaburee¹, Damrongsak Arlai² and Yanaphat Promprasith¹

บทคัดย่อ

อึ่งปากขวด (*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) เป็นสัตว์ที่นอกจากมีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศแล้วยังมีความสำคัญด้านเป็นอาหารของมนุษย์ ปัจจุบันอึ่งปากขวดมีจำนวนลดลงเนื่องการถูกจับมาบริโภคและสภาพถิ่นที่อยู่อาศัยเปลี่ยนไป อย่างไรก็ตามมีรายงานข้อมูลทางด้านชีววิทยาของสัตว์ชนิดนี้น้อย การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชีววิทยาการเจริญของอึ่งปากขวดในระยะเอ็มบริโอ ระยะลูกอ๊อด (tadpole) และระยะลูกอึ่ง (froglet) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการเพาะเลี้ยงในสภาพเลียนแบบธรรมชาติและเป็นต้นแบบในการพัฒนาเป็นสัตว์เศรษฐกิจ ผลการทดลองพบว่าพัฒนาการของอึ่งปากขวดระยะเอ็มบริโอในสภาพเพาะเลี้ยงเลียนแบบธรรมชาติเป็นไปตามกระบวนการเจริญเติบโตของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก โดยเอ็มบริโอมีการเจริญและสามารถกะเพาะออกจากเยื่อหุ้มเป็นอึ่งปากขวดระยะลูกอ๊อดภายในประมาณ 24 ชั่วโมงหลังการปฏิสนธิ ลูกอ๊อดมีลักษณะสีและรูปร่างที่เป็นลักษณะเฉพาะชนิด และสามารถเจริญเป็นอึ่งปากขวดระยะลูกอึ่งใช้เวลาประมาณ 25-30 วัน มีขนาดตัวยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ผิวลำตัวสีน้ำตาลเข้มแต่มีแถบสีน้ำตาลที่จางกว่าพาดลำตัวด้านบน (dorsal) ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของแต่ละตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ยจากจำนวน 100 ตัวเท่ากับ 0.19 กรัม และเพิ่มขึ้นเป็น 4.14 11.10 22.00 และ 23.62 กรัม เมื่ออายุ 45 90 135 และ 180 วัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ข้อมูลนี้จึงเป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาด้อยอดในการเพาะพันธุ์อึ่งปากขวดเพื่อการบริโภคหรือใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

¹ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

² สาขาวิชาสัตวบาล คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

* Corresponding author e-mail: tkrailerk@yahoo.com

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.255203>

Received: 12 July 2022, Revised: 10 January 2023, Accepted: 31 January 2023

คำสำคัญ: อึ่งปากขวด การเจริญ เอ็มบริโอ ลูกอ๊อด ลูกอึ่ง

Abstract

The truncate-snouted burrowing frog (*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) plays an important role in the ecosystem and food source for humans. However, their number is decreasing due to over-harvest and severe habitat loss. However, the biological report of this animal species has been little known. The aims of this research were to study the developmental biology of the embryo, tadpole, and froglet stages. The obtained data from this research were needed for rearing this animal under the simulated natural condition and applying it as an economic animal. The results showed that adult male and female breeding could be accomplished in captivity. Embryo development followed the normal process of amphibian development. Embryo developed and hatched from the membrane into the tadpole stage within 24 hours after fertilization. The truncate-snouted burrowing frog tadpoles showed unique colors and shape. They took about 25-30 days to develop into a froglet stage. The early froglets were approximately 1 centimeter long. The skin was dark brown with individual unique light brown stripes on their bodies. The body weight mean of 100 individuals was 0.19 grams and increased to 4.14, 11.10, 22.00 and 23.62 grams at 45, 90, 135 and 180 days of age, representing a statistically significant difference in weight gain ($p < 0.05$). The study could be further applied in rearing the truncate-snouted burrowing frog for consumption or commercial uses.

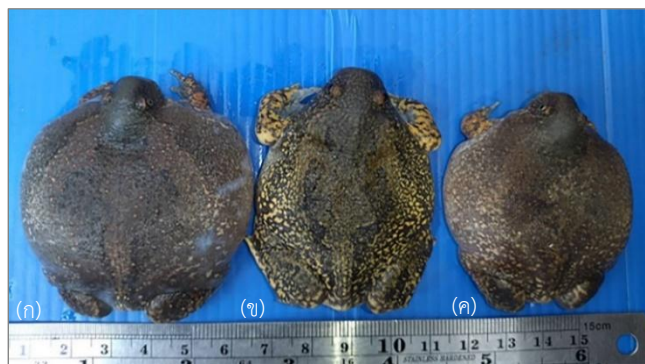
Keywords: Truncate-snouted burrowing frog, Development, Embryo, Tadpole, Froglet

บทนำ

อึ่งปากขวด (*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) หรือบางท้องถิ่นที่มีชื่อเรียกต่างออกไป เช่น อึ่งปากกระโดน อึ่งเพ้า อึ่งเค้า และอึ่งโกรก เป็นต้น เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่นอกจากจะบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ทางระบบนิเวศแล้ว ยังเป็นสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยมีการนำมาบริโภคตั้งแต่อดีตโดยเฉพาะในภาคเหนือและภาคอีสานของประเทศไทย อึ่งปากขวดมีลำตัวอ้วน ลำตัวสีดำหรือสีเทา มีจุดสีเหลือง ขนาดเล็กกระจายทั่วทั้งตัว ขาสั้น หัวสั้น หน้าสั้น ปากแคบทุและหนา ปากไม่ยื่นออกมาเหมือนกบ ส่วนของเยื่อช่องหู (tympanum) มองเห็นไม่ชัดเจน ระหว่างนิ้วเท้ามีแผ่นหนังทั้งเท้าหน้าและเท้าหลัง ความยาวจากปลายจมูกถึงรูกัน (snout vent length: SVL) ของตัวเต็มวัยประมาณ 70 มิลลิเมตร (นวพรรัช และณภักซ์, 2558) นอกจากนั้นในการศึกษาของ Laojumpon *et al.* (2012) ให้ข้อมูลละเอียดยิ่งขึ้นในส่วนของคุณาความยาวจากปลายจมูกถึงรูกันซึ่งพบว่าน้อยกว่ารายงานข้างต้นเล็กน้อย นั่นคือตัวอย่างที่เก็บจากภาคเหนือ

ภาคกลาง และภาคอีสานของประเทศไทย จำนวนรวม 297 ตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยความยาวดังกล่าวในเพศเมียเต็มวัยมากที่สุดเท่ากับ 66.03 มิลลิเมตร โดยเป็นตัวอย่างที่เก็บมาจากภาคเหนือของประเทศไทย ส่วนเพศผู้เต็มวัยค่าความยาวนี้เท่ากับ 63.48 มิลลิเมตร โดยเป็นตัวอย่างที่เก็บมาจากภาคกลางของประเทศไทย

อึ่งปากขวดเพศผู้และเพศเมียมีลักษณะคล้ายกันแต่เพศผู้มีสีที่เด่นชัดกว่า โดยเฉพาะจุดสีเหลืองหรือสีส้มที่กระจายบนผิวหนังตัวและขา เพศเมียมีขนาดใหญ่กว่าและในฤดูผสมพันธุ์มีไข่ที่พร้อมผสม (ภาพที่ 1) นอกจากลักษณะความเด่นชัดของจุดสีและขนาดตัวที่ต่างกันแล้ว ถุงลม (vocal sac) เป็นอีกลักษณะที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างเพศผู้และเพศเมีย (Laojumpon *et al.* 2012) โดยถุงลมนี้นพบได้ในเฉพาะเพศผู้เท่านั้น เพศผู้ใช้ถุงลมนี้นช่วยในการขยายเสียงให้ก้องและไกลเพื่อดึงดูดเพศเมีย จึงเป็นที่มาของชื่อในบางพื้นที่ซึ่งเรียกอึ่งชนิดนี้ว่าอึ่งโกรกตามเสียงร้องที่คนได้ยิน



ภาพที่ 1 ลักษณะอึ่งปากขวดเพศเมีย (ก และ ค) มีจุดสีเหลืองหรือสีส้มที่ผิวหนังตัวและขาจางกว่าเพศผู้ (ข) ซึ่งมีลักษณะของจุดสีเหลืองหรือสีส้มที่ผิวหนังตัวและขาที่ชัดเจนกว่า

อึ่งปากขวดแพร่กระจายในประเทศกัมพูชา ลาว พม่า เวียดนาม และไทย (Nonsrirach and Lauprasert, 2019) โดยในประเทศไทยสามารถพบได้ทุกภาคยกเว้นภาคใต้ตอนล่าง อาศัยอยู่ตามโพรงดินที่เป็นดินทรายร่วนในบริเวณป่าเต็งรัง ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายนซึ่งเป็นช่วงฝนตกหนักครั้งแรกอึ่งปากขวดจะขึ้นมาจากใต้ดินเพื่อมาผสมพันธุ์ วางไข่ และออกหากินในช่วงเวลากลางคืน จึงเป็นโอกาสของชาวบ้านจับมาประกอบอาหาร ตามที่สัตว์ชนิดนี้ใช้ชีวิตส่วนใหญ่อยู่ในโพรงดิน การพบเห็นอึ่งปากขวดจึงเป็นสิ่งที่ยากทำให้ข้อมูลชีววิทยาของสัตว์ชนิดนี้ยังมีอยู่ค่อนข้างจำกัด (Altig and Rowley, 2014; Nonsrirach and Lauprasert, 2019) ปัจจุบันอึ่งปากขวดในธรรมชาติมีจำนวนลดลง เพราะถูกจับมาเพื่อจำหน่ายและบริโภคเป็นอาหารในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก (ธเนศ, 2562) แม้สถานภาพปัจจุบันของอึ่งปากขวดไม่ได้ถูกจัดเป็นสัตว์ป่าคุ้มครองตามพระราชบัญญัติสงวนและสัตว์ป่าคุ้มครอง พ.ศ. 2562 แต่องค์กร The International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species (IUCN: version 3) จัดให้อึ่งปากขวดอยู่ในกลุ่มสัตว์ที่จำนวนลดลงและเสี่ยงใกล้ถูกคุกคาม (near threatened: NT) (The IUCN Red List of Threatened Species, 2022)

คณะนักวิจัยเห็นว่าอึ่งปากขวดน่าจะสามารถนำมาเพาะเลี้ยงเพื่อพัฒนาเป็นสัตว์เศรษฐกิจ จำหน่ายเป็นรายได้ทั้งหลักและเสริมได้ในรูปแบบของการนำไปประกอบอาหารที่ใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น ที่มีอัตลักษณ์ดังเช่นในกรณีของปลาร้าจากจังหวัดพัทลุง สงขลา และนครศรีธรรมราช (ยุทนา และอมรรัตน์, 2555) และกึ่งก้ามกรามบางแพ (ชฎาพร และนภธีรา, 2565) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การสร้างองค์ความรู้ด้านชีววิทยาการเจริญและการเลี้ยงลูกอึ่งเป็นความจำเป็นเร่งด่วนเพื่อใช้ข้อมูล พื้นฐานมาช่วยส่งเสริมการประกอบอาชีพให้กับชาวบ้านในรูปแบบของการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์เพื่อ สร้างรายได้ นอกจากนี้ยังได้ข้อมูลสำหรับการจัดการอนุรักษ์อึ่งปากขวดให้คงอยู่ในระบบนิเวศ ตลอดไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชีววิทยาการเจริญของอึ่งปากขวดในระยะ เอ็มบริโอ ระยะลูกอ๊อด และระยะลูกอึ่ง เพื่อเป็นข้อมูลต่อยอดในการพัฒนาให้อึ่งปากขวดสามารถ เพาะเลี้ยงในสภาพคอกเพาะเลี้ยงเลียนแบบธรรมชาติให้เป็นระบบต้นแบบในการพัฒนาเป็นสัตว์ เศรษฐกิจต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สัตว์ทดลองและการจัดให้ผสมพันธุ์

แหล่งที่มาของพ่อแม่พันธุ์อึ่งปากขวดและสถานที่ทำการวิจัย คือ ตำบลต้อม อำเภอมือง จังหวัดพะเยา ทำการทดลองระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 การวิจัยครั้งนี้ใช้ พ่อแม่พันธุ์อึ่งปากขวดจำนวน 3 คู่ เป็นพ่อแม่พันธุ์ที่สมบูรณ์แข็งแรง (ภาพที่ 2 ก และ ข) ไม่มีการใช้ สารกระตุ้นการเจริญเติบโตของระบบสืบพันธุ์ใด ๆ นำมาปรับสภาพในบ่อทรายก่อนการผสมพันธุ์ ดำเนินการจัดให้มีการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติในบ่อซีเมนต์กลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร ใส่ น้ำสะอาดไว้ปริมาตร 0.23 ลูกบาศก์เมตร (ภาพที่ 2 ค) ทำการปล่อย พ่อแม่พันธุ์ลงไปบ่อละ 1-2 คู่ พร้อมเปิดน้ำจากสปริงเกอร์ เปิดเสียงร้องของอึ่งปากขวดเพื่อเลียนแบบ สภาพให้คล้ายธรรมชาติ ปล่อยให้พ่อแม่พันธุ์ผสมพันธุ์กันโดยไม่รบกวนทราบใดที่พ่อแม่พันธุ์ยังแสดง พฤติกรรมซีหลังเพศเมีย (copulation) ภายหลังเห็นการปล่อยไข่ของเพศเมีย จึงทำการแยกพ่อแม่พันธุ์ ออกจากบ่อ



ภาพที่ 2 พ่อแม่พันธุ์อึ่งปากขวดที่ใช้ในการทดลอง: พ่อพันธุ์ (ก) แม่พันธุ์ (ข) และบ่อผสมพันธุ์ (ค)

2. การศึกษาพัฒนาการของอึ่งปากขวดระยะเอ็มบริโอ

ภายหลังการผสมพันธุ์ใช้ปิเปตแก้ว (pasture pipette) ดูดเก็บตัวอย่างอึ่งปากขวดระยะเอ็มบริโอจำนวน 20 เอ็มบริโอ ทุกชั่วโมง จนกระทั่งกะเทาะออกจากเยื่อหุ้ม ตัวอย่างถูกเก็บในหลอดขนาด 15 มิลลิลิตรที่บรรจุ 10 เปอร์เซ็นต์ฟอร์มาลินรักษาสภาพเพื่อนำมาศึกษาขั้นตอนการเจริญเติบโตโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอและชุดบันทึกภาพ (Leica Application Suite LAS 4.7) ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

3. การเลี้ยงและศึกษาการเจริญเติบโตของอึ่งปากขวดระยะลูกอ๊อด

อึ่งปากขวดระยะเอ็มบริโอถูกเลี้ยงในบ่อผสมพันธุ์จนพัฒนาสามารถกะเทาะออกจากเยื่อหุ้มกลายเป็นอึ่งปากขวดระยะลูกอ๊อด ช่วง 3 วันแรกยังมีไข่แดง (yolk) ในตัวจึงไม่จำเป็นต้องให้อาหารใด ๆ จนกระทั่งวันที่ 4 จะเริ่มให้อาหารปลาตุ๊กเล็กโดยนำมาคลุกน้ำแล้วปั้นให้จับกันเป็นก้อนให้วันละ 2 ครั้ง เวลา 09.00 น. และ 17.00 น. ปริมาณการให้สังเกตจากให้มีอาหารกินเหลือเพียงเล็กน้อยของการให้แต่ละครั้ง และเพิ่มตามอายุของลูกอ๊อด พร้อมทำการวัดและบันทึกอุณหภูมิน้ำในช่วงเวลาดังกล่าว (ทำการถ่ายน้ำออก 50 เปอร์เซ็นต์ ทุก ๆ 3 วัน ทำการบันทึกภาพและเก็บตัวอย่างศึกษาการเจริญเติบโตทุก ๆ 5 วัน จนกระทั่งอึ่งปากขวดระยะลูกอ๊อดสามารถเจริญเติบโตเป็นอึ่งปากขวดระยะลูกอึ่ง

4. การเลี้ยงและศึกษาการเจริญเติบโตของอึ่งปากขวดระยะลูกอึ่งถึงอายุ 180 วัน

อึ่งปากขวดระยะลูกอึ่งถูกเลี้ยงในบ่อซีเมนต์กลมขนาดเดิม ใส่ดินร่วนปนทรายลงไปให้สูงขึ้นมา 30 เซนติเมตร ด้านบนถูกคลุมด้วยทรายและฟางข้าวสับเพื่อรักษาความชื้นในดินจำนวน 3 บ่อ บ่อละ 300 ตัว ในระยะนี้อาหารที่ให้คือปลวก (*Macrotermes* sp.) (ให้วันละ 2 ครั้ง เวลา 09.00 น. และ 17.00 น.) ร่วมกับการให้อาหารเองตามธรรมชาติจากอาหารที่หาได้ในบ่อเลี้ยง เช่น กิ้งกือ ไส้เดือน และมด เป็นต้น ทำการบันทึกภาพ สังเกตลักษณะ และสูบน้ำหนักจำนวน 100 ตัว จากทุกบ่อจำนวน 5 ครั้ง ได้แก่ อายุ 1 45 90 135 และ 180 วัน

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์น้ำหนักโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและวิเคราะห์ความแตกต่างของน้ำหนักเฉลี่ยตามอายุโดยใช้วิธีเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรม SPSS (Duncan, 1955)

6. จริยธรรมการวิจัยในสัตว์

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการขอและอนุญาตให้ดำเนินการวิจัยในสัตว์ทดลอง เลขที่ใบอนุญาต IACUC PBRU 080763012

ผลการวิจัย

1. การทดลองจัดให้อึ่งปากขวดผสมพันธุ์ ศึกษาการเจริญเติบโตของอึ่งปากขวดระยะเอ็มบริโอ และเพาะเลี้ยงอึ่งปากขวดระยะลูกอ๊อด

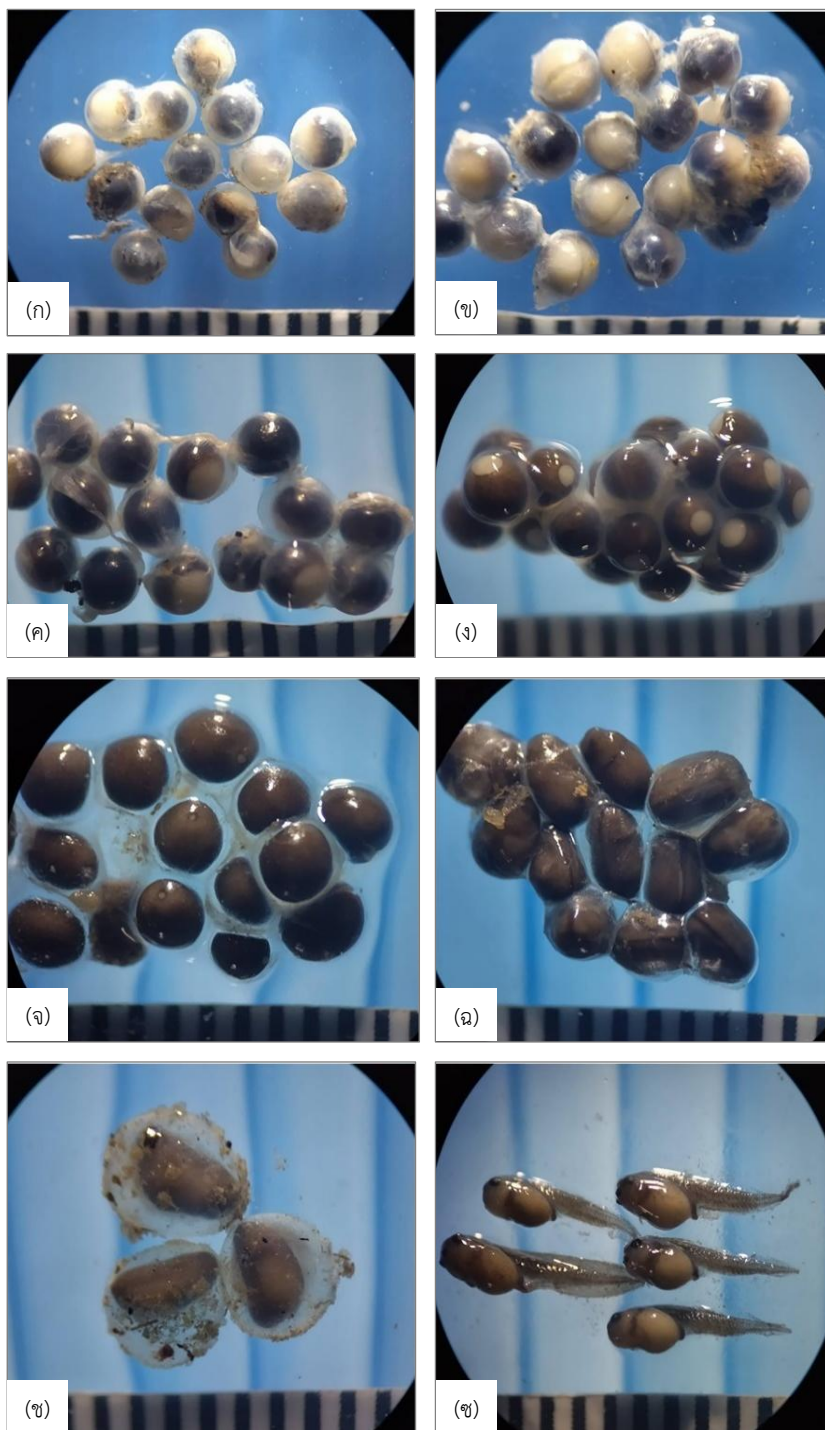
การศึกษาครั้งนี้พบว่าสามารถจัดให้มีการผสมพันธุ์อึ่งปากขวดเลียนแบบธรรมชาติได้โดยการใส่อึ่งปากขวดเพศผู้และเพศเมียที่มีไข่ในท้องเจริญเต็มที่ไว้ด้วยกันในบ่อซีเมนต์ที่ใส่น้ำปริมาตร 0.23 ลูกบาศก์เมตร อุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 27-28 องศาเซลเซียส อึ่งปากขวดเพศผู้แสดงพฤติกรรม

พองตัว (ภาพที่ 3 ก) และส่งเสียงร้องเพื่อดึงดูดอึ่งปากขวดเพศเมียและมีพฤติกรรมการเข้าคู่กัน โดยเพศผู้อยู่ด้านบน (ภาพที่ 3 ข) เพศเมียทำการปล่อยไข่ และเพศผู้ปล่อยน้ำเชื้อออกมาผสม ลักษณะของไข่ที่ปล่อยออกมาลอยเป็นแพ ด้านบนคล้ำกว่าด้านล่าง มีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร (ภาพที่ 4 ก) ลูกอ๊อดมีพัฒนาการจนฟักออกมาเป็นตัวภายใน 24 ชั่วโมงหลังการผสมพันธุ์



ภาพที่ 3 อึ่งปากขวดเพศผู้แสดงพฤติกรรมพองตัวและส่งเสียงร้องเพื่อดึงดูดเพศเมีย (ก) และมีพฤติกรรมการเข้าคู่กัน โดยเพศผู้อยู่ด้านบนเพศเมีย (ข)

ผลจากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอพบว่าหลังการผสมพันธุ์ชั่วโมงที่ 1 เห็นลักษณะของด้านบน (animal pole) ของไข่เป็นสีดำและด้านล่าง (vegetal pole) เป็นสีขาว ดังภาพที่ 4 (ก) ในชั่วโมงที่ 2 พบการแบ่งเซลล์ลงทางด้านล่างอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4 (ข) การคลุมตัว (epiboly) ของเซลล์ด้านบนลงมาด้านล่างเห็นได้เด่นชัดในชั่วโมงที่ 7 (ภาพที่ 4 ค) และดำเนินเรื่อย ๆ ถึงชั่วโมงที่ 10 (ภาพที่ 4 ง) และคลุมเกือบหมดในชั่วโมงที่ 12 (ภาพที่ 4 จ) ดังที่ปรากฏส่วนของ yolk plug ให้เห็นเพียงเล็กน้อย ในชั่วโมงที่ 18 อึ่งปากขวดระยะเอ็มบริโอมีการปรับรูปร่างจากทรงกลมเป็นทรงรีคล้ายรูปไข่ และเห็นส่วนของ neural groove อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4 (ฉ) ในชั่วโมงที่ 20 เอ็มบริโอมีลักษณะคล้ายลูกอ๊อดมากขึ้น สามารถจำแนกส่วนหน้า (anterior) ส่วนท้าย (posterior) ส่วนบน (dorsal) และส่วนท้องได้ค่อนข้างชัดเจนโดยที่ระยะเอ็มบริโอยังคงอยู่ในเยื่อหุ้ม ดังภาพที่ 4 (ซ) ในชั่วโมงที่ 24 หลังการผสมพันธุ์มีการเจริญเติบโตเป็นอึ่งปากขวดระยะลูกอ๊อดที่สามารถเกาะเกาะ (hatching) ออกมาจากเยื่อหุ้ม ลูกอ๊อดมีสีดำคล้ำ ส่วนลำตัวกลมส่วนหางยาว มีครีบสำหรับว่ายน้ำ และอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ดังภาพที่ 4 (ซ)



ภาพที่ 4 การเจริญเติบโตของอึ่งปากขอระยะเอ็มบริโอ โดยเลือกจากชั่วโมงที่มีลักษณะพัฒนาการที่เด่นชัดในชั่วโมงที่ 1 (ก) ชั่วโมงที่ 2 (ข) ชั่วโมงที่ 7 (ค) ชั่วโมงที่ 10 (ง) ชั่วโมงที่ 12 (จ) ชั่วโมงที่ 18 (ฉ) ชั่วโมงที่ 20 (ช) และชั่วโมงที่ 24 (ซ) หลังการผสมพันธุ์

ลูกอ๊อดอึ่งปากขวดที่เพิ่งเกาะเกาะออกจากเยื่อหุ้ม มีขนาดความยาวจากหัวถึงหางเฉลี่ย 100 ตัวเท่ากับ 5.7 มิลลิเมตร (ภาพที่ 4 ข) ยังคงมีไข่แดงที่หน้าท้องและจะลดลงเรื่อย ๆ ในวันต่อมา ในระยะนี้คณะผู้วิจัยไม่ให้อาหารแต่อย่างใด การทดลองให้อาหารปลาตุ๊กเล็กชนิดเม็ดแช่น้ำป็นเป็น ก้อนกลมขนาดประมาณ 3 กรัม ในวันที่ 4 พบว่าลูกอ๊อดกินอาหารที่ให้ได้ดี มีการรุมกินอาหาร ที่ให้จนหมด การเจริญเติบโตของลูกอ๊อดดำเนินไปพร้อมกับเห็นความเปลี่ยนแปลง นั่นคือลูกอ๊อด มีขนาดใหญ่และยาวขึ้น ลำตัวส่วนบนและครีบหางปรากฏเป็นแถบสีน้ำตาลไปจรดปลายหาง ในวันที่ 5 และ 10 ขนาดความยาวจากหัวถึงหางเฉลี่ย 100 ตัว เท่ากับ 8.7 และ 20.5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 5 ค และ ง) ตามลำดับ ในวันที่ 10 ลูกอ๊อดเริ่มมีการเจริญของขาหลัง (ภาพที่ 5 ง) และเห็นได้อย่างชัดเจน ในวันที่ 15 และพบการเจริญของปมขาหน้าด้วย (ภาพที่ 5 จ)

ในวันที่ 20 ของการเจริญเติบโตของลูกอ๊อดมีขนาดความยาวจากหัวถึงหางเฉลี่ย 100 ตัวเท่ากับ 30.3 มิลลิเมตร แถบสีน้ำตาลที่ลำตัวส่วนบนและครีบยังปรากฏชัดเจน เมื่อถึงระยะนี้ จะเห็นได้ชัดว่าการเจริญของลูกอ๊อดแต่ละตัวไม่เท่ากันแต่เป็นลักษณะของการเจริญไล่ ๆ กัน ลักษณะเด่นชัดที่พบในระยะนี้ คือ ถ้ามองจากด้านบนจะเห็นหัวเป็นรูปสามเหลี่ยม และมีการเจริญของขาหน้า และเห็นได้ชัดเจน ถ้าจับขึ้นมาจากน้ำวางบนวัสดุที่เป็นฉากถ่ายภาพบางตัวสามารถยืนโดยใช้ขาทั้งสองข้าง นอกจากนั้นบางตัวที่มีการเจริญไว ส่วนเอวจะคอดลง เผยให้เห็นส่วนขาหลังอย่างชัดเจน ตัวที่เจริญได้ช้ากว่าส่วนเอวยังคงไม่เว้าคอด ดังภาพที่ 5 ฉ

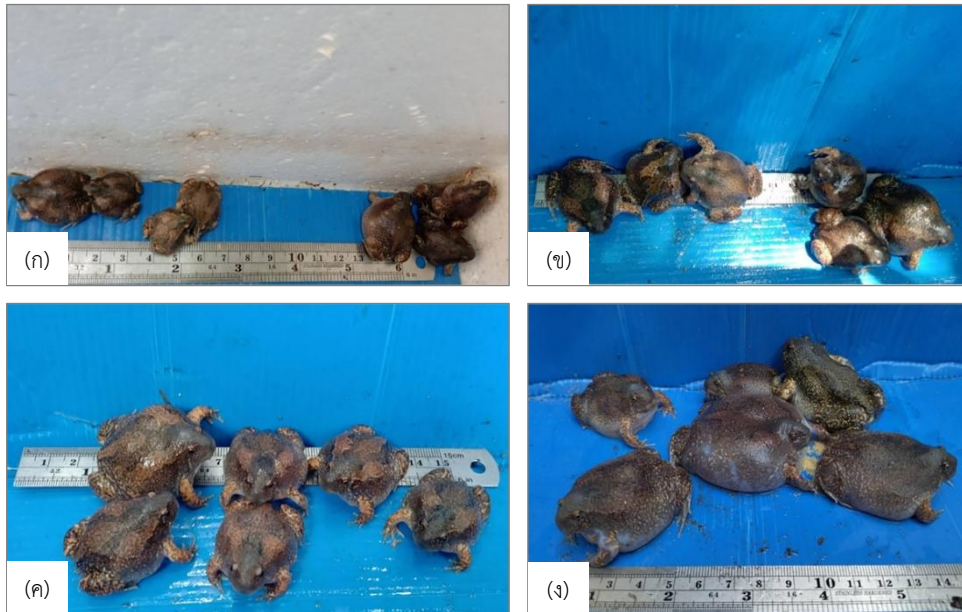
ในวันที่ 25 ของการเจริญเติบโตของลูกอ๊อดมีการเจริญไปเป็นลูกอึ่ง (froglet) ลักษณะที่เด่นชัด คือ ส่วนหางสลายไปแต่ยังไม่ทั้งหมด มีขนาดความยาวจากหัวถึงหางประมาณ 1 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 100 ตัวเท่ากับ 0.19 กรัม ลักษณะคล้ายกับตัวเต็มวัยแต่มีขนาดเล็กกว่า ลำตัวปรากฏลายพาดไปจากหัวไปส่วนท้ายของลำตัว โดยแต่ละตัวมีลายพาดนี้เป็นแบบเฉพาะตัว ดังภาพที่ 5 (ซ) นอกจากนั้นยังพบว่าระยะนี้ลูกอึ่งเริ่มขึ้นจากน้ำขึ้นมาหากินบนบก เมื่ออายุได้ 10 วัน (หลังจากเป็นระยะลูกอึ่ง) หางของลูกอึ่งปากขวดวัยอ่อนจะสลายไปหมด สามารถปรับตัวหากินปลวกได้ ดังภาพที่ 5 (ซ)

2. การเลี้ยงและศึกษาการเจริญเติบโตของอึ่งปากขวดระยะลูกอ๊อด

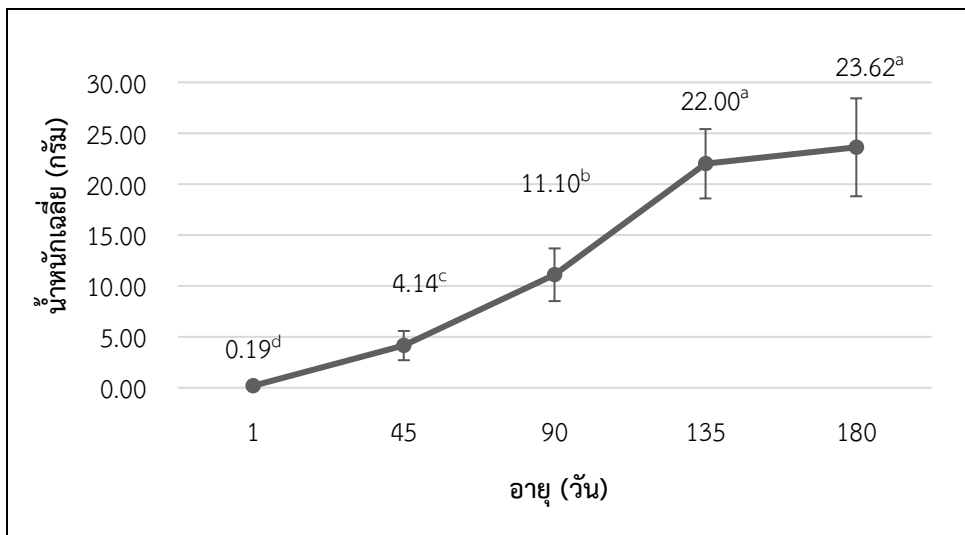
การศึกษาการเจริญเติบโตต่อเนื่องของอึ่งปากขวดระยะลูกอ๊อดที่อายุ 45 90 135 และ 180 วัน (ภาพที่ 6 ก ข ค และ ง ตามลำดับ) พบว่าอึ่งปากขวดระยะลูกอึ่งมีลักษณะเหมือนอึ่งปากขวด ตัวเต็มวัยเพียงแต่ขนาดเล็กกว่า ผิวหนังด้านบนมีแถบสีน้ำตาลสามแถบและมีรูปแบบการพาดของแถบเฉพาะตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่ออายุ 1 45 90 135 และ 180 วัน (ภาพที่ 7) จากการชั่งจำนวน 100 ตัว เท่ากับ 0.19 4.14 11.10 22.00 และ 23.62 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักของแต่ละตัวมีความแปรผัน มีตัวที่เติบโตไวช้าไม่เท่ากันทุกช่วงอายุ และเมื่อเลี้ยงไปเป็นระยะเวลา 180 วัน พบตัวที่มีน้ำหนักตัวมากที่สุด คือ 32.07 กรัม ส่วนตัวที่มีน้ำหนักน้อยที่สุด คือ 15.89 กรัมเท่านั้น นอกจากนั้นช่วงอึ่งปากขวดที่อายุ 180 วันนี้ มีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างเพศผู้และเพศเมีย



ภาพที่ 5 การอนุบาลลูกอึ่งปากขวดตั้งแต่การผสมพันธุ์ถึงระยะลูกอึ่ง: ไข่ของอึ่งปากขวด (ก) ลูกอ๊อดที่ถูกเลี้ยงในบ่อกลมพร้อมภาพขยายแสดงในมุมมองบน (ข) ลูกอ๊อดอายุ 5 วัน (ค) ลูกอ๊อดอายุ 10 วัน ลูกศรภาพขวาบนแสดงปุ่มขาหลัง (ง) ลูกอ๊อดอายุ 15 วัน ลูกศรภาพขวาบนแสดงปุ่มขาหน้า (จ) ลูกอ๊อดอายุ 20 วัน (ฉ) ลูกอ๊อดอายุ 25 วัน (ช) และลูกอึ่งอายุ 10 วันที่กำลังกินปลวก (ซ)



ภาพที่ 6 ลักษณะของอึ่งปากขวดอายุ 45 วัน (ก) 90 วัน (ข) 135 วัน (ค) และ 180 วัน (ง)



ภาพที่ 7 น้ำหนักที่ต่อเนื่องของอึ่งปากขวดช่วงอายุ 1 45 90 135 และ 180 วัน

หมายเหตุ: - อักษรที่ต่างกันบนน้ำหนักเฉลี่ยของแต่ละช่วงอายุแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การอภิปรายผลการวิจัย

อึ่งปากขวดเป็นที่รู้จักกันดีในภาคเหนือและภาคอีสานของประเทศไทยในการนำมาเป็นอาหารเมนูพื้นบ้านที่เป็นที่นิยมทั้งในอดีตและปัจจุบัน และมีแนวโน้มในการนำมาบริโภคมากขึ้นในอนาคตจนอาจต้องทำการเพาะเลี้ยงเพื่อให้มีจำนวนมากพอ อย่างไรก็ตามการศึกษาชีววิทยาของ

สัตว์ชนิดนี้ยังมีค่อนข้างน้อย โดยชีววิทยาบางประการของสัตว์ชนิดนี้ยังคงรับรู้ในวงจำกัด เช่น การเพาะเลี้ยงในสถานที่กักขัง ลักษณะชีววิทยาการเจริญช่วงลูกอ๊อดและลูกอึ่ง อาหารและการเจริญเติบโต รวมถึงการดำรงชีวิตจนถึงระยะเจริญพันธุ์ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเจริญเติบโตของอึ่งปากขวด ตั้งแต่พฤติกรรมการผสมพันธุ์จนได้เป็นลูกอึ่งเพื่อเป็นองค์ความรู้ด้านพัฒนาการการเจริญเติบโตระยะ ลูกอ๊อดและลูกอึ่งเพื่อเป็นข้อมูลรองรับการเพาะเลี้ยง คณะผู้วิจัยได้ติดตามการพัฒนาดังต่อไปนี้ ตั้งแต่การผสมพันธุ์จนกระทั่งเจริญเติบโตเป็นอึ่งปากขวดตัวเต็มวัยอายุ 180 วัน หลังจากไขอึ่งปากขวด ได้รับการผสมแล้วจะมีการเจริญตามกระบวนการ embryogenesis รูปแบบของการเจริญเติบโตเป็นไปตามการเจริญเติบโตของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกที่เคยมีการศึกษาก่อนหน้านี้ (del Pino *et al.*, 2004; Sayim and Kaya, 2008; Xiong *et al.*, 2010) สิ่งที่แตกต่างกัน คือ ระยะเวลาที่ใช้เจริญเติบโตแต่ละระยะ

การวิจัยด้านชีววิทยาการเจริญเติบโตของอึ่งปากขวดยังคงมีน้อย ดังนั้นการวิจัยเพื่อเพิ่มองค์ความรู้ยังคงเป็นสิ่งจำเป็น รายงานวิจัยก่อนหน้านี้ของพนมเทียน (2554); สิริฉัตร และคณะ (2555) สามารถประสบผลสำเร็จในการเพาะเลี้ยงอึ่งปากขวดซึ่งเป็นการบ่งชี้ว่าอึ่งปากขวดสามารถนำมาเพาะเลี้ยงในสภาพเลียนแบบธรรมชาติได้ อย่างไรก็ตามการวิจัยครั้งนี้มีความแตกต่างบางประการกับการวิจัยข้างต้น ได้แก่ การศึกษาครั้งนี้เป็นการเพาะพันธุ์โดยไม่ได้ใช้สารเคมีใด ๆ กระตุ้นการเจริญพันธุ์ การใช้สารกระตุ้นการเจริญพันธุ์นิยมนำมาปฏิบัติในการเพาะพันธุ์ปลาหลากหลายชนิด เช่น ในกรณีการเพาะพันธุ์ปลาชุกวายเป็นดำ (สุริยะ, 2554) การเพาะพันธุ์ปลาไหล (ขจรเกียรติ และคณะ 2562) และการเพาะพันธุ์ปลาเสือตอลายเล็ก (ฤชญา และสุพัฒน์, 2563) เป็นต้น การศึกษาการเพาะพันธุ์อึ่งปากขวดครั้งนี้ไม่มีการใช้สารกระตุ้น และสามารถเพาะพันธุ์ได้สำเร็จโดยมีข้อดี คือ เป็นวิธีการที่ง่ายที่สามารถนำไปสู่การปฏิบัติได้โดยชาวบ้าน นอกจากนั้นอาหารที่ใช้เลี้ยงในระยะลูกอ๊อดคือใช้อาหารปลาตุ๊กเล็กเพียงอย่างเดียวและการเลี้ยงทำในบ่อซีเมนต์กลมซึ่งวัสดุทั้งสองหาซื้อได้ง่ายในท้องถิ่น ผลการวิจัยสามารถประสบผลสำเร็จในการเพาะเลี้ยงเช่นเดียวกัน และมีข้อดีด้านความง่ายในการปฏิบัติทั้งการเตรียมพ่อแม่พันธุ์ อุปกรณ์และอาหารที่ใช้

เอ็มบริโออึ่งปากขวดใช้เวลาหลังจากปฏิสนธิจนถึงการเจริญเป็นระยะแกสตรูลา (gastrula) ราว 7 ชั่วโมง ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว เมื่อเทียบกับไข่ของกบหูต (Limnonectes blythii) ที่มีการเจริญเติบโตหลังจากปฏิสนธิ 31 ชั่วโมง (โกมุท และคณะ, 2548) เส้น neural groove ในกระบวนการสร้างระบบประสาท (neurulation) ปรากฏในชั่วโมงที่ 16 เป็นสิ่งที่บ่งชี้ว่าการเจริญได้ผ่านระยะแกสตรูลา ซึ่งเป็นระยะที่มีการสร้างเนื้อเยื่อชั้นนอก (ectoderm) เนื้อเยื่อชั้นกลาง (mesoderm) และเนื้อเยื่อชั้นใน (endoderm) เรียบร้อยแล้ว และเนื้อเยื่อเหล่านี้จะเจริญไปเป็นอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย การเจริญของระบบประสาทของเอ็มบริโออึ่งปากขวดใช้เวลาใกล้เคียงกับกบนาตาม Trajitt *et al.* (2021) รายงานพัฒนาการในขั้น neurulation ของเอ็มบริโอกบนาไว้ว่า มีการเจริญของ neural folds ขึ้นทั้งสองด้าน และยกตัวขึ้นเคลื่อนที่เข้าหากัน และเป็น neural groove โดยเริ่มปรากฏเห็นในชั่วโมงที่ 14 หลังจากปฏิสนธิ และงานวิจัยของ Kuroshima and Tominaga (2021) ที่รายงานว่ามีการเจริญของกบต้นไม้ *Buergeria japonica* ในระยะ neurulation ใช้เวลา 16 ชั่วโมงหลังจากปฏิสนธิ

อึ่งปากขวดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีการแบ่งตัวจนสามารถเจริญและกะเทาะออกมาจากเยื่อหุ้มไข่ได้เป็นลูกอ๊อดใช้ระยะเวลาราว 24 ชั่วโมง ซึ่งถือได้ว่าการเจริญที่รวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับในกรณีของกบ *Xenopus laevis* ที่ใช้เวลา 48 ชั่วโมง กบ *Engystomops coloradorum* ใช้เวลา 96 ชั่วโมง (del Pino et al., 2007) ส่วนกบต้นไม้ (*Hyla arborea*) มีรายงานว่ามีการกะเทาะออกมาจากเยื่อหุ้มของลูกอ๊อดเกิดขึ้นในราว ๆ ชั่วโมงที่ 88-112 หลังการปฏิสนธิ (Sayim and Kaya, 2008) การเจริญที่รวดเร็วอาจเป็นผลมาจากไข่ของอึ่งปากขวดมีขนาดเล็กทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ภายในเซลล์เกิดได้รวดเร็วกว่าไข่ที่มีขนาดใหญ่ ตามที่งานวิจัยของ Kuroshima and Tominaga (2021) ที่รายงานว่า *B. japonica* มีการเจริญที่รวดเร็ว เนื่องจากไข่มีขนาดเล็กทำให้มีระยะเวลาในการฟักไข่ที่รวดเร็ว คณะผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่าการเจริญที่รวดเร็วของอึ่งปากขวดนอกจากจะเป็นประโยชน์ในการเอาตัวรอดจากผู้ล่าแล้ว ยังให้ประโยชน์ในการหาอาหารได้ด้วยตัวเองได้ไวขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเจริญในระยะต่อไป ต่างจาก *Kurixalus eiffingeri* ที่อยู่ในวงศ์เดียวกัน (วงศ์ Rhacophoridae) มีไข่ขนาดใหญ่ และมีการเจริญช้ากว่า แต่ทั้งนี้กบชนิดดังกล่าวมีรูปแบบการปรับตัวเพื่อลดเซกการเจริญที่ช้าโดยการวางไข่ในโพรงไม้ซึ่งจะช่วยให้ไข่มีความปลอดภัยกว่าการวางไข่ในน้ำโดยตรง หรือในกรณีของ *Colostethus machalilla* ใช้เวลาตั้งแต่ปฏิสนธิจนถึงกะเทาะจากเยื่อหุ้มนานถึง 19-20 วัน (del Pino et al., 2004) แต่มีการปรับตัวให้อยู่รอดได้โดยการวางไข่ในดินที่เปียกชื้น และตัวเพศผู้จะปกป้องไข่จนกว่าตัวอ่อนจะพัฒนาสมบูรณ์จนกลับลงไปในน้ำได้ นอกจากนี้ อุนหมุมเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของเอ็มบริโอของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก อาทิเช่น กบ *Lithobates onca* ที่เลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีการเจริญไวกว่าการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 และ 20 องศาเซลเซียส (Goldstein et al., 2017) ในกรณีของ *Pleurodema diplolister* และ *Rhinella granulosa* มีความต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมต่างกัน โดยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ *P. diplolister* ลดการเจริญเติบโต ซึ่งตรงกันข้ามกับ *R. granulosa* (Maciel and Juncá, 2009) อุณหภูมิของน้ำในการศึกษาการเจริญเติบโตของอึ่งปากขวดครั้งนี้เท่ากับ 27-28 องศาเซลเซียส บ่งชี้ว่าเป็นอุณหภูมิที่อึ่งชนิดนี้สามารถอยู่รอดได้ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตยังคงเป็นประเด็นที่ควรทำการศึกษาเพิ่มเติม

ลักษณะลูกอ๊อดอึ่งปากขวดมีสีดำคล้ำและมีเส้นสีน้ำตาลบริเวณด้านบนเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของลูกอ๊อดชนิดนี้ที่สามารถใช้จำแนกออกจากลูกอ๊อดกบและเขียดได้ หลังจากกะเทาะจากเยื่อหุ้มยังมีไข่แดงเพื่อเป็นแหล่งอาหาร ไข่แดงถูกใช้และหายไป (อายุราว 3 วันหลังกะเทาะออกมาจากเยื่อหุ้ม) ข้อมูลที่ได้ส่วนนี้เป็นประโยชน์หากต้องการเพาะเลี้ยงเลียนแบบธรรมชาติ กล่าวคือ ในช่วง 3 วันแรกหลังการกะเทาะออกจากเยื่อหุ้ม ผู้เลี้ยงไม่จำเป็นต้องให้อาหารลูกอ๊อดแต่อย่างใด การให้อาหารควรให้หลังจากที่ไข่แดงของลูกอ๊อดถูกใช้ไปหมดแล้ว (ควรเริ่มให้ในวันที่ 4) การคงอยู่ของไข่แดงให้ประโยชน์ตามที่กล่าวข้างต้นและพบได้เป็นปกติในการเจริญของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก ตามที่มีปรากฏในรายงานก่อนหน้านี้ (Bohun and Breward, 2009)

แม้ว่าลูกอ๊อดอึ่งปากขวดมีหางเพื่อการว่ายน้ำแต่ในขณะเดียวกันจากการสังเกตของคณะผู้วิจัย พบว่านอกจากหางแล้ว ขาเป็นอีกอวัยวะที่ลูกอ๊อดอึ่งปากขวดใช้ในการว่ายน้ำ มีการงอกของขาหลังก่อนขาหน้า ในการศึกษาพบว่าขาหลังของลูกอ๊อดอึ่งปากขวดเริ่มปรากฏให้เห็นในวันที่ 10 ซึ่งใกล้เคียงกับอึ่งน้ำเต้า (*Microhyla mukhlesuri*) ที่อยู่ในวงศ์เดียวกัน (Microhylidae) อย่างไรก็ตามแม้จะเป็นอึ่งในวงศ์เดียวกันแต่การเจริญของขาหน้าอึ่งปากขวดเกิดขึ้นไวกว่า นั่นคือประมาณ

วันที่ 15 ในขณะที่อิงนำเต้าพบเห็นการเจริญของขาหน้าในวันที่ 32 (Behr and Rödder, 2018) แต่มีลักษณะที่เหมือนกัน คือ ขาหน้ามีการเจริญขึ้นบริเวณช่องเหงือก (gill chamber) และยังอยู่ในเยื่อหุ้ม จากนั้นจึงมีการเจริญออกมาอยู่ภายนอกเยื่อหุ้ม ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการเจริญของขาอึ่งปากขวดมีลักษณะที่เกิดไม่พร้อมกัน (asynchronous development) ดังที่ปรากฏในกบหลายชนิด เช่น *Odorrana tormota* (Xiong *et al.*, 2010) *M. mukholesuri* (Behr and Rödder, 2018) และ *B. japonica* (Kuroshima and Tomina, 2021) ขาหลังมีบทบาทสำคัญทั้งในระยะลูกอ๊อดและระยะที่เจริญเป็นอึ่งปากขวดแล้ว เช่น การว่ายน้ำ การขุดโพรง และการกระโดด ในขณะที่ขาหน้ามีบทบาทเพิ่มเติมเมื่อดำรงชีวิตบนบก สอดคล้องกับ Manzano *et al.* (2008) ที่รายงานว่าขาหลังมีความสำคัญในการใช้งาน โดยใช้ในการเคลื่อนที่ที่สำคัญซึ่งเจริญก่อนขาหน้า โดยที่ขาหน้าเป็นอวัยวะที่ช่วยรองรับการทำงานของขาหลังในการนั่ง และการรับแรงกระแทกจากการกระโดด

ลูกอ๊อดเจริญเป็นลูกอึ่งปากขวดในวันที่ 25 มีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร บางส่วนของหางยังสลายไม่หมด ส่วนหัวสั้น มีสีเข้ม มีแถบสีน้ำตาลบนลำตัวเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละตัว ลักษณะเช่นนี้ทำให้ลูกอึ่งปากขวดกลมกลืนกับสภาพแวดล้อมที่อาศัย ช่วยในการอำพรางตัวจากผู้ล่า สอดคล้องกับรายงานของจूरรัตน์ (2551) ที่กล่าวว่าการพรางตัวแบบแฝงเป็นการอำพรางตัวให้มีสีและลักษณะที่กลมกลืนกับสิ่งรอบข้าง ทำให้ผู้ล่าไม่สามารถมองเห็นหรือแยกแยะได้อย่างชัดเจน ซึ่งแตกต่างจาก *Epipedobates anthonyi* ซึ่งอยู่วงศ์ Dendrobatidae มีสีสันโดดเด่น ผู้ล่าเห็นได้ง่าย บริเวณผิวหนังมีสารพิษซึ่งมีความรุนแรงสามารถทำให้สัตว์ที่ถูกพิษตาย เป็นอีกหนึ่งวิธีการที่ลดการเผชิญหน้ากับผู้ล่า (del Pino *et al.*, 2007) ด้วยขนาดตัวภายหลังเกิด metamorphosis ที่สมบูรณ์ ซึ่งไม่ใหญ่มากนักและยังไม่ปราดเปรียว คณะผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่าขนาดตัวของลูกอึ่งปากขวดสามารถบ่งชี้ถึงชนิดอาหารที่ลูกอึ่งกินในธรรมชาติว่าน่าจะเป็นสัตว์จำพวกแมลงที่ขนาดพอให้จับกินได้ง่าย หลักฐานที่สนับสนุนคือการวิจัยครั้งนี้ในสภาพบ่อเลี้ยง (captive condition) ลูกอึ่งปากขวดถูกเลี้ยงโดยใช้อาหารคือปลวกซึ่งมีขนาดตัวที่พอเหมาะสำหรับการจับกิน

น้ำหนักเฉลี่ยของอึ่งปากขวดอายุ 1 วัน 45 วัน และ 90 วัน เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มคงที่เมื่ออายุ 135 วัน และ 180 วัน ผลการศึกษาในส่วนของการเจริญเติบโต สอดคล้องกับการศึกษาของ Sretarugsa *et al.* (1997) ที่ทำการศึกษากการเจริญเติบโตโดยใช้อาหารที่มีระดับโปรตีนต่างกัน (21 25 29 และ 33 เปอร์เซ็นต์) ในกบ *Hoplobatrachus tigerinus* และ *L. catesbeianus* ซึ่งพบว่ามีการเพิ่มน้ำหนักคล้ายกับการศึกษาครั้งนี้ กล่าวคือ ในช่วง 1-4 เดือนแรก ลูกกบมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้อาจเพราะเป็นรูปแบบทางชีววิทยาการเจริญเติบโตเพื่อความอยู่รอดในการเร่งการเติบโตให้ไวที่สุดช่วงแรกเพื่อให้ตัวเองเป็นผู้ล่าที่มีประสิทธิภาพและหลบเลี่ยงการถูกล่า ประกอบกับในกรณีของอึ่งปากขวดนั้นอาจเนื่องจากอาหารที่ให้มีความเหมาะสมต่อลูกอึ่งระยะนี้ โดยที่อาหารที่คณะผู้วิจัยให้ในระยะนี้คือปลวก โดยมีรายงานว่าปลวกในสกุลนี้มีระดับโปรตีนมากถึง 20.40-48.80 เปอร์เซ็นต์ (Serrano and Poku, 2014) ในการเลี้ยงอึ่งปากขวด จึงควรให้อาหารในช่วงอายุนี้อย่างเต็มที่ ในธรรมชาติอึ่งปากขวดมีการวางไข่ในช่วงต้นฤดูฝนที่มีความสมบูรณ์ของแมลง ดังนั้นจึงมีโอกาสสูง การที่ลูกอึ่งอายุ 135 วัน และ 180 วัน มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มคงที่อาจเป็นเพราะหลังจากอึ่งปากขวดวางไข่ 135-180 วัน เป็นช่วงหมดฤดูฝนเริ่มเข้าสู่ฤดูหนาว อาจทำให้มีความสมบูรณ์ของแมลงอาหารมีน้อย ทำให้อึ่งปากขวดหาอาหารได้น้อยลง ปลวกที่ให้อย่างเดียวยังอาจไม่เพียงพอทำให้น้ำหนักไม่ได้เพิ่มมากเหมือนช่วงเริ่มต้น

สรุปผลการวิจัย

การเลี้ยงอิงปากขวดเลียนแบบในสภาพธรรมชาติสามารถทำได้โดยใช้อาหารปลาตุ๋กในระยะลูกอ๊อดและปลาร่วมกับแมลงตามธรรมชาติในระยะลูกอิง การเจริญเติบโตของอิงปากขวดตั้งแต่หลังปฏิสนธิจนเป็นลูกอิงใช้เวลาประมาณ 25-30 วัน โดยการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ เป็นไปตามการเจริญเติบโตของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก โดยมีทั้งส่วนที่เหมือนและต่างจากสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกชนิดอื่นตามที่แสดงข้อมูลข้างต้นแต่ทว่ามีลักษณะทางสัณฐานของลูกอ๊อดและลูกอิงที่เฉพาะตัว ข้อมูลในการศึกษาชีววิทยาการเจริญเติบโตของอิงปากขวดระยะเอ็มบริโอ ลูกอ๊อด และลูกอิง สามารถต่อยอดในการเพาะพันธุ์อิงปากขวดเพื่อการบริโภค การศึกษา หรือใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ และส่งเสริมเป็นสัตว์เศรษฐกิจ เพราะได้รับความนิยมในการบริโภคเพิ่มมากขึ้น ข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นประโยชน์สำหรับการต่อยอดในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของอิงปากขวดให้อายุครบ 1 ปี ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนขึ้น นอกจากนี้การวิจัยชนิดของอาหารที่ใช้เลี้ยงอิงปากขวดเป็นประเด็นที่น่าสนใจควรมีการศึกษาต่อยอด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยนักวิจัยและนักศึกษาในการเก็บข้อมูลผลการดำเนินงาน รวมถึงสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่อำนวยความสะดวกเรื่องสถานที่และเครื่องมือวิจัย ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ในการสนับสนุนทุนดำเนินงานวิจัยและการประสานงาน และขอขอบคุณกองทุนฯ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สัญญาเลขที่ ปงม-004-2564) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยจนทำให้งานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- กฤษฎา ตีอินทร์ และสุพัฒน์ พลชา. (2563). การปรับปรุงฮอร์โมนอัตรแห่งคอเลสเทอรอล สำหรับการเพาะพันธุ์ปลา. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 51(1), 138-143.
- โกมุท อุ่นศรีสง ประสาน พรโสภณ อุมารณ จรดล และสมพร กันธิยะวงศ์. (2548). การศึกษาเพาะพันธุ์และพัฒนาการคัพภะเขียดแล้ว. *รายงานวิจัย*. กรมประมง.
- ขจรเกียรติ ศรีนวลสม ชนัญญา พุทธิปลันธน์ ขอบธรรม บัวลอย และรักพงษ์ เพชรคำ. (2562). ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมและความถี่ในการฉีดฮอร์โมน busserlin acetate ต่อการพัฒนาไข่ของแม่พันธุ์ปลาไหลนา (*Monopterus albus*) ในช่วงก่อนฤดูผสมพันธุ์. *วารสารวิทยาศาสตร์คชศาสตร์*, 41(2), 57-73.
- จूरรัตน์ ประสาร. (2551). Camouflage ศาสตร์แห่งการอำพรางตัว. *วารสารเทคโนโลยีวัสดุ*, 53, 59-62.
- ชญาพร โพธิ์สุวรรณ และนภีรา จวอรรถ. (2565). ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามบางแพให้มีคุณลักษณะที่เป็นอัตลักษณ์เฉพาะพื้นที่. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 41(2), 16-27.

- ธเนศ นนท์ศรีราช. (2562). ความหลากหลายทางพันธุกรรม โครงสร้างทางพันธุกรรม และความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของอึ่งปากขวด (*Glyphoglossus molossus*) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. ปรญญวทยาสาตรมหาบัณฑิต (ชีววิทยา). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- นพพรช ทวีบท และณภักษ์ ไชยน้ำอ้อม. (2558). ความหลากหลายชนิดของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกและการใช้ประโยชน์ในบริเวณป่าโคกข้าว อำเภอนครชัย จังหวัดมหาสารคาม. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- พนมเทียน นาควิจิตร. (2554). การเพาะพันธุ์อึ่งเพ้า. รายงานวิจัยเอกสารฉบับที่ 36/2554. กรมประมง.
- ยุทธนา เอียดน้อย และอมรรรัตน์ ถนอมแก้ว. (2555). ผลของการปรับพื้นที่ต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์ปลาตุ๋น. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 15(3), 33-38.
- สิริฉัตร สุนทรวิภาต พงษ์พันธ์ สุนทรวิภาต อภิชาติ เต็มวิชากร และประจวบ สายบุญ. (2555). การเพาะและอนุบาลอึ่งปากขวด. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง, 6(2), 12-22.
- สุริยะ จันทรแก้ว. (2554). ชีววิทยาการเพาะขยายพันธุ์ปลาชุกชุกแฉกดำ. วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช, 30(1), 145-152.
- Altig, R., and Rowley, J.L.L. (2014). The breeding behavior of *Glyphoglossus molossus* and the tadpoles of *Glyphoglossus molossus* and *Calluella guttulata* (Microhylidae). *Zootaxa*, 3811(3), 381-386, doi: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3811.3.9>.
- Behr, N. and Rödder, D. (2018). Larval development stages and husbandry of the rice frog *Microhyla mukhlesuri* Hasan et al., 2014 (Anura: Microhylidae). *Bonn zoological Bulletin*, 67(2), 109-116, doi: <https://doi.org/10.20363/BZB2018.67.2.109>.
- Bohun, C.S. and Breward, C. (2009). Yolk dynamics in amphibian embryos. *Mathematics-in-Industry Case Studies Journal*, 1, 99-119.
- del Pino, E.M., Venegas-Ferrin, M., Romero-Carvajal, A., Montenegro-Larrea, P., Saenz-Ponce, N., Moya, I.M., Alarcon, I., Sudou, N., Yamamoto, S., and Taira, M. (2007). A comparative analysis of frog early development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(29), 11882-11888, doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.070509210>.
- del Pino, E.M., Avilia, M.U., Perez, O.D., Bennitez, M.S., Alarcon, I., Noboa, V. and Moya, I.M. (2004). Development of the dendrobatid frog *Colostethus machalilla*. *The International Journal of Developmental Biology*, 48(7), 663-670, doi: <https://doi.org/10.1387/ijdb.041861ed>.
- Duncan, D.W. (1955). Multiple-range and multiple f-test. *Biometrics*, 11(1), 1-42, doi: <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- Goldstein, J.A., Hoff, K.V.S. and Hillyard, S.D. (2017). The effect of temperature on development and behaviour of relict leopard frog tadpoles. *Conservation Physiology*, 5(1), 1-8, doi: <https://doi.org/10.1093/conphys/cow075>.

- Kuroshima, S. and Tominaga, A. (2021). Normal development of an aquatic spawning tree frog, *Buergeria japonica* (Amphibia: Rhacophoridae). *Current Herpetology*, 40(2), 169-181, doi: <https://doi.org/10.5358/hsj.40.169>.
- Laojumpon, C., Suteethorn, S. and Lauprasert K. (2012). Morphological variation of truncate-snouted burrowing frog (*Glyphoglossus molossus*) of Thailand. In *the 4th Science Research Conference* (pp. 56-61). Phitsanulok: Naresuan University.
- Maciel, T.A. and Juncá, F.A. (2009). Effects of temperature and volume of water on the growth and development of tadpoles of *Pleurodema diplolister* and *Rhinella granulosa* (Amphibia: Anura). *Zoologia*, 26(3), 413-418, doi: <https://doi.org/10.1590/S1984-46702009000300005>.
- Manzano, A.S., Abdala, V. and Herrel, A. (2008). Morphology and function of the forelimb in arboreal frogs: Specializations for grasping ability?. *Journal of Anatomy*, 213(3), 296-307, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2008.00929.x>.
- Nonsrirach, T. and Lauprasert, K. (2019). Preliminary report on the genetic structure of *Glyphoglossus molossus* (Anura: Microhylidae) from the Khorat Plateau, North-Eastern Thailand. *Journal of Natural History*, 53(13-14), 849-861, doi: <https://doi.org/10.1080/00222933.2019.1618940>.
- Sayim, F. and Kaya, U. (2008). Embryonic development of the tree frog, *Hyla arborea*. *Biologia*, 63(4), 588-593, doi: <https://doi.org/10.2478/s11756-008-0086-z>.
- Serrano, A.E. and Poku, G. (2014). Nutritive value of termite as fish meal supplement in the diet of freshwater prawns (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) juveniles. *Extreme Life, Biospeology & Astrobiology International Journal of the Bioflux Society*, 6(2), 63-71.
- Sretarugsa, P., Luangborisut, P., Kruatrachue, M., and Upatham, S. (1997). Effects of diets with various protein concentrations on growth, survival and metamorphosis of *Rana tigerina* and *R. catesbeiana*. *Journal of the Science Society of Thailand*, 23, 209-224.
- The International Union for Conservation of Nature. (2022). *The IUCN red list of threatened species*TM. Retrieved 5 November 2022, from: <https://www.iucnredlist.org/search?query=Glyphoglossus%20molossus%20&searchType=species>.
- Traijitt, T., Kitana, N., Khonsue, W. and Kitana, J. (2021). Chronological changes in the somatic development of *Hoplobatrachus rugulosus* (Wiegmann, 1834) (Anura: Dicroglossidae). *Tropical Natural History*, 21(1), 184-199.
- Xiong, R.C., Jiang J.P., Fei, L., Wang, B. and Ye, C.Y. (2010). Embryonic development of the concave-eared torrent frog with its significance on taxonomy. *Zoological Research*, 31(5), 490-498, doi: <https://doi.org/10.3724/SP.J.1141.2010.05490>.

ผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์
(carotenoids) ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266
The Effect of Light Intensity on the Growth and Carotenoid
Production of *Chlorococcum* sp. TISTR 8266

สายนันท์ นันชนะ¹ สุพรรณษา ขันธโสภ¹ และนาริสรา วงศ์สิงห์^{1*}
Sayan Nanchana¹, Suphansa Khantasopa¹ and Narisasa Wongsing^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 โดยสาหร่ายสายพันธุ์นี้เมื่ออยู่ในสภาวะกวดต้นหรือกระตุ้นจะผลิตสารสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถใช้เป็นอาหารเสริมทั้งในคนและสัตว์ ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เวชสำอางได้ โดยจากการทดลองพบว่าการเพาะเลี้ยงด้วยสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,500-9,000 ลักซ์ อาหารสูตร N8 ในหลอดเพาะเลี้ยง ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 14 21 และ 28 ของการเพาะเลี้ยง มีผลผลิตชีวมวลเท่ากับ 4.30±0.18 6.13±0.19 และ 6.24±0.15 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์เท่ากับ 2.76±0.26 3.92±0.18 และ 3.89±0.36 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ และสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 7,500-8,000 ลักซ์ ในระยะเวลาการเพาะเลี้ยงที่เท่ากันแสดงว่าความเข้มแสงสูงเป็นหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการกระตุ้นหรือกวดต้นให้สาหร่ายผลิตสารสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์

คำสำคัญ: จุลสาหร่าย *Chlorococcum* sp. ความเข้มแสง แคโรทีนอยด์ ผลผลิตชีวมวล

¹ ศูนย์ความหลากหลายทางชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

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

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.256500>

Received: 6 October 2022, Revised: 23 January 2023, Accepted: 10 February 2023

Abstract

In this research, the effect of light intensity on the growth and carotenoid production of the green algae *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 was investigated. This microalgae accumulates pigment in the carotenoid group under stress conditions. The pigments in the carotenoid group are qualified as highly effective antioxidants. It can be used as a dietary supplement in both humans and animals and used as cosmetic products. The experimental results showed that the best cultivation condition is Treatment 3 with light intensity of 8,500-9,000 lux, N8 medium and temperature of $28\pm 2^{\circ}\text{C}$. The biomass yield of Treatment 3 at day 14, 21 and 28 are 4.30 ± 0.18 , 6.13 ± 0.19 and 6.24 ± 0.15 grams per liter, respectively, and the carotenoid content are 2.76 ± 0.26 , 3.92 ± 0.18 and 3.89 ± 0.36 milligrams per gram dried weight (g-dw), respectively. These results were significantly different ($p < 0.05$) when compared to Treatment 1 with the light intensity of 4,000-4,500 lux and Treatment 2 with the light intensity of 7,500-8,000 lux in the same cultivation period. These findings indicated that high light intensity is one of the important factors that has a positive effect on growth and stimulation on algae to produce pigments in the carotenoid group.

Keywords: Microalgae, *Chlorococcum* sp., Light intensity, Carotenoids, Biomass

บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันเราต้องเผชิญกับสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา สภาวะเศรษฐกิจและสังคมที่เปลี่ยนไป จึงส่งผลให้การดำเนินชีวิตในแต่ละวันมีความเร่งรีบหลายคนลืมใส่ใจดูแลสุขภาพของตนเอง จึงทำให้ร่างกายมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคต่าง ๆ มากมาย ถึงเวลาที่ทุกคนควรจะมาดูแลเอาใจใส่สุขภาพของตัวเองมากยิ่งขึ้น นอกจากการรับประทานอาหารที่ให้ประโยชน์แก่ร่างกายเป็นประจำสม่ำเสมอแล้ว ปัจจุบันมีการค้นพบสารสำคัญจากธรรมชาติที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมากที่สุดอีกชนิดหนึ่ง นั่นคือ สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นสารสีที่ไม่มีขั้ว มีโครงสร้างเป็นไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) พบในพืชผักที่มีสีเหลือง ส้ม หรือแดง เช่น แครอท ฟักทอง มะเขือเทศ ตลอดจนสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง และปลาแซลมอน รวมถึงสาหร่ายขนาดเล็ก และสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์แสงและไม่สังเคราะห์แสง (Del Campo *et al.*, 2007; Takaichi, 2011) มีรายงานการศึกษาและพบอนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์ในธรรมชาติมากกว่า 750 ชนิด (Sakagami *et al.*, 2010) โดยแคโรทีนอยด์ประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (isoprene) เชื่อมต่อกัน 8 หน่วย (Young, 1993) แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ กลุ่มแคโรทีน (carotenes) มีสีส้ม ประกอบด้วยหมู่ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีออกซิเจน (oxygen-free-hydrocarbon) มี 3 ชนิด ได้แก่ แอลฟา บีตา และเอปซีลอน ชนิดที่พบในแหล่งที่พบพืชทุกชนิด คือ บีตา-แคโรทีน และกลุ่มแซนโทฟิลล์ (xanthophylls) หรือออกซีแคโรทีน (oxycarotene) มีสีเหลือง

ถึงแดง นอกจากโครงสร้างจะประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนแล้ว ยังมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ด้วย แบ่งออกได้หลายชนิด เช่น ลูทีน (lutein) แคนตาแซนทิน (canthaxanthin) ฟุโคแซนทิน (fucoxanthin) มิกโซแซนโทฟิลล์ (myxoxanthophyll) ไดอะไดโนแซนทิน (diadinoxanthin) ไดอะโตแซนทิน (diatoxanthin) เพริดีนิน (peridinin) และแอสตาแซนทิน (astaxanthin) (Shaish *et al.*, 1992)

ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ได้เอง จึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารที่รับประทานในแต่ละวันหรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเท่านั้น แคโรทีนอยด์นอกจากจะเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอแล้ว ยังทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน (Rao and Rao, 2007) ลดความเสี่ยงจากการเป็นโรคมะเร็ง ยับยั้งการก่อกลายพันธุ์ ป้องกันเนื้องอก ลดความเสี่ยงเกี่ยวกับการเสื่อมของตาเนื่องจากสูงอายุและต้อกระจก ลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็งบางชนิด โรคหัวใจและหลอดเลือด จึงสามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารให้แก่มนุษย์ได้ ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเป็นสีผสมอาหาร (food color) อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง (cosmetics industry) รวมทั้งใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์ทั้งสัตว์น้ำและสัตว์ปีก เร่งการสร้างสีของเนื้อสัตว์ เกล็ด ขน ส่งผลให้สามารถขายได้ในราคาสูง (Johnson and Schroeder, 1996) นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้ปลากัดด้วยอาหารเสริมจากสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc commune* มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุด ซึ่งเป็นการลดต้นทุนด้านอาหารในการเลี้ยงได้อีกทางหนึ่ง (ฐิรารัตน์ และคณะ, 2564)

ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญและทำการศึกษการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์จากสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก (microalgae) มีลักษณะเป็นสาหร่ายเซลล์เดียวอยู่ในกลุ่ม Chlorophyta พบได้ในน้ำจืดและทะเลสาบ เมื่อเพาะเลี้ยงในสภาวะกวดตันจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีส้ม เนื่องจากเกิดการสะสมของสารสีแคโรทีนอยด์ (Zhang and Lee, 1997; Masojidek *et al.*, 2000) โดยมีแอสตาแซนทิน เอสเทอร์ (astaxanthin esters) แคนตาแซนทิน (canthaxanthin) และอะโดนิแซนทิน (adonixanthin) เป็นสารสีหลักที่พบมากที่สุด (Zhang and Lee, 1997; Sivathanu and Palaniswamy, 2012) ซึ่งสภาวะกวดตันที่มีผลต่อการสะสมสารสีแคโรทีนอยด์ ได้แก่ ความเข้มแสงสูง อุณหภูมิสูง ความเค็มสูง การขาดไนโตรเจน การขาดฟอสเฟต (Borowitzka and Borowitzka, 1989; Choi *et al.*, 2002) โดยในการศึกษารั้วนี้ได้นำสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 ซึ่งเป็นสาหร่ายสายพันธุ์ในประเทศไทย คัดแยกและจัดจำแนกโดยศูนย์ความเป็นเลิศด้านสาหร่าย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เป็นสายพันธุ์ที่เลี้ยงง่ายโตเร็ว และยังสามารถผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ได้ โดยจากการศึกษาผลงานทางวิชาการ พบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการผลิตแคโรทีนอยด์ในสาหร่ายสูงที่สุด คือ ความเข้มแสงสูง เช่นจากการศึกษาของ Zheng *et al.* (2019) พบว่ามีปริมาณแอสตาแซนทิน 2.88 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง โดยศึกษาผลของความเข้มแสงที่มีต่อการกระตุ้นและสะสมแอสตาแซนทินในสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella zofingensis* การศึกษาของ Leya *et al.* (2009) พบว่ามีปริมาณมีปริมาณแอสตาแซนทิน 0.768 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง โดยศึกษาผลของความเข้มแสงสูงและการลดปริมาณไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนองค์ประกอบของสารสีในสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* spp.

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญและทำการศึกษางานวิจัย เรื่อง ผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มแสงที่มีผลต่อการเจริญและการผลิตสารสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์ และได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายและการผลิตสารสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์จากสาหร่ายเพื่อเป็นแนวทางการศึกษาในลำดับต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมหัวเชื้อ

นำสาหร่ายมาจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านสาหร่าย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จำนวน 1 สายพันธุ์ คือ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 มาขยายปริมาณโดยเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร BG-11 (Stainer *et al.*, 1971) ในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ปริมาตรเพาะเลี้ยง 200 มิลลิลิตร วางบนเครื่องเขย่าความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ที่ความเข้มแสง 2,000-3,000 ลักซ์ ให้แสงตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 21 วัน (ภาพที่ 1) จากนั้นนำมาขยายปริมาณอีกรอบ โดยเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร N8 (จากผลการศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 พบว่าอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต คือ อาหารสูตร N8 (Vonshak, 1986)) ในถังคาร์บอย (carboy) ปริมาตรเพาะเลี้ยง 10 ลิตร ให้อากาศผ่านตัวกรองขนาด 0.2 ไมครอนเมตร วางภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ที่ความเข้มแสง 3,000-4,000 ลักซ์ ให้แสงตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง ที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 21 วัน เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อในการทดสอบลำดับต่อไป



ภาพที่ 1 การเตรียมหัวเชื้อสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 ในขวดรูปชมพู่ ปริมาตรเพาะเลี้ยง 200 มิลลิลิตร

2. ศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการเจริญและการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266

นำหัวเชื้อสาหร่ายสายพันธุ์ที่เตรียมดังข้อ 1) มาเพาะเลี้ยงในหลอดเพาะเลี้ยงสาหร่าย (culture tube) ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ปริมาตรเพาะเลี้ยง 200 มิลลิลิตร ด้วยอาหารสูตร N8 เตรียมอาหารโดยใช้สารเคมีเกรดการค้าร่วมกับน้ำประปา หัวเชื้อเริ่มต้นที่ความขุ่น (optical density: OD₆₈₀ นาโนเมตร) เท่ากับ 0.05 โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer ยี่ห้อ Hitachi U-2900) เพาะเลี้ยง 3 ช่วงเวลา คือ วันที่ 14 21 และ 28 ของการเพาะเลี้ยง ทำการเพาะเลี้ยงช่วงละ 3 ชั่วโมง โดยวางบนแท่นเพาะเลี้ยงและให้แสงฟลูออเรสเซนต์ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง (ภาพที่ 2) โดยให้ความเข้มแสงต่างกัน 3 ระดับ คือ สภาวะวางภายใต้แสงที่ความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ โดยเปิดไฟ 2 หลอด สภาวะวางภายใต้แสงที่ความเข้มแสงอยู่ในช่วง 7,500-8,000 ลักซ์ โดยเปิดไฟ 3 หลอด และสภาวะวางภายใต้แสงที่ความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,500-9,000 ลักซ์ โดยเปิดไฟ 6 หลอด วัดความเข้มแสงแต่ละสภาวะการทดลองด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง (digital light meters ยี่ห้อ CEM รุ่น DT-8809A) เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ยี่ห้อ Mettler Toledo ในวันที่ 0 14 21 และ 28 ของการเพาะเลี้ยง



ภาพที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 ในหลอดเพาะเลี้ยง ปริมาตรเพาะเลี้ยง 200 มิลลิลิตร วางบนแท่นเพาะเลี้ยงและให้แสงฟลูออเรสเซนต์ตลอดระยะเวลาเพาะเลี้ยง

3. วิธีวัดผลการเจริญเติบโต

โดยหาน้ำหนักแห้งเป็นกรัมต่อลิตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ OD₆₈₀ นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงในวันที่ 0 14 21 และ 28 ของการเพาะเลี้ยง วัดผลการเจริญเติบโต โดยปรับปริมาตรสาหร่ายในหลอดเพาะเลี้ยงให้เท่ากับ 200 มิลลิลิตร และเป่าด้วยปั๊มลมเพื่อให้สาหร่ายกระจายตัว จากนั้นใช้ไมโครปิเปตดูดสาหร่ายจากหลอดเพาะเลี้ยงปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง และนำมากรองด้วยชุดกรองสุญญากาศผ่านกระดาษใยแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักกระดาษหลังจากอบเรียบร้อยแล้ว เมื่อกรองสาหร่ายครบ 30 มิลลิลิตรแล้ว จากนั้นนำเข้าตู้อบ อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาใส่ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำมาชั่งและคำนวณหาผลผลิตชีวมวลแห้งเป็นกรัมต่อลิตร

4. วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์

นำสาหร่ายในวันที่ 0 14 21 และ 28 ของการเพาะเลี้ยงมาทำแห้ง โดยแยกเซลล์สาหร่ายออกจากอาหารเพาะเลี้ยง โดยวิธีปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge Sorvall LYNX 6,000) ที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 8 นาที จากนั้นเทส่วนที่เป็นอาหารเพาะเลี้ยงทิ้ง และนำส่วนที่เป็นเซลล์สาหร่ายเทใส่จานเพาะเลี้ยง จากนั้นนำเข้าตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทำให้เซลล์สาหร่ายแข็ง จากนั้นนำไปทำให้แห้งด้วยวิธีการระเหิดแห้งด้วยเครื่องระเหิดแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (CHRIST รุ่น DELTA 2-24 LSC plus) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าสาหร่ายจะแห้ง จากนั้นนำสาหร่ายที่แห้งแล้วมาบดให้ละเอียดด้วยโกร่ง และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ทั้งหมดด้วยวิธีของ Lichtenthaler (1987) โดยชั่งสาหร่ายแห้งปริมาณ 50 มิลลิกรัม ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด (Sartorius รุ่น QUNTIX) ใส่ในหลอดสกัดปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ที่เติมเม็ดบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ปริมาณ 250 มิลลิกรัมไว้แล้ว เพื่อทำหน้าที่บดสาหร่ายแห้งในขณะเข้าเครื่องแตกเซลล์โดยทำตามขั้นตอน ดังนี้

1) เติมอะซิโตนปริมาตร 1 มิลลิลิตร และนำเข้าเครื่องแตกเซลล์ด้วยเม็ดบด (micro smash รุ่น MS-100R) ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 90 วินาที (ขั้นตอนนี้ป้องกันไม่ให้หลอดสกัดโดนแสง)

2) นำหลอดสกัดที่ผ่านขั้นตอนที่ 1 เข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge Sorvall LEGEND Micro 21R) เพื่อแยกส่วนที่เป็นของเหลวออกจากสาหร่ายแห้ง ที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที (ขั้นตอนนี้ป้องกันไม่ให้หลอดสกัดโดนแสง) จากนั้นดูดส่วนที่เป็นของเหลวใส่ขวดสีชาเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์

3) ทำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 2 เพื่อสกัดสารสีแคโรทีนอยด์ออกจากสาหร่าย จำนวน 3 ครั้ง

4) นำส่วนที่เป็นของเหลววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 646 และ 663 นาโนเมตร และนำค่าการดูดกลืนแสงไปแทนค่าในสมการด้านล่าง

$$\text{คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a: C}_a\text{)} = 12.25 A_{663} - 2.79 A_{646} \text{ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll b: C}_b\text{)} = 21.50 A_{646} - 5.10 A_{663} \text{ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)}$$

$$\text{สารสีแคโรทีนอยด์ทั้งหมด} = (1,000 A_{470} - 1.82 C_a - 85.02 C_b) / 198$$

$$\text{(total carotenoids: C}_{x+c}\text{)} \text{ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)}$$

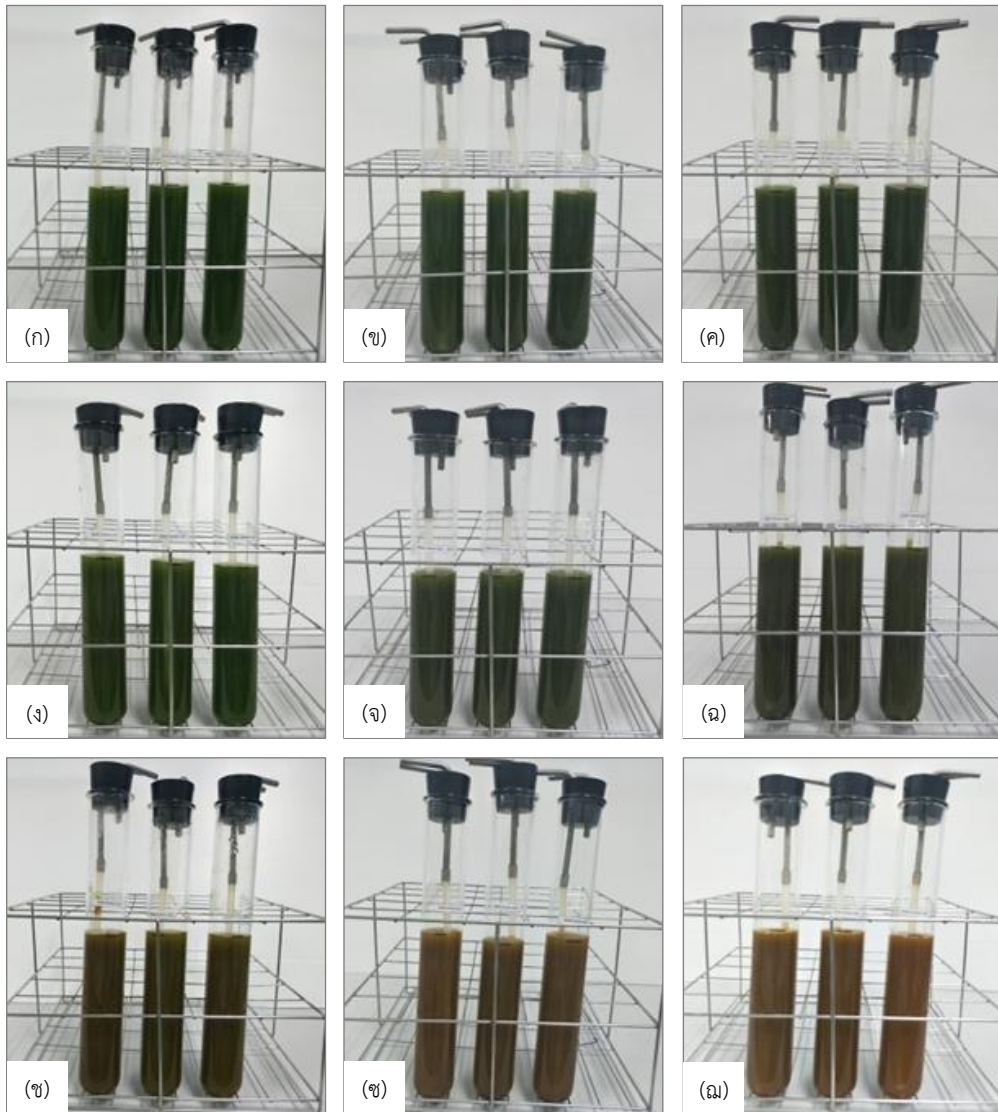
5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในการทดลองนี้ได้ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomize design: CRD) ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD) วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างผลของความเข้มแสงที่มีต่อการเจริญและการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ด้วยวิธี one-way ANOVA โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics 23 เปรียบเทียบผลผลิตชีวมวลและปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's new multiple test)

ผลการวิจัย

1. การศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการเจริญและการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266

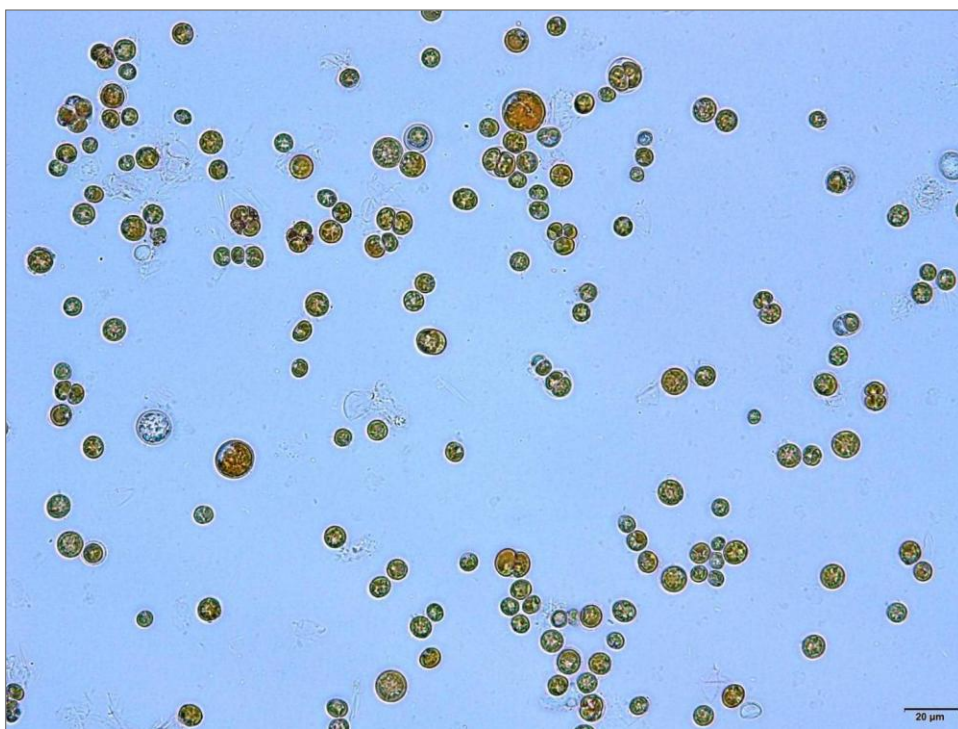
จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 ทั้ง 3 สภาวะ คือ สภาวะวางภายใต้แสงที่ความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ โดยเปิดไฟ 2 หลอด สภาวะวางภายใต้แสงที่ความเข้มแสงอยู่ในช่วง 7,500-8,000 ลักซ์ โดยเปิดไฟ 3 หลอด และสภาวะวางภายใต้แสงที่ความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,500-9,000 ลักซ์ โดยเปิดไฟ 6 หลอด พบว่าทั้ง 3 สภาวะสาหร่ายเจริญเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังภาพที่ 3 ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่าการดูดกลืนแสงและผลผลิตชีวมวลที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในวันที่ 14 21 และ 28 ของการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 3.54 ± 0.15 4.04 ± 0.21 และ 6.24 ± 0.15 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยสูงที่สุดในวันที่ 28 ของการเพาะเลี้ยง และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเพาะเลี้ยงที่เท่ากันของแต่ละสภาวะ พบว่าการเพาะเลี้ยงด้วยสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,500-9,000 ลักซ์ มีผลผลิตชีวมวลในวันที่ 14 21 และ 28 ของการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 4.30 ± 0.18 6.13 ± 0.19 และ 6.24 ± 0.15 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ และสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 7,500-8,000 ลักซ์ โดยสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ มีผลผลิตชีวมวลในวันที่ 14 และ 21 ของการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 2.59 ± 0.02 และ 3.40 ± 0.07 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 7,500-8,000 ลักซ์ มีผลผลิตชีวมวลในวันที่ 14 และ 21 ของการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 2.69 ± 0.09 และ 3.56 ± 0.07 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งผลผลิตชีวมวลทั้งสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ และ 7,500-8,000 ลักซ์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 7,500-8,000 ลักซ์ มีผลผลิตชีวมวลในวันที่ 28 ของการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 4.04 ± 0.21 กรัมต่อลิตร สภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ มีผลผลิตชีวมวลในวันที่ 28 ของการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 3.54 ± 0.15 กรัมต่อลิตร ซึ่งผลผลิตชีวมวลของสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 7,500-8,000 ลักซ์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ และพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างทั้ง 3 สภาวะอยู่ในช่วง 8.45-9.16 8.45-9.22 และ 8.45-10.27 ตามลำดับ (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 3 สาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 เพาะเลี้ยงที่สภาวะความเข้มแสงต่าง ๆ ได้แก่ สภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ ในวันที่ 14 (ก) 21 (ข) และ 28 (ค) ของการเพาะเลี้ยง สภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 7,500-8,000 ลักซ์ ในวันที่ 14 (ง) 21 (จ) และ 28 (ฉ) ของการเพาะเลี้ยง และสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,500-9,000 ลักซ์ ในวันที่ 14 (ช) 21 (ซ) และ 28 (ฅ) ของการเพาะเลี้ยง

สำหรับปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ พบว่าเมื่อสังเกตลักษณะการเปลี่ยนสีของสาหร่าย ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,500-9,000 ลักซ์ เริ่มเปลี่ยนสีจากสีเขียว เป็นสีส้มซึ่งอยู่ในระยะที่สาหร่ายผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ ตั้งแต่วันที่ 10 ของการเพาะเลี้ยงและชัดเจนที่สุดในวันที่ 28 ของการเพาะเลี้ยง (ภาพที่ 3 และ 4) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ ที่วิเคราะห์ได้ โดยพบว่าสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,500-9,000 ลักซ์ มีปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์

ในวันที่ 14 21 และ 28 ของการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 2.76 ± 0.26 3.92 ± 0.18 และ 3.89 ± 0.36 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับสถานะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ และ 7,500-8,000 ลักซ์ โดยสถานะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ และ 7,500-8,000 ลักซ์ ในวันที่ 21 ของการเพาะเลี้ยงมีปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ 2.00 ± 0.11 และ 2.33 ± 0.25 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และสถานะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ ในวันที่ 14 และ 28 ของการเพาะเลี้ยงมีปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ 0.85 ± 0.06 และ 2.14 ± 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง ตามลำดับ และสถานะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 7,500-8,000 ลักซ์ ในวันที่ 14 และ 28 ของการเพาะเลี้ยงมีปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ 1.42 ± 0.39 และ 3.18 ± 0.34 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง ตามลำดับ แสดงว่าสถานะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 7,500-8,000 ลักซ์ มีปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับสถานะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ ในวันที่ 14 และ 28 ของการเพาะเลี้ยง (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 4 ลักษณะเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีส้มในวันที่ 28 ของการเพาะเลี้ยงที่สถานะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,500-9,000 ลักซ์

ตารางที่ 1 ผลผลิตชีวมวล ค่าการดูดกลืนแสง ค่าความเป็นกรด-ด่าง และสารสีแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 ที่สภาวะความเข้มแสงต่าง ๆ ได้แก่ สภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ สภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 7,500-8,000 ลักซ์ และสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,500-9,000 ลักซ์ ในวันที่ 0 14 21 และ 28 ของการเพาะเลี้ยง

ระยะเวลา เพาะเลี้ยง (วัน)	สภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์					สภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 7,500-8,000 ลักซ์					สภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,500-9,000 ลักซ์				
	ผลผลิต	ค่าการดูด	ค่าความ	แคโรทีนอยด์	ผลผลิต	ค่าการดูด	ค่าความ	แคโรทีนอยด์	ผลผลิต	ค่าการดูด	ค่าความ	แคโรทีนอยด์			
	ชีวมวล	กลืนแสง	เป็น	(มิลลิกรัมต่อ	ชีวมวล	กลืนแสง	เป็น	(มิลลิกรัมต่อ	ชีวมวล	กลืนแสง	เป็น	(มิลลิกรัมต่อ			
	(กรัมต่อลิตร)	(OD ₆₈₀ นาโนเมตร)	กรด-ต่าง	กรัมแห้ง)	(กรัมต่อลิตร)	(OD ₆₈₀ นาโนเมตร)	กรด-ต่าง	กรัมแห้ง)	(กรัมต่อลิตร)	(OD ₆₈₀ นาโนเมตร)	กรด-ต่าง	กรัมแห้ง)			
0	0.04±0.01 ^a	0.05±0.00	8.45±0.01	-	0.04±0.01 ^a	0.05±0.00	8.45±0.01	-	0.04±0.01 ^a	0.05±0.00	8.45±0.01	-			
14	2.59±0.02 ^b	6.67±0.07	9.05±0.03	0.85±0.06 ^c	2.69±0.09 ^b	7.27±0.09	9.00±0.17	1.42±0.39 ^b	4.30±0.18 ^a	6.65±0.37	10.27±0.75	2.76±0.26 ^a			
21	3.40±0.07 ^b	8.31±0.10	9.16±0.06	2.00±0.11 ^b	3.56±0.07 ^b	8.62±0.02	9.12±0.01	2.33±0.25 ^b	6.13±0.19 ^a	8.48±0.83	9.49±0.05	3.92±0.18 ^a			
28	3.54±0.15 ^c	8.46±0.32	9.16±0.05	2.14±0.11 ^c	4.04±0.21 ^b	8.61±0.34	9.22±0.11	3.18±0.34 ^b	6.24±0.15 ^a	8.34±0.52	9.36±0.26	3.89±0.36 ^a			

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (mean±SD)

การอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาความเข้มแสงต่อการเจริญและการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 ทั้ง 3 สภาวะ คือ สภาวะวางภายใต้แสงที่ความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ โดยเปิดไฟ 2 หลอด สภาวะวางภายใต้แสงที่ความเข้มแสงอยู่ในช่วง 7,500-8,000 ลักซ์ โดยเปิดไฟ 3 หลอด และสภาวะวางภายใต้แสงที่ความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,500-9,000 ลักซ์ โดยเปิดไฟ 6 หลอด พบว่าสาหร่ายเจริญเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยสูงที่สุดในวันที่ 28 ของการเพาะเลี้ยง และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเพาะเลี้ยงที่เท่ากันของแต่ละสภาวะ พบว่าการเพาะเลี้ยงด้วยสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,500-9,000 ลักซ์ ให้ผลผลิตชีวมวลและปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์สูงกว่าสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ และ 7,500-8,000 ลักซ์ โดยมีผลผลิตชีวมวลและปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ในวันที่ 14 21 และ 28 ของการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 4.30 ± 0.18 6.13 ± 0.19 และ 6.24 ± 0.15 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ 2.76 ± 0.26 3.92 ± 0.18 และ 3.89 ± 0.36 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ และ 7,500-8,000 ลักซ์ ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงที่เท่ากัน ซึ่งจากผลการทดลองแสดงว่าการเพาะเลี้ยงที่ให้ความเข้มแสงสูงส่งผลต่อการเจริญและการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 มากกว่าการเพาะเลี้ยงด้วยความเข้มแสงต่ำ ๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยต่าง ๆ ได้แก่ การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของสารสีแคโรทีนอยด์ในสาหร่ายสีเขียว *Botryococcus braunii* ของ Ambati *et al.* (2010) โดยศึกษาการเพาะเลี้ยงแบบออโตโทรฟิก (autotrophic cultivation) ใช้อาหารเพาะเลี้ยง CHU13 Z8 BBM และ BG-11 หลังจากการเพาะเลี้ยง 14 วัน กระตุ้นการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ด้วยความเข้มแสง 3.5 ± 0.2 กิโลลักซ์ ถึงวันที่ 21 ของการเพาะเลี้ยง พบว่าการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร BG-11 และ Z8 ให้ผลผลิตชีวมวลสูง คือ 3.6 และ 3.2 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ 0.28 และ 0.27 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก ตามลำดับ การศึกษาของ Zheng *et al.* (2019) ศึกษาการใช้แสงกระตุ้นการสังเคราะห์และการสะสมแอสตาแซนทีนในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. zoofingensis* ทดสอบภายใต้สภาวะเพาะเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic cultivation) และโฟโตรออโรโตโทรฟิก (photoautotrophic cultivation) พบว่าการเพาะเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟิกเป็นสภาวะที่ทำให้การผลิตแอสตาแซนทีนน้อยแต่ให้ผลผลิตชีวมวลสูง ในขณะที่การเพาะเลี้ยงแบบ และโฟโตรออโรโตโทรฟิกให้ผลผลิตชีวมวลน้อยแต่มีแนวโน้มการผลิตแอสตาแซนทีนสูงในช่วงความเข้มแสง 50-400 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที โดยที่ความเข้มแสง 400 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที มีปริมาณแอสตาแซนทีนสูงที่สุด คือ 2.88 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง สูงกว่าการเพาะเลี้ยงที่ความเข้มแสง 50 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที 3.4 เท่า การศึกษาปริมาณความเข้มแสงและความเค็มที่มีผลต่อการสะสมแคโรทีนอยด์กลุ่มอีสระและแคโรทีนอยด์กลุ่มเอสเทอร์ในสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุล *Scenedesmus* sp. ของ Aburai *et al.* (2015) โดยใช้สภาวะการขาดไนโตรเจนและการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มแสงมาใช้เป็นสภาวะกระตุ้นการผลิตแคโรทีนอยด์ พบว่าหลังจากเพาะเลี้ยง 13 วัน ที่ความเข้มแสง 200 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 34.2 ± 3.8 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง มีปริมาณคลอโรฟิลล์ 2.5 ± 0.6 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง ซึ่งได้สรุปว่าระดับความเข้มแสงเป็นสิ่งสำคัญและมีอิทธิพลต่อการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ และพบว่า

ความเค็มและความเข้มแสงสูงเป็นตัวกระตุ้นที่เสริมฤทธิ์ ช่วยเร่งการสร้างแคโรทีนอยด์ได้เร็วขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนราทร และคณะ (2562) ที่ศึกษาอิทธิพลในการกระตุ้นการสะสมสารสำคัญ ด้วยการเติมโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.1 0.2 และ 0.3 โมลาร์ พบว่าที่ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ สาหร่ายสายพันธุ์ *Coelastrella* sp. (SK-QSGMF6) และ *Coelastrum* sp. (SK-KHY6) มีการสะสมแคโรทีนอยด์ภายในเซลล์ได้สูงที่สุด คือ 3.45 และ 3.56 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติกับการทดลองที่ไม่เติมโซเดียมคลอไรด์และเติมที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2 โมลาร์ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสาหร่าย *S. armatus* และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดในสาหร่ายของ Ruen-ngam (2017) โดยเฉพาะเลี้ยงสาหร่ายที่ความเข้มแสง 2,700 และ 3,400 ลักซ์ พบว่าที่ความเข้มแสงสูงที่สุดที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง คือ 3,400 ลักซ์เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตมากที่สุด Fu et al. (2012) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ในสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุล *Dunaliella salina* โดยใช้แสงจากหลอดไฟแอลอีดีและนำมาปรับใช้ในห้องปฏิบัติการ พบว่าแสงสีแดงและแสงสีฟ้าที่ความเข้มแสง 170 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ในอัตราส่วน 3:1 ส่วน ส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มการสะสมบีตาแคโรทีนและลูทีน

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตและการกระตุ้นการผลิตสารสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยต่าง ๆ ที่พบว่ถึงแม้จะกระตุ้นการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ด้วยปัจจัยอื่น ๆ แต่ถ้าเพิ่มความเข้มแสงสูงในสภาวะการกระตุ้นจะสามารถผลิตสารสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์ได้สูงกว่าสภาวะที่ให้แสงต่ำ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการเจริญและการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 ทั้ง 3 สภาวะ พบว่าการเพาะเลี้ยงด้วยสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,500-9,000 ลักซ์ ให้ผลผลิตชีวมวลและปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์สูงกว่าสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ และ 7,500-8,000 ลักซ์ ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงที่เท่ากัน โดยมีผลผลิตชีวมวลและปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ในวันที่ 14 21 และ 28 ของการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 4.30 ± 0.18 6.13 ± 0.19 และ 6.24 ± 0.15 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ 2.76 ± 0.26 3.92 ± 0.18 และ 3.89 ± 0.36 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000-4,500 ลักซ์ และ 7,500-8,000 ลักซ์ ซึ่งจากผลการทดลองแสดงว่าการเพาะเลี้ยงที่ให้ความเข้มแสงสูงส่งผลดีต่อการเจริญและการผลิตสารสีแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. TISTR 8266 มากกว่าการเพาะเลี้ยงด้วยความเข้มแสงต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริม ววน.) ที่ให้เงินทุนสนับสนุนในการทำวิจัย และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศด้านสาหร่าย ภายใต้ศูนย์ความหลากหลายทางชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ และสายพันธุ์สาหร่ายในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จิรรัตน์ แก้วจันทน์ สมรักษ์ รอดเจริญ อำนวยโชค เวชกุล ธัชชา สามพิมพ์ การุณ ทองประจุแก้ว นันทน์ นันทพงศ์ มานพ อาดำ และเสาวลักษณ์ มาลาวะ. (2564). ผลของการเสริมสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Nostoc commune* vaucher TISTR 8870 ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และการสร้างสีของปลากัด (*Betta splendens* Regan, 1910). *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 40(1), 106-120.
- นราทร สุขวิเศษ วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร ปรีชาติ อยู่แพทย์ และสุปรียา สุขเกษม. (2562). การคัดเลือกสาหร่ายขนาดเล็กที่มีศักยภาพสูงในการผลิตสารสำคัญ และการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการกระตุ้นการสะสมสารสำคัญ. *รายงานผลการวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2562*. กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร.
- Aburai, N., Sumida, D. and Abe, K. (2015). Effect of light level and salinity on the composition and accumulation of free and ester-type carotenoids in the aerial microalga *Scenedesmus* sp. (Chlorophyceae). *Algal Research*, 8, 30-36, doi: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.01.005>.
- Ambati, R.R., Ravi, S. and Aswathanarayana, R.G. (2010). Enhancement of carotenoids in green alga-*Botryococcus braunii* in various autotrophic media under stress condition. *International Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*, 4(2), 87-92.
- Borowitzka, L.J. and Borowitzka, M.A. (1989). β -carotene (pro-vitamin a) production with algae. In Vandamme, J. (Ed.). *Biotechnology of vitamins, pigment and growth factors*, pp. 15-26, London: Elsevier Applied Science.
- Choi, M.H., Kim, G.H. and Lee, H.S. (2002). Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. *Food Research International*, 35(8), 753-759, doi: [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00071-6](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00071-6).
- Del Campo, J.A., Garcia-Gonzalez, M. and Guerrero, M.G. (2007). Outdoor cultivation of microalgae for carotenoid production: Current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 74(6), 1163-1174, doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-007-0844-9>.

- Fu, W., Guomundsson, O., Paglia, G., Herjolfsson, G., Andresson, O.S., Palsson, B. and Brynjolfsson, S. (2012). Enhancement of carotenoid biosynthesis in the green microalga *Dunaliella salina* with light-emitting diodes and adaptive laboratory evolution. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(6), 2395-2403, doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4502-5>.
- Johnson, E.A. and Schroeder, W.A. (1996). Microbial carotenoids. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 53, 119-178, doi: <https://doi.org/10.1007/BFb0102327>.
- Leya, T., Rahn, A., Lutz, C. and Remias, D. (2009). Response of arctic snow and permafrost algae to high light and nitrogen stress by changes in pigment composition and applied aspects for biotechnology. *Federation of European Microbiological Societies*, 67(3), 432-443, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.0064.x>.
- Lichtenthaler, H. (1987). Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic biomembranes. In Douce, R. and Packer, L. (Eds.). *Methods Enzymol*, pp 350-382. New York: Academic Press inc.
- Masojidek, J., Torzillo, G., Koblizek, M., Nidiaci, L., Komenda, J., Lukavska, A. and Sacchi, A. (2000). Changes in chlorophyll fluorescence quenching and pigment composition in the green alga *Chlorococcum* sp. grown under nitrogen deficiency and salinity stress. *Journal of Applied Phycology*, 12(3), 417-426, doi: <https://doi.org/10.1023/A:1008165900780>.
- Rao, A.V. and Rao, L.G., (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55(3), 207-216, doi: <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.012>.
- Ruen-ngam, D. (2017). Optimal condition for cultivation of *Scenedesmus armatus* cultivation and antioxidant activity of its extract. *Journal of Food Technology, Siam University*, 12(1), 59-70.
- Sakagami, Y., Sumiya, Y. and Komemushi, S. (2010). Research on search of the carotenoid-producing microorganisms in marine area and the improvement of production ratio. *Yakugaku Zasshi: Journal of the Pharmaceutical Society of Japan*, 130(11), 1445-1451, doi: <https://doi.org/10.1248/YAKUSHI.130.1445>.
- Shaish, A., Ben-Amotz, A. and Avron. M. (1992). Biosynthesis of β -carotene in *Dunaliella*. *Methods in Enzymology*, 213, 439-444, doi: [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(92\)13145-N](https://doi.org/10.1016/0076-6879(92)13145-N).
- Sivathanu, B., and Palaniswamy, S. (2012). Purification and characterization of carotenoids from green algae *Chlorococcum humicola* by HPLC-NMR and LC-MS-APCI. *Biomedicine & Preventive Nutrition*, 2(4), 276-282, doi: <https://doi.org/10.1016/j.bionut.2012.04.006>.

- Stainer, R.Y., Kunisawa, R., Mandel, M. and Cohen-Bazire, G. (1971). Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chlorococcales). *American Society for Microbiology*, 35(2), 171-205. doi: <https://doi.org/10.1128/br.35.2.171-205.1971>.
- Takaichi, S. (2011). Carotenoids in algae: Distributions biosynthesis and functions. *Marine Drugs*, 9(6), 1101-1118, doi: <https://doi.org/10.3390/md9061101>.
- Vonshak, A. (1986). *Handbook of microalgae mass culture: Laboratory techniques for the cultivation of microalgae*. Florida: CRC Press.
- Young, A.J. (1993). Factors that affect the carotenoid composition of higher plants and algae. In Young, A.J. and Britton, G. (Eds.). *Carotenoids in Photosynthesis*, pp. 160-205. Dordrecht: Springer.
- Zhang, D.H. and Lee, Y.K. (1997). Enhanced accumulation of secondary carotenoids in a mutant of the green alga, *Chlorococcum* sp. *Journal of Applied Phycology*, 9(5), 459-463. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1007902103419>.
- Zheng, S., Yu, Z., Li-ping, S., and Jin, L. (2019). Light elicits astaxanthin biosynthesis and accumulation in the fermented ultrahigh-density *Chlorella zofinginesis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(19), 5579-5586, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01176>.

**คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับสำหรับผู้พิมพ์
เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช**

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จัดทำขึ้นเพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่บทความวิจัย (research article) และบทความวิชาการ (academic article) ของคณาจารย์ บุคลากร นักศึกษา ภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยฯ 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 สิ่งที่น่าสนใจ 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 องค์ความรู้ 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 และตามด้วยชื่อภาพหรือคำอธิบายภาพประกอบสั้น ๆ)” และบรรทัดที่ถัดลงมาคือ “ที่มา:...” ใช้รูปแบบเดียวกับตารางทุกประการ ดังตัวอย่าง

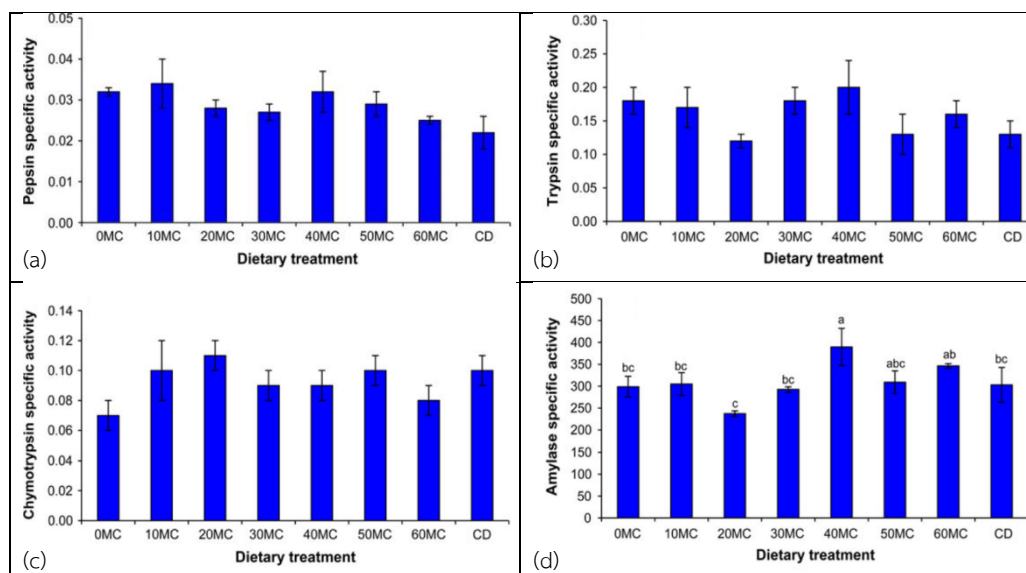


Figure 1 The specific activities (U/mg protein) of pepsin (a), trypsin (b), chymotrypsin (c) and amylase (d) in giant freshwater prawns subjected to various dietary replacements of protein from fish meal with mackerel condensate (MC). The data are expressed as mean $\pm$ SEM ($n = 3$). Different superscripts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

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 สุชาติพิพย์. (2550). <i>การสังเคราะห์งานวิจัยคุณลักษณะและกระบวนการปลูกฝังจริยธรรมของประเทศต่าง ๆ</i> . (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. 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://d31j74p4lpxrfcloudfront.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 และการุณ ทองประจุแก้ว. (2559). สภาวะการเลี้ยงและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (<i>Nostoc commune</i> TISTR 8870) ที่ผ่านการดัดแปรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. <i>วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย</i>, 8(2), 219-229. Palzzo, 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 จีมนับใจ. (2550). สมรรถนะแห่งตนต่อการเฝ้าระวังโรคความดันโลหิตสูงของอาสาสมัครสาธารณสุขอำเภอหนามื่น 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 สุรยุทธ์ แฉ่งเกิด. (2559). ความมั่นคงทางอาหารของชุมชนบ้านบางปรึก. การประชุมวิชาการความมั่นคงทางอาหารแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.
รายงานการวิจัย
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อเรื่อง/รายงานวิจัย/ชื่อมหาวิทยาลัย.
ตัวอย่าง จันทิมา ชังสิริพร 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). วากรรมความงามของเด็กมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช. 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

ISSN (Print) : 0125-2380

ISSN (Online) : 2672-958X



Wichcha Journal

Nakhon Si Thammarat Rajabhat University