



วารสาร วิชชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ปีที่ 40 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2564

Vol. 40 No. 2 July - December 2021

วารสารวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN (Print) : 0125-2380

ISSN (Online) : 2672-958X



Wichcha Journal

Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

www.nstru.ac.th



วารสาร วิชชา WICHA JOURNAL มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

ปีที่ 40 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2564 Vol. 40 No. 2 July – December 2021

เจ้าของ
ที่ปรึกษา
บรรณาธิการ
ผู้ช่วยบรรณาธิการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรศักดิ์ แก้วอ่อน รองอธิการบดี
รักษาราชการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ
ดร.ธัชชา สามพิมพ์

นโยบาย

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

ขอบเขตงาน

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

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการและงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นสื่อส่งเสริมการสร้างความรู้และองค์ความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อเป็นเวทีนำเสนอผลงานทางวิชาการของบุคลากรในมหาวิทยาลัยและบุคคลทั่วไป

ประเภทบทความ

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

กระบวนการพิจารณาบทความ

บทความทุกบทความที่ได้รับการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ได้รับการพิจารณาจากผู้ประเมินอิสระ (peer review) ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง 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 ตำบลท่าจั่ว อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

บรรณาธิการที่ปรึกษา ประกอบด้วย

ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไบไม้	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 ธีญรส	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.สุเปัญญา จิตตพันธ์

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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สงรักษ์

ดร.ปิยรัชฎ์ ปริญาพงษ์ เจริญทรัพย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระยุทธ สุตสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ศุภพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งนภา พิมเสน

ดร.ศณัฏฐา ธีระขุนทด

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

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี หอมเขียว

รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิลป์ ผลพันธุ์
รองศาสตราจารย์ ดร.สรรพสิทธิ์ กล่อมเกล้า

รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.สุปินันต์ ไม้แพ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุเปัญญา จิตตพันธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.เอกวิญ กาลกรณ์สุรปราณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษร เมืองทิพย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจร ตรีโสภณกร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ สากุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน
มหาวิทยาลัยทักษิณ
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยพะเยา
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ เตชะเกรียงไกร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนภูมิ ศิริงาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนัสถ์ นนทพุทธ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น้อมจิตต์ แก้วไทย อันเดร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ลีทองอิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วชิราภรณ์ พิกุลทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชุดา กล้าเวช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี รามสูตร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ แห่งมงาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอนก เทียนบุชา
ดร.กิตติมา เทียบพุด
ดร.วราวุฒิ พุทธิไ

ดร.สุทธิษา ก้อนเรือง
ดร.เอกรินทร์ รอดเจริญ

คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
วิทยาเขตสงขลา
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
วิทยาเขตนครศรีธรรมราช
คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
คณะทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผู้ตรวจทานภาษาต่างประเทศประจำฉบับ

ดร.ศณัฏฐา ธีระขุนท์ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
อาจารย์ทิพวรรณ ทองขุนคำ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ฝ่ายจัดการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรศักดิ์ แก้วอ่อน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ศุภพันธ์
ดร.ธัชชา สามพิมพ์
นางสาวกัญต์ฤทัย จรจรัส

ปก เลือฉินกรพิมพ์
พิมพ์ที่ เลือฉินกรพิมพ์

439 ถนนศรีธรรมโศก ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80000
โทร. 090-2895246 e-mail: pue2548@gmail.com

	หน้า
บทความวิจัย	
การพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัดสำหรับการเกษตรสมัยใหม่ ภูมิพัฒน์ กำคำ* ฐานา นามประดิษฐ์ ลักนา เพิ่มพูล และบุญส่ง พลสัมฤทธิ์	1
องค์ประกอบชนิดของโรติเฟอร์ คลาโดเซอแรน และโคพีพอดในนาข้าวอินทรีย์บริเวณพื้นที่ดินเค็ม จังหวัดนครราชสีมา ณัฐพร ปลั่งกลาง และศุจิภรณ์ อธิบาย*	14
การพัฒนาเครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ดรีน อนุรักษ์ ตรีเพชร ชโลธร ศักดิ์มาศ และปริญญา หม่อมพิบูลย์*	29
ผลของเวลาในการระเหยของตัวทำละลาย และตัวทำละลายร่วมกับอะซิโตนต่อลักษณะสัณฐานของ เยื่อแผ่นในกระบวนการผลิตเยื่อแผ่นพอลิซิลิโคน ชัยภรณ์ แก้วอ่อน* อัญนิกา รุ่งคง อภินิหารรัตน์ ชันแก้ว และโสธรา เรืองดิษฐ์	44
การพัฒนาเครื่องทำนมจากข้าวไม่ดรีนสำหรับกลุ่มแปรรูปอาหารในครัวเรือน ปริญญา หม่อมพิบูลย์ และอนุรักษ์ ตรีเพชร*	56
ระบบการวิเคราะห์สมรรถนะในกีฬาวอลเลย์บอล: ประสิทธิภาพสมรรถนะการทำแต้ม ก.รวีวุฒิ ระเบียบเหตุ	71
ผลของการใช้น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้และวัสดุเศษเหลือผลไม้ในท้องถิ่นต่อการเพิ่มประสิทธิภาพ การจับตัวของยางก้อนถ้วย ฉัตรชัย สังข์ผุด* สุจารี แก้วคง วรณชัย พรหมเกิด และกฤษฎา ธารพงศ์ทรัพย์	82
สภาวะการผลิตวันสวรรคตจากไซรัปกล้วยน้ำว้า โดย <i>Acetobacter</i> sp. TISTR 1014 อดิศรา ต้นตสุทธิกุล	97
ผลของรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของบัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานี หนึ่งฤทัย ด่านเขตร์แดน อนันต์ พิริยะภัทรกิจ ณัฐพงศ์ จันจุฬา และคมกฤษณ์ แสงเงิน*	106
ความหลากหลายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่และความสัมพันธ์ต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแม่น้ำยม ปวิพัทธ์ สันป่าเป้า สุพัฒน์ พลชา วิทยา ทาวงค์ ภาวิณี พงษ์ชัยสิทธิ์ และปิยวัฒน์ ปองผดุง*	118
คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ	133

การพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัดสำหรับการเกษตรสมัยใหม่ Low-cost Data Logger Development for Modern Agriculture

ภูมิพัฒน์ คำคำ^{1*} ธาปนา นามประดิษฐ์² ลักณา เพิ่มพูล² และบุญส่ง พลสัมฤทธิ์³
Phumiphat Kakham^{1*} Thapana Nampradit² Lukkana Poempool²
and Boonsong Polsumrit³

บทคัดย่อ

เครื่องมือบันทึกข้อมูลมีความจำเป็นสำหรับการทำการเกษตรสมัยใหม่เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเกษตรกรจำเป็นต้องทราบตัวแปรและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณแสงสว่าง เพื่อนำมาใช้ในการดูแลรักษาพืช แต่เนื่องจากเครื่องมือบันทึกข้อมูลที่มีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาดมักมีราคาแพง และขาดความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งาน ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัด ที่มีความเหมาะสมและเพียงพอในการใช้งานสำหรับการเกษตรสมัยใหม่ เครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วยโมดูลเอสดีการ์ด โมดูลนาฬิกาตามเวลาจริง และจอภาพผลึกเหลว เชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอินโดว ซึ่งมีต้นทุนประมาณ 1,165 บาท การเขียนเฟิร์มแวร์และส่วนการตั้งค่าใช้งานของเครื่องบันทึกข้อมูลสามารถทำผ่านโปรแกรมอาดูอินโดวดี การทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูลร่วมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบดิจิทัล และเซนเซอร์ตรวจวัดแสงแบบแอนะล็อก เพื่อตรวจวัดสภาพอากาศในแปลงเกษตรในช่วงระยะเวลา 2 เดือน พบว่าเครื่องสามารถบันทึกข้อมูลราย 5 นาที และบันทึกไฟล์แบบวันต่อวันได้อย่างถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ นอกจากนี้เครื่องบันทึกข้อมูลที่ใช้บอร์ดอาดูอินโดวยังสามารถนำไปใช้งานร่วมกับเซนเซอร์สภาพแวดล้อมอื่น ๆ เช่น เซนเซอร์น้ำฝน เซนเซอร์วัดระดับน้ำ และเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน เป็นต้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการแจ้งเตือนสภาพอากาศที่เป็นอันตรายต่อพืช รวมไปถึงการเพิ่มฟังก์ชันการให้น้ำพืชแบบอัตโนมัติได้

คำสำคัญ: เครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัด การเกษตรสมัยใหม่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูอินโดว

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

² สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตอัตโนมัติ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

³ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

* Corresponding author e-mail: phumiphat@techno.rru.ac.th

Received: 6 May 2021, Revised: 10 June 2021, Accepted: 8 July 2021

Abstract

Data loggers are really essential for modern agriculture, since agriculturists need to know environmental factors and variables, such as temperature, humidity and light intensity, for taking care of their plants. Because the data loggers available in the market are usually costly and inflexible to use, we proposed the development of low-cost data logger, which is suitable and sufficient for modern agriculture. The developed data logger consists of an SD card module, a real-time clock module, and a liquid-crystal display connected to an Arduino Due microcontroller board, which cost roughly 1,165 THB in total. In addition, firmware implementation and setting up for the data logger can be performed via Arduino IDE. The experimentation of the data logger incorporated with a digital temperature and humidity sensor, and an analog light intensity sensor to measure weather conditions on a farm land for 2 months showed that the developed data logger can be used to record the data every 5 minutes and store them into separate files for each day as designed. In addition, Arduino based data logger can be integrated with other environmental sensors such as rain detection sensors, water level sensors, and soil moisture sensors. This capability leads to additional applications including hazardous weather warning and automatic watering system.

Keywords: Low-cost data logger, Modern agriculture, Microcontroller, Arduino

บทนำ

การจัดการการผลิตสำหรับการเกษตรสมัยใหม่ มีความจำเป็นต้องยกระดับและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตให้มากยิ่งขึ้น เพื่อใช้ทรัพยากรให้ได้อย่างเหมาะสมและคุ้มค่า เกษตรกรยุคใหม่จึงนำเอาเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการเก็บรวบรวมและบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการปลูกพืช เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแสงธรรมชาติ ปริมาณน้ำฝน เป็นต้น ข้อมูลจำนวนมากต้องถูกบันทึกและจัดเก็บอย่างเป็นระบบ เพื่อให้สามารถนำไปวิเคราะห์และใช้ประโยชน์ต่อไปได้ เครื่องบันทึกข้อมูลเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานดังกล่าว เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่สามารถรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ได้โดยอัตโนมัติ ปริมาณทางฟิสิกส์ที่ต้องการวัดจะถูกเซนเซอร์แปลงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เครื่องบันทึกข้อมูลจะจำแนกระดับของสัญญาณทางไฟฟ้าง่ายๆ ก่อนที่จะจัดเก็บในรูปแบบของข้อมูลเชิงตัวเลข (Okwudibe and Akinloye, 2017) แม้ว่าจะมีการผลิตเครื่องบันทึกข้อมูลออกมาให้เลือกใช้งานเป็นจำนวนมาก (Wilson *et al.*, 2020) แต่เครื่องบันทึกข้อมูลที่มีขายในท้องตลาดยังมีราคาแพงและขาดความยืดหยุ่นในการใช้งานเฉพาะด้าน โดยเฉพาะสำหรับการเกษตรสมัยใหม่ซึ่งต้องการอุปกรณ์ที่เคลื่อนย้ายได้ง่าย ราคาประหยัด และปรับแต่งการใช้งานได้ตามความต้องการ

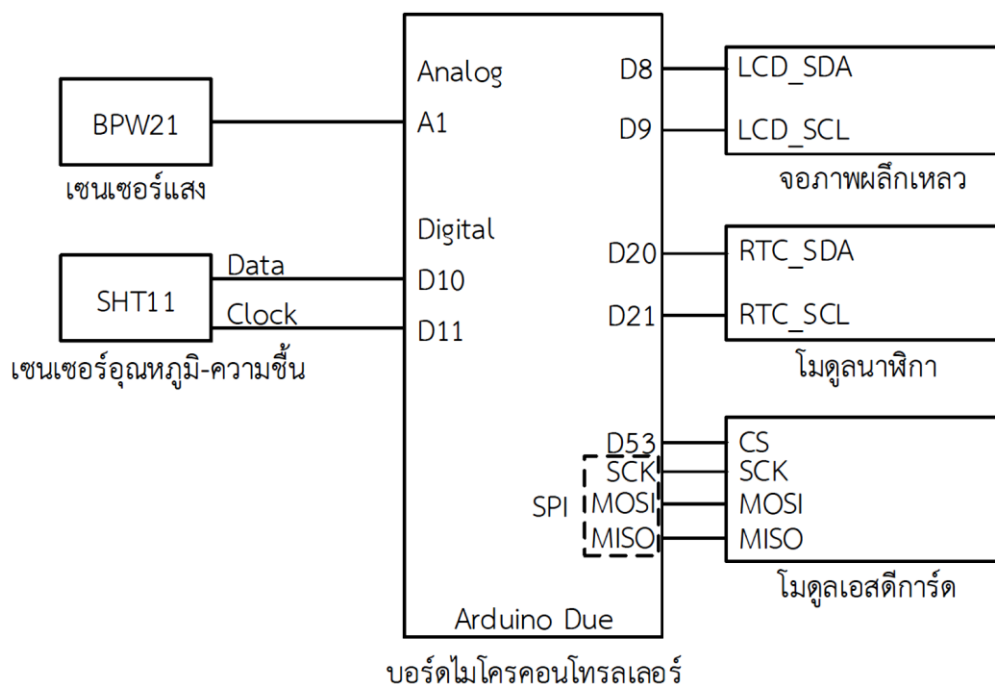
ด้วยพัฒนาการทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ในปัจจุบัน ยังผลให้นักวิจัยสามารถพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลที่มีคุณลักษณะเพียงพอต่อการใช้งาน ราคาประหยัด และสร้างขึ้นได้ง่าย ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น ระบบบันทึกข้อมูลพลังความดันของน้ำในดินราคาประหยัดที่พัฒนาด้วยบอร์ดอาดุยโน Uno R3 (Thalheimer, 2013) ระบบบันทึกข้อมูลรถยนต์แบบเรียลไทม์โดยใช้ GPS และ GSM ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4520 (Thet *et al.*, 2015) การออกแบบการเก็บและควบคุมข้อมูลแบบเรียลไทม์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM cortex ประสิทธิภาพสูง (Madhukeshwara and Dharshini, 2015) เครื่องวัดสภาพอากาศพื้นฐานแบบอัตโนมัติประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ATmega1280 (อิษณิน และคณะ, 2558) ระบบบันทึกข้อมูลแบบสแตนด์อโลนโดยใช้โปรโตคอล SPI และ I²C สำหรับงานอุตสาหกรรมที่พัฒนาขึ้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (Satheesh *et al.*, 2016) การออกแบบเครื่องบันทึกข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 (Tamil Vathana and Janarthanan, 2017) ระบบบันทึกและแสดงผลข้อมูลภูมิอากาศผ่านระบบสื่อสารไร้สายซิกบี (Zigbee) ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโน Uno R3 (เกรียงไกร และคณะ, 2560) เครื่องบันทึกข้อมูลแบบสแตนด์อโลนสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Hadi *et al.*, 2018) ระบบเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศในบริเวณชายฝั่งทะเลที่พัฒนาด้วยบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ ราสเบอร์รี่พาย (raspberry pi) (ภูมินทร์ และคณะ, 2561) เป็นต้น แต่การพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลและเครื่องบันทึกข้อมูลที่ผ่านมา ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (analog to digital converter: ADC) ขนาดความละเอียดไม่เกิน 10 บิต ซึ่งอาจจะไม่ละเอียดเพียงพอสำหรับการวัดค่าปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และมีจำนวนช่องต่อสัญญาณไม่มากพอ จึงเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน

บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัด ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโนดิว (Arduino due) ที่มีตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาดความละเอียด 12 บิต โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้สำหรับบันทึกข้อมูลทางการเกษตรสมัยใหม่ และเป็นแนวทางในการลดการพึ่งพาเทคโนโลยีที่นำเข้าจากต่างประเทศ

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโนดิว โมดูลเอสดีการ์ด (SD card) โมดูลนาฬิกา (real-time clock) และจอภาพผลึกเหลว (liquid-crystal display) ผังวงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องแสดงดังภาพที่ 1 โมดูลเอสดีการ์ดเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดอาดุยโนดิวผ่านทางโปรโตคอล SPI (serial peripheral interface) โดยการเชื่อมต่อขาสัญญาณ CS SCK MOSI และ MISO เข้ากับพอร์ต D53 และพอร์ต SPI ของอาดุยโนดิว ตามลำดับ ส่วนโมดูลนาฬิกาและจอภาพผลึกเหลวเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดอาดุยโนดิวผ่านทางโปรโตคอล I²C (inter-integrated circuit) โดยการเชื่อมต่อขาสัญญาณ SDA และ SCL เข้ากับพอร์ต D20 และ D21 สำหรับโมดูลนาฬิกา และพอร์ต D8 และ D9 สำหรับจอภาพผลึกเหลว ตามลำดับ ดังนั้นเครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนาขึ้นจึงสามารถรับสัญญาณจากเซนเซอร์ชนิดแอนะล็อกได้จำนวน 12 พอร์ต (พอร์ตแอนะล็อกหมายเลข A0-A11) และสามารถ

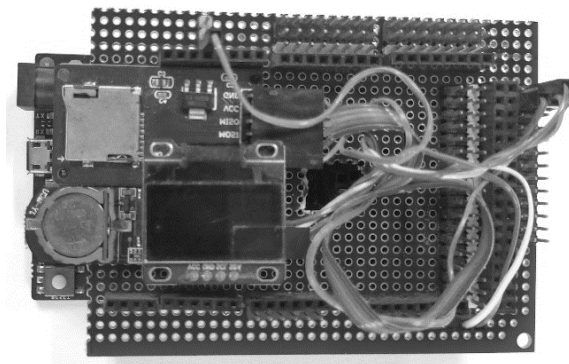
รับสัญญาณจากเซนเซอร์ชนิดดิจิทัลหรือส่งสัญญาณแจ้งเตือนและควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้จำนวน 46 พอร์ต (พอร์ตหมายเลข D2-D7 D10-D19 D23-D52) การทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูลดำเนินการขึ้นโดยต่อเซนเซอร์แสงที่พอร์ตแอนะล็อก A1 และเซนเซอร์อุณหภูมิ-ความชื้นที่พอร์ตดิจิทัล D10 และ D11



ภาพที่ 1 แผนภาพส่วนประกอบของเครื่องบันทึกข้อมูล

1. อุปกรณ์ประกอบเครื่องบันทึกข้อมูล

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาδυโนดิวที่นำมาใช้พัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูล ประกอบด้วย ช่องต่อสัญญาณแบบดิจิทัล จำนวน 53 พอร์ต และช่องต่อแบบแอนะล็อก จำนวน 12 พอร์ต บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้มีตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียดขนาด 12 บิต และรองรับแรงดันไฟฟ้าได้ไม่เกิน 3.3 โวลต์ ข้อมูลที่ต้องการจัดเก็บพร้อมเวลาจะถูกบันทึกลงเอสดีการ์ดในรูปแบบ FAT16 หรือ FAT32 ผ่านทางโมดูลเอสดีการ์ด วันและเวลาที่ได้รับจากโมดูลนาฬิกา ซึ่งใช้ชิป DS3231 มีความแม่นยำ ± 2 ppm หรือในระยะเวลา 1 ปี นาฬิกาจะคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 นาที ภายในชิป DS3231 มีวงจรวัดอุณหภูมิซึ่งจะถูกนำมาคำนวณเพื่อชดเชยความถี่ของคริสตัล (crystal) ที่อาจคลาดเคลื่อนไปเนื่องจากอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม นอกจากนั้นบนบอร์ดยังมี แบตเตอรี่สำรองพลังงานเพื่อรักษาวินาทีและเวลาให้เป็นปัจจุบัน



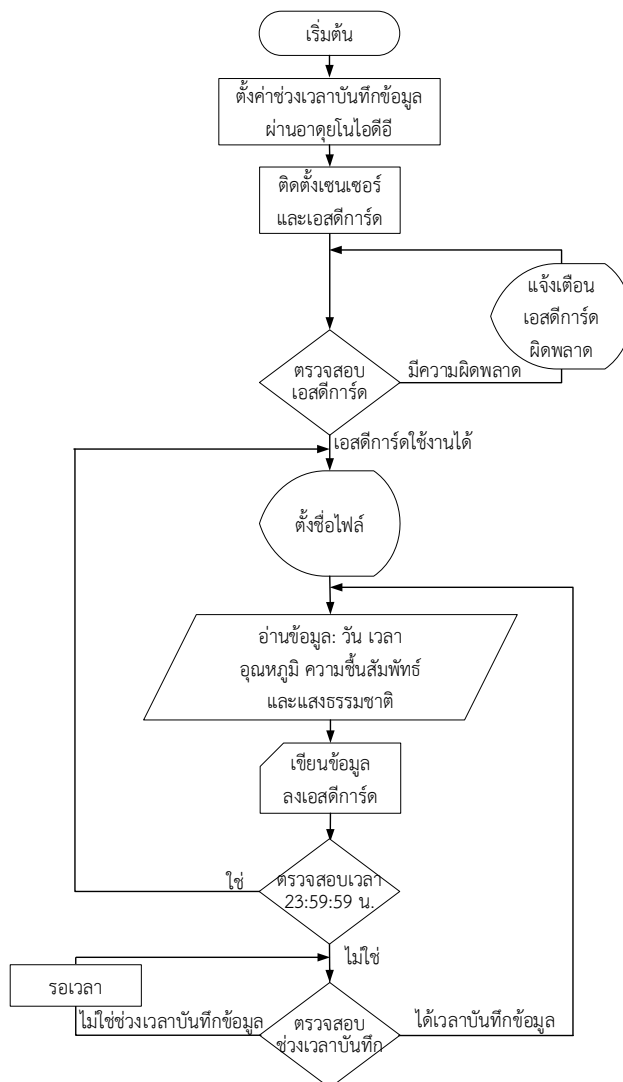
ภาพที่ 2 เครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนาขึ้น

2. รายละเอียดด้านเฟิร์มแวร์

เฟิร์มแวร์ประกอบด้วยชุดคำสั่งเพื่อควบคุมบอร์ดอาดุยโนตัวให้อ่านข้อมูลจากพอร์ตซึ่งเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ และส่วนของชุดคำสั่งที่บันทึกข้อมูลลงบนเอสดีการ์ดตามเวลาที่กำหนด เซนเซอร์ชนิดดิจิทัลจะส่งสัญญาณด้วยแรงดันไฟฟ้าเป็นสองระดับคือ low และ high ซึ่งบอร์ดอาดุยโนจะสามารถรับรู้และแปลงค่าดังกล่าวให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขได้อย่างแม่นยำ ส่วนเซนเซอร์ชนิดแอนะล็อกจะให้ค่าข้อมูลในรูปของแรงดันไฟฟ้า ค่าดังกล่าวจะผ่านตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียด 12 บิต เพื่อแปลงสัญญาณให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขก่อนที่จะนำไปใช้งาน ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากพอร์ตแอนะล็อก (V_0) กับข้อมูลเชิงตัวเลขที่สามารถนำไปใช้งานได้ (V_{ADC}) เป็นดังสมการ (1)

$$V_0 = \frac{V_{ADC} \times 3300}{2^{12} - 1} \quad (1)$$

ในการบันทึกข้อมูล ผู้ใช้สามารถกำหนดช่วงห่างของเวลาในการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลได้ตั้งแต่ 1 วินาที ขึ้นไป และข้อมูลจะถูกแยกจัดเก็บลงในไฟล์แบบวันต่อวัน ข้อมูลจากเซนเซอร์จะถูกบันทึกลงเอสดีการ์ดเป็นไฟล์นามสกุล .csv ซึ่งสามารถเปิดได้ด้วยโปรแกรมสเปรดชีต เช่น Microsoft excel เพื่อสร้างกราฟสำหรับการนำเสนอหรือนำไปใช้ในการวิเคราะห์ การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับการบันทึกสามารถทำได้ผ่านอาดุยโน IDE (integrated development environment) ขั้นตอนการตั้งค่า เริ่มต้นด้วยการแก้ไขพารามิเตอร์ในชุดคำสั่งตามที่ต้องการ จากนั้นจึงตรวจสอบความถูกต้องของชุดคำสั่ง คอมไพล์ และอัปโหลดเฟิร์มแวร์ไปยังบอร์ดอาดุยโนตัวเป็นขั้นตอนสุดท้าย ลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูลเป็นไปตามผังงาน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ผังงานแสดงการทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูล

3. การทดสอบการรับค่าสัญญาณแบบแอนะล็อก

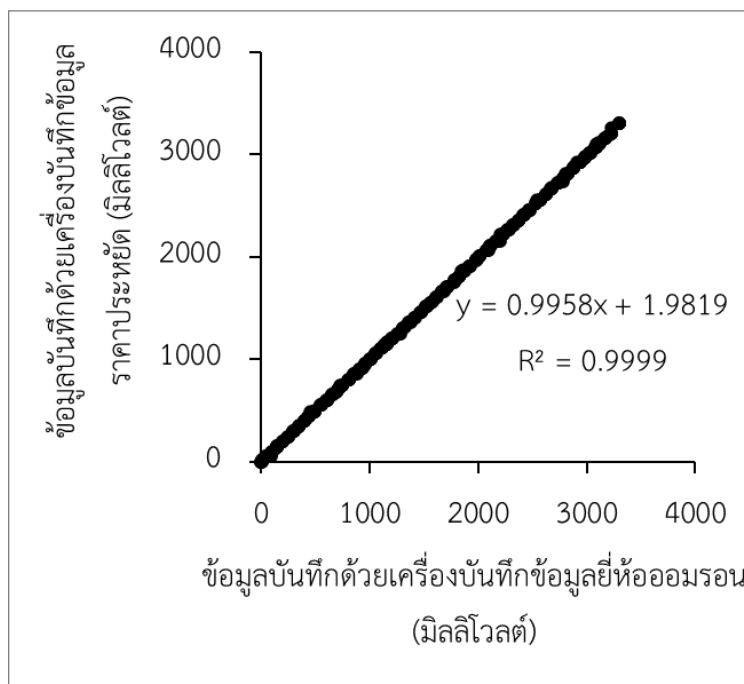
ผู้วิจัยได้ทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนากับเครื่องบันทึกยี่ห้ออมรอนซึ่งมีราคาสูงกว่า เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการรับค่าสัญญาณแบบแอนะล็อก คุณลักษณะของเครื่องบันทึกข้อมูลทั้งสองแสดงเปรียบเทียบกันดังตารางที่ 1 การทดสอบการรับสัญญาณแบบแอนะล็อกเพื่อเปรียบเทียบเครื่องบันทึกข้อมูลทำได้โดยป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดัน 0 โวลต์ ถึง 3.3 โวลต์ ซึ่งเป็นย่านการวัดที่ใช้งานจริง โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นครั้งละ 50 มิลลิโวลต์ กำหนดให้บันทึกค่าทุก ๆ 5 วินาที ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่บันทึกได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลทั้งสองแสดงได้ดังกราฟในภาพที่ 4 จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัดที่พัฒนาขึ้น สามารถบันทึกข้อมูลแบบแอนะล็อกได้ค่าใกล้เคียงกับเครื่องบันทึกข้อมูลยี่ห้ออมรอนรุ่น ZR-RX45 โดยมีความใกล้เคียงที่ระดับความสัมพันธ์ร้อยละ 99.99 ($R^2=0.9999$)

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องบันทึกข้อมูลที่ใช้ทดสอบ

คุณลักษณะ	เครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนา	ยี่ห้อออสมรอน รุ่น ZR-RX45
user interface	Arduino IDE	GUI
ADC resolution	12 บิต	16 บิต
measurement range (DC)	0-3.3 โวลต์	0-50 โวลต์
4-20mA current sensor	✓ ¹	✓ ¹
thermocouple input	✓ ²	✓ ¹
RTD input	✓ ²	✓ ¹
digital sensor input	✓ ²	✗ ²
price (exc. vat)	1,165	13x,xxx

หมายเหตุ: - ¹ ต่อตัวต้านทานขนานอินพุต (shunt resistor) เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้า

- ² ต้องใช้โมดูลแปลงสัญญาณ



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบแอนะล็อกที่บันทึกได้

4. การทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูล

เครื่องบันทึกข้อมูลที่พัฒนาถูกนำไปทดสอบในแปลงเกษตรจริงเพื่อเก็บข้อมูลสภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณแสงธรรมชาติ เครื่องบันทึกข้อมูลทำงานโดยอาศัยแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แรงดัน 12 โวลต์ ขนาด 10 วัตต์ และแบตเตอรี่สำรองแบบตะกั่วกรด แรงดัน 12 โวลต์ ความจุ 3 แอมป์ชั่วโมง (Ah) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูลในแปลงเกษตร

การทดสอบเก็บข้อมูลใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ-ความชื้นสัมพัทธ์ (SHT11) แบบดิจิทัลที่มีความละเอียด (resolution) ของอุณหภูมิและความชื้น 0.01 องศาเซลเซียส และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ มีความแม่นยำ (accuracy) ร้อยละ ± 0.4 และ ± 3.0 ตามลำดับ เซนเซอร์แสง (BPW21) แบบแอนะล็อกเป็นโฟโตไดโอด BPW21 ต่อขนานด้วยตัวต้านทานขนาด 1.3 กิโลโอห์ม มีความไว (sensitivity) 166 มิลลิโวลต์ต่อลักซ์

ผลการวิจัย

การทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัดในแปลงเกษตรระหว่างวันที่ 3 พฤศจิกายน 2562 ถึงวันที่ 2 มกราคม 2563 พบว่าเครื่องสามารถบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณความสว่างของแสงธรรมชาติได้ตลอดระยะเวลาทดสอบ 2 เดือนอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างของข้อมูลที่บันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที ซึ่งจัดเก็บในรูปแบบไฟล์นามสกุล .csv แสดงดังภาพที่ 6 ข้อมูลบรรทัดแรกจะแสดงส่วนหัวตารางตามที่กำหนดไว้ ประกอบด้วยเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดเครื่อง (millis) ข้อมูลประทับเวลา (stamp หรือ timestamp) ตัวเลขแสดงวันที่ (date) เวลา (time) และข้อมูลที่บันทึก ได้แก่ อุณหภูมิ (temp) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ (humid) มีหน่วยเป็นร้อยละ และแรงดันไฟฟ้าที่สอดคล้องกับปริมาณแสงธรรมชาติ (daylight) มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ ซึ่งสามารถคำนวณกลับเป็นปริมาณแสงในหน่วยลักซ์ได้ ในแต่ละบรรทัดถัดมาจะเป็นค่า

ข้อมูลที่สอดคล้องกับส่วนหัวของตาราง โดยที่การจัดเก็บข้อมูลแต่ละครั้งจะใช้หนึ่งบรรทัด ในที่นี้กำหนดช่วงของการเก็บข้อมูลเป็นทุก ๆ 5 นาที ทำให้ข้อมูลจากการทดลองในแต่ละวันมี 288 บรรทัด

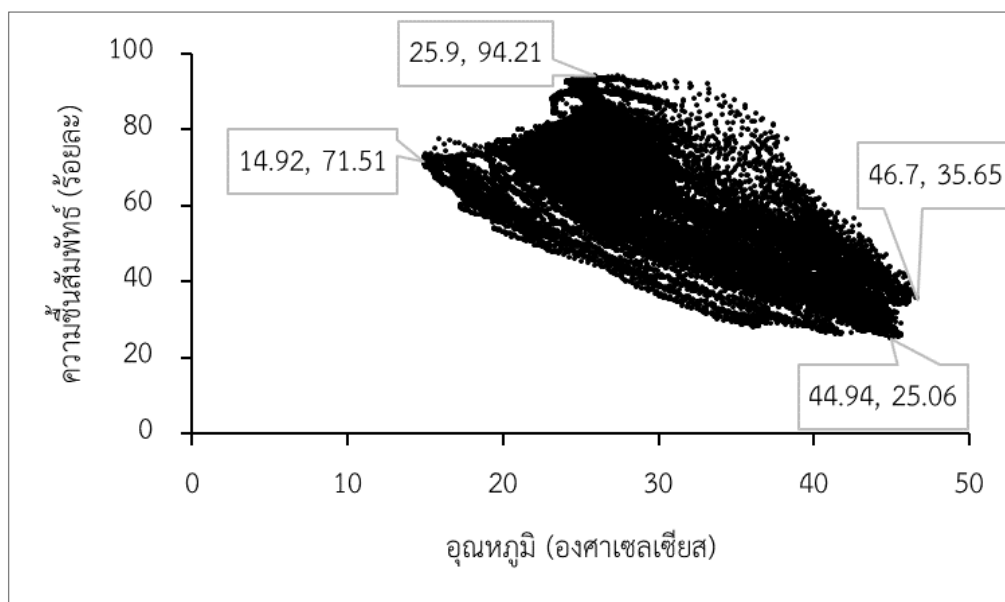
```

millis,stamp,date,time,Temp,Humid,Daylight
59926,1572739200, 2019/11/3, 0:0:0,25.05,81.64,0
359626,1572739500, 2019/11/3, 0:5:0,25.06,81.61,0
659324,1572739800, 2019/11/3, 0:10:0,25.05,81.59,0
959025,1572740100, 2019/11/3, 0:15:0,25.1,82.23,0
1258724,1572740400, 2019/11/3, 0:20:0,25.12,82.1,0
1558423,1572740700, 2019/11/3, 0:25:0,25.12,82.33,0
1858123,1572741000, 2019/11/3, 0:30:0,25.11,82.17,0
2157821,1572741300, 2019/11/3, 0:35:0,25.1,82.14,0
2457523,1572741600, 2019/11/3, 0:40:0,25.04,82.08,0

```

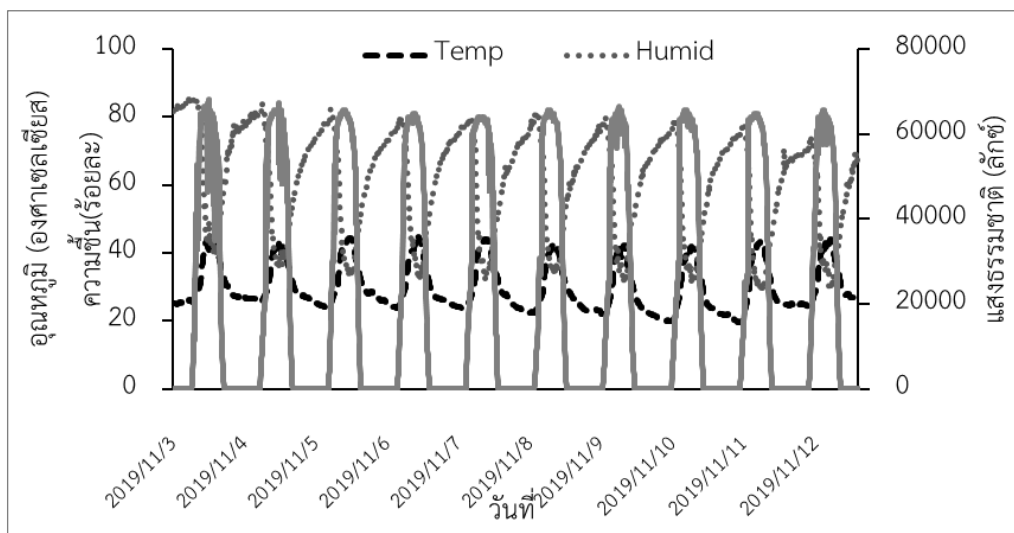
ภาพที่ 6 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูล .csv

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างวันที่ 3 พฤศจิกายน 2562 ถึงวันที่ 2 มกราคม 2563 แสดงดังภาพที่ 7 โดยพบว่าอุณหภูมิมีค่าสูงสุดและต่ำสุด 46.7 และ 14.92 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงสุดและต่ำสุดร้อยละ 94.21 และ 25.06 ตามลำดับ

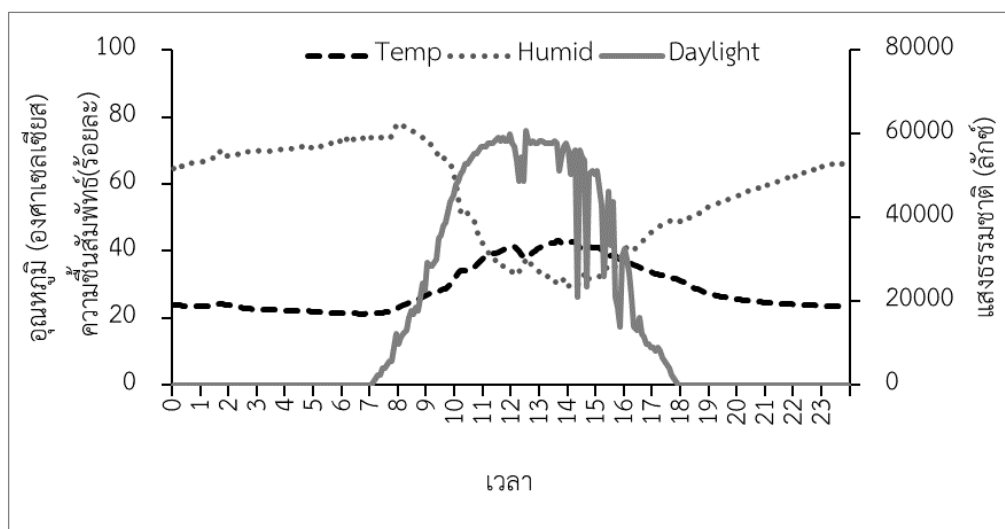


ภาพที่ 7 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงระยะเวลา 2 เดือน

เมื่อนำข้อมูลตัวอย่างที่จัดเก็บในช่วงระยะเวลา 10 วัน มาแสดงผลด้วยกราฟ โดยกำหนดให้ แกนนอนเป็นเวลา และแกนตั้งเป็นอุณหภูมิ ความชื้น และแสงธรรมชาติ จะได้ผลดังภาพที่ 8 ซึ่งทำให้ เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่วัดค่าในช่วงเวลาดังกล่าว กราฟข้อมูลในวันที่ 2 มกราคม 2563 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับปริมาณแสงธรรมชาติ และ แปรผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 8 ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแสงธรรมชาติในช่วงระยะเวลา 10 วัน



ภาพที่ 9 ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแสงธรรมชาติในวันที่ 2 มกราคม 2563

การอภิปรายผลการวิจัย

เครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัดที่พัฒนา มีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายได้ง่าย ประกอบขึ้นจากวัสดุและอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายภายในประเทศ ใช้ต้นทุนในการสร้างประมาณ 1,165 บาท โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2 ซึ่งถือว่าเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องบันทึกข้อมูลที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตามราคาอาจเปลี่ยนแปลงตามแหล่งจำหน่ายอุปกรณ์และปริมาณของการสั่งซื้อ

ตารางที่ 2 ต้นทุนวัสดุและอุปกรณ์ในการพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัด (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่มและค่าขนส่ง)

รายการ	ราคา (บาท)
บอร์ดอาδυโนดิว	550
โมดูลเอสดีการ์ด	35
โมดูลนาฬิกา DS3231	140
จอภาพผลึกเหลวชนิด OLED ขนาด 128x64 พิกเซล	190
วัสดุสิ้นเปลือง เช่น แผ่นพีซีบีเอกประสงค์ สายไฟ และตะกั่วบัดกรี	250
รวม	1,165

จากการทดสอบใช้งานจริง เครื่องบันทึกข้อมูลสามารถนำไปใช้บันทึกข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์แบบดิจิทัลและแบบแอนะล็อกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่เกิดอาการผิดปกติหรือหยุดทำงานระหว่างการทดสอบตลอดระยะเวลา 2 เดือน สำหรับค่าสัญญาณแบบแอนะล็อก ความถูกต้องและแม่นยำของค่าที่บันทึกขึ้นอยู่กับ 2 ส่วนหลัก คือ คุณลักษณะของเซนเซอร์ และความละเอียดของตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล บอร์ดอาδυโนดิว ซึ่งมี ADC ที่มีความละเอียด 12 บิต ในย่านของการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 3.3 โวลต์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงข้อมูลดิจิทัลทุก ๆ บิตจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงมากกว่า 0.806 มิลลิโวลต์ ในขณะที่เครื่องบันทึกข้อมูลที่มีขายในท้องตลาดซึ่งนำมาทดสอบเปรียบเทียบ มี ADC ที่มีความละเอียด 16 บิต ในย่านของการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 50 โวลต์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงข้อมูลดิจิทัลทุก ๆ บิตจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงมากกว่า 0.763 มิลลิโวลต์ ซึ่งพบว่า ADC ของเครื่องบันทึกทั้งคู่ให้ความแม่นยำใกล้เคียงกัน

ข้อดีอีกประการหนึ่งของการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างเครื่องบันทึกข้อมูลคือ ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขปรับปรุงเฟิร์มแวร์เพื่อเพิ่มฟังก์ชันให้เครื่องบันทึกข้อมูลสามารถควบคุมอุปกรณ์อื่น ๆ ตามเงื่อนไข หรือตามกำหนดเวลาที่ต้องการได้อีกด้วย (Chavan *et al.*, 2014)

สรุปผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้เลือกใช้ออร์โตอาคิโนนในการพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลแบบประหยัด เครื่องบันทึกข้อมูลที่สร้างขึ้นมีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายได้สะดวก มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง สามารถใช้รับสัญญาณจากเซนเซอร์ชนิดแอนะล็อกได้จำนวน 12 พอร์ต และสามารถรับสัญญาณจากเซนเซอร์ชนิดดิจิทัลได้จำนวน 46 พอร์ต การบันทึกข้อมูลสามารถกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการได้ และจัดเก็บเป็นไฟล์ชนิด .csv แยกสำหรับแต่ละวัน จากการทดสอบเก็บข้อมูลในแปลงเกษตรจริง พบว่า เครื่องสามารถบันทึกข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่เกิดอาการผิดปกติหรือหยุดทำงาน ระหว่างการทดสอบตลอดระยะเวลา 2 เดือน สำหรับสัญญาณจากเซนเซอร์ชนิดแอนะล็อก เครื่องบันทึกข้อมูลที่สร้างขึ้น ให้ค่าที่บันทึกได้ใกล้เคียงกับค่าจากเครื่องบันทึกข้อมูลที่มีขายในท้องตลาด รุ่นหนึ่งที่นำมาเปรียบเทียบ กล่าวโดยสรุปได้ว่า สำหรับงานด้านการเกษตรสมัยใหม่ที่ต้องการเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัดและมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน การพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำเสนอเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสม นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้งานร่วมกับเซนเซอร์สภาพแวดล้อมอื่น เช่น เซนเซอร์น้ำฝน เซนเซอร์วัดระดับน้ำ และ เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน เป็นต้น จะช่วยเพิ่มความสามารถในการแจ้งเตือนสภาพอากาศที่เป็นอันตรายต่อพืชที่เพาะปลูกได้ รวมถึงการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานให้น้ำพืชแบบอัตโนมัติ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนการพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูล และขอขอบคุณ คุณอนันต์ อินทรพิทักษ์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ภายในสวนมะม่วง อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา ในการทดลองเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- เกรียงไกร รักคำ กิตติพันธ์ คำเรือน และนพพร พัชรประกิตติ. (2560). การพัฒนาระบบบันทึกและแสดงผลข้อมูลภูมิอากาศผ่านระบบสื่อสารไร้สายซิกบี. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม*, 1(1), 55-70.
- จิณณิน พจน์พัฒน์พล ศุภกร กตาทิการกุล และมารีนา มะหิ. (2558). การพัฒนาเครื่องวัดสภาพอากาศพื้นฐานแบบอัตโนมัติ. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 18(3), 97-104.
- ภูมินทร์ อินทร์แป้น นเรศ ขวัญทอง และศวรรณรัตน์ อภัยพงศ์. (2561). การออกแบบและพัฒนาระบบเก็บข้อมูลภูมิอากาศบริเวณชายฝั่งทะเล โดยส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์สามจี และใช้งานร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 37(2), 72-85.
- Chavan, M.S., Suryawanshi, V.S. and Sankpal, S.S. (2014). AVR microcontroller-based temperature control system with real time data logger. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, 11(2), 51-57.

- Hadi, M.S., Afandi, A.N., Wibawa, A.P., Ahmar, A.S. and Saputra, K.H. (2018). Stand-alone data logger for solar panel energy system with RTC and SD card. *Journal of Physics: Conference Series*, 1028(1), doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1028/1/012065>.
- Madhukeshwara, S.D. and Dharshini P.M.P. (2015). Design of real-time data acquisition & control using high performance ARM Cortex microcontroller. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(5), 584-587.
- Okwudibe, C.D. and Akinloye, B.O. (2017). Design and simulation of temperature data logger. *American Journal of Engineering Research*, 12(6), 14-19.
- Satheesh, M.B., Senthilkumar, B., Veeramanikandasamy T. and Saravanakumar, O.M. (2016). Microcontroller and SD card based standalone data logging system using SPI and I2C protocols for industrial application. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 5(4), 2208-2214.
- Tamil Vathana, A.K. and Janarthanan, B. (2017). Design and working of datalogger using microcontroller AT89C51. *International Journal of Latest Research in Engineering and Technology*, 3(4), 42-47.
- Thalheimer, M. (2013). A low-cost electronic tensiometer system for continuous monitoring of soil water potential. *Journal of Agricultural Engineering*. 44(3), 114-119.
- Thet, W.M., Maung, M. and Tun, H.M. (2015). Real-time vehicle data logging system using GPS and GSM. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 4(7), 44-49.
- Wilson, D.L., Williams, K.N. and Pillarisetti, A. (2020). An integrated sensor data logging, survey, and analytics platform for field research and its application in HAPIN, a multi-center household energy intervention trial. *Sustainability*, 12(5), doi: <https://doi.org/10.3390/su12051805>.

องค์ประกอบชนิดของโรติเฟอร์ คลาโดเซอแรน และโคพีพอดในนาข้าวอินทรีย์
บริเวณพื้นที่ดินเค็ม จังหวัดนครราชสีมา
Species Composition of Rotifers, Cladocerans and Copepods in an
Organic Rice Field in Saline Area, Nakhon Ratchasima Province

ณัฐพร ปลั่งกลาง^{1,2} และศุจิภรณ์ อธิบาย^{1,2*}
Nattaporn Plangklang^{1,2} and Sujeephon Athibai^{1,2*}

บทคัดย่อ

การศึกษาความหลากหลายชนิดและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนสัตว์ในนาข้าวอินทรีย์ที่ข้าวอยู่ในระยะออกรวงในพื้นที่ดินเค็ม อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดนครราชสีมา โดยเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์เชิงปริมาณด้วยถุงกรองแพลงก์ตอนขนาด 20 ไมโครเมตร ในนา 1 แปลง จำนวน 10 จุดเก็บตัวอย่างเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 2 ครั้ง วันที่ 14 และ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2561 และตรวจวัดคุณภาพน้ำ จำนวน 11 ปัจจัย พบแพลงก์ตอนสัตว์ 19 วงศ์ 41 สกุล 61 ชนิด โรติเฟอร์มีจำนวนชนิดมากที่สุด รองลงมาคือ คลาโดเซอแรน และโคพีพอด พบ 36 17 และ 8 ชนิด ตามลำดับ ตัวอย่างครั้งที่ 1 พบแพลงก์ตอนสัตว์ 60 ชนิด ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างครั้งที่ 2 พบเพียง 35 ชนิด ดัชนีความหลากหลายของแซนนอน-วินเนอร์ และดัชนีความสม่ำเสมอของพิลู มีค่าสูงในตัวอย่างครั้งที่ 1 เท่ากับ 3.24 0.79 ตามลำดับ และลดลงในตัวอย่างครั้งที่ 2 เท่ากับ 2.48 0.69 ตามลำดับ *Lecane bulla* และ *Anthalona harti* มีความหนาแน่นสูงในตัวอย่างครั้งที่ 1 ในขณะที่ *Polyarthra vulgaris* และ *Ceriodaphnia cornuta* เป็นชนิดเด่นในตัวอย่างครั้งที่ 2 อุณหภูมิน้ำ ($p = 0.011$) และปริมาณไนโตรเจน ($p = 0.048$) มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 ผลการศึกษาบ่งชี้ว่า ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์และความหนาแน่นของชนิดเด่นของโรติเฟอร์ และคลาโดเซอแรนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 2 สัปดาห์

คำสำคัญ: แพลงก์ตอนสัตว์ ความหลากหลายชนิด แหล่งน้ำชั่วคราว พื้นที่ดินเค็ม

¹ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² ศูนย์วิจัยอนุกรมวิธานประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

* Corresponding author e-mail: sujiat@kku.ac.th

Received: 21 September 2021, Revised: 10 November 2021, Accepted: 12 November 2021

Abstract

The research investigated species diversity and density of zooplankton in an organic rice field located in saline soil areas in Phimai District, Nakhon Ratchasima Province during grain-filling stage. Zooplankton were quantitatively collected through a 20 µm mesh plankton net at ten sampling sites with two sampling occasions on 14 and 29 October 2018. Eleven variables of water quality were measured. A total of 61 species of zooplankton belonging to 19 families and 41 genera was recorded. Rotifers showed the highest species richness, followed by cladocerans and copepods which had 36, 17, and 8 species, respectively. The first sampling recorded 60 species, which was greater than the second sampling, which only 35 species were found. In the first sampling, both the Shannon-Weiner diversity index and the Pielou's evenness index showed high values of 3.24 and 0.79, respectively, and decreased to 2.48 and 0.69 in the second sampling. *Lecane bulla* and *Antholona harti* were dominant species with high density in the first sampling whereas *Polyarthra vulgaris* and *Ceriodaphnia cornuta* were dominant species in the second sampling. Furthermore, water temperature ($p = 0.011$) and nitrate content ($p = 0.048$) were significantly different between the first and the second samplings. The findings showed that zooplankton diversity and the density of dominating rotifer and cladoceran species varied over the course of two weeks.

Keywords: Zooplankton, Species diversity, Temporary water, Saline soil area

บทนำ

นาข้าวเปรียบเสมือนแหล่งรวบรวมพันธุ์สัตว์น้ำ ด้วยมีแหล่งอาศัยย่อยที่เอื้อต่อการอยู่อาศัยหลบภัย และสืบพันธุ์ของสัตว์หลายชนิด (Lawler, 2001) แต่ก็มีสภาพเป็นแหล่งน้ำชั่วคราว (temporary waters) ดังนั้นสิ่งมีชีวิตจึงต้องมีการปรับตัวเพื่อให้สามารถอยู่รอดในสภาพแหล่งน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Williams, 1997) สัตว์น้ำขนาดเล็ก กลุ่มโรติเฟอร์ (rotifers) คลาโดเชอแรน (cladocerans) และโคพีพอด (copepods) มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการถ่ายทอดพลังงานและสารในระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด (Pace and Orcutt, 1981) สัตว์ทั้งสามกลุ่มมีความสามารถในการสร้างไข่พัก (resting eggs) ที่ทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ ความหนาแน่น ระยะเวลาที่ได้รับแสง การขาดแคลนปริมาณอาหาร ระดับน้ำ และสารเคมี เป็นต้น (Araújo *et al.*, 2013; Radzikowski, 2013; Gilbert, 2019) ด้วยเหตุนี้จึงพบสัตว์ทั้งสามกลุ่มมีความหลากหลายสูงในระบบนิเวศแหล่งน้ำชั่วคราว (Sanoamuang, 2007; Chittapun *et al.*, 2009)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ดินเค็ม (saline areas) 17.8 ล้านไร่ (ร้อยละ 16.7 ของพื้นที่) เกิดจากการมีชั้นเกลือและชั้นเกลือหินแผ่กระจายอยู่ทั่วทั้งภาคในทุกจังหวัด โดยเฉพาะชั้นเกลือหินในชุดชั้นหินมหาสารคามที่มีอยู่ทั่วบริเวณลุ่มน้ำอุดร-สกลนคร และลุ่มน้ำโคราช-อุบลราชธานี (สุทธิชัย, 2533) ปัญหาดินเค็มส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวของเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Kongpun *et al.*, 2020) รวมถึงอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในนาข้าว เช่น สาหร่ายสัตว์น้ำขนาดเล็ก สัตว์มีกระดูกสันหลัง เป็นต้น

ความเค็มเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบเมแทบอลิซึม และการควบคุมสมดุลน้ำ และเกลือแร่ในร่างกายของสัตว์น้ำจืด (Velasco *et al.*, 2019) ความเค็มมีผลต่อความหนาแน่นและการแพร่กระจายของหอยไซ (*Bithynia siamensis goniomphalos*) บริเวณลุ่มน้ำโคราช ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (Suwannatrai *et al.*, 2011) จำนวนชนิดและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณปากแม่น้ำ Pearl River Estuary ทางตอนใต้ของประเทศจีน มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มสูงขึ้น (Danni *et al.*, 2020) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายและความหนาแน่นของสังคมแพลงก์ตอนสัตว์ในนาข้าวอินทรีย์ที่อยู่ในพื้นที่ดินเค็ม และตรวจวัดคุณภาพน้ำจำนวน 11 ตัวแปร เพื่อให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของสังคมแพลงก์ตอนสัตว์และคุณภาพน้ำในรอบ 2 สัปดาห์ในนาข้าวอินทรีย์เขตพื้นที่ดินเค็ม ในระยะข้าวออกรวง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

นาข้าวอินทรีย์มีพื้นที่ 12 ไร่ ตั้งอยู่ที่หมู่บ้านโนนกระสัง ตำบลกระเบื้องใหญ่ อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดนครราชสีมา (ภาพที่ 1) พิกัดทางภูมิศาสตร์อยู่ที่ละติจูด $15^{\circ} 17' 46.40''$ N และลองจิจูด $102^{\circ} 28' 35.84''$ E มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 146 เมตร เกษตรกรปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีการปักดำต้นกล้า ปัก 1 ครั้ง ได้รับน้ำจากน้ำฝน และคลองชลประทานลำสะเทต ลำน้ำสาขาของแม่น้ำมูล ในช่วงการเก็บตัวอย่าง ข้าวอายุ 100 วัน อยู่ในระยะออกรวง ไม่มีการระบายน้ำออกจากนาข้าว

2. การตรวจวัดคุณภาพน้ำในนาข้าว

ตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี จำนวน 11 ตัวแปร ตัวแปรที่ตรวจวัดในภาคสนาม คือ อุณหภูมิ น้ำ ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ตรวจวัดด้วยเครื่อง multi-parameter meter ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI 98129 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โดยใช้ pH meter ยี่ห้อ Index รุ่น ID-1000 และความลึกของน้ำ วัดด้วยตลับเมตร ตัวแปรที่ตรวจวัดในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ และความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ตรวจวิเคราะห์ตามวิธีของ Winkler titration method (Winkler, 1888) ปริมาณไนเตรต ออร์โทฟอสเฟต แอมโมเนีย และคลอไรด์ เอ ตรวจวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer ยี่ห้อ Hach รุ่น DR/2400 ด้วยวิธีมาตรฐาน cadmium reduction method ascorbic acid method salicylate method และ extracted-methanol method ตามลำดับ (APHA-AWWA-WPCF, 1998) การวัดความเค็มของน้ำทางอ้อมโดยการเปรียบเทียบกับค่าการนำไฟฟ้า เพราะไม่มีเครื่องวัดความเค็มของน้ำ อ้างอิงตามงานวิจัยของ Ravikumar *et al.* (2013) และเว็บไซต์ของ Arain (2010)



ภาพที่ 1 นาข้าวอินทรีย์ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 (ก) และครั้งที่ 2 (ข) และจุดเก็บตัวอย่าง

3. การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างแปลงก่ตอนสัตว์

3.1 การเก็บตัวอย่างแปลงก่ตอนสัตว์

เก็บตัวอย่างแปลงก่ตอนสัตว์เชิงปริมาณในนาข้าว 1 แปลง จำนวน 10 จุดเก็บตัวอย่าง แต่ละจุดห่างกัน 58 เมตร ด้วยการกรองตัวอย่างน้ำปริมาตร 20 ลิตร ผ่านถุงกรองแปลงก่ตอนขนาดตาข่าย 20 ไมโครเมตร และรักษาสภาพแปลงก่ตอนสัตว์ทันทีด้วยสารละลายลูกออล ความเข้มข้นร้อยละ 1 เริ่มเก็บตัวอย่างเมื่อข้าวอยู่ในระยะออกรวงและมีน้ำท่วมขังในแปลงนา เก็บตัวอย่างต่อเนื่องทุก 2 สัปดาห์ จนกระทั่งน้ำในนาแห้ง รวม 2 ครั้ง คือวันที่ 14 และ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2561 โดยเริ่มเก็บตัวอย่างเวลา 13.00 น.

3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างแปลงก่ตอนสัตว์

การคัดแยก ระบุชนิด และนับจำนวนโรติเฟอร์ คลาโดเซอแรน และโคพีพอด ทุกตัวที่พบ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงยี่ห้อ Olympus รุ่น CH30 การระบุชนิดอ้างอิงตามเอกสารดังต่อไปนี้ ละอองศรี (2545) Segers (1995) Smirnov (1996) Nogrady and Segers (2002) Hołyńska *et al.* (2003) และบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การเปรียบเทียบจำนวนชนิด ความหนาแน่นของแปลงก่ตอนสัตว์ และคุณภาพน้ำ ระหว่างการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 ด้วยสถิติ wilcoxon signed rank test และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (pearson correlation) ในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS รุ่น 26.0 คำนวณค่าดัชนีความหลากหลาย shannon-weiner diversity index (H') ดัชนีความสม่ำเสมอ piou's evenness index (J) และดัชนีความคล้ายคลึงของ sørensen-dice similarity index (DSI) ซึ่งมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

$$J = \frac{H'}{\ln S}$$

$$DSI = \frac{2c}{2c+a+b}$$

เมื่อ p_i คือ สัดส่วนระหว่างจำนวนตัวของแมลงก่ตอนสัตว์ชนิด i ต่อจำนวนตัวของแมลงก่ตอนสัตว์ทุกชนิด

S คือ จำนวนชนิดของแมลงก่ตอนสัตว์ที่พบทั้งหมด

a และ b คือ จำนวนชนิดที่พบเฉพาะการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ตามลำดับ c คือ จำนวนชนิดที่พบเหมือนกันในการเก็บตัวอย่างทั้งสองครั้ง

ผลการวิจัย

1. คุณภาพน้ำในนาข้าว

การศึกษาค้นคว้านี้เก็บตัวอย่างในช่วงที่นาข้าวมีน้ำขังในระยะข้าวออกรวง จำนวน 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 วันที่ 14 ตุลาคม พ.ศ. 2561 และครั้งที่ 2 วันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2561 พบว่าอุณหภูมิน้ำ ($p = 0.011$) และปริมาณไนเตรท ($p = 0.048$) ระหว่างการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอุณหภูมิน้ำครั้งที่ 1 มีค่าสูงกว่าครั้งที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.43 ± 0.74 และ 30.43 ± 0.94 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณไนเตรทในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 (1.47 ± 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีค่าสูงกว่าครั้งที่ 1 (0.43 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างไรก็ตาม ค่าคุณภาพน้ำตัวแปรอื่น ๆ มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง (ตารางที่ 1) การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 นาข้าวมีน้ำท่วมขังทั้งแปลงนา มีความลึก 15-20 เซนติเมตร ขณะที่ครั้งที่ 2 ระดับน้ำในนาข้าวลดลง มีลักษณะเป็นแอ่งน้ำ มีความลึก 0-15 เซนติเมตร เมื่อวิเคราะห์ด้วยสหสัมพันธ์เพียร์สันพบว่าคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดในนาข้าวอินทรีย์ระหว่างการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2

ปัจจัยที่ตรวจวัด	วันที่เก็บตัวอย่าง	
	14 ตุลาคม พ.ศ. 2561	29 ตุลาคม พ.ศ. 2561
1. อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	33.43 ± 0.74^b	30.43 ± 0.94^a
2. ความเป็นกรด-ด่าง	7.03 ± 0.15^a	7.17 ± 0.06^a
3. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.50 ± 0.50^a	4.27 ± 0.38^a
4. ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	3.50 ± 0.70^a	1.93 ± 0.25^a
5. ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)	$3,436.33 \pm 554.47^a$	$2,726.00 \pm 240.30^a$

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ปัจจัยที่ตรวจวัด	วันที่เก็บตัวอย่าง	
	14 ตุลาคม พ.ศ. 2561	29 ตุลาคม พ.ศ. 2561
6. ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,719.33±275.26 ^a	1,445.00±131.05 ^a
7. ปริมาณไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.43±0.23 ^a	1.47±0.29 ^b
8. ปริมาณออร์โธฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.14±0.03 ^a	0.20±0.09 ^a
9. ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.03±0.01 ^a	0.03±0.02 ^a
10. ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร)	12.92±1.98 ^a	17.27±2.50 ^a
11. ความเค็มของน้ำ (ส่วนในพันส่วน)	1.80±0.30 ^a	1.40±0.10 ^a

หมายเหตุ: - อักษรภาษาอังกฤษบ่งชี้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์

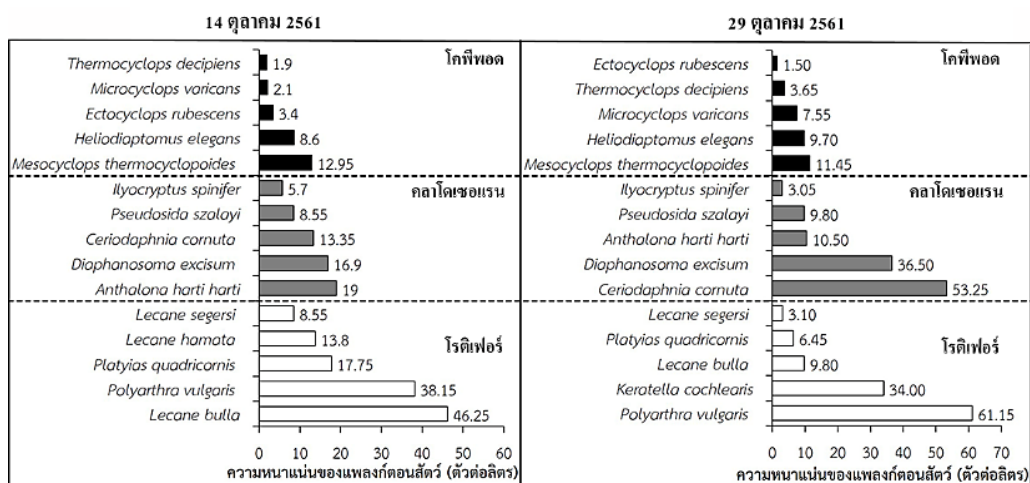
การระบุชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์ที่เก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง พบแพลงก์ตอนสัตว์ 19 วงศ์ 41 สกุล 61 ชนิด (ตารางที่ 2) โรติเฟอร์มีความหลากหลายมากที่สุดคือ 11 วงศ์ 18 สกุล 36 ชนิด รองลงมาคือ คลาโดเซอแรน พบ 6 วงศ์ 16 สกุล 17 ชนิด และโคพิพอด พบ 2 วงศ์ 7 สกุล 8 ชนิด โรติเฟอร์วงศ์ Lecanidae มีความหลากหลายสูงที่สุด ทั้ง 2 รอบการเก็บตัวอย่าง โดยพบ 13 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 36.11 ของโรติเฟอร์ที่พบในนาข้าวนี้ รองลงมาคือ วงศ์ Brachionidae และวงศ์ Lepadellidae โดยพบ 6 ชนิด (ร้อยละ 16.67) และ 5 ชนิด (ร้อยละ 13.89) ตามลำดับ คลาโดเซอแรน วงศ์ Chydoridae พบจำนวนชนิดสูงที่สุด คือ 7 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 41.18 ของคลาโดเซอแรน ที่พบในการศึกษานี้ วงศ์ Macrothricidae และวงศ์ Sididae พบวงศ์ละ 3 ชนิด (ร้อยละ 17.65) ขณะที่กลุ่มโคพิพอด วงศ์ Cyclopidae และวงศ์ Diaptomidae พบจำนวนชนิดเท่ากัน คือ 4 ชนิด แต่จำนวนชนิดในแต่ละวงศ์แตกต่างกัน การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 พบโคพิพอดในวงศ์ Cyclopidae มากกว่าวงศ์ Diaptomidae ขณะที่การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 มีจำนวนชนิดเท่ากัน จำนวนชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์ในรอบการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.000$) เมื่อเปรียบเทียบกับครั้งที่ 1 โดยพบ 35 และ 60 ชนิด ตามลำดับ ตัวอย่างครั้งที่ 1 มีค่าดัชนีความหลากหลาย และดัชนีความสม่ำเสมอของแพลงก์ตอนสัตว์ เท่ากับ 3.24 และ 0.79 ซึ่งมีค่าสูงกว่าครั้งที่ 2 คือ 2.48 และ 0.69 ค่าดัชนีความคล้ายคลึงครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 0.72 จำนวนชนิดของโรติเฟอร์ และคลาโดเซอแรนในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 พบ 35 และ 17 ชนิด ตามลำดับ ซึ่งจำนวนชนิดสูงกว่าตัวอย่างครั้งที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.000$) ซึ่งพบเพียง 18 และ 11 ชนิด ตามลำดับ

ตารางที่ 2 รายชื่อของโรติเฟอร์ คลาโดเซอแรน และโคฟีพอดที่พบในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2

ชื่อวิทยาศาสตร์	ครั้งที่		ชื่อวิทยาศาสตร์	ครั้งที่	
	1	2		1	2
กลุ่มโรติเฟอร์			<i>Platyias quadricornis</i> (Ehrenberg, 1832)	✓	✓
<i>Anuraeopsis fissa</i> Gosse, 1851	✓	✓	<i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin, 1943	✓	✓
<i>Asplanchnopus multiceps</i> (Schrunk, 1793)	✓	✓	<i>Testudinella patina</i> (Hermann, 1783)	✓	✓
<i>Cephalodella forficula</i> (Ehrenberg, 1830)	✓	✓	<i>Trichocerca similis</i> (Wierzejski, 1893)	✓	
<i>Coleurella sanoamuangae</i> Chittapun, Pholpunthin & Segers, 1999	✓	✓	<i>Tripleuchlanis plicata</i> (Levander, 1894)	✓	
<i>C. uncinata</i> (Müller, 1773)	✓		กลุ่มคลาโดเซอแรน		
<i>Dipleuchlanis propatula</i> (Gosse, 1886)	✓	✓	<i>Anthalona harti</i> Van Damme, Sinev & Dumont, 2011	✓	✓
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	✓	✓	<i>Ceriodaphnia cornuta</i> Sars, 1885	✓	✓
<i>K. procurva</i> (Thorpe, 1891)	✓		<i>Diaphanosoma excisum</i> Sars, 1885	✓	✓
<i>K. tropica</i> (Apstein, 1907)		✓	<i>Dunhevedia crassa</i> King, 1853	✓	
<i>Lecane aculeata</i> (Jakubski, 1912)	✓		<i>Ephemeroporus barroisi</i> (Richard, 1894)	✓	✓
<i>L. bulla</i> (Gosse, 1851)	✓	✓	<i>Guemella raphaelis</i> Richard, 1892	✓	
<i>L. closterocerca</i> (Schmarda, 1859)	✓		<i>Ilyocryptus spinifer</i> Herrick, 1882	✓	✓
<i>L. furcata</i> (Murray, 1913)	✓		<i>Karualona karua</i> (King, 1853)	✓	✓
<i>L. hamata</i> (Stokes, 1896)	✓		<i>Latonopsis australis</i> Sars, 1888	✓	
<i>L. lateralis</i> Sharma, 1978	✓	✓	<i>Leberis diaphanus</i> (King, 1853)	✓	✓
<i>L. leontina</i> (Turner, 1892)	✓		<i>Leydigia ciliata</i> (Gauthier, 1939)	✓	
<i>L. papuana</i> (Murray, 1913)	✓		<i>Macrothrix spinosa</i> King, 1853	✓	✓
<i>L. quadridentata</i> (Ehrenberg, 1830)	✓	✓	<i>M. triserialis</i> Brady, 1886	✓	✓
<i>L. segersi</i> Sanoamuang, 1996	✓	✓	<i>Moina micrura</i> Kurz, 1875	✓	
<i>L. signifera</i> (Jennings, 1896)	✓		<i>Moinodaphnia macleayi</i> (King, 1853)	✓	
<i>L. stenroosi</i> (Meissner, 1908)	✓	✓	<i>Ovalona cambouei</i> (Guerne & Richard, 1893)	✓	✓
<i>L. unguitata</i> (Fadeev, 1926)	✓	✓	<i>Pseudosida szalayii</i> Daday, 1898	✓	✓
<i>Lepadella discoidea</i> Segers, 1993	✓		กลุ่มโคฟีพอด		
<i>L. rhomboides</i> (Gosse, 1886)	✓	✓	<i>Ectocyclops rubescens</i> Brady, 1904	✓	✓
<i>L. patella</i> (Müller, 1773)	✓	✓	<i>Heliodiaptomus elegans</i> Kiefer, 1935	✓	✓
<i>Lophocharis salpina</i> (Ehrenberg, 1834)	✓	✓	<i>Mesocyclops thermocyclopoides</i> Harada, 1931	✓	✓
<i>Macrochaetus sericus</i> (Thorpe, 1893)	✓		<i>Microcyclops varicans</i> (G. O. Sars, 1863)	✓	✓
<i>Monommata longiseta</i> (Müller, 1786)	✓	✓	<i>Mongolodiaptomus botulifer</i> (Kiefer, 1974)	✓	✓
<i>Mytilina bisulcata</i> (Lucks, 1912)	✓		<i>M. malaindosinensis</i> (Lai & Fernando, 1978)	✓	
<i>M. ventralis</i> (Ehrenberg, 1830)	✓		<i>Thermocyclops decipiens</i> (Kiefer, 1929)	✓	✓
<i>Plationus patulus</i> (Müller, 1786)	✓		<i>Tropodiaptomus vicinus</i> (Kiefer, 1930)	✓	

3. ความหนาแน่นของแมลงก่ต่อนสัตว์

การเก็บตัวอย่างในนาข้าวครั้งที่ 1 โรติเฟอร์มีความหนาแน่นสูงกว่าครั้งที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.001$) มีค่าเท่ากับ 180.10 ตัวต่อลิตร และ 124.45 ตัวต่อลิตร ตามลำดับ โดย *Lecane bulla* มีความหนาแน่นสูงที่สุดในครั้งที่ 1 พบ 46.25 ตัวต่อลิตร แต่ครั้งที่ 2 พบเพียง 9.80 ตัวต่อลิตร ในขณะที่ตัวอย่างครั้งที่ 2 พบ *P. vulgaris* เป็นชนิดเด่น มีความหนาแน่นสูงถึง 61.15 ตัวต่อลิตร ซึ่งมากกว่าครั้งที่ 1 เกือบ 2 เท่า (38.15 ตัวต่อลิตร) คลาโดเซอแรนในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 มีความหนาแน่นสูงกว่าตัวอย่างครั้งที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.007$) พบ 120.25 ตัวต่อลิตร และ 90.40 ตัวต่อลิตร ตามลำดับ ชนิดที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดในครั้งที่ 1 คือ *A. harti* (19 ตัวต่อลิตร) ความหนาแน่นในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ลดลงเล็กน้อย คือ 10.50 ตัวต่อลิตร ในทางตรงกันข้าม การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 พบ *C. cornuta* (53.25 ตัวต่อลิตร) เพิ่มจำนวนประมาณ 5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับครั้งที่ 1 พบเพียง 13.35 ตัวต่อลิตร ขณะที่กลุ่มโคพีพอดมีความหนาแน่นไม่แตกต่างกันระหว่างการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 โดยมีความหนาแน่นทั้งหมด เท่ากับ 30.15 ตัวต่อลิตรและ 34.15 ตัวต่อลิตร ตามลำดับ โคพีพอดชนิด *M. thermocyclopoides* เป็นชนิดที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แมลงก่ต่อนสัตว์ที่มีความหนาแน่น 5 อันดับแรก ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2

การอภิปรายผลการวิจัย

1. คุณภาพน้ำในนาข้าว

การศึกษาครั้งนี้เก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง ช่วงเวลา 13.00 น. อุณหภูมิน้ำในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 มีค่าสูงกว่าครั้งที่ 2 สอดคล้องกับอุณหภูมิอากาศครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 36.0-37.0 และ 34.0-35.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยอุณหภูมิน้ำจะแปรผันตามอุณหภูมิอากาศ (ทิวา และคณะ, 2557) ปริมาณไนโตรเจนมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 อยู่ในช่วง 1.3-1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าใกล้เคียงกับนาข้าวที่เพาะปลูกแบบไม่ใช้สารเคมีในประเทศอาร์เจนตินา เท่ากับ 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (Romero et al., 2021) ค่าการนำไฟฟ้าเป็นตัวแปรที่บ่งชี้

ถึงค่าความเค็มของน้ำ ซึ่ง Scardaci *et al.* (2002) ได้รายงานความเค็มของน้ำในนาข้าว โดยใช้ค่าการนำไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบมาตรฐานความเค็มของแหล่งน้ำจืด ด้วยค่าการนำไฟฟ้า พบว่าน้ำในนาข้าวมีความเค็มระดับสูง คือ ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 2,250-4,200 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (Ravikumar *et al.*, 2013) ความเค็มในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าอยู่ระหว่าง 1.5-2.1 ส่วนในพันส่วน (ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 2,860-3,966 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) และ 1.3-1.5 ส่วนในพันส่วน (2,462-2,932 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ตามลำดับ

2. ความหลากหลายชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์

แพลงก์ตอนสัตว์มีความหลากหลายชนิดแตกต่างกันในนาข้าวแต่ละพื้นที่ โดยเกี่ยวข้องกับระดับน้ำในนาข้าว และการใช้สารกำจัดศัตรูพืช การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 นาข้าวมีน้ำท่วมขังทั้งแปลงนา มีความลึก 15-20 เซนติเมตร โดยทุกจุดที่เก็บตัวอย่างมีความลึกใกล้เคียงกัน ขณะที่ครั้งที่ 2 ระดับน้ำในนาข้าวลดลง มีความลึก 0-15 เซนติเมตร นาข้าวมีลักษณะเป็นแอ่งน้ำ บางบริเวณไม่มีน้ำท่วมขัง พบแพลงก์ตอนสัตว์ 60 และ 35 ชนิด ตามลำดับ เช่นเดียวกับการรายงานของ Chittapun *et al.* (2009) พบว่า ระดับน้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ในนาข้าว จังหวัดปทุมธานี โดยระดับน้ำเกี่ยวข้องกับลักษณะของแหล่งอาศัยในนาข้าว และการจัดสรรน้ำมีส่วนควบคุมการเปลี่ยนแปลงภายในระบบนิเวศนาข้าว ส่งผลต่อองค์ประกอบชนิดและความชุกชุมของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ (Bambaradeniya and Amarasinghe, 2003) นอกจากนี้สารกำจัดศัตรูพืช ส่งผลกระทบต่อความหลากหลายชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์ในนา ข้าวที่ใช้สารกำจัดศัตรูพืช และนาข้าวที่ไม่ใช้สารเคมี ในประเทศอาร์เจนตินา พบ 79 และ 94 แท๊กซา ตามลำดับ (Romero *et al.*, 2021) และผลการศึกษาครั้งนี้บ่งชี้ว่าความเค็มไม่มีผลต่อการลดลงของจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์ในนาข้าว โดยค่าความเค็มของน้ำในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามความเค็มมีผลต่อความหลากหลายชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณปากแม่น้ำ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความแปรผันของความเค็มมีค่าตั้งแต่ 0.10-21.26 ส่วนในพันส่วน (Danni *et al.*, 2020)

โรติเฟอร์วงศ์ Lecanidae เป็นวงศ์เด่นในแหล่งน้ำจืด มีความหลากหลายสูง ทั่วโลกพบ 163 ชนิด (Segers, 1995) งานวิจัยนี้พบวงศ์ Lecanidae มีจำนวนชนิดสูงที่สุด เช่นเดียวกับ Chittapun *et al.* (2009) และณัฐพร และศุภิกรณ์ (2562) รายงานว่าโรติเฟอร์วงศ์นี้มีจำนวนชนิดมากที่สุด ในนาข้าวชลประทาน จังหวัดปทุมธานี และนาข้าวที่ใช้สารเคมีในอำเภอยะผา จังหวัดนครราชสีมา ตามลำดับ โรติเฟอร์สกุล *Lecane* พบอาศัยบริเวณริมฝั่งที่มีพืชน้ำ (Pejler and Bērziņš, 1994) เมื่อเปรียบเทียบชนิดของโรติเฟอร์ที่พบในการศึกษานี้กับนาข้าวชลประทานที่ปลูกข้าวพันธุ์ราชินี 35 จังหวัดปทุมธานี มีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 1-5.7 ส่วนในพันส่วน (Chittapun *et al.*, 2009) มีความคล้ายคลึงของชนิดเพียงร้อยละ 50 โรติเฟอร์ 3 ชนิด ที่พบในการศึกษานี้ ได้แก่ *A. fissa* K. *tropica* และ *P. vulgaris* เป็นชนิดที่สามารถดำรงชีวิตในบริเวณที่มีความเค็มสูง (salt tolerant) (Danni *et al.*, 2020)

คลาโดเซอแรนพบ 17 ชนิด ในจำนวนนี้ 14 ชนิด รายงานพบในพื้นที่ทุ่งทามแม่น้ำมูล (ละออศรี และศิริชัย, 2548) วงศ์ Chydoridae มีความหลากหลายมากที่สุดในการศึกษานี้ เป็นวงศ์เด่นในนาข้าวจังหวัดปทุมธานี และนาข้าวในจังหวัดนครศรีธรรมราชเช่นกัน (Chittapun *et al.*, 2009; Maiphae *et al.*, 2010) คลาโดเซอแรนวงศ์นี้เป็นวงศ์เด่นในแหล่งน้ำจืดหลายประเภทและ

มีความหลากหลายสูง ทั่วโลก พบ 54 สกุล 300 ชนิด ส่วนใหญ่อาศัยบริเวณริมฝั่งที่มีพืชน้ำ และบริเวณพื้นที่ตื้นน้ำ (Błędzki and Rybak, 2016) คลาโดเซอแรน 4 ชนิด ได้แก่ *C. cornuta* *D. excisum* *M. spinosa* และ *M. macleayii* เป็นชนิดที่พบบ่อยในนาข้าว (Chittapun et al., 2009; Maiphae et al., 2010) และยังพบได้ในแหล่งน้ำที่ถูกรบกวนและไม่ถูกรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ (ณัฐธิดา และสุปิณิตย์, 2563)

โคฟีพอดพบ 8 ชนิด ในจำนวนนี้ 6 ชนิด พบในป่าบุงทามลุ่มแม่น้ำมูล (ละอศรี และศิริชัย, 2548) โคฟีพอด 1 ชนิด คือ *T. decipiens* รายงานพบในนาข้าวชลประทาน ทั้ง 3 แปลง ในจังหวัดปทุมธานี (Chittapun et al., 2009) และนาข้าวชลประทานในประเทศศรีลังกา (Bambaradeniya et al., 2004) ชี้ให้เห็นว่า *T. decipiens* เป็นชนิดที่พบบ่อยในนาข้าว อย่างไรก็ตามมีปัจจัยหลายอย่าง ที่ควบคุมการแพร่กระจายของโคฟีพอด เช่น ความสูงจากระดับน้ำทะเล อุณหภูมิ ช่วงเวลาน้ำท่วมขัง สิ่งแวดล้อม และลักษณะของแหล่งอาศัย (Kulkarni and Pai, 2016) อีกทั้งโคฟีพอดส่วนใหญ่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ การแพร่กระจายของโคฟีพอดจึงค่อนข้างจำกัด (Gerritsen, 1980)

ดัชนีความหลากหลายชนิด และดัชนีความสม่ำเสมอของแพลงก์ตอนสัตว์ ในตัวอย่างครั้งที่ 2 ลดลงจากครั้งที่ 1 บ่งชี้ว่านาข้าวมีความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ลดลง และบางชนิดมีความหนาแน่นสูงกว่าชนิดอื่น คือ *P. vulgaris* และ *C. cornuta* การที่นาข้าวมีลักษณะเป็นแอ่งน้ำและการลดลงของระดับน้ำในนาข้าวในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เป็นสาเหตุของการหายไปของแพลงก์ตอนสัตว์ 25 ชนิด โดยเฉพาะช่วงน้ำใกล้แห้งจำนวนชนิดแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อน้ำชั่วคราวลดลง (Zokan and Drake, 2015) อายุขัยเป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกัน โรติเฟอร์มีอายุขัย 5-24 วัน (Snell et al., 2015) ขณะที่คลาโดเซอแรนมีอายุขัยอยู่ระหว่าง 5-150 วัน (Sarma et al., 2005) โคฟีพอดมีอายุขัยเฉลี่ย 31.2-74.5 วัน (Phong et al., 2008) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด และปัจจัยสิ่งแวดล้อม

3. ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนสัตว์

ความหนาแน่นของโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรนในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 สูงกว่าครั้งที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนสัตว์ในช่วง 2 สัปดาห์ มีการเปลี่ยนแปลง โรติเฟอร์ชนิด *L. bulla* มีความหนาแน่นสูงสุดในตัวอย่างครั้งที่ 1 รองลงมาคือ *P. vulgaris* และ *P. quadricornis* สัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมขณะนั้นที่มีระดับน้ำสูงกว่าการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ต้นข้าวจึงเป็นแหล่งอาศัยย่อยสำหรับแพลงก์ตอนสัตว์ โรติเฟอร์สกุล *Lecane* และ *Platyas* มีความหลากหลาย และความชุกชุมสูงในบริเวณริมฝั่งที่มีพืชน้ำ (Choi et al. 2015) ขณะที่ตัวอย่างครั้งที่ 2 *P. vulgaris* มีความหนาแน่นสูงสุด รองมาคือ *K. cochlearis* ส่วน *L. bulla* มีความหนาแน่นลดลง สกุล *Polyarthra* และ *Keratella* มีการดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอน พบอาศัยบริเวณกลางน้ำของแหล่งน้ำ (Kuczyńska-Kippen, 2014) สัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ที่ระดับน้ำในนาข้าวลดลง บางบริเวณมีลักษณะคล้ายแอ่งน้ำ *K. cochlearis* มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ถึง 27 เท่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น โรติเฟอร์ชนิดนี้เป็นชนิดเด่นในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารสูง (Li et al., 2019) การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 คลาโดเซอแรน 2 ชนิด คือ *C. cornuta* และ *D. excisum* มีความหนาแน่นสูงกว่าครั้งที่ 1 ทั้ง 2 ชนิดมีขนาดที่ 2 ขนาดใหญ่ใช้สำหรับว่ายน้ำ เหมาะสมที่จะดำรงชีวิตเมื่อระดับน้ำในนาข้าวลดลง และมีสภาพเป็นแอ่งน้ำ ขณะที่การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 พบ *A. harti* เป็นชนิดเด่น รองลงมาคือ

D. excisum สภาพแวดล้อมเหมาะสมกับการดำรงชีวิตของคลาโดเซอแรนวงศ์ Chydoridae มักพบอาศัยอยู่ตามพืชน้ำ และบริเวณพื้นท้องน้ำ (Sakuma, 2004) สังคมคลาโดเซอแรนในนาข้าว จังหวัดนครศรีธรรมราชมีการเปลี่ยนแปลงของชนิดเด่นเช่นเดียวกัน ในระยะต้นกล้า (ระดับน้ำสูง) พบ *Bosminopsis deitersi* เป็นชนิดเด่น ขณะที่ *M. triserialis* เป็นชนิดเด่นในระยะแตกกอ และ *D. excisum* เป็นชนิดเด่นในช่วงน้ำใกล้แห้งในระยะเก็บเกี่ยว (Maiphae et al., 2010) ขณะที่กลุ่มโคฟีพอดมีความหนาแน่นไม่แตกต่างกันระหว่างตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 อาจเนื่องจากโคฟีพอดมีอายุชียาวนานกว่าโรติเฟอร์ และคลาโดเซอแรน โดยมีอายุชียเฉลี่ยเท่ากับ 31.2 วัน (Phong et al., 2008) ชนิดที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง คือ *M. thermocyclopoides* รองลงมาคือ *H. elegans*

สรุปผลการวิจัย

จำนวนชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์จากตัวอย่างครั้งที่ 1 พบ 60 ชนิด สูงกว่าครั้งที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบ 35 ชนิด ความหนาแน่นของชนิดเด่นกลุ่มโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรนครั้งที่ 1 และ 2 มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัด อาจเนื่องมาจากมีอายุชียที่สั้นกว่ากลุ่มโคฟีพอด สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของนาข้าว ในช่วงที่เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ระดับน้ำในนาข้าวลดลง มีสภาพเป็นแอ่งน้ำ ตัวอย่างครั้งที่ 1 พบ *L. bulla* และ *A. harti* มีความหนาแน่นมากที่สุด ในขณะที่ *P. vulgaris* และ *C. cornuta* เป็นชนิดเด่นในตัวอย่างครั้งที่ 2 ในทางตรงกันข้ามโคฟีพอด *M. thermocyclopoides* เป็นเช่นเด่นทั้ง 2 ช่วงเวลา ส่งผลให้ค่าดัชนีความหลากหลายชนิด ความสม่ำเสมอของแพลงก์ตอนสัตว์มีค่าลดลงเช่นกัน บ่งชี้ว่าการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 นาข้าวมีความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ลดลง และบางชนิดมีความหนาแน่นสูงกว่าชนิดอื่น ค่าความเค็มของน้ำในนาข้าวการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 มีค่าสูงกว่าครั้งที่ 2 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ชี้ให้เห็นว่าความเค็มไม่ได้ส่งผลต่อความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ที่ลดลงในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 การศึกษานี้ให้ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการศึกษาคความหลากหลาย การแพร่กระจาย และนิเวศวิทยาของแพลงก์ตอนสัตว์ในแหล่งน้ำชั่วคราวในพื้นที่ดินเค็ม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณทองม้วน พาจันทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์นาข้าวในการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงบทความวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐพร ปลั่งกลาง และศุภิภรณ์ อธิบาย. (2562). ความหลากหลายและความชุกชุมของโรติเฟอร์ในนาข้าวที่ใช้สารเคมีในเขตจังหวัดนครราชสีมา. *วารสารแก่นเกษตร*, 47(ฉบับพิเศษ 1), 651-656.
- ณัฐธิดา จันทวงศ์ และสุปนิษฐ์ ไผ่แพ. (2563). ความหลากหลายและการกระจายของโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรนในแหล่งน้ำจืด อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 39(2), 45-59.

- ทิวา พาโคทม ญัฐพล ชมภูบุตร และนงภัทร ไชยชนะ. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิน้ำในนาข้าว. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52 (สาขาพืช)* (หน้า 224-230). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ละออศรี เสนาะเมือง. (2545). *เพลงก่ตอนสัตว์น้ำจืด: คาลานอยด์โคฟีพอดในประเทศไทย*. ขอนแก่น: คลังน่านวิทยา.
- ละออศรี เสนาะเมือง และศิริชัย ไผ่ทองคำ. (2548). ความหลากหลายของคลาโดเซอราและโคฟีพอดในพื้นที่บึงทามบริเวณลุ่มแม่น้ำมูล. *วารสารวิจัย มข.*, 10(2), 106-113.
- สุทธิชัย เลียงเชยศ. (2533). ผลการศึกษาวิเคราะห์เพื่อกำหนดนโยบายและวิธีการควบคุมป้องกันและปรับปรุงแก้ไขพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารพัฒนบริหารศาสตร์*, 30(3), 95-108.
- APHA-AWWA-WPCF. (1998). *Standard methods for examination of water and waste water* (20th ed). Washington DC: American Public Health Association, American Water Work Association and Water Pollution Control Federation.
- Arain, H.M. (2010). *Salinity conversion calculator: the calculator converts between various units of salinity*. Retrieved 1 September 2021, from: <https://www.hamzasreef.com/contents/calculators/salinityconversion.php>.
- Araújo, L.R., Lopes, P.M., Santangelo, J.M., Petry, A.C. and Bozelli, R.L. (2013). Zooplankton resting egg banks in permanent and temporary tropical aquatic systems. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 25(3), 235-245.
- Bambaradeniya, C.N.B. and Amarasinghe, F.P. (2003). *Biodiversity associated with the rice field agroecosystem in Asian countries: A brief review*. Colombo: International Water Management Institute.
- Bambaradeniya, C.N.B., Edirisinghe, J.P., De Silva, D.N., Gunatilleke, C.V.S., Ranawana, K.B. and Wijekoon, S. (2004). Biodiversity associated with an irrigated rice agro-ecosystem in Sri Lanka. *Biodiversity and Conservation*, 13, 1715-1753.
- Błędzki, L.A. and Rybak, J.I. (2016). *Freshwater crustacean zooplankton of Europe: Cladocera & Copepoda (Calanoida, Cyclopoida), key to species identification, with notes on ecology, distribution, methods and introduction to data analysis*. Basel: Springer International Publishing.
- Chittapun, S., Pholpunthin, P. and Sanoamuang, L. (2009). Diversity and composition of zooplankton in rice fields during a crop cycle at Pathum Thani province, Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 31(3), 261-267.
- Choi, J.Y., Kim, S.K., Jeng, K.S. and Joo, G.J. (2015). Detecting response patterns of zooplankton to environmental parameters in shallow freshwater wetlands: discovery of the role of macrophytes as microhabitat for epiphytic zooplankton. *Journal of Ecology and Environment*, 38(2), 133-143.

- Danni, Y., Liangdong, C., Leilei, L., Qing, W. and Yufeng, Y. (2020). Effect of salinity on the zooplankton community in the Pearl River Estuary. *Journal of Ocean University of China*, 19(6), 1389-1398.
- Gerritsen, J. (1980). Sex and parthenogenesis in sparse populations. *The American Naturalist*, 115(5), 718-742.
- Gilbert, J.J. (2019). Variation in the life cycle of monogonont rotifers: commitment to sex and emergence from diapause. *Freshwater Biology*, 65(2), 786-810.
- Hołyńska, M., Mirabdullayev, I.M., Reid, J.W. and Ueda, H. (2003). *Copepoda: Cyclopoida: genera Mesocyclops and Thermocyclops (guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world)*. Leiden: Backhuys Publishers.
- Kongpun, A., Jaisiri, P., Rerkasem, B. and Prom-u-thai, C. (2020). Impact of soil salinity on grain yield and aromatic compound in Thai Hom Mali rice cv. Khao Dawk Mali 105. *Agriculture and Natural Resources*, 54(1), 74-78.
- Kuczyńska-Kippen, N. (2014). Environmental variables of small mid-field water bodies and the presence of Rotifera groups of different ecological requirements. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(2), 373-378.
- Kulkarni, M.R. and Pai, K. (2016). The freshwater diaptomid copepod fauna (Crustacea: Copepoda: Diaptomidae) of the Western Ghats of Maharashtra with notes on distribution, species richness and ecology. *Journal of Limnology*, 75(1), 135-143.
- Lawler, S.P. (2001). Rice fields as temporary wetlands: A review. *Israel Journal of Zoology*, 47(4), 513-528.
- Li, Y., Liu, L., Cui, S. and Chen, F. (2019). Long-term effects of nutrient changes on rotifer communities in a subtropical lake. *Limnology*, doi: <https://doi.org/10.1007/s10201-018-0567-x>.
- Maiphae, S., Limbut, W., Choikaew, P. and Pechrat, P. (2010). The Cladocera (Ctenopoda and Anomopoda) in rice fields during a crop cycle at Nakhon Si Thammarat province, southern Thailand. *Crustaceana*, 83(12), 1469-1482.
- Nogrady, T. and Segers, H. (2002). *Rotifera: Asplanchnidae, Gastropodidae, Lindiidae, Microcodidae, Synchaetidae and Trochosphaeridae. Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental water of the world 18*. Leiden: Backhuys Publishers.
- Pace, M.L. and Orcutt, Jr. J.D. (1981). The relative importance of protozoans, rotifers, and crustaceans in a freshwater zooplankton community 1. *Limnology and Oceanography*, 26(5), 822-830.

- Pejler, B. and Bērziņš, B. (1994). On the ecology of *Lecane* (Rotifera). *Hydrobiologia*, 273, 77-80.
- Phong, T.V., Tuno, N., Kawada, H. and Takagi, M. (2008). Comparative evaluation of fecundity and survivorship of six copepod (Copepoda: Cyclopidae) species: in relation to selection of candidate biological control agents against *Aedes aegypti*. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 24(1), 61-69.
- Radzikowski, J. (2013). Resistance of dormant stages of planktonic invertebrates to adverse environmental conditions. *Journal of Plankton Research*, 35(4), 707-723.
- Ravikumar, P., Prakash, K.L. and Somashekar, R.K. (2013). Evaluation of water quality using geochemical modeling in the Bellary Nala Command area, Belgaum district, Karnataka State, India. *Carbonates Evaporites*, 28(3), 365-381.
- Romero, N., Attademo, A.M., Reno, U., Regaldo, L. Repetti, M.R., Lajmanovich, R. and Gagneten, A.M. (2021). Analysis of the zooplanktonic community in rice fields during a crop cycle in agroecological versus conventional management. *Limnetica*, doi: <https://doi.org/10.23818/limn.41.09>.
- Sakuma, M., Hanazato, T., Saji, A. and Nakazato, R. (2004). Migration from plant to plant: an important factor controlling densities of the epiphytic cladoceran *Alona* (Chydoridae, Anomopoda) on lake vegetation. *Limnology*, 5, 17-23.
- Sanoamuang, L. (2007). The rotifer communities of temporary waters in northeast Thailand. *KKU Research Journal*, 12(3), 203-209.
- Sarma, S.S.S., Nandini, S. and Gulati, R.D. (2005). Life history strategies of cladocerans: comparisons of tropical and temperate taxa. *Hydrobiologia*, 542(1), 315-333.
- Scardaci, S.C., Shannon, M.C., Grattan, S.R., Eke, A.U., Roberts, S.R., Goldman-Smith, S. and Hill, J.E. (2002). Water management practices can affect salinity in rice fields. *California Agriculture*, 56(6), 184-188.
- Segers, H. (1995). *Rotifera: The Lecanidae (Monogononta)*. *Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental water of the world* 6. The Hague: SPB Academic Publishing.
- Smirnov, N.N. (1996). *Cladocera: The Chydorinae and Sayciinae (Chydoridae) of the world*. *Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world* 11. Amsterdam: SPB Academic Publishing.
- Snell, T.W., Johnston, R.K., Gribble, K.E. and Welch, D.B.M. (2015). Rotifers as experimental tools for investigating aging. *Invertebrate Reproduction & Development*, 59(sup1), 5-10.

- Suwannatrai, A., Suwannatrai, K., Haruay, S., Piratae, S., Thammasiri, C., Khampoosa, P., Kulsantiwong, J., Prasopdee, S., Tarbsripair, P., Suwanwerakamtorn, R., Sukchan, S., Boonmars, T., Malone, J.B., Kearney, M.T. and Tesana, S. (2011). Effect of soil surface salt on the density and distribution of the snail *Bithynia siamensis goniomphalos* in northeast Thailand. *Geospatial Health*, 5(2), 183-190.
- Velasco, J., Gutiérrez-Cánovas, C., Botella-Cruz, M., Sánchez-Fernández, D., Arribas, P., Carbonell, J.A., Millán, A. and Pallarés, S. (2019). Effects of salinity changes on aquatic organisms in a multiple stressor context. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, doi: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2018.0011>.
- Williams, D.D. (1997). Temporary ponds and their invertebrate communities. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 7(2), 105-117.
- Winkler, L.W. (1888). Die Bestimmung des in Wasser gelösten Sauerstoffes. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 21(2), 2843-2855.
- Zokan, M. and Drake, J.M. (2015). The effect of hydroperiod and predation on the diversity of temporary pond zooplankton communities. *Ecology and Evolution*, 5(15), 3066-3074.

การพัฒนาเครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไข่มดริน Development of a Complete Rice Milling Machine for Khai Mod Rin Rice

อนรรักษ์ ตรีเพชร¹ ชโลธร ศักดิ์มาศ¹ และปริญญา หม่อมพิบูลย์^{1*}
Anurak Tripetch¹ Chalotron Sakmas¹ and Parinya Mompiboon^{1*}

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประดิษฐ์เครื่องสีข้าวไข่มดรินครบวงจร โดยรวบรวมทั้งกระบวนการนวดข้าว กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก และกระบวนการสีข้าวอยู่ภายในชุดเดียว สามารถทำงานต่อเนื่องด้วยอุปกรณ์ชุดกระพ้อลำเลียงส่งต่อวัตถุดิบ ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีต้นทุนต่ำ อีกทั้งสามารถสีได้ทั้งผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องและผลิตภัณฑ์ข้าวขาว เครื่องสีข้าวมีขนาดเล็กเหมาะสำหรับกำลังการผลิตในระดับครัวเรือนหรือวิสาหกิจชุมชน วิธีการทดสอบเครื่องสีข้าวแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการนวดข้าว ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง และขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวขาว โดยขั้นตอนที่ 1 ถึง ขั้นตอนที่ 3 ใช้ข้าวเปลือกจำนวน 100 กิโลกรัมต่อครั้งการทดสอบ ส่วนขั้นตอนที่ 4 ใช้ข้าวกล้องจำนวน 100 กิโลกรัมต่อครั้งการทดสอบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่า 1) ขั้นตอนการนวดข้าว ข้าวที่ใช้เคียวเก็บเกี่ยวข้าวใช้ระยะเวลา 14.15 นาที และข้าวที่ใช้แคะเก็บข้าว (เครื่องมือเก็บข้าวของชาวนาภาคใต้ใช้เก็บข้าวที่ละรวง) ใช้ระยะเวลา 7.27 นาที 2) ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น อบข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ได้ค่าความชื้น 12.6 เปอร์เซ็นต์ 3) ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง ได้ปริมาณข้าวกล้องเฉลี่ย 64.4 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาการสีเฉลี่ย 33.8 ชั่วโมง ความสมบูรณ์ข้าวเฉลี่ย 79.2 เปอร์เซ็นต์ 4) ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวขาว ได้ปริมาณข้าวขาวเฉลี่ย 84.4 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาการสีเฉลี่ย 4.24 ชั่วโมง ความสมบูรณ์ข้าวเฉลี่ย 88.5 เปอร์เซ็นต์ 5) ค่าไฟฟ้าที่ใช้สีข้าวเปลือกจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ข้าวขาวคิดเป็น 1.55 บาทต่อข้าวเปลือก 1 กิโลกรัม

คำสำคัญ: นวดข้าว อบแห้งข้าวเปลือก สีข้าว ข้าวไข่มดริน

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

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

Received: 15 August 2021, Revised: 4 October 2021, Accepted: 24 November 2021

Abstract

The aim of this research was to develop a complete Khai Mod Rin rice milling machine that combines the threshing, drying, and milling of rice in one device. This rice milling machine can be operated continuously with the bucket elevator conveying the raw material, which reduces the production time. The product obtained is inexpensive and can mill both brown rice and white rice. It is small and suitable for the production capacity of a household or a communal enterprise. The test method of the rice milling machine was divided into 4 steps: threshing, dehumidification, milling brown rice, and milling white rice. From step 1 to step 3, 100 kg of paddy was used for each test. In step 4, 100 kg of brown rice was used for each test. The results of the tests revealed that 1) the threshing step: threshing the paddy harvested with the sickle and the Kae (a harvesting tool used by southern Thai farmers to collect the rice one by one) took 14.15 and 7.27 minutes, respectively. 2) The step of dehumidification: after the paddy was dried at 70 degrees Celsius for 3 hours, the moisture content was 12.6 percent. 3) The step of milling brown rice: the average yield of brown rice was 64.4 kg. The average rice milling time was 33.8 hours. The average maturity of the rice was 79.2 percent. 4) The step of milling white rice: the average yield of white rice was 84.4 kg. The average time for polishing rice was 4.24 hours. The average maturity of the rice was 88.5 percent. 5) The electricity cost of milling the paddy into the white rice was 1.55 baht per 1 kg of paddy.

Keywords: Rice threshing, Paddy drying, Rice milling, Khai Mod Rin rice

บทนำ

จังหวัดนครศรีธรรมราช มีพื้นที่ทั้งสิ้น 6,214,064 ไร่ พื้นที่ 286,120 ไร่ (ข้าวนาปี) คิดเป็นร้อยละ 9.4 พบว่าการปลูกข้าวนาปี ปี 2559/2560 อำเภอที่มีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวมากที่สุด คือ อำเภอหัวไทร จำนวน 78,872 ไร่ (สำนักงานสถิติ จังหวัดนครศรีธรรมราช, 2561)

ข้าวไข่มดรีน เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดนครศรีธรรมราช มีถิ่นกำเนิดในอำเภอหัวไทร มีลักษณะเมล็ดเล็กยาวเรียว เหมือนไข่ของมดลิ้น เมล็ดข้าวเปลือก กว้าง x ยาว x หนา ประมาณ $2.50 \times 9.47 \times 1.90$ มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา ประมาณ $2.0 \times 6.9 \times 1.7$ มิลลิเมตร มีปริมาณอะไมโลสปานกลางประมาณ 21.80-23.74 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพการสีดีมาก ให้ข้าวเต็มเมล็ด ลักษณะประจำพันธุ์เป็นข้าวเจ้า มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโปรตีนมากกว่าข้าวชนิดอื่น ๆ ข้าวไข่มดรีน เมื่อผ่านการหุงเสร็จแล้ว จะสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการไปประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ น้อยกว่าข้าวชนิดอื่น ๆ ที่สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการไปประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ข้าวไข่มดรีนมีรสชาติ หอม

มัน มีรสนุ่ม เนื้อแน่นเต็มเมล็ด รับประทานง่าย ไม่แข็งกระด้าง (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2561)

ทีมวิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจข้อมูลเกษตรกร ตำบลเขาพังไกร และตำบลควนชะลิก อำเภอยะหริ่ง จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าเกษตรกรผู้ปลูกข้าวไม่เต็มต้นนิยมขายข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวให้แก่โรงสีข้าว เก็บข้าวเปลือกบางส่วนไว้บริโภคและเป็นเมล็ดพันธุ์สำหรับปลูกในรอบปีถัดไป การนำข้าวมาบริโภคเกษตรกรต้องนำข้าวไปสีโรงสีข้าว ทำให้ต้นทุนในการผลิตข้าวเพิ่มขึ้น ขั้นตอนการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสารหลังการเก็บเกี่ยวนั้นต้องใช้ระยะเวลาและความเอื้ออำนวยของสภาพอากาศเนื่องจากในช่วงฤดูฝนไม่เหมาะต่อการตากข้าว (ปิยะพงษ์ และศักดิ์, 2562) ยังรวมถึงสถานที่สำหรับตากแห้งไล่ความชื้นของข้าวที่ต้องอาศัยพื้นที่มาก ทำให้เกิดปัญหาการนำข้าวมาตากตามท้องถนนส่งผลให้เกิดปัญหาอุบัติเหตุและปัญหาทางสังคมตามมา ทางผู้วิจัยจึงคิดหาวิธีการแก้ปัญหาตรงส่วนนี้โดยให้เกษตรกรพึ่งพาตนเองให้มากที่สุด การแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสารประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ กระบวนการนวดข้าว กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก และกระบวนการสีข้าว การออกแบบและสร้างเครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่หมด สามารถทำงานต่อเนื่องด้วยอุปกรณ์ชุดกระพ้อลำเลียงส่งต่อวัตถุดิบ มีดังนี้

1) กระบวนการนวดข้าว คือการแยกข้าวเปลือกที่ติดอยู่กับฟางข้าวออกจากกัน กระทำได้หลายวิธี เช่น การเหยียบ การฟาด การใช้เครื่องนวด จากการศึกษาพบว่าการใช้เครื่องนวดข้าวที่มีขนาดเล็กเหมาะสมต่อการใช้งานในระดับครัวเรือนกลุ่มเกษตรกรมากที่สุด และยังทำให้ได้ปริมาณเมล็ดข้าวเปลือกดีกว่าการใช้รถเกี่ยวข้าว (สมชาย และวินิต, 2554) สมรรถนะเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวด โดยใช้ตัวนวดข้าวภายในแบบแถบไหลตามแกน ซึ่งทำให้มีน้ำหนักเบาและให้ประสิทธิภาพที่ออกมาค่อนข้างดี (Zhong *et al.*, 2021) การติดตั้งชุดลูกป็นทำให้ลดแรงเสียดทานขณะหมุนของแถบนวดเพื่อช่วยลดการสั่นสะเทือนตรงตัวนวดข้าว (ชัยยันต์ และคณะ, 2558) เครื่องนวดข้าวแบบป้อนฟ่อนข้าวที่มีการออกแบบให้สามารถเป่าเมล็ดข้าวลีบและเศษฟางออกมาได้ โดยใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง ใช้งานได้ง่ายสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย

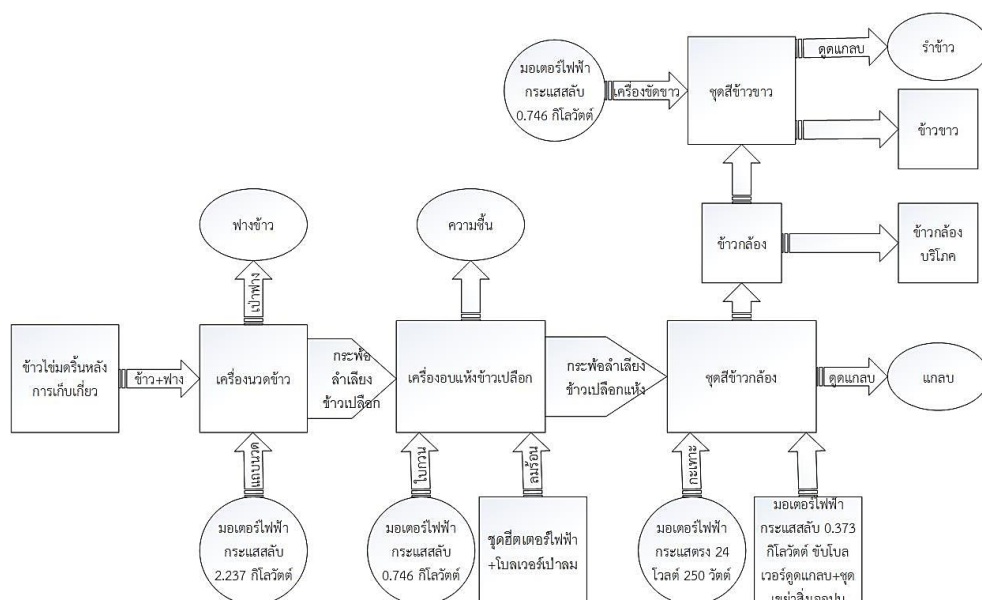
2) กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก การอบไล่ความชื้นมีความสำคัญต่อคุณภาพของข้าวเป็นอันมากการอบแห้งโดยควบคุมอุณหภูมิ เวลา ความเร็วของอากาศให้มีความเหมาะสมส่งผลให้ได้ข้าวมีคุณภาพดี (สุชาติ และคณะ, 2555; สุรพงษ์ และไกรสร, 2559; พิรสิทธิ์ และคณะ, 2557; Weerachet *et al.*, 2010) เครื่องลดความชื้นแบบฟลูอิดไดซ์-เบต สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพที่ดี จึงเลือกออกแบบถังอบแบบฟลูอิดไดซ์-เบต ในการออกแบบเครื่องอบไล่ความชื้นสิ่งที่คำนึงถึงอันดับแรกคือความชื้นของข้าวเปลือกในระดับที่ต้องการลด ข้าวเปลือกที่มีความชื้นอยู่ที่ 12-13 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมต่อการนำไปสีมากที่สุด (ธีรศาสตร์ และคณะ, 2560) อุณหภูมิของการอบแห้งแบบมีการไหลของลมร้อนที่เหมาะสมคือ 70 องศาเซลเซียส

3) กระบวนการสีข้าว เป็นการกะเทาะข้าวเปลือกออกจากข้าวสาร จากการศึกษาพบว่าเครื่องสีข้าวขนาดเล็กมีความเหมาะสมต่อการใช้งานในระดับครัวเรือน (วิวัฒน์ และมฤตติ, 2558; สุรสิทธิ์, 2553) อีกทั้งสามารถสีได้ทั้งผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง (ธนัสถ์ และคณะ, 2558) และข้าวขาว (ภัทรารุช และคณะ, 2563) หาประสิทธิภาพในการสีข้าวของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยปรับความเร็วรอบของมอเตอร์และระยะห่างของลูกกลิ้ง เพื่อลดการแตกหักของข้าว

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อประดิษฐ์เครื่องสีข้าวไม่ครี้นครบวงจร สำหรับสีข้าวไม่ครี้น โดยรวบรวมทั้งกระบวนการนวดข้าว กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก และกระบวนการสีข้าวอยู่ภายในชุดเดียว สามารถทำงานต่อเนื่องด้วยอุปกรณ์ชุดกระพ้อลำเลียงส่งต่อวัตถุดิบ ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีต้นทุนต่ำ เหมาะสำหรับการผลิตในระดับครัวเรือน หรือวิสาหกิจชุมชน เมื่อปริมาณข้าวที่สีแต่ละครั้งมีความเพียงพอต่อการรับประทานทำให้ข้าวมีความสดใหม่ ทำให้มีคุณภาพและคุณค่าทางสารอาหารสูง หากจะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบที่มีคุณภาพ นอกจากนี้เศษข้าวที่เหลือจากการบริโภคที่มาจากครัวเรือนสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ (เอนก และคณะ, 2564) เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนใช้ในครัวเรือน

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ครี้น มีขั้นตอนการทำงานตามบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 1 เริ่มการทำงานโดยนำข้าวที่ผ่านการเก็บเกี่ยวเข้าเครื่องนวดเพื่อแยกข้าวออกจากฟางข้าว ข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการนวดออกไปยังกระพ้อลำเลียงส่งเข้ายังเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก ภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกมีใบพัดกวนข้าว และมีชุดฮีตเตอร์ไฟฟ้ากับโบลเวอร์เป่าลมร้อนจากทางด้านล่างของเครื่อง ในส่วนนี้ลมร้อนจะไหลผ่านข้าวเปลือกทำให้ความชื้นภายในข้าวเปลือกลดลง ข้าวที่ผ่านการอบแห้งที่ออกจากเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกไปยังชุดกระพ้อลำเลียงไปยังเครื่องสีข้าว โดยเครื่องสีข้าวทำงาน 2 ระบบ คือ 1) สีข้าวกล้อง ข้าวเปลือกเข้ายังชุดสีข้าวกล้องในชุดอุปกรณ์นี้จะทำการกะเทาะเปลือกข้าวออกผลิตผลิตภัณฑ์ได้คือ ข้าวกล้อง และแกลบ 2) สีข้าวขาว ข้าวกล้องที่ผ่านการกะเทาะเปลือกข้าวจากชุดสีข้าวกล้อง ไหลผ่านยังชุดสีข้าวขาวเพื่อทำการขัดขาวได้ผลิตภัณฑ์ข้าวขาว และรำข้าว เมื่อพิจารณา ออกแบบ สร้างและเลือกใช้อุปกรณ์ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานเครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ครี้น

1. กระบวนการนวดข้าว หลักในการออกแบบเครื่องนวดข้าวที่เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ประกอบของเครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับข้าวไม่ดรีน ออกแบบให้ใช้งานได้ง่าย และปลอดภัย เมื่อทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการสร้างเครื่องนวดข้าวมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ ต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องนวดข้าว มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ 1) ใช้เครื่องยนต์ 2) ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป ในการออกแบบครั้งนี้ทางทีมวิจัยเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่าเครื่องยนต์ ราคาที่ถูกลง และไม่ปล่อยมลพิษออกมาทำลายสิ่งแวดล้อม แต่พลังกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องยนต์

ออกแบบให้ชิ้นส่วนในการทำงานมีน้ำหนักเบาและมีประสิทธิภาพสูงในการทำงาน แบบขึ้นงาน และอุปกรณ์ประกอบเครื่องนวดข้าว ดังภาพที่ 2 โดยใช้ตัวนวดข้าวภายในแบบแถบไหลตามแกน ทำให้มีน้ำหนักเบาและให้ประสิทธิภาพที่ออกมาค่อนข้างดี มีการเป่าเมล็ดข้าวลีบและเศษฟางออกมา โดยใช้ใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว เป็นอุปกรณ์สร้างลมเป่า ทำให้ลดขั้นตอนของการทำความสะอาดข้าวเปลือกก่อนเข้ากระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกและกระบวนการสีข้าว

การคำนวณกำลังของมอเตอร์ได้ จากสมการ (1)

$$P = \frac{2\pi \times T \times N}{60} \quad (1)$$

เมื่อ P คือ กำลังมอเตอร์ มีหน่วยเป็น วัตต์ T คือ แรงบิด มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร N คือ ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที

การคำนวณภาระของเพลลาที่ได้รับ จากสมการ (2)

$$T = \frac{Hp \times 60}{2\pi N} \quad (2)$$

เมื่อ T คือ ภาระของเพลลา Hp คือ แรงม้าของมอเตอร์ N คือ ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที จากการคำนวณกำลังมอเตอร์ในขั้นต้น ได้กำลังมอเตอร์ที่ใช้คือ ขนาด 3 แรงม้า (2.237 กิโลวัตต์)

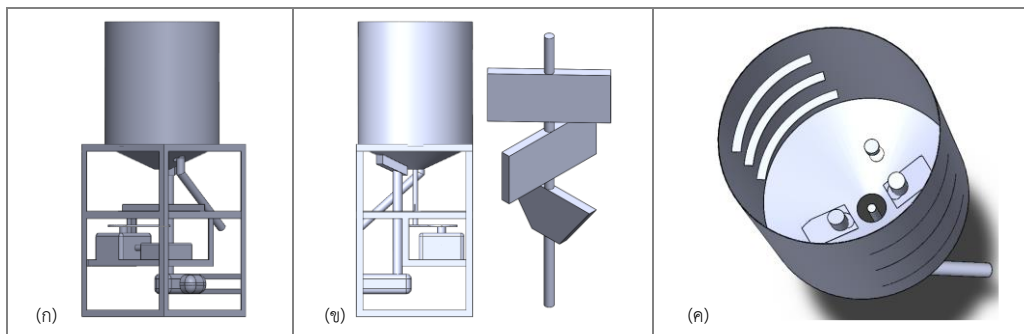


ภาพที่ 2 แบบชิ้นงาน และอุปกรณ์ประกอบเครื่องนวดข้าว

- (ก) แบบเครื่องนวดข้าว (หน้า) (ข) แบบเครื่องนวดข้าว (หลัง) (ค) แบบแถบนวดไหลตามแกน
 (ง) เครื่องนวดข้าว (จ) ชิ้นนวดข้าวกับถังนวดด้านล่าง (ฉ) ทางออกข้าวเปลือก
 (ช) แถบนวดข้าว (ซ) ฝาปิดบนติดตั้งครีบบางเดือน (ณ) พัดลมเป่าข้าวลีบ

2. กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก เมื่อข้าวผ่านการนวดเพื่อแยกเมล็ดข้าวออกมาแล้วนั้น ข้าวยังมีความชื้นสูงอยู่หากนำไปสีจะทำให้ข้าวที่สีนั้นแตกหักง่ายเป็นผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวดีลดน้อยลง และข้าวจะเน่าเสียได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องลดความชื้นข้าวเปลือกก่อนนำไปสู่กระบวนการสีข้าว ออกแบบให้ขนาดเครื่องมีขนาดเล็ก อบข้าวได้ครั้งละ 100-150 กิโลกรัม (คิดตามขนาดของแปลงปลูกข้าวไร่ของเกษตรกร ประมาณ 1 ไร่ต่อแปลงนา โดยอัตราผลผลิตข้าวไร่ประมาณ 400-450 กิโลกรัมต่อแปลงนา อัตราการผลิตที่เกษตรกรสามารถเก็บรักษาข้าวไว้จำหน่ายและบริโภคครั้งละ 100-150 กิโลกรัม) โดยออกแบบถังอบแห้งข้าวเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.70 เมตร ขนาดความสูง 1 เมตร ภายในถังติดตั้งครีบบางเดือนจำนวน 6 ครีบ เพื่อให้เกิดการหมุนวนข้าวเมื่อใบกวนหมุน แบบชิ้นงาน และอุปกรณ์ประกอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก ดังภาพที่ 3 และ 4 การอบแห้งข้าวเป็นแบบแบบฟลูอิดไดซ์-เบต ออกแบบให้ข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่โดยอาศัยใบพัดกวนข้าว ที่รับกำลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า (0.746 กิโลวัตต์) มีความเร็วรอบ 1,430 รอบต่อนาที ผ่านชุดเกียร์ทดรอบ 1:60 ทำให้ใบกวนหมุนด้วยความเร็ว 24 รอบต่อนาที ชุดเป่าลม

ร้อนติดตั้งอยู่ด้านล่างถังอบ ประกอบด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าแบบท่อขดลดความร้อนขนาด 3,000 วัตต์ ควบคุมการทำงานด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ เป่าลมร้อนเข้าถังอบด้วยโบลเวอร์ไฟฟ้า ขนาด 260 วัตต์ มีความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที ความเร็วลมเป่า 5.5 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิที่ตั้งไว้สำหรับอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์-เบด เท่ากับ 70 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ความชื้นข้าวเปลือกที่มีความชื้นอยู่ที่ 12-13 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 3 แบบชิ้นงาน เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก (ก) แบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก (ข) แบบใบกวนข้าวภายในถัง (ค) แบบถังด้านในติดครีบบงเดียน

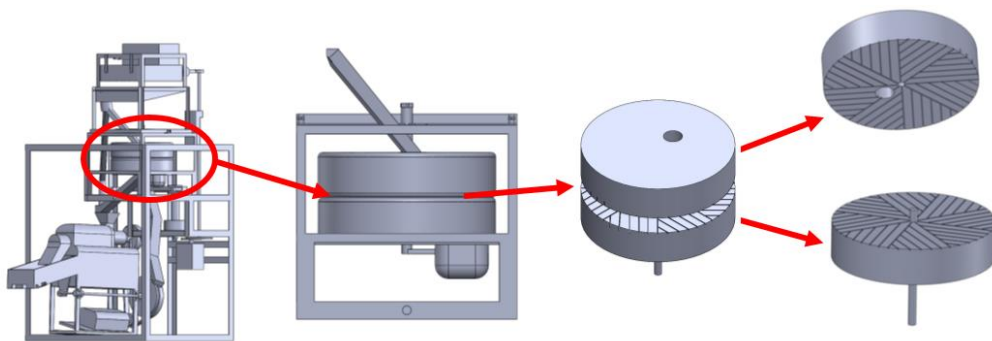


ภาพที่ 4 อุปกรณ์ประกอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก (ก) เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก (ข) ใบกวนข้าวภายในถัง (ค) ชุดเป่าลมร้อน (ง) ถังด้านในติดครีบบงเดียน

3. กระบวนการสีข้าว การออกแบบเครื่องสีข้าวสำหรับสีข้าวไม่ครั้นได้ออกแบบเป็น 2 ส่วน คือ 1) ส่วนที่กะเทาะข้าวเปลือก 2) ส่วนที่เป็นเครื่องขัดข้าวขาว ซึ่งในส่วนที่ 1 นั้นข้าวที่ได้มาจะเป็นข้าวกล้อง และส่วนที่ 2 ข้าวที่ได้มาเป็นข้าวสารขาว

การออกแบบเครื่องสีข้าวกล้องเป็นส่วนแรกของการทำงานของเครื่องสีข้าว การออกแบบชุดหัวกะเทาะข้าวที่สร้างด้วยไม้เนื้อแข็ง ดังภาพที่ 5 ออกแบบโดยใช้หลักการสีข้าวแบบโบราณทำให้ไม่มีสิ่งเจือปนจำพวกหินหรือยางที่หลุดจากหัวกะเทาะ โดยหัวกะเทาะสร้างด้วยไม้มะขามซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งทำการเซาะร่องรูปตัววีทำมุม 45 องศา ขนาดของร่องตัววี กว้าง x ลึก เท่ากับ 2.0 x 0.6 มิลลิเมตร (ออกแบบขนาดของร่องรูปตัววีจากขนาดเมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา ประมาณ

2.0 × 6.9 × 1.7 มิลลิเมตร) สลับทางกันที่หน้าสัมผัสกะเทาะเพื่อให้เมล็ดข้าวเปลือกที่กะเทาะเปลือกออกเป็นข้าวกล้องตกในร่องที่ชะและวิ่งออกโดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจากการหมุนของชุดหัวไม้กะเทาะออกไปทางด้านนอกโดยมีมอเตอร์กระแสตรง ขนาด 24 โวลต์ 250 วัตต์ การเลือกขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าได้คำนวณจากแรงในการทำให้ข้าวเปลือกข้าวแตกออก (แรงเฉือน) คำนวณได้จากสมการ (3) และ (4) สามารถปรับความเร็วรอบการหมุนของตัวมอเตอร์ได้ ทำให้ข้าวมีความสมบูรณ์สูงมีจมูกข้าวติดอยู่ด้วย แกลบก็โดนชุดพัดลมดูดออกไปเก็บไว้ในที่เก็บแกลบโดยมีมอเตอร์กระแสสลับขนาด 220 โวลต์ 0.5 แรงม้า (0.373 กิโลวัตต์) เป็นต้นกำลังในการขับพัดลมดูดแกลบและขับชุดเขย่าแยกสิ่งเจือปนจากข้าวเปลือกก่อนเข้าเครื่องกะเทาะ และยังขับเคลื่อนชุดเขย่าแยกสิ่งเจือปนข้าวเปลือกก่อนเข้าเครื่องสีข้าว ข้าวกล้องที่ผ่านการสีข้าวไหลลงด้านล่างตามแรงโน้มถ่วงของโลก แยกทางออกเป็น 2 ช่อง คือทางออกไปใช้บริโภค และทางออกไปขัดขาว ชุดเครื่องขัดขาวใช้มอเตอร์กระแสสลับขนาด 220 โวลต์ 1 แรงม้า (0.746 กิโลวัตต์) เป็นต้นกำลัง ข้าวที่ผ่านการขัดขาวออกมาทางช่องทางข้าวขัดขาวออก มีถาดคัดแยกข้าวเต็มเมล็ดกับข้าวหัก ติดอยู่เพื่อทำการคัดแยกข้าวเต็มเมล็ดกับข้าวหักออกจากกัน



ภาพที่ 5 แบบชิ้นงานเครื่องสีข้าวกล้อง

การคำนวณหาค่าแรงเฉือนที่ใช้การกะเทาะเปลือกข้าว จากสมการ (3) (พิชัย, 2549)

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (3)$$

เมื่อ τ คือ แรงเฉือนที่ใช้ในการกะเทาะเปลือกข้าว P คือ แรงเฉือนสูงสุด A คือ พื้นที่ที่ถูกเฉือน

การคำนวณหาแรงบิดของเพลของชุดสีข้าว จากสมการ (4) (พิชัย, 2549)

$$T = P \times r \quad (4)$$

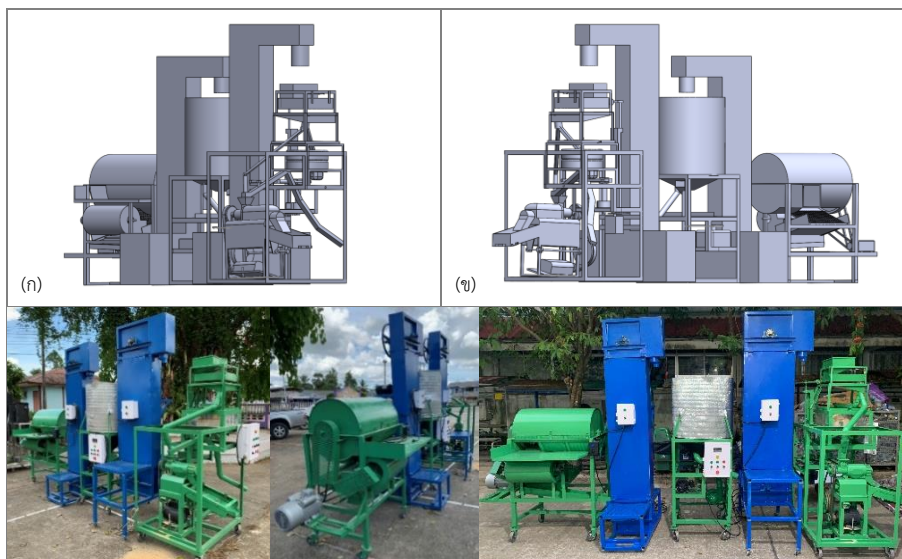
เมื่อ T คือ แรงบิด P คือ แรง r คือ รัศมีล้อสีข้าว

การคำนวณค่าไฟฟ้า จากสมการ (5) (พิชัย, 2549)

$$\text{ค่าไฟฟ้า (บาท)} = \text{หน่วยไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)} \times \text{อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)} \quad (5)$$

หาหน่วยไฟฟ้าได้ จากสมการ (6)

$$\text{หน่วยไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)} = \text{กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)} \times \text{ชั่วโมง (ระยะเวลาใช้งาน)} \quad (6)$$



ภาพที่ 6 แบบ และภาพถ่ายเครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่มดรีน

(ก) แบบเครื่องด้านหน้า (ข) แบบเครื่องด้านหลัง

เครื่องสีข้าวครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่มดรีนมีรูปแบบลักษณะการออกแบบเครื่อง (ภาพที่ 6) ทำงานต่อเนื่อง 3 กระบวนการขนถ่ายวัตถุดิบด้วยอุปกรณ์ชุดกระพ้อลำเลียง โดยชุดกระพ้อลำเลียงเชื่อมต่อการส่งวัตถุดิบระหว่างกระบวนการ ดังนี้ คือ 1) ขนถ่ายข้าวเปลือกที่มาจากกระบวนการนวดข้าวไปยังกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกส่งเข้าทางด้านบนของถังอบแห้ง 2) ขนถ่ายข้าวเปลือกแห้งที่ออกทางด้านล่างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกส่งไปยังกระบวนการสีข้าวโดยเข้ายังชุดเขย่าแยกสิ่งเจือปนที่อยู่บนสุดของชุดเครื่องสีข้าว โดยชุดกระพ้อลำเลียงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสสลับขนาด 220 โวลต์ 0.5 แรงม้า (0.373 กิโลวัตต์)

ผลการวิจัย

วิธีการทดสอบเครื่องสีข้าวแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการนวดข้าว ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง และขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวขาว โดยแยกทำการทดลองเพื่อสามารถทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องได้ครบทุกกระบวนการ ดังนี้

1. ผลการทดสอบการนวดข้าว

การทดสอบเครื่องนวดข้าวทำการทดสอบด้วยข้าวที่ใช้คนเกี่ยวซึ่งเกษตรกรใช้เครื่องมือเกี่ยวเกี่ยวสองแบบ คือ ข้าวที่เกี่ยวโดยใช้เคียวเกี่ยว จะมีความยาวประมาณ 40-50 เซนติเมตร และข้าวที่เกี่ยวโดยใช้กะบักข้าว จะมีความยาวประมาณ 15-25 เซนติเมตร ดังภาพที่ 7

ผลการทดสอบนวดข้าวโดยใช้เครื่องนวดข้าวเปรียบเทียบระหว่างข้าวที่ใช้เคียวเกี่ยวข้าว กับข้าวที่ใช้กะบักข้าว โดยทดสอบข้าวที่ 100 กิโลกรัม ก่อนทำการนวด แสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 7 การทดสอบนวดข้าว (ก) เก็บด้วยเคียว (ข) เก็บด้วยแคะ และ (ค) ทดสอบนวดข้าว

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลการนวดข้าวระหว่างข้าวที่ใช้เคียวเกี่ยวข้าว กับข้าวที่ใช้แคะเก็บข้าว โดยทดสอบข้าวที่ 100 กิโลกรัม ก่อนทำการนวด

การทดสอบ	ข้าวที่ใช้เคียวเกี่ยวข้าว	ข้าวที่ใช้แคะเก็บข้าว
1. ระยะเวลาที่ใช้ (นาทีย)	14.15	7.27
2. ปริมาณข้าวเปลือก (กิโลกรัม)	48.4	85.5
3. ปริมาณฟางข้าว (กิโลกรัม)	49.6	11.2
4. เปอร์เซ็นต์เศษฟางที่ปนกับข้าวเปลือก (เปอร์เซ็นต์)	4	8
5. ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.31	0.16

หมายเหตุ: - มีฟางข้าวบางส่วนที่ติดอยู่ภายในเครื่องนวดข้าว
- คำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ใช้จากสมการ (5) และ (6)

จากผลการทดลองเครื่องนวดข้าว พบว่าข้าวที่ใช้แคะเก็บข้าวใช้ระยะเวลาในการนวดน้อยกว่าข้าวที่ใช้เคียวเกี่ยว 6.88 นาที เปอร์เซ็นต์เศษฟางข้าวปะปนของข้าวที่เก็บด้วยแคะมีมากกว่าข้าวที่เก็บด้วยเคียว 4 เปอร์เซ็นต์

2. ผลการทดสอบอบแห้งข้าวเปลือก

การทดสอบอบแห้งข้าวเปลือก ใช้อุณหภูมิในการอบข้าวที่ 70 องศาเซลเซียส และความชื้นที่เหมาะสมในการสีข้าวที่ 12-13 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดสอบอบข้าวโดยใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก ใช้ข้าวเปลือกปริมาณ 100 กิโลกรัม ดังภาพที่ 8 ตั้งลมร้อนอบข้าว 70 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างข้าวทุก ๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 2



ภาพที่ 8 การทดสอบอบแห้งข้าวเปลือก

ตารางที่ 2 ความชื้นข้าวเปลือกไข่มดรีนที่อบโดยใช้เครื่องอบไล่ความชื้นข้าวเปลือก

ตัวอย่างข้าว	ความชื้น (moisture; เปอร์เซ็นต์)
ข้าวเปลือกก่อนอบ	18.2
อบข้าว 1 ชั่วโมง	16.6
อบข้าว 2 ชั่วโมง	14.4
อบข้าว 3 ชั่วโมง	12.6
อบข้าว 4 ชั่วโมง	10.6
อบข้าว 5 ชั่วโมง	9.3

หมายเหตุ: - ผลตรวจวัดความชื้นจากศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ทดลองแบบมาตรฐานเปียก

จากการทดลองอบไล่ความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบไล่ความชื้นข้าวเปลือก ความชื้นข้าวเปลือกก่อนทำการอบอยู่ที่ 18.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการอบข้าวเปลือกผ่านไป 1 ชั่วโมง ความชื้นลดลงเหลือ 16.6 เปอร์เซ็นต์ และเมื่ออบข้าวเปลือกผ่านไป 3 ชั่วโมง ความชื้นอยู่ที่ 12.6 เปอร์เซ็นต์ ตามที่ต้องการ ใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 11.05 กิโลวัตต์ชั่วโมง

3. ผลการทดสอบสีข้าว

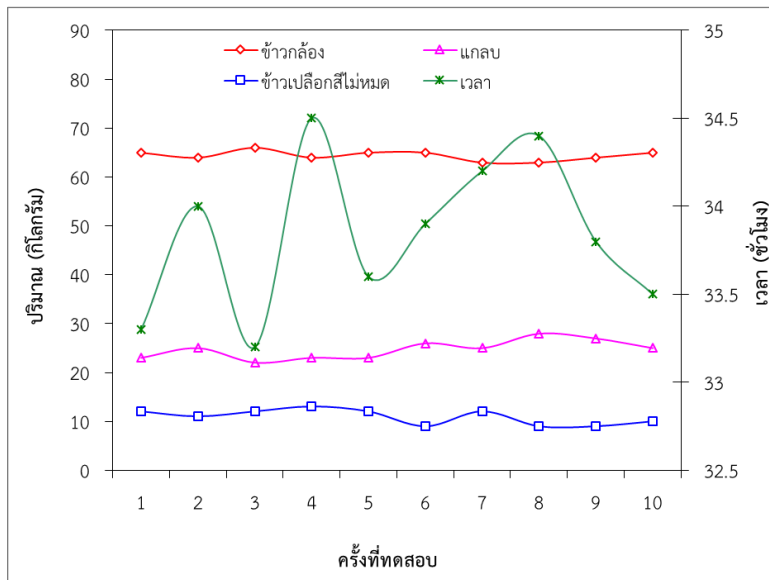
การทดสอบการสีข้าวโดยใช้เครื่องสีข้าวสำหรับสีข้าวไข่มดรีน ทดลองเก็บผล 2 แบบ คือแบบที่ 1 สีข้าวกล้อง กับแบบที่ 2 ขัดขาว ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสีข้าว ประกอบด้วย ข้าวกล้อง ข้าวขาว แกลบ และรำข้าว ดังภาพที่ 9



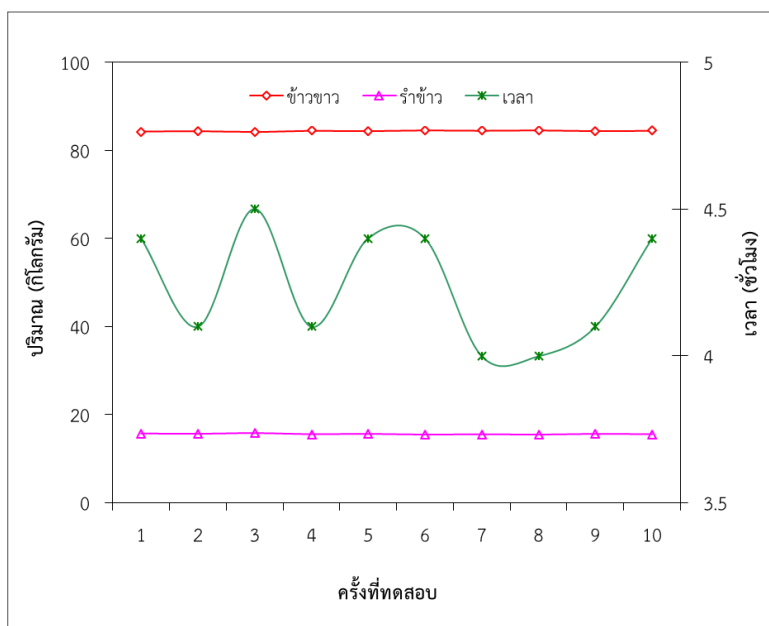
ภาพที่ 9 ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสีข้าว (ก) ข้าวกล้อง (ข) ข้าวขาว (ค) แกลบ และ (ง) รำข้าว

จากผลการทดลองสีข้าวกล้องโดยเครื่องสีข้าวกล้อง ดังภาพที่ 10 ใช้ข้าวทดลองครั้งละ 100 กิโลกรัม ได้ข้าวกล้องเฉลี่ย 64.4 กิโลกรัม ปริมาณแกลบเฉลี่ย 24.7 กิโลกรัม ข้าวเปลือกที่สีออกไม่หมดเฉลี่ย 10.9 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาในการสีเฉลี่ย 33.8 ชั่วโมง ความสมบูรณ์เฉลี่ยของข้าวกล้องอยู่ที่ 79.2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ 21.97 กิโลวัตต์ชั่วโมง

จากการทดลองสีข้าวขาวโดยใช้เครื่องขัดขาว ดังภาพที่ 11 ใช้ข้าวกล้องทดลองครั้งละ 100 กิโลกรัม ได้ข้าวสารขาวเฉลี่ย 84.4 กิโลกรัม ได้รำข้าว 15.5 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 4.24 ชั่วโมง ความสมบูรณ์เฉลี่ยของข้าวขัดขาวอยู่ที่ 88.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ 3.18 กิโลวัตต์ชั่วโมง



ภาพที่ 10 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณข้าวกล้อง แกลบ ข้าวที่สีไม่หมด และเวลาที่สีข้าวกล้อง



ภาพที่ 11 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณข้าวกล้อง ข้าวขัดขาว รำข้าว และเวลาที่สีข้าวขาว

4. ค่าไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องสีข้าวครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ดริน

เมื่อดูจากผลการทดลองสีข้าวของเครื่องสีข้าวครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ดริน โดยทำการทดลองสีข้าวเปลือกจำนวน 100 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาในการสีข้าวทั้งหมดทุกระบวนการอยู่ที่ 9 ชั่วโมง ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ 36.51 กิโลวัตต์ชั่วโมง

การอภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบการนวดข้าวทั้ง 2 แบบ ที่มีลักษณะความยาวของต้นข้าวที่ต่างกัน การนวดข้าวที่ใช้แคะเก็บข้าวใช้ระยะเวลาในการนวดน้อยกว่าข้าวที่ใช้เคียวเกี่ยว เนื่องจากความยาวของฟางข้าวสั้นกว่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์เศษฟางข้าวปะปนข้าวที่เก็บด้วยแคะมีการปะปนมากกว่าข้าวที่เก็บด้วยเคียวเนื่องจากฟางข้าวที่ยาวทำให้เกิดการพาดกับแถบนวดได้มากกว่าฟางข้าวที่สั้น

การทดสอบอบแห้งข้าวเปลือก เครื่องอบแห้งข้าวแบบมีการหมุนวนข้าวเปลือกภายในถัง ใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่น้อยกว่าแบบข้าวหยุดนิ่ง และการได้รับความร้อนทั่วถึงตลอดทั้งถังอบแห้ง

การทดสอบกระบวนการสีข้าวทั้ง 2 เครื่อง เครื่องสีข้าวกล้อง สามารถสีได้ข้าวที่มีความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวกล้องที่สูง โดยมีงอกข้าวติดอยู่เป็นส่วนใหญ่ และหวัะเทาะข้าวทำด้วยไม้เนื้อแข็งทำให้ไม่มีสิ่งเจือปนที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค แต่ปริมาณการสีข้าวกล้องได้ค่อนข้างต่ำ เมื่อนำข้าวกล้องไปเข้าเครื่องขัดขาว ทำให้ความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวออกมาน้อยกว่าเครื่องสีข้าวกล้อง เพราะหัวขัดขาวใช้เหล็กในการขัดสี แต่ใช้ระยะเวลาในการขัดสีข้าวขาวน้อย



ภาพที่ 12 แผนภาพการทำงานของเครื่องสีข้าวครบวงจรสำหรับสีข้าวไรซ์ตรีน

เครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไรซ์ตรีน สามารถลดระยะเวลาในการผลิตข้าวไรซ์ตรีนหลังจากกระบวนการเก็บเกี่ยวจากเดิมที่ใช้ระยะเวลา 1 สัปดาห์ เหลือ 1 วัน เป็นการช่วยลดต้นทุนในด้านแรงงานและระยะเวลา ตามแผนภาพการทำงานของเครื่องสีข้าวครบวงจรสำหรับสีข้าวไรซ์ตรีนที่ลดระยะเวลาในการแปรรูปข้าวเป็นข้าวสาร ดังภาพที่ 12

สรุปผลการวิจัย

เครื่องสีข้าวครบวงจรสำหรับสีข้าวไรซ์ตรีนใช้ระยะเวลาในการแปรรูปข้าวเปลือกจำนวน 100 กิโลกรัม ในเวลา 9 ชั่วโมง ผลการศึกษาการทดสอบเครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไรซ์ตรีน แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการนวดข้าว ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง และขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวขาว โดยขั้นตอนที่ 1 ถึง ขั้นตอนที่ 3 ใช้ข้าวเปลือกจำนวน 100 กิโลกรัมต่อการทดสอบ ส่วนขั้นตอนที่ 4 ใช้ข้าวกล้องจำนวน 100 กิโลกรัมต่อการทดสอบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่า

- 1) ขั้นตอนการนวดข้าว ข้าวที่ใช้เคียวเก็บเกี่ยวข้าวใช้ระยะเวลา 14.15 นาที และข้าวที่ใช้แคะเก็บข้าว (เครื่องมือเก็บข้าวของชาวนาภาคใต้ ใช้เก็บข้าวที่ละรวง) ใช้ระยะเวลา 7.27 นาที
- 2) ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น อบข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ได้ค่าความชื้น 12.6 เปอร์เซ็นต์

3) ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง ได้ปริมาณข้าวกล้องเฉลี่ย 64.4 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาการสีเฉลี่ย 33.8 ชั่วโมง ความสมบูรณ์ข้าวเฉลี่ย 79.2 เปอร์เซ็นต์

4) ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวขาว ได้ปริมาณข้าวขาวเฉลี่ย 84.4 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาการสีเฉลี่ย 4.24 ชั่วโมง ความสมบูรณ์ข้าวเฉลี่ย 88.5 เปอร์เซ็นต์

5) ค่าไฟฟ้าที่ใช้สีข้าวเปลือกจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ข้าวขาวคิดเป็น 1.55 บาทต่อข้าวเปลือก 1 กิโลกรัม

ข้อเสนอแนะ

1. ในกระบวนการนวดข้าวจะมีการปนเศษฟางและเมล็ดข้าวลีบออกมา ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของเศษฟางและเมล็ดข้าวลีบ ควรมีการออกแบบปรับปรุงอุปกรณ์ที่สามารถกับเก็บไม่ให้เกิดการฟุ้งกระจาย

2. ในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกขณะเดินเครื่องทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นจากข้าวออกจากถังอบด้านบน ควรมีการออกแบบให้เป็นระบบปิดและมีชุดดักจับฝุ่น

3. ในกระบวนการสีข้าว ชุดกะเทาะหัวไม่มีการทำงานที่ค่อนข้างช้า และเกิดการอุดตันที่ร่องหัวกะเทาะไม่อยู่เป็นประจำ ควรหาวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

4. เครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ดรีน สามารถนำไปใช้กับข้าวที่มีขนาดเมล็ดข้าวเปลือกประมาณ $2.50 \times 9.47 \times 1.90$ มิลลิเมตร หรือใกล้เคียงได้ หากต้องการใช้กับเมล็ดข้าวที่มีขนาดต่างจากข้าวไม่ดรีนต้องทำการเซาะร่องสีข้าวตามขนาดข้าวที่ต้องการ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) ประจำปีงบประมาณ 2563 รหัสโครงการ มรภ. 005/2563 ขอขอบคุณ กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวไม่ดรีน ตำบลเขาพังไกร อำเภอกำแพงเพชร จังหวัดนครศรีธรรมราช และกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวไม่ดรีน ตำบลควนชะลิก อำเภอกำแพงเพชร จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับข้าวไม่ดรีน

เอกสารอ้างอิง

ชัยยันต์ ใจบุญมา วสันต์ ยศเสนา และสุชสถิติ์ ขาวหล้า. (2558). การสร้างและศึกษาเครื่องนวดข้าวแบบป้อนฟ่อนข้าว. *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 2*. กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

ธนัสถ์ นนทพุทธ กรภัทร เกลิมวงศ์ ศักดิ์ชัย ตันติวิวัฒน์ และณชพร รัตนภรณ์. (2558). เครื่องสีข้าวกล้องขนาดเล็กสำหรับครัวเรือน. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร*, (พิเศษ), 489-498.

ธีรศาสตร์ คณาศรี ปวริศ อุตทอง และสุภาภรณ์ ยอดสำโรง. (2560). แนวทางการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระบอกหมุน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 3(พิเศษ), 55-58.

ปิยะพงษ์ ศรีวงศ์ราช และศักดิ์ดา อินทวิชัย. (2562). การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เครื่องสีข้าวขนาดเล็กระดับชุมชน. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 29(2), 237-246.

- พิชัย จันทรมณี. (2549). เครื่องสีข้าวกลึงขนาดเล็กแบบหยอดเหรียญ. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- พิรสิทธิ์ ทวยนาค มณฑล ชูโซนาท มุสตาฟา ยะกา และประชา บุญยวานิชกุล. (2557). การทบทวนพัฒนาการของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรม. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 9(1), 68-74.
- ภัทรารุช บุญประคอง คณินิต ปทุมมาเกสร และเอนก เทียนบูชา. (2563). การหาประสิทธิภาพของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กสำหรับการสีข้าวพันธุ์การคำจังหวัดชัยนาท. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 15(2), 105-117.
- วิวัฒน์ ไม่แก่นสาร และมฤดี จันทรรัตน์. (2558). การดำเนินงานและปัญหาของโรงสีข้าวชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารปัญญาวิวัฒน์*, 7(2), 17-27.
- ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. (2561). *Rice milling food wiki*. สืบค้นเมื่อ 23 สิงหาคม 2563, จาก: <http://www.foodnetworksolution.com>.
- สมชาย ขนอุดม และวินิต ชินสุวรรณ. (2554). อิทธิพลของการออกแบบชุดนวดของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวแบบไหลตามแกนที่มีต่อความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวเมื่อเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิ. *วารสารวิจัย มข.*, 16(3), 252-260.
- สำนักงานสถิติ จังหวัดนครศรีธรรมราช. (2561). *ข้อมูลพื้นฐานจังหวัดนครศรีธรรมราช*. สืบค้นเมื่อ 23 สิงหาคม 2563, จาก: <http://nksitham.nso.go.th>.
- สุชาติ ธนสุขประเสริฐ ธนิต สวัสดิ์เสวี สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2555). การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 1(2), 1-10.
- สุรพงษ์ โชทอง และไกรสร รวยป้อม. (2559). การอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยเทคนิคฟลูอิดไธซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*, 10(3), 88-97.
- สุรสิทธิ์ ช่อวงศ์. (2553). การสร้างเครื่องสีข้าวกลึง. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 2(1), 133-143.
- เอนก สวະอินทร์ ฌานิกา แซ่แง ชุกกลิน และกัตตินาฏ สกุลสวัสดิพันธ์. (2564). การพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษข้าวโดยถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (MABR). *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 40(1), 121-134.
- Weerachet, J., Natthiga, S. and Apinya, C. (2010). Industrial paddy drying and energy saving options. *Journal of Stored Products Research*, 46(2010), 209-213.
- Zhong, T., Ben, Z., Meilin, W. and Haotian, Z. (2021). Damping behaviour of a prestressed composite beam designed for the thresher of a combine harvester. *Biosystems engineering*, 204(2021), 130-146.

ผลของเวลาในการระเหยของตัวทำละลาย และตัวทำละลายร่วมกับอะซิโตนต่อ
ลักษณะสัณฐานของเยื่อแผ่นในกระบวนการผลิตเยื่อแผ่นพอลิซัลโฟน
Effect of Solvent Evaporation Time and Acetone as Co-Solvent on
Morphology of Polysulfone Membrane Fabrication

ชัยภรณ์ แก้วอ่อน^{1*} อัญนิกา วุ่นคง¹ อภินิรรัตน์ ชันแกล้ว¹ และโสธรญา เรืองดิษฐ์²
Chaiporn Kaew-on^{1*} Annika Woonkong¹ Apinrat Kankaew¹ and Soraya Ruangdit²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของเวลาในการระเหยตัวทำละลายและผลของการเติมอะซิโตนเป็นตัวทำละลายร่วมในกระบวนการผลิตเยื่อแผ่นพอลิซัลโฟน ด้วยเทคนิคการผลิตแบบเปลี่ยนเฟสแบบแห้งและเปียก ตรวจสอบลักษณะสัณฐานโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการศึกษาพบว่าไม่ปรากฏรูพรุนบนเยื่อแผ่นที่ผลิตโดยการจุ่มฟิล์มพอลิเมอร์ลงในอ่างตกตะกอนทันที ในขณะที่การเพิ่มเวลาในการระเหยตัวทำละลายทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุนและความพรุนของเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น และการศึกษาผลของการเติมอะซิโตนเป็นตัวทำละลายร่วมกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์ พบว่าเยื่อแผ่นที่ได้มีขนาดรูพรุนเล็กลงรวมทั้งความพรุนของเยื่อแผ่นลดลงด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไดเมทิลฟอร์มาไมด์เป็นตัวทำละลายเพียงชนิดเดียว

คำสำคัญ: เยื่อแผ่นพอลิซัลโฟน เวลาในการระเหยของตัวทำละลาย ตัวทำละลายร่วม อะซิโตน
สัณฐานของเยื่อแผ่น

¹ หน่วยวิจัยเทคโนโลยีพื้นผิว คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

² ศูนย์วิจัยความเป็นเลิศด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

Received: 28 October 2021, Revised: 2 December 2021, Accepted: 7 December 2021

Abstract

This research investigated the effect of solvent evaporation time and the effect of acetone as a co-solvent on the fabrication process of polysulfone (PSF) membrane using the dry/wet phase inversion technique. The morphology of the sample membrane was verified by using a scanning electron microscope (SEM). The results showed that the Immediate immersion of the polymer film in the coagulation bath did not show any porosity. The increasing the evaporation time of the solvent increased the mean diameter of the pores and the porosity of the membrane. The PSF membrane produced by using mixed dimethylformamide (DMF) and acetone as a solvent provided a smaller pore size radius and a lower porosity than that produced by using only DMF.

Keywords: Polysulfone membrane, Solvent evaporation time, Co-solvent, Acetone, Membrane morphology

บทนำ

เทคโนโลยีการกรองด้วยเยื่อแผ่น (membrane) ถูกนำมาใช้ในการแยกสารต่าง ๆ การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย การกรอง และการสกัดสาร เป็นต้น โดยอาศัยสมบัติในการยอมให้สารบางอย่างผ่านได้แต่ไม่ยอมให้สารบางอย่างผ่าน (Winston and Sirkar, 2001) สารที่ผ่านเยื่อแผ่นได้เรียกว่าเพอมีเอท (permeate) ส่วนสารที่ไม่สามารถผ่านได้เรียกว่ารีเทนเตต (retentate) หรือการทำให้เข้มข้น (concentrate) เทคโนโลยีเยื่อแผ่นถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางทั้งในด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การแยกโปรตีน การแยกสเปกตรัมและแบคทีเรียออกจากน้ำนมด้วยเทคนิคการกรองแบบไมโครฟิวเตรชัน (Hu *et al.*, 2015) ด้านการบำบัดน้ำเสีย (Chaturvedi *et al.*, 2019) และด้านการแพทย์ เช่น การควบคุมอัตราการให้ยาแก่ผู้ป่วย (Shekhawat and Pokharkar, 2017) เป็นต้น เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ใช้งานง่าย ต้นทุนต่ำ รวมทั้งไม่ต้องใช้พลังงานมากในกระบวนการทำงาน จึงเป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รูปแบบการแยกสารออกจากกันขึ้นอยู่กับสมบัติของเยื่อแผ่นและอนุภาคที่ถูกกรองหรือแยก โดยเยื่อแผ่นที่ไม่มีรูพรุน (dense membrane) ใช้กลไกการแพร่ผ่านเยื่อแผ่น การกรองแบบนี้สามารถแยกสารที่มีขนาดใกล้เคียงกันออกจากกันโดยใช้สมบัติการละลาย (solubility) และการแพร่ (diffusivity) ส่วนเยื่อแผ่นที่มีรูพรุน (porous membrane) สามารถแยกอนุภาคออกจากกันโดยใช้ขนาดของรูพรุนเป็นตัวคัดเลือก โดยที่อนุภาคที่มีขนาดโตกว่าขนาดใหญ่สุดของรูพรุนจะไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแผ่นไปได้ ส่วนอนุภาคที่มีขนาดระหว่างขนาดใหญ่สุดและขนาดเล็กสุดของรูพรุนจะเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนได้บางส่วน ซึ่งอนุภาคที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนได้จะต้องมีขนาดเล็กกว่าขนาดรูพรุนมาก ๆ (Baker, 2012) เยื่อแผ่นที่มีรูพรุนสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการกรองหรือการแยกขนาดของอนุภาคต่าง ๆ ออกจากสารละลายได้ เช่น การกรองแบบไมโคร (micro-filtration) ใช้สำหรับกรองอนุภาคที่มีขนาดโตกว่า 0.1 ไมโครเมตร เช่น

แบคทีเรีย สาหร่าย อนุภาคแขวนลอยต่าง ๆ การกรองแบบอัลตรา (ultra-filtration) ใช้สำหรับการกรองอนุภาคที่มีขนาดโตกว่า 0.01 ไมโครเมตร เช่น ไวรัส หรือคอลลอยด์ขนาดเล็ก และการกรองแบบนาโน (nano-filtration) ใช้สำหรับการกรองอนุภาคที่มีขนาดโตกว่า 0.001 ไมโครเมตร เช่น สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำหรือไอออนของแคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) เป็นต้น ดังนั้นการผลิตเยื่อแผ่นโดยการควบคุมขนาดของรูพรุนที่เหมาะสมจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการกรองที่เหมาะสมได้ ส่วนเยื่อแผ่นแบบไม่มีรูพรุนสามารถนำมาใช้กับการแยกอะตอมหรือโมเลกุลที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกันออกจากกันได้ เช่น การแยกแก๊สผสมคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากแก๊สมีเทน (Chittrakarn *et al.*, 2016) ปัจจุบันนักวิจัยกำลังให้ความสนใจวัสดุประเภทพอลิเมอร์มาใช้ในการผลิตเยื่อแผ่นเนื่องจากง่ายต่อการขึ้นรูป และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ งานวิจัยนี้จึงศึกษาการนำพอลิซัลโฟน (polysulfone: PSF) เป็นวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิต เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงทนต่อการกัดกร่อนทางเคมีและทนความร้อนได้ดี (Yang and Lin, 2002) โดยใช้เทคนิคการผลิตแบบการเปลี่ยนเฟส (phase inversion) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการผลิตเยื่อแผ่นด้วยวัสดุประเภทพอลิเมอร์ โดยกระบวนการเปลี่ยนเฟสเกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูปเยื่อแผ่นบนวัสดุรองรับ เมื่อพักเยื่อแผ่นในอากาศจะเกิดการระเหยของตัวทำละลาย (evaporation) เป็นการเปลี่ยนเฟสแบบแห้ง และเมื่อจุ่มเยื่อแผ่นในตัวไม่ทำละลาย (non-solvent) เช่น น้ำบริสุทธิ์ เกิดการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายและตัวไม่ทำละลายในอ่างตกตะกอนนำไปสู่การเปลี่ยนเฟสแบบเปียก เมื่อเกิดทั้งสองกระบวนการจึงเป็นการเปลี่ยนเฟสแบบแห้งและเปียก (dry-wet phase inversion) การเปลี่ยนเฟสของพอลิเมอร์ดังกล่าวจะส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างของเยื่อแผ่นหรือลักษณะฐานที่แตกต่างกัน (Figoli *et al.*, 2016) เช่น ลักษณะโครงสร้างของรูพรุน (pore structure) และความขรุขระของผิว (surface roughness) เนื่องจากลักษณะฐานของเยื่อแผ่นเป็นปัจจัยสำคัญต่อการนำเยื่อแผ่นไปประยุกต์ใช้งาน (Abdelrasoul *et al.*, 2015) และปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อลักษณะฐานของเยื่อแผ่นในกระบวนการผลิตเยื่อแผ่นด้วยกระบวนการเปลี่ยนเฟสแบบแห้งและเปียกเป็นผลมาจากสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์ ซึ่งมาจากการเลือกชนิดของพอลิเมอร์ ชนิดของตัวทำละลาย ชนิดของตัวไม่ทำละลาย และผลจากวิธีการและเงื่อนไขการตกตะกอน ซึ่งส่งผลต่อทั้งอัตราการแพร่ของตัวทำละลายออกจากพอลิเมอร์และอัตราการแพร่ของตัวไม่ทำละลายเข้าสู่พอลิเมอร์ (Bărdacă Urducea *et al.*, 2020) สำหรับเงื่อนไขของการเปลี่ยนเฟส การเพิ่มเวลาในการระเหยตัวทำละลายก่อนจุ่มลงในอ่างตกตะกอนส่งผลให้ขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่วนการเพิ่มความเข้มข้นของพอลิเมอร์จะส่งผลให้ขนาดของรูพรุนเล็กลง ซึ่งความเข้มข้นของพอลิเมอร์สำหรับการเตรียมเยื่อแผ่นเพื่อใช้กับการกรองแบบอัลตราโดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 15-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนเยื่อแผ่นที่ใช้สำหรับการแยกแก๊สใช้พอลิเมอร์ความเข้มข้นประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Baker, 2012) นอกจากนี้สมบัติของตัวทำละลายยังส่งผลต่อลักษณะฐานของเยื่อแผ่นด้วยเช่นกัน จากผลการศึกษาการใช้ตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (dimethylformamide: DMF) ในการผลิตเยื่อแผ่นพอลิซัลโฟนโดยการเติมอะซิโตนลงไป พบว่าผลที่ได้จากการเติมอะซิโตนทำให้ผิวชั้นบนของเยื่อแผ่นมีขนาดรูพรุนเล็กลง ส่งผลให้เยื่อแผ่นชั้นผิวมีความหนาเพิ่มขึ้น (Aryanti *et al.*, 2013)

การวิจัยนี้จึงศึกษาผลของเวลาในการระเหยตัวทำละลายก่อนจุ่มฟิล์มพอลิเมอร์ลงในอ่างตกตะกอน (coagulation bath) และศึกษาผลของตัวทำละลายร่วมอะซิโตนต่อลักษณะทางสัณฐานของเยื่อแผ่นที่ผลิตได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของเวลาในการระเหยตัวทำละลาย และผลของการเติมตัวทำละลายร่วมดังกล่าว ตรวจสอบผลที่เกิดขึ้นโดยใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) ร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ImageJ เพื่อศึกษาสัณฐานของเยื่อแผ่นจากการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด บนผิวหน้าและภาคตัดขวางของเยื่อแผ่น ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อที่ควรคำนึงถึงในการวางแผนการผลิตเยื่อแผ่นเพื่อการประยุกต์ใช้กับการกรองต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 วัตถุประสงค์ ได้แก่ การศึกษาผลของเวลาในการระเหยตัวทำละลายต่อสัณฐานของเยื่อแผ่น และการศึกษาผลของการเติมตัวทำละลายร่วมอะซิโตนต่อสัณฐานของเยื่อแผ่น ซึ่งทั้งสองวัตถุประสงค์มีการใช้เม็ดพอลิซิลโฟนที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีการเดียวกัน เริ่มจากการนำเม็ดพอลิซิลโฟนไปอบในตู้อบสุญญากาศ (vacuum oven) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออกจากเม็ดพอลิซิลโฟน หลังจากนั้นนำเม็ดพอลิซิลโฟน ไปเก็บในโถดูดความชื้นระหว่างรอการนำไปใช้ในกระบวนการทำละลายเพื่อผลิตเยื่อแผ่นต่อไป การดำเนินการเพื่อศึกษาแต่ละวัตถุประสงค์มีรายละเอียด ดังนี้

1. การเตรียมเยื่อแผ่นเพื่อศึกษาผลของเวลาการระเหยตัวทำละลาย

กระบวนการผลิตเยื่อแผ่นพอลิซิลโฟนเริ่มจากการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของเม็ดพอลิซิลโฟนและตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ 22 เปอร์เซ็นต์ และ 78 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ คนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องคนสารชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน (hotplate magnetic stirrer) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เพื่อให้ได้สารละลายเนื้อเดียว หลังจากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (ultrasonic cleaner) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อไล่ฟองอากาศออกจากสารละลาย ก่อนนำสารละลายไปเทลงบนแผ่นแก้วสะอาดขนาด 20 เซนติเมตร x 20 เซนติเมตร ที่มีการติดเทปใสที่ขอบของแผ่นกระจก 2 ด้านตรงข้ามกัน ด้านละ 3 ชั้น ซึ่งเทปใสแต่ละชั้นมีความหนา 50 ไมโครเมตร ทำให้ขอบ 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกันมีความหนา 150 ไมโครเมตร เมื่อปาดสารละลายด้วยแท่งแก้วที่เคลื่อนไปบนขอบสูงของกระจก จะได้แผ่นฟิล์มที่มีความหนา 150 ไมโครเมตร จากนั้นปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 60-65 เปอร์เซ็นต์ โดยมีเงื่อนไขของเวลาในการระเหยตัวทำละลาย 4 เงื่อนไข ได้แก่ 0 นาที (จุ่มทันที) 1 นาที 3 นาที และ 5 นาที หลังจากนั้นนำไปจุ่มในอ่างตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งใช้น้ำกลั่นเป็นสารตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายกับน้ำ ในอ่างตกตะกอน จากนั้นนำเยื่อแผ่นที่ได้ไปแช่ในอ่างเมทานอลที่มีความเข้มข้น 99.9 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่น้ำให้ออกจากรูพรุนของเยื่อแผ่น และขั้นตอนสุดท้ายคือการทำให้แห้งโดยการนำเยื่อแผ่นไปผึ่งในอากาศที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพของเยื่อแผ่นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2. การเตรียมเยื่อแผ่นเพื่อศึกษาผลของตัวทำละลายร่วมอะซิโตน

กระบวนการผลิตเยื่อแผ่นคล้ายกับกระบวนการของการศึกษาผลของเวลาระเหยตัวทำละลาย โดยเริ่มต้นจากการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของเม็ดพอลิซิลโฟน และตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ 22 เปอร์เซ็นต์ และ 78 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ คนด้วยเครื่องคนสารละลายชนิดแม่เหล็กให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง แล้วนำสารละลายไปเขย่าด้วยเครื่องเครื่องล้างความถี่สูงเป็นเวลา 30 นาที เพื่อไล่ฟองอากาศออกจากนั้นเทสารละลายลงบนแผ่นแก้วสะอาดแล้วปาดให้ได้ความหนา 150 ไมโครเมตร แล้วปล่อยให้แห้งเพื่อให้ตัวทำละลายระเหยในอากาศในกรณีนี้ควบคุมเวลาที่ 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ 60-65 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำไปจุ่มในอ่างตกตะกอนน้ำกลั่นเพื่อให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนเฟสเป็นเวลา 15 นาที ต่อด้วยการนำไปแช่ลงในอ่างเมทานอลความเข้มข้น 99.9 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปฝังในอากาศที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปทดสอบสมบัติของเยื่อแผ่น ส่วนอีกกรณีหนึ่งเป็นการเตรียมเยื่อแผ่นจากสารละลายพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมโดยน้ำหนักของเม็ดพอลิซิลโฟน 22 เปอร์เซ็นต์ ตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ 63 เปอร์เซ็นต์ และตัวทำละลายร่วมอะซิโตน 15 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเตรียมสารละลายก่อนการขึ้นรูปเยื่อแผ่น โดยมีวิธีการและเงื่อนไขเกี่ยวกับการเตรียมโดยวิธีแรก ก่อนนำมาทดสอบสมบัติเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3. การตรวจสอบสมบัติของเยื่อแผ่น

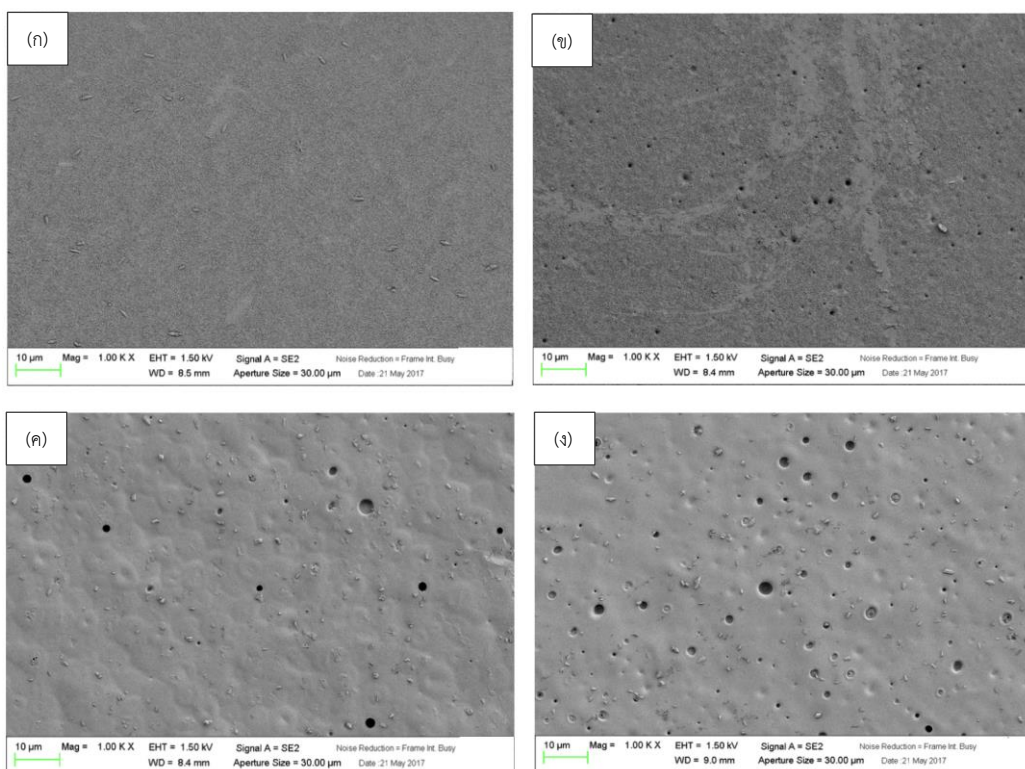
เยื่อแผ่นที่ผลิตได้มีการนำมาตรวจสอบลักษณะพื้นฐานโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยตัดเยื่อแผ่นแต่ละตัวอย่างให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด 3 มิลลิเมตร x 5 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างไปเคลือบทองด้วย sputter coater เป็นเวลา 90 วินาที ก่อนนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แล้วนำภาพที่ได้มาแปลความหมายตามเงื่อนไขของแต่ละวัตถุประสงค์ โดยการนำภาพที่ได้จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด มาหาค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (pore diameter) ที่ผิวบนของเยื่อแผ่น รวมทั้งหาพื้นที่รวมของรูพรุนและความพรุนของเยื่อแผ่นซึ่งคำนวณจากจากสัดส่วนของพื้นที่ผิวรวมของรูพรุนต่อพื้นที่ผิวทั้งหมดของเยื่อแผ่นด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ImageJ ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพเริ่มจากการเปิดภาพที่ได้จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด ด้วยโปรแกรม ImageJ แล้วปรับภาพให้เหมาะสมตามเงื่อนไขของโปรแกรมเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ภาพได้ จากนั้นใช้ฟังก์ชันการวิเคราะห์ของโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย พื้นที่ผิวของรูพรุนเฉลี่ยและความพรุนของเยื่อแผ่น

ผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลของเวลาการระเหยตัวทำละลายต่อลักษณะพื้นฐานของเยื่อแผ่น

การศึกษาผลของเวลาการระเหยตัวทำละลายต่อลักษณะพื้นฐานของเยื่อแผ่น โดยใช้ภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อเปรียบเทียบผลที่เกิดจากการระเหยตัวทำละลายที่ระยะเวลาแตกต่างกันของเยื่อแผ่นพอลิซิลโฟนที่ผลิตโดยกระบวนการเปลี่ยนเฟสซึ่งสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้ขึ้นรูป (polymer dope solution) มีองค์ประกอบคิดสัดส่วนโดยน้ำหนักประกอบด้วยพอลิซิลโฟน 22 เปอร์เซ็นต์ ในตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ 78 เปอร์เซ็นต์

ภาพผิวด้านบนของเยื่อแผ่นที่ได้จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 1,000 เท่า มีลักษณะปรากฏดังภาพที่ 1 โดยภาพที่ 1 (ก) เป็นภาพของเยื่อแผ่นที่จุ่มลงน้ำทันที พบว่าไม่ปรากฏรูพรุนบนเยื่อแผ่นแต่อย่างใด ในขณะที่ภาพของเยื่อแผ่นที่มีการปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยเป็นเวลา 1 3 และ 5 นาที ปรากฏรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 1 (ข) (ค) และ (ง) จากผลการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด ด้วยโปรแกรม ImageJ ผลปรากฏดังตารางที่ 1 พบว่าเยื่อแผ่นที่มีระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลายเพิ่มขึ้นทำให้รูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยการระเหยตัวทำละลายเป็นเวลา 1 3 และ 5 นาที ได้รูพรุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (pore diameter) 0.628 0.848 และ 0.987 ไมโครเมตร ตามลำดับ การหาค่าพื้นที่รวมของรูพรุนจากเยื่อแผ่นที่มีการระเหยตัวทำละลายเป็นเวลา 1 3 และ 5 นาที มีค่า 21.995 68.566 และ 128.260 ตารางไมโครเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ความพรุนจากพื้นที่ของรูพรุนต่อพื้นที่ผิวทั้งหมด พบว่าความพรุนของเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นของการระเหยตัวทำละลาย โดยเยื่อแผ่นที่ระเหยตัวทำละลาย 1 3 และ 5 นาที มีค่าความพรุน 0.287 0.787 และ 1.725 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 1 ลักษณะสัณฐานของเยื่อแผ่นที่เวลาของการระเหยตัวทำละลายแตกต่างกัน

(ก) 0 นาที (ข) 1 นาที (ค) 3 นาที และ (ง) 5 นาที

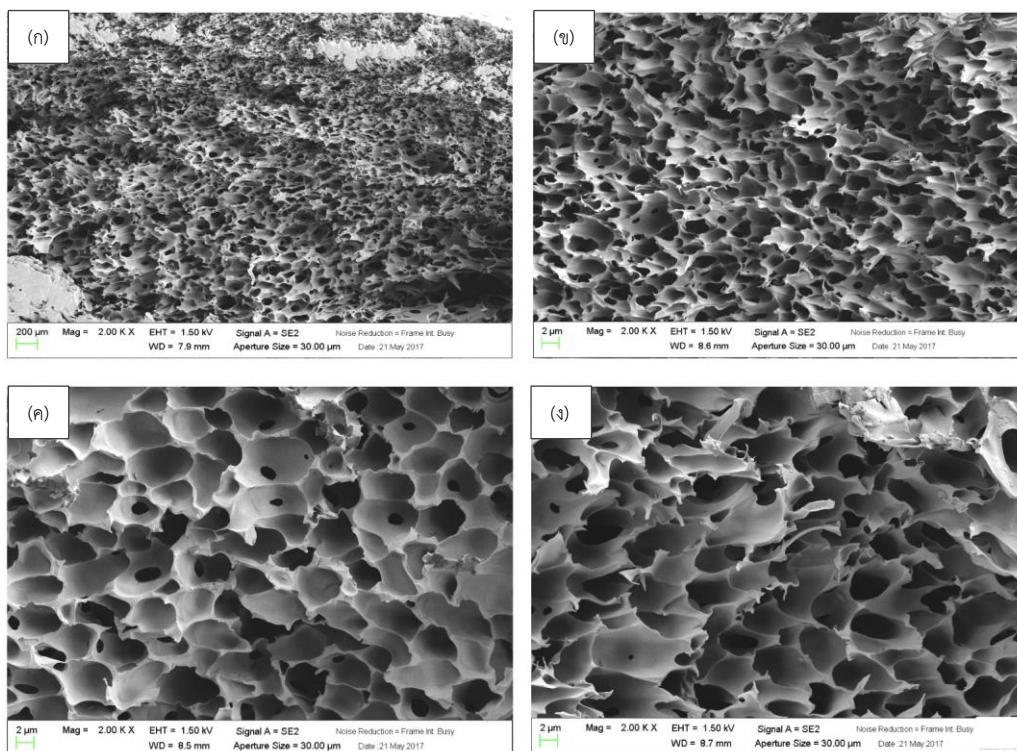
ผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยกลไกการเปลี่ยนเฟส หลังจากกระบวนการรีดเป็นแผ่นแล้วปล่อยให้แห้ง ตัวทำละลายจะระเหยออกจากฟิล์มพอลิเมอร์และเริ่มเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเฟส โดยสารละลายพอลิเมอร์เริ่มเปลี่ยนสถานะอย่างช้า ๆ และต่อเนื่องเพื่อก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างของ

เยื่อแผ่น ขนาดของรูพรุนที่เป็นผลมาจากการระเหยตัวทำละลายออกไปจากเยื่อแผ่นอย่างรวดเร็ว ในขั้นตอนแรกนี้จะทำให้ได้รูพรุนของเยื่อแผ่นที่มีขนาดเล็กและก่อให้เกิดชั้นผิวขึ้นมา อย่างไรก็ตาม ภายหลังจากการจุ่มลงไปในอ่างตกตะกอนแล้ว จะมีการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายที่อยู่ในสารละลาย พอลิเมอร์กับตัวไม่ทำละลายในอ่างตกตะกอน โดยอัตราการแลกเปลี่ยนจากการแพร่จะค่อย ๆ เกิดขึ้น ทำให้ได้โครงสร้างของเยื่อแผ่นเป็นแบบอสมมาตร (asymmetric membrane) ที่มีขนาดรูพรุนที่ใหญ่ขึ้นในชั้นรองรับ (Baker, 2012) การเกิดรูพรุนหรือโพรงขนาดใหญ่ที่ส่วนล่างของเยื่อแผ่นเป็นผลมาจากการระเหยตัวทำละลายที่ชั้นผิวที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้น ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ที่ชั้นผิวเพิ่มขึ้น กลายเป็นกำแพงที่ขัดขวางการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายในสารละลายพอลิเมอร์กับตัวไม่ทำละลายในอ่างตกตะกอน ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนดังกล่าวเกิดช้าลง การเปลี่ยนเฟสจึงเกิดได้ช้าลงด้วย (Kusworo *et al.*, 2017) ทั้งนี้กระบวนการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายจากสารละลายพอลิเมอร์กับตัวไม่ทำละลายในอ่างตกตะกอนจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งได้เยื่อแผ่น (Das and Gebru, 2018) นอกจากนี้การเกิดลักษณะคล้ายรูพรุนที่ผิวบนของเยื่อแผ่นยังสามารถเกิดขึ้นได้จากเงื่อนไขของการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายกับไม่ทำละลายในอ่างตกตะกอน จากผลของการศึกษาการจุ่มแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ที่รีดแล้วลงในอ่างตกตะกอน กรณีที่ตัวไม่ทำละลายในอ่างตกตะกอนสามารถแพร่เข้าไปในสารละลายพอลิเมอร์ก่อนการแพร่ของตัวทำละลายจากสารละลายพอลิเมอร์สู่อ่างตกตะกอน จะส่งผลให้เกิดรูพรุนบนผิวของเยื่อแผ่นเกิดขึ้นได้ (Chuang *et al.*, 2000)

ตารางที่ 1 เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุน พื้นที่รวมของรูพรุนและความพรุนของเยื่อแผ่นจากการระเหยตัวทำละลายที่เวลาต่างกัน

เวลาระเหย ตัวทำละลาย (นาทีก)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ของรูพรุน (ไมโครเมตร)	พื้นที่รวมของรูพรุน (ตารางไมโครเมตร)	ความพรุน (เปอร์เซ็นต์)
1	0.628	21.995	0.287
3	0.848	68.566	0.787
5	0.987	128.260	1.725

การศึกษาภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 2,000 เท่า พบว่าเยื่อแผ่นที่ได้เป็นแบบอสมมาตร ดังภาพที่ 2 (ก) ซึ่งเป็นผลมาจากการอัตราการแลกเปลี่ยนของตัวทำละลายในสารละลายพอลิเมอร์กับตัวไม่ทำละลายในอ่างตกตะกอนที่แตกต่างกัน ในแต่ละส่วนของฟิล์มพอลิเมอร์ โดยส่วนบนมีโครงสร้างของช่องว่างขนาดเล็กกว่าส่วนล่างของเยื่อแผ่น เนื่องจากส่วนบนของฟิล์มพอลิเมอร์มีอัตราการแลกเปลี่ยนดังกล่าวได้ดีกว่าส่วนล่างของฟิล์ม ทำให้ส่วนบนมีเนื้อพอลิเมอร์มากกว่าส่วนล่าง ทำให้เกิดผนังของรูพรุนที่มีขนาดของรูเล็กกว่าส่วนล่าง นอกจากนี้การเพิ่มของเวลาในการระเหยตัวทำละลายทำให้ยังทำให้ขนาดรูพรุนในชั้นรองรับโตขึ้นตามเวลาด้วย ดังภาพที่ 2 (ข) (ค) และ (ง) ทั้งนี้ผลจากการเพิ่มระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลายส่งผลให้ความหนาของชั้นผิวเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายในสารละลายพอลิเมอร์กับตัวไม่ทำละลายในอ่างตกตะกอนมีค่าลดลง ส่งผลให้การเปลี่ยนเฟสเกิดขึ้นได้ช้าลง (Hotda and Vankelecom, 2015) จึงทำให้เกิดโพรงขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น

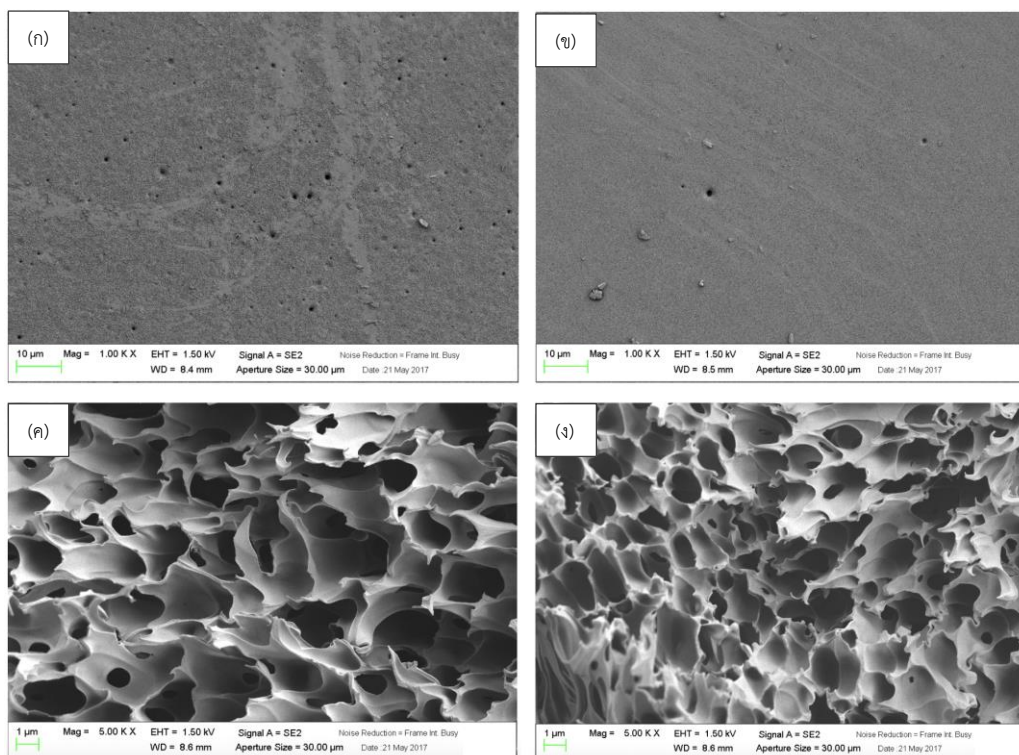


ภาพที่ 2 ภาควัดขวางของเยื่อแผ่นเมื่อระเหยตัวทำละลาย
(ก) 0 นาที (ข) 1 นาที (ค) 3 นาที และ (ง) 5 นาที

2. ผลของตัวทำละลายร่วมอะซิโตนต่อสัณฐานของเยื่อแผ่น

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลจากการเติมอะซิโตนเป็นตัวทำละลายร่วมกับตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ โดยการเปรียบเทียบภาพที่ได้จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเยื่อแผ่นที่เตรียมโดยวิธีการเปลี่ยนเฟส โดยเปรียบเทียบภาพของผิวด้านบนและภาพภาควัดขวาง พบว่าภาพผิวด้านบนของเยื่อแผ่นที่เตรียมจากสารละลายพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของพอลิซิลิโคน 22 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และไดเมทิลฟอร์มาไมด์ 78 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีลักษณะพื้นผิวหยาบและมีรูพรุนอยู่ที่ผิวด้านบนจำนวนมาก ดังภาพที่ 3 (ก) ในขณะที่ภาพที่ได้จากการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยพอลิซิลิโคน ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และตัวทำละลายอะซิโตน มีสัดส่วนเท่ากับ 22 63 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่าลักษณะผิวด้านบนของเยื่อแผ่นมีความเรียบมากกว่าและมีรูพรุนเกิดที่ผิวน้อยกว่าดังภาพที่ 3 (ข) จากผลการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุนพื้นที่รวมของรูพรุนและความพรุนของเยื่อแผ่นทั้งสอง พบว่าเยื่อแผ่นที่เตรียมจากตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ผสมอะซิโตนมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยพื้นที่ผิวรวมของรูพรุน และความพรุนเท่ากับ 0.570 ไมโครเมตร 9.596 ตารางไมโครเมตร และ 0.111 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าเยื่อแผ่นที่เตรียมโดยไม่มีส่วนผสมของอะซิโตน ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย พื้นที่ผิวรวมของรูพรุน และความพรุนเท่ากับ 0.628 ไมโครเมตร 21.995 ตารางไมโครเมตร และ 0.287 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเติมอะซิโตนเพื่อใช้เป็นตัวทำละลายร่วมกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์ทำให้

ชั้นผิวของเยื่อแผ่นมีขนาดของรูพรุนเล็กกล่ง ส่วนภาพภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นแสดงให้เห็นโครงสร้างในชั้นรองรับที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำทั้งสองกรณี ดังภาพที่ 3 (ค) และ (ง) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบขนาดของช่องว่างระหว่างผนังของเซลล์พบว่า ภาพที่ 3 (ค) ที่ได้จากการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของพอลิซิลโฟนกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์ มีความกว้างของช่องมากกว่าภาพที่ 3 (ง) ซึ่งได้จากการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ที่มีการเติมอะซิโตนลงไปผสมกับพอลิซิลโฟนและไดเมทิลฟอร์มาไมด์ ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าการที่สมบัติของตัวทำละลายอะซิโตนระเหยได้เร็วกว่าไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (Gregorio and Borges, 2008) สามารถก่อให้เกิดรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้อะซิโตนยังมีสมบัติในการเกิดอันตรกิริยา (interaction) กับน้ำได้ดี ทำให้สามารถแยกตัวออกจากสารละลายพอลิเมอร์ได้ง่าย ซึ่งการเคลื่อนที่ออกอย่างรวดเร็วของอะซิโตนทำให้ได้พอลิเมอร์ความเข้มข้นสูงในชั้นผิวและก่อให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กกล่ง ส่วนชั้นรองรับของเยื่อแผ่นที่เตรียมโดยมีส่วนผสมของอะซิโตนพบว่าช่องว่างของเซลล์มีขนาดเล็กกว่าเยื่อแผ่นที่เตรียมโดยไม่มีส่วนผสมของอะซิโตน ทั้งนี้เนื่องจากมีความเป็นไปได้ว่าอะซิโตนเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้ดี จึงเกิดการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายและตัวไม่ทำละลายในอ่างตกตะกอนได้ดี ทำให้สามารถเปลี่ยนเฟสได้เร็วกว่าจึงได้ขนาดของเซลล์ในชั้นรองรับเล็กกว่า



ภาพที่ 3 ลักษณะผิวด้านบนของเยื่อแผ่นพอลิซิลโฟนของการระเหยตัวทำละลาย 1 นาทีก่อนจุ่มในอ่างตกตะกอน (ก) ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (ข) ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ผสมอะซิโตน และลักษณะภาคตัดขวางของเยื่อแผ่น (ค) ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (ง) ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ผสมอะซิโตน

สรุปผลการวิจัย

การผลิตเยื่อแผ่นจากพอลิเมอร์พอลิซัลโฟนโดยกระบวนการเปลี่ยนเฟสแบบแห้งและเปียก โดยการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ซึ่งประกอบด้วย พอลิซัลโฟน และตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ 22 และ 78 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แล้วรีดให้เป็นแผ่นบนกระจกสะอาด ปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยออกไปก่อนจุ่มลงในอ่างตกตะกอนเพื่อเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเฟส พบว่าการจุ่มลงในอ่างตกตะกอนทันทีไม่ปรากฏรูพรุนที่ผิวบนของเยื่อแผ่น ส่วนการปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยเป็นเวลา 1 3 และ 5 นาที ปรากฏรูพรุนที่ผิวบนของเยื่อแผ่นโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุนเป็น 0.628 0.848 และ 0.987 ไมโครเมตร ตามลำดับ เยื่อแผ่นมีความพรุน 0.287 0.787 และ 1.725 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้การเปรียบเทียบเยื่อแผ่นที่เตรียมโดยใช้ตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์อย่างเดียวซึ่งสารละลายประกอบด้วย พอลิซัลโฟน และตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ 22 และ 78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กับการเตรียมโดยใช้ตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ร่วมกับอะซิโตน ซึ่งประกอบด้วย พอลิซัลโฟน ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และอะซิโตน 22 เปอร์เซ็นต์ 63 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่าเยื่อแผ่นที่เตรียมโดยใช้ตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ร่วมกับอะซิโตนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ยลดลงจาก 0.628 ไมโครเมตร เป็น 0.570 ไมโครเมตร และมีความพรุนลดลงจากค่าเดิม 0.287 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.111 เปอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยความเป็นเลิศด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน (CoE-MST) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและสิ่งสนับสนุนอื่น ๆ ในการผลิตเยื่อแผ่นพอลิซัลโฟนที่ใช้สำหรับการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Abdelrasoul, A., Doan, H., Lohi, A. and Cheng, C.H. (2015). Morphology control of polysulfone membranes in filtration processes: A critical review. *ChemBioEng Reviews*, 2(1), 22-43.
- Aryanti, P.T., Khoiruddin, K. and Wenten, I.G. (2013). Influence of additives on polysulfone-based ultrafiltration membrane performance during peat water filtration. *Journal of Water Sustainability*, 3, 85-96.
- Baker, R.W. (2012). *Membrane Technology and applications*. doi: <https://doi.org/10.1002/0470020393>.
- Bărdacă Urducea, C., Nechifor, A.C., Dimulescu, I.A., Oprea, O., Nechifor, G., Totu, E.E., Isildak, I., Albu, P.C., and Bungău, S.G. (2020). Control of nanostructured polysulfone membrane preparation by phase inversion method. *Nanomaterials*, 10(12), doi: <https://doi.org/10.3390/nano10122349>.

- Chaturvedi, V.K., Kushwaha, A., Maurya, S., Tabassum, N., Chaurasia, H. and Singh, M.P. (2019). Wastewater treatment through nanotechnology: Role and prospects. *Restoration of Wetland Ecosystem: A Trajectory Towards a Sustainable Environment*, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-7665-8_14.
- Chittrakarn, T., Tirawanichakul, Y., Sirijarukul, S. and Yuenyao, C. (2016). Plasma induced graft polymerization of hydrophilic monomers on polysulfone gas separation membrane surfaces. *Surface and Coatings Technology*, 296, 157-163.
- Chuang, W.Y., Young, T.H., Chiu, W.Y. and Lin, C.Y. (2000). The effect of polymeric additives on the structure and permeability of poly (vinyl alcohol) asymmetric membranes. *Polymer*, 41(15), 5633-5641.
- Das, C. and Gebru, K.A. (2018). *Polymeric membrane synthesis, modification, and applications: Electro-spun and phase inverted membrane (1st sd.)*. Retrieved 13 August 2021, from: <https://play.google.com/books/reader?id=XEIPEAAAQBAJ&pg=GBS.PA8&hl=en>.
- Figoli, A., Marino, T. and Galiano, F. (2016). *Membrane Technologies for Biorefining*. Retrieved 8 August 2021, from: https://play.google.com/books/reader?id=eMPLBwAAQBAJ&pg=GBS.PA32.w.4.0.6_177&hl=en.
- Gregorio, R. and Borges, D. S. (2008). Effect of crystallization rate on the formation of the polymorphs of solution cast poly (vinylidene fluoride). *Polymer*, 49(18), 4009-4016.
- Hołda, A.K. and Vankelecom, I.F.J. (2015). Understanding and guiding the phase inversion process for synthesis of solvent resistant nanofiltration membranes. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(27), doi: <https://doi.org/10.1002/app.42130>.
- Hu, K., Dickson, J. M., & Kentish, S. E. (2015). *Microfiltration for casein and serum protein separation*. Retrieved 7 August 2021, from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118590331.ch1>.
- Kusworo, T.D., Budiyo, I., Ikhsan, D., Rokhati, N., Prasetyaningrum, A., Mutiara, F.R. and Sofiana, N.R. (2017). Effect of combination dope composition and evaporation time on the separation performance of cellulose acetate membrane for demak brackish water treatment. *MATEC Web of Conferences*, 101, doi: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201710101004>.
- Shekhawat, P. and Pokharkar, V. (2017). Understanding peroral absorption: Regulatory aspects and contemporary approaches to tackling solubility and permeability hurdles. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 7(3), 260-280.

- Winston, H.W.S. and Sirkar, K.K. (2001). *Membrane handbook*. New York: Kluwer Academic Pub.
- Yang, M.C. and Lin, W.C. (2002). The grafting of chitosan oligomer to polysulfone membrane via ozone-treatment and its effect on anti-bacterial activity. *Journal of Polymer Research*, 9(2), 135-140.

**การพัฒนาเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีน
สำหรับกลุ่มแปรรูปอาหารในครัวเรือน**
**Development of Machine Making Khai Mod Rin Rice Powder
for Household Food Processing Group**

ปริญญา หม่อมพิบูลย์¹ และอนรรักษ์ ตรีเพ็ชร^{1*}
Parinya Mompiboon¹ and Anurak Tripatch^{1*}

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประดิษฐ์ต้นแบบเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนสำหรับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวไข่มดรีน อำเภอดำรงวิทยะ จังหวัดนครศรีธรรมราช เครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนประกอบด้วย โครงสร้างเครื่องทำนมผง ห้องทำแห้ง ชุดทำละออง และชุดแยกอนุภาคผงออกจากอากาศ เครื่องทำนมผงมีลักษณะเฉพาะคือ มีกำลังการผลิตเหมาะสม สะดวก ใช้งานง่าย ในระดับครัวเรือนหรือวิสาหกิจชุมชน สามารถขนย้ายได้โดยรถกระบะ ผลการศึกษาการทดสอบเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนสรุปได้ว่าเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนมีสมรรถนะการผลิตประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สำหรับระยะเวลาคั้นทุนของเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนจะมีจุดคุ้มทุนที่ 6.6 ปี หรือที่กำลังการผลิตประมาณ 23,220 กิโลกรัม

คำสำคัญ: เครื่องทำนมผง ชุดทำละออง ข้าวไข่มดรีน

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

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

Received: 5 October 2021, Revised: 3 December 2021, Accepted: 7 December 2021

Abstract

The objective of research is to invent a prototype of the milk powder making machine for Khai Mod Rin Rice farmer group, Hua Sai district, Nakhon Si Thammarat province. The milk powder machine consists of the machine frame, the drying chamber, the atomization set and the particle collector. The machines is characterized by suitable production capacity at the enterprise level, easy to use and can be transported by a pickup truck. The results showed that the machine has a production capacity of approximately 1.2 kg/hr. Therefore, the payback period of machine was 6.6 year or production capacity for machine was 23,220 kg.

Keywords: Milk powder making machine, Atomization set, Khai Mod Rin rice

บทนำ

อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช มีสภาพดินเป็นดินเหนียว เหมาะแก่การประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญ ได้แก่ ข้าว พริก ปาล์มน้ำมัน โดยข้าวไข่มดรีนเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดนครศรีธรรมราช มีลักษณะเมล็ดเล็กยาวเรียวยาวเหมือนไข่มดรีน เมล็ดข้าวเปลือกมีขนาด กว้าง x ยาว x หนา ประมาณ 2.50 x 9.47 x 1.90 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้องมีขนาด กว้าง x ยาว x หนา ประมาณ 2.0 x 6.9 x 1.7 มิลลิเมตร ผลผลิตจากข้าว ได้แก่ ข้าวหนึ่งข้าวกล้องงอก นํ้านมข้าว เป็นต้น ซึ่งนํ้านมข้าวมีประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่ดื่มนมวัว กลูเตน นมถั่วไม่ได้เนื่องจากไม่มีเอนไซม์ย่อยแลคโตสในนม กระบวนการผลิตนํ้านมข้าว มีดังนี้ 1) อบข้าวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง 2) นำข้าวกล้องบดละเอียดเป็นผงด้วยเครื่องบดอาหารแห้ง และร่อนแป้งผ่านตะแกรงขนาด 80 เมตร 3) ผสมน้ำได้นํ้าข้าว กรองด้วยผ้าขาวบางสองชั้น จนได้นํ้าแบ่งข้าว 4) เติมนํ้าย่อยเอนไซม์อะไมเลสย่อยแป้งให้เป็นนํ้าตาล 5) เติมโปรตีน เติมน้ำมันจากนม สารที่ช่วยให้ นํ้ามันกับนํ้าเป็นเนื้อเดียวกัน ปรับรสชาติโดยเติมเจลาติน หรือเติมนํ้าตาล 6) เข้าเครื่องโฮมจีในเซอร์ ทำให้ไขมันเล็ก ๆ แยกตัวกระจายในนํ้านม ไม่เกิดการแยกชั้นในภายหลัง 7) ต้มพาสเจอร์ไลซ์ และ 8) บรรจุลงขวดทำให้เย็น แช่ตู้เย็นได้ประมาณ 1 เดือน (จุฑามาศ และเฉลิมพล, 2553; จุฑามาศ และเฉลิมพล, 2558)

ผลิตภัณฑ์นมผงเป็นทางเลือกหนึ่งในการถนอมอาหาร เนื่องจากปริมาณเครื่องมือและระยะเวลาการเก็บนํ้านมมีจำกัด แปรรูปโดยผ่านการฆ่าเชื้อและระเหยนํ้าออกจากนํ้านม จนได้เป็นผลิตภัณฑ์นมผงที่มีคุณภาพดี มีคุณค่าทางโภชนาการ กระบวนการผลิตนมผง ได้แก่ การตรวจสอบคุณภาพนํ้านมดิบ การปรับมาตรฐาน การพาสเจอร์ไรซ์ และการทำแห้งระบบฉีดพ่นฝอย โดยระบบฉีดพ่นฝอยเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมนม นํ้านมจะถูกพ่นเป็นละอองฝอย และสัมผัสกับลมร้อนในห้องทำแห้ง ทำให้นํ้าถูกดึงออกจากสารละลาย สารละลายจึงเข้มข้น จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์นมผง อุณหภูมิลมร้อนอยู่ในช่วง 150-300 องศาเซลเซียส ลักษณะทิศทางการไหลลมร้อน ได้แก่ 1) ลมร้อนไหลทิศทางเดียวกับนํ้านม คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจะดีกว่า แต่จะมีค่าใช้จ่ายต้นทุน

พลังงานความร้อนสูง 2) ลมร้อนไหลสวนทิศทางการกับน้ำนม จะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและมวล ช่วยประหยัดพลังงาน แต่อาจส่งผลให้เคซีนในนมผงสูญเสียสภาพธรรมชาติ อย่างไรก็ตามการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยมีจุดเด่นกว่าการทำแห้งรูปแบบอื่น ๆ เนื่องจาก ระยะเวลาการผลิตสั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีคุณภาพดี (โพธิ์ทอง, 2563; ระวิน, 2556; Kuriakose and Anandharamakrishnan, 2010; Ozmen and Langrish, 2002)

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น กลุ่มวิจัยจึงพัฒนาเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีน โดยเลือกใช้เทคโนโลยีการทำแห้งระบบฉีดพ่นฝอย ชนิดหัวฉีดแรงดันสูง เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน มีขนาดเหมาะสม สามารถขนย้ายด้วยรถกระบะ และเคลื่อนย้ายบรรจุในโรงเรือนวิสาหกิจชุมชน เหมาะสมสำหรับกลุ่มเกษตรกร และเป็นการสร้างโอกาสการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากข้าวไข่มดรีน ในรูปแบบนมผง เป็นทางเลือกแก่ผู้บริโภคอาหารและเป็นสารตั้งต้นในการประกอบอาหาร

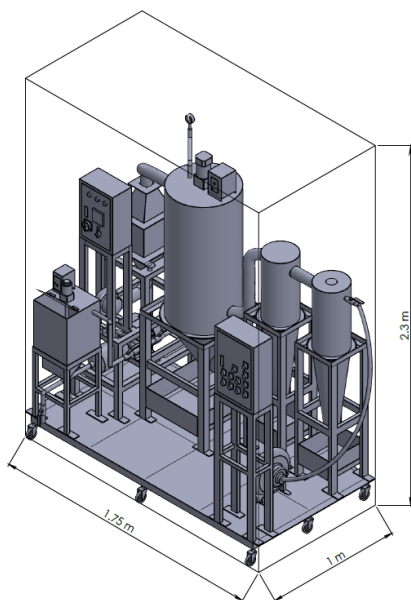
วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนของการออกแบบ ประดิษฐ์ และทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน ประกอบด้วย ขั้นตอนดังต่อไปนี้

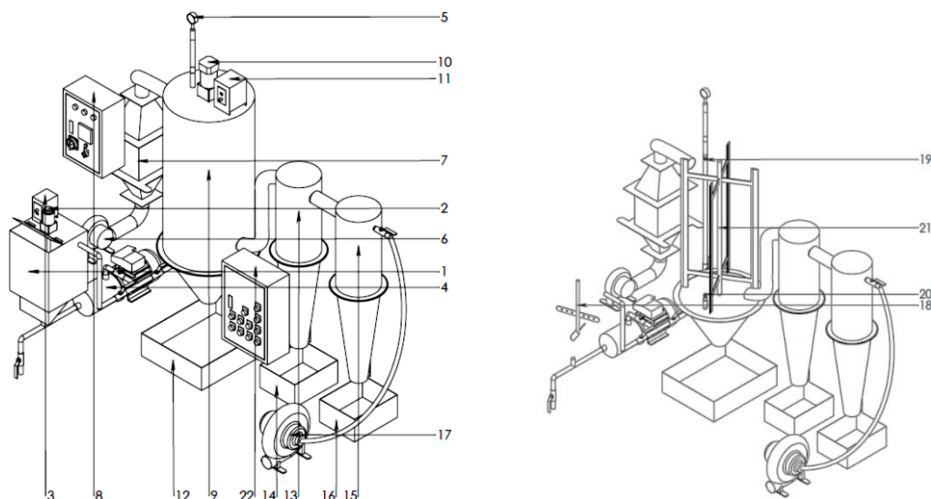
1. การออกแบบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน

1.1 เครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีนออกแบบให้มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง ประมาณ $1 \times 1.75 \times 2.3$ เมตร แสดงดังภาพที่ 1 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดตำแหน่งติดตั้ง ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน ดังเช่นงานวิจัยของ วรพงศ์ และคณะ (2564)

1.2 ห้องทำแห้ง (drying chamber) ออกแบบและประดิษฐ์ตามความสามารถของการกระจายอนุภาคของหัวฉีดแรงดันสูง โดยกำหนดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร มีความสูงรวมประมาณ 4.5 เมตร ประกอบด้วยความสูงทรงกระบอก 1.5 เมตร และความสูงกรวยประมาณ 1 เมตร กรวยทำมุม 60 องศา แสดงดังภาพที่ 2 และตารางที่ 1



ภาพที่ 1 เครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีนที่ออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบเครื่องทำนวมผงข้าวไข่มดริน



ภาพที่ 3 คุณลักษณะปั้มน้ำแรงดันสูง ยี่ห้อ EBARA รุ่น MATRIX 5 -9T/2.2 M

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบเครื่องทำนวมผงข้าวไข่มดรินตามภาพที่ 2

ลำดับที่	รายการ	ลำดับที่	รายการ
1	ถังป้อนน้ำนม	12	ภาชนะที่ 1
2	มอเตอร์ขับเคลื่อนของถังน้ำนม	13	อุปกรณ์แยกอนุภาคผงออกจากอากาศไฮโคลน ที่ 1
3	อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ	14	ภาชนะที่ 2
4	ปั้มน้ำแรงดันสูง	15	อุปกรณ์แยกอนุภาคผงออกจากอากาศไฮโคลน ที่ 2
5	เกจวัดความดัน	16	ภาชนะที่ 3
6	พัดลมโบลเวอร์ตัวที่ 1	17	พัดลมโบลเวอร์ตัวที่ 2
7	ห้องทำความร้อนฮีตเตอร์	18	ใบกวนของถังป้อนน้ำนม
8	ชุดควบคุมอุณหภูมิฮีตเตอร์	19	หัวฉีดแรงดันสูงด้านบน
9	ห้องทำแห้ง	20	หัวฉีดแรงดันสูงด้านล่าง
10	มอเตอร์ขับเคลื่อนของห้องทำแห้ง	21	ใบกวนของห้องทำแห้ง
11	อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนของห้องทำแห้ง	22	ตู้ควบคุมไฟฟ้า

1.3 จัดหาและติดตั้งปั้มน้ำสแตนเลสแรงดันสูงขนาด 10 บาร์ ยี่ห้อ EBARA รุ่น MATRIX 5-9T/2.2 M ซึ่งมีเฮดน้ำสูงสุด 104 เมตร ให้อัตราการไหลสูงที่สุด 130 ลิตรต่อนาที คุณลักษณะปั้มน้ำแรงดันสูงแสดงดังภาพที่ 2 และ 3 เพื่อใช้งานร่วมกับหัวฉีดแรงดันสูงรุ่น AMB Series จำหน่ายโดยบริษัท อินเตอร์สเปร์ย์ จำกัด ซึ่งมีความสามารถสเปร์ย์อะตอมไมเซชันที่ความดันไม่น้อยกว่า 7 บาร์แสดงดังภาพที่ 2

1.4 อุปกรณ์แยกอนุภาคผงออกจากอากาศไซโคลอน (cyclone) จำนวน 2 ชุด ออกแบบและประดิษฐ์ตามขนาดมาตรฐาน โดยกำหนดให้ขนาดตัวไซโคลอนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร เพื่อให้ไซโคลอนมีขนาดเหมาะสมสำหรับติดตั้งอยู่ในเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน แสดงดังภาพที่ 2 ตารางที่ 2 และภาพที่ 4

1.5 ออกแบบและประดิษฐ์ถังป้อนวัตถุดิบน้ำนมข้าว ขนาดประมาณ 50 ลิตร พร้อมติดตั้งใบกวน มอเตอร์ และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ แสดงดังภาพที่ 2

1.6 ออกแบบและประดิษฐ์ห้องทำความร้อนฮีตเตอร์ และติดตั้งฮีตเตอร์ขนาด 4.5 กิโลวัตต์ ซึ่งประกอบด้วย ฮีตเตอร์รุ่น UL35cm 220V ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ ผลิตโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด สวนหลวง เอ็นจิเนียริง จำนวน 3 ชุด แสดงดังภาพที่ 2

1.7 ออกแบบและประดิษฐ์ตู้ควบคุมไฟฟ้า สำหรับกำลังไฟฟ้าประมาณ 5 กิโลวัตต์ แสดงดังภาพที่ 2 สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับชุดฮีตเตอร์ปั้มน้ำแรงดันสูง พัดลมโบลเวอร์มอเตอร์ห้องทำแห้ง และมอเตอร์ถึงน้ำนม

1.8 ติดตั้งเกจวัดความดัน แสดงดังภาพที่ 2

1.9 ติดตั้งตู้ควบคุมอุณหภูมิ แสดงดังภาพที่ 2 พร้อมทดสอบ สามารถทำอุณหภูมิสูงสุดไม่น้อยกว่า 180 องศาเซลเซียส

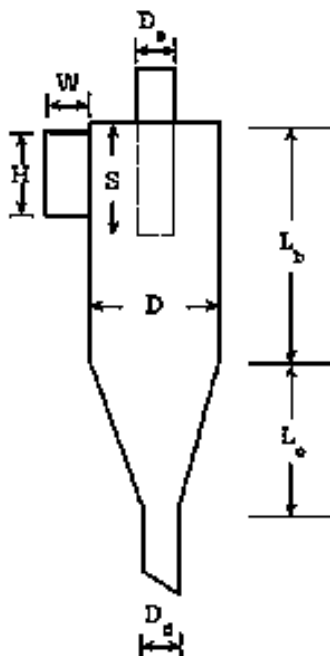
1.10 เครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีนที่ประกอบเสร็จสิ้น แสดงดังภาพที่ 5

2. ส่วนประกอบของเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน

อุปกรณ์ส่วนประกอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีนแสดงดังภาพที่ 2 และตารางที่ 1

3. วิธีการทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน

ข้าวไข่มดรีนที่รับซื้อจากกลุ่มเกษตรกรมีค่าความชื้นประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ นำมาผลิตเป็นวัตถุดิบน้ำนมข้าวไข่มดรีน ซึ่งมีเนื้ออาหารประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้สำหรับทดสอบ



ภาพที่ 4 ตัวแปรสำหรับออกแบบอุปกรณ์ไซโคลน (จิรวัดน์, 2560)



ภาพที่ 5 เครื่องทำนมผงข้าวไรซ์มดรีนที่สร้างเสร็จสิ้นและผ่านการหุ้มฉนวน

ตารางที่ 2 ตัวแปรสำหรับออกแบบอุปกรณ์ไฮโคลน (จิรวัดน์, 2560)

ตัวแปร	ประเภทไฮโคลน					การเพิ่ม ประสิทธิภาพ	เลือกสูตร สำหรับ ออกแบบ	ขนาดเหมาะสม ตามสูตร (เซนติเมตร)	จัดสร้างตามขนาดท่อ มาตรฐาน (เซนติเมตร)
	ประสิทธิภาพสูง		ทั่วไป		ประสิทธิภาพสูง และทั่วไป				
1. ขนาดตัวไฮโคลน (D)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0D	-	1.0D	25	Ø 25
2. ความสูงท่อทางเข้า (H)	0.5	0.44	0.5	0.5	0.44D-0.5D	ลดขนาด	0.5D	12.5	Ø 7.62 (3 นิ้ว)
3. ความกว้างท่อทางเข้า (W)	0.2	0.21	0.25	0.25	0.2D-0.25D	ลดขนาด	0.2D	5	Ø 7.62 (3 นิ้ว)
4. เส้นผ่านศูนย์กลางของ ท่อทางออกแก๊ส (De)	0.5	0.4	0.55	0.55	0.4D-0.5D	ลดขนาด	0.4D	10	Ø 7.62 (3 นิ้ว)
5. ความยาวท่อทางออก ของแก๊ส (S)	0.5	0.5	0.625	0.6	0.5D-0.625D	-	0.5D	12.5	12.5
6. ความยาวของส่วน กระบอก (Lb)	1.5	1.4	2.0	1.75	1.4D-2.0D	เพิ่มขนาด	2.0D	50	50
7. ความยาวของส่วนกรวย (Le)	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0D-2.5D	เพิ่มขนาด	2.5D	62.5	62.5
8. เส้นผ่านศูนย์กลางของ ท่อทางออกอนุภาค (Dd)	0.375	0.4	0.25	0.4	0.25D-0.4D	-	0.3D	10	Ø 7.62 (3 นิ้ว)

ผลการวิจัย และการอภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน ด้วยการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน (lower flow) และการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านบนฉีดลงด้านล่าง (upper flow) โดยเปลี่ยนแปลงขนาดหัวฉีด อัตราการไหล และความดันของการป้อนน้ำนมข้าว ความเร็วลมและอุณหภูมิของลมร้อน และรายงานผลการป้อนน้ำนมข้าวที่อุณหภูมิห้อง และการอุ่นน้ำนมข้าวก่อนการป้อน (preheat) แสดงดังตารางที่ 3 และ 4

จากตารางที่ 3 และ 4 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด (มิลลิเมตร) ที่มีขนาดเล็กลงจะช่วยให้คุณลักษณะผลิตภัณฑ์นมผงที่ได้รับมีลักษณะเป็นผงได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้นมผงที่ได้มีความแห้งมากขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลและความดันของการป้อนน้ำนมข้าวที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้ น้ำนมข้าวแตกตัวเป็นอะตอมในอากาศได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการเป็นผงของน้ำนมข้าว

ตัวแปรอัตราการป้อนลมร้อน ความเร็วลม และอุณหภูมิของลมร้อนที่สูงขึ้น จะช่วยให้น้ำนมข้าวกลายเป็นผงได้ดียิ่งขึ้น เป็นผลมาจากเมื่อลมร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นอากาศขยายตัว สามารถที่จะรับความชื้นจากห้องทำแห้งได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังแผนภูมิไซโครเมตริก และมีส่วนช่วยเพิ่มสมรรถนะเครื่องทำนมผงให้ทำนมผงได้ดียิ่งขึ้น

สำหรับอุณหภูมิ น้ำนมข้าวเริ่มต้นในถังป้อนจะมีส่วนสำคัญอย่างมาก เนื่องจากการทดลองที่อุณหภูมิห้องที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส จะไม่สามารถผลิตนมผงข้าวไข่มดรีนได้ แต่เมื่อทดสอบเพิ่มเติม โดยปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ น้ำนมข้าวเริ่มต้นในถังป้อนให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ พบว่า น้ำนมข้าวเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จะสามารถผลิตน้ำนมข้าวไข่มดรีนได้อย่างชัดเจน เนื่องมาจาก น้ำนมข้าวต้องการรับพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นอีกไม่มาก จนกระทั่งน้ำในน้ำนมข้าวถึงจุดเดือดน้ำ 100 องศาเซลเซียส น้ำในน้ำนมข้าวจึงระเหยกลายเป็นไอ ส่วนน้ำนมก็จะกลายเป็นนมผง

อย่างไรก็ตามจากการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้รับในภาชนะที่ 1 2 และ 3 พบว่าภาชนะที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจะอยู่ในรูปน้ำนมปนนมผงซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ กลุ่มวิจัยจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน โดยการพัฒนาให้ภาชนะที่ 1 เปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบถังพักน้ำนม (water vessel) และสูบน้ำนมวนกลับ (water circulation) ไปยังถังป้อนน้ำนมในรูปแบบการอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยเพิ่มสมรรถนะการผลิตนมผงข้าวไข่มดรีนให้ดียิ่งขึ้น

สำหรับการเปรียบเทียบรูปแบบการติดตั้งหัวฉีดใน 2 ลักษณะ คือ การฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน และการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านบนฉีดลงด้านล่าง ต่างก็มีจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกัน ดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน ด้วยการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน โดยอุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับอุณหภูมิห้อง

ขนาดรูหัวฉีด (มิลลิเมตร)	อัตราการป้อนน้ำนมข้าว		อัตราการป้อนนมร้อน		คุณลักษณะผลิตภัณฑ์นมผงที่ได้รับ		
	อัตราการไหลประมาณ (ลิตรต่อชั่วโมง)	ความดัน ประมาณ (บาร์)	ความเร็วลมประมาณ (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)	อุณหภูมิประมาณ (องศาเซลเซียส)	ภาชนะที่ 1	ภาชนะที่ 2	ภาชนะที่ 3
อุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับอุณหภูมิห้อง 40 องศาเซลเซียส หรือ 60 องศาเซลเซียส							
0.25	3.20 3.45 หรือ 3.69	7 8 หรือ 9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนม	-	-
0.30	6.60 7.12 หรือ 7.66	7 8 หรือ 9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนม	-	-
0.40	10.57 11.39 หรือ 12.23	7 8 หรือ 9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนม	-	-
อุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส							
0.25	3.20	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนมข้นปนผง	นมผงเปียก	นมผง
0.25	3.45	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 หรือ 160	น้ำนมข้นปนผง	นมผงเปียก	นมผง
0.25	3.45	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	180	น้ำนมข้นปนผง	นมผงแห้ง	นมผง
0.25	3.69	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนมข้นปนผง	นมผงแห้ง	นมผง
0.30	6.60	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 หรือ 160	น้ำนมข้น	นมผงเปียก	-
0.30	6.60	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	180	น้ำนมข้นปนผง	นมผงเปียก	นมผง
0.30	7.12	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนมข้น	นมผงเปียก	-
0.30	7.66	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140	น้ำนมข้น	นมผงเปียก	-
0.30	7.66	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	160 หรือ 180	น้ำนมข้นปนผง	นมผงเปียก	-
0.40	10.57	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนมข้น	-	-
0.40	11.39	8	0.2 หรือ 0.3	140	น้ำนมข้น	-	-
0.40	11.39	8	0.4	140	น้ำนมข้นปนผง	-	-
0.40	11.39	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	160 หรือ 180	น้ำนมข้นปนผง	-	-
0.40	12.23	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140	น้ำนมข้น	-	-
0.40	12.23	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	160 หรือ 180	น้ำนมข้นปนผง	-	-

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่ไม่ดรีน ด้วยการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านบนฉีดลงด้านล่าง โดยอุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับอุณหภูมิห้อง

ขนาดรูหัวฉีด (มิลลิเมตร)	อัตราการป้อนน้ำนมข้าว		อัตราการป้อนลมร้อน		คุณลักษณะผลิตภัณฑ์นมผงที่ได้รับ		
	อัตราการไหลประมาณ (ลิตรต่อชั่วโมง)	ความดัน ประมาณ (บาร์)	ความเร็วลมประมาณ (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)	อุณหภูมิประมาณ (องศาเซลเซียส)	ภาษาที่ 1	ภาษาที่ 2	ภาษาที่ 3
อุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับอุณหภูมิห้อง 40 องศาเซลเซียส หรือ 60 องศาเซลเซียส							
0.25	3.20 3.45 หรือ 3.69	7 8 หรือ 9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนม	-	-
0.30	6.60 7.12 หรือ 7.66	7 8 หรือ 9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนม	-	-
0.40	10.57 11.39 หรือ 12.23	7 8 หรือ 9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนม	-	-
อุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส							
0.25	3.20	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	140	น้ำนมข้นปนผง	นมผงเปียก	-
0.25	3.20	7	0.2	160	น้ำนมข้นปนผง	นมผงเปียก	-
0.25	3.20	7	0.3 หรือ 0.4	160	น้ำนมข้นปนผง	นมผงเปียก	นมผง
0.25	3.20	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	180	น้ำนมข้นปนผง	นมผงแห้ง	นมผง
0.25	3.45	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 หรือ 160	น้ำนมข้นปนผง	นมผงเปียก	นมผง
0.25	3.45	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	180	น้ำนมข้นปนผง	นมผงแห้ง	นมผง
0.25	3.69	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140	น้ำนมข้นปนผง	นมผงแห้ง	-
0.25	3.69	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	160 หรือ 180	น้ำนมข้นปนผง	นมผงแห้ง	นมผง
0.30	6.60	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนมข้น	-	-
0.30	7.12	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	140	น้ำนมข้น	-	-
0.30	7.12	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	160 หรือ 180	น้ำนมข้น	นมผงเปียก	-
0.30	7.66	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140	น้ำนมข้น	นมผงเปียก	-
0.30	7.66	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	160 หรือ 180	น้ำนมข้นปนผง	นมผงเปียก	-
0.40	10.57	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 หรือ 160	น้ำนมข้น	-	-
0.40	10.57	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	180	น้ำนมข้นปนผง	-	-

1) การฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน จะช่วยเพิ่มระยะการเคลื่อนที่ของน้ำนมที่แตกตัวเป็นอะตอม เพิ่มระยะทางการเคลื่อนที่แลกเปลี่ยนความร้อน น้ำนมจะพุ่งขึ้นด้านบนและตกลงมาด้านล่างตามแรงโน้มถ่วง มีพฤติกรรมเคลื่อนที่ไปกลับเพิ่มระยะการเคลื่อนที่แลกเปลี่ยนความร้อน 2 เท่า ซึ่งจะช่วยให้ น้ำนมข้าวแห้งตัวกลายเป็นผงได้ดียิ่งขึ้น แต่จะมีจุดด้อยคือหัวฉีดอุดตันได้ง่าย เนื่องจากนมผงข้าวไม่เหมือนกับที่แห้งกลางอากาศอาจตกลงบนหัวฉีดทำให้หัวฉีดอุดตัน จึงต้องถอดประกอบห้องทำแห้งและล้างหัวฉีดบ่อย ๆ

2) การฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านบนฉีดลงด้านล่าง ยังไม่พบปัญหาการอุดตันเนื่องจาก น้ำนมข้าวที่แห้งกลายเป็นนมผงตกลงสู่ด้านล่างลงในภาชนะ แต่ระยะทางการเคลื่อนที่แลกเปลี่ยนความร้อนจะไปในทิศทางเดียว คือตกลงสู่ด้านล่าง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์นมผงที่มีปริมาณน้อย

จากข้อสังเกตดังกล่าวกลุ่มผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาต่อยอดเครื่องทำนมผงข้าวไม่มดรีน ในรูปแบบการฉีดเฉียงจากด้านล่างขึ้นด้านบน โดยที่จะสามารถปรับเปลี่ยนนมหัวฉีดให้มีพฤติกรรมเคลื่อนที่ของของไหลหรือน้ำนมข้าวในรูปแบบวิถีโค้งตามแรงโน้มถ่วง หรือการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ (motion of a projectile) ซึ่งจะได้ข้อดีของการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน เพิ่มระยะการเคลื่อนที่ของน้ำนมที่แตกตัวเป็นอะตอม และการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านบนฉีดลงด้านล่าง จะช่วยลดปัญหาหัวฉีดอุดตัน โดยออกแบบให้รูปทรงห้องทำแห้งให้อยู่ในลักษณะแนวนอน หรือแนวเอียง ดังเช่นงานวิจัยการตรวจสอบสเปรย์เชื้อเพลิง ซึ่งได้รายงานวามุมสเปรย์จะส่งผลต่อการแตกตัวเป็นละอองฝอยของเชื้อเพลิงเหลว (เอกชัย และคณะ, 2558)

อีกวิธีการที่จะเพิ่มความสามารถของการพัฒนาต่อยอดเครื่องทำนมผงข้าวไม่มดรีนคือการเปลี่ยนแปลงหัวฉีดแรงดันสูงให้เป็นหัวฉีดแบบจานเหวี่ยง ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการแตกตัวเป็นละอองฝอยของน้ำนม (โพธิ์ทอง, 2563) แต่มีข้อเสียคือต้องเพิ่มอุปกรณ์เครื่องอัดไอ และอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อส่งลมอัดที่สะอาดไปเหวี่ยงหัวฉีดให้กระจายละอองฝอยของน้ำนมให้แตกตัว และต้องเพิ่มปริมาตรรูปทรงเครื่องหรือพื้นที่ติดตั้งหรือจัดเก็บเครื่อง ทำให้ตัวเครื่องมีขนาดใหญ่ ไม่เป็นที่ต้องการของวิสาหกิจชุมชน กลุ่มเกษตรกรที่มีอาคารประกอบกิจการขนาดเล็ก

จากการวิพากษ์วิจารณ์ข้างต้นนำไปสู่แนวคิดการพัฒนาออกแบบระบบควบคุมหัวฉีดให้หัวฉีดฉีดเป็นจังหวะ (batch) แทนการฉีดแบบต่อเนื่อง เพื่อให้ความชื้นสะสมในห้องทำแห้งไม่สูงมากจนเกินไป ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถของเครื่องทำนมผงข้าวไม่มดรีน ดังเช่นระบบหัวฉีด PGM FI ที่สามารถควบคุมการฉีดเป็นจังหวะ (ปิยะวัฒน์ และเดชชาติ, 2559) และถ้าสามารถทำแห้งได้ตั้งแต่ภาชนะที่ 1 ก็จะไม่ต้องเปลี่ยนแปลงภาชนะที่ 1 ให้เป็นรูปแบบถังพักน้ำนม และยังช่วยลดขนาดเครื่องทำนมผง ซึ่งตรงตามวิสาหกิจชุมชน กลุ่มเกษตรกรต้องการ

สำหรับการทดสอบข้างต้นทั้งหมดนั้น สภาวะที่เหมาะสมคือ การฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน โดยใช้หัวฉีดขนาด 0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำนมข้าวประมาณ 3.69 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ความดัน 9 บาร์ อัตราการป้อนลมร้อนมีความเร็วลม 0.4 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส จะให้กำลังการผลิตนมผงข้าวไม่มดรีนที่ภาชนะที่ 2 ประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งให้คุณลักษณะ

ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด และมีปริมาณการผลิตสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะการทดสอบอื่น ๆ ผลิตภัณฑ์นมผงข้าวไข่มดรีนที่ได้รับมีค่าความชื้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 6

การพิจารณาจุดคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในรูปแบบกำลังการผลิตของเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีน แสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งสรุปได้ว่า ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีน จะมีจุดคุ้มทุนเมื่อมีกำลังการผลิตประมาณ 23,220 กิโลกรัม

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน โดยใช้หัวฉีดขนาด 0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อน 90 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำนมข้าวมีอัตราการไหลประมาณ 3.69 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ความดัน 9 บาร์ และป้อนลมร้อนที่มีอัตราการไหล 0.4 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส จะให้สภาวะการทดสอบที่ดีที่สุด โดยให้กำลังการผลิตนมผงข้าวไข่มดรีนประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง



ภาพที่ 6 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตนมผงข้าวไข่มดรีน

(ก) ข้าวเปลือกไข่มดรีน (ข) ข้าวสารไข่มดรีน (ค) ข้าวไข่มดรีนที่ผ่านการบด
(ง) แป้งข้าวไข่มดรีน (จ) น้ำนมข้าวไข่มดรีน (ฉ) นมผงข้าวไข่มดรีน

ตารางที่ 5 การพิจารณาจุดคุ้มทุนในรูปแบบกำลังการผลิตของเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีน

ต้นทุนคงที่	
วัตถุดิบสำหรับจัดสร้างเครื่องทำนมผง	ประมาณ 200,000 บาท
ค่าจ้างแรงงานพร้อมอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับจัดสร้างเครื่องทำนมผง	ประมาณ 100,000 บาท
ต้นทุนรวมสำหรับจัดสร้างเครื่องทำนมผง	300,000 บาท
ต้นทุนแปรผัน	
ราคาข้าวเปลือกไข่มดรีน	≈ 17 บาทต่อกิโลกรัม
ราคาข้าวสารไข่มดรีน	≈ 43 บาทต่อกิโลกรัม (ข้าวสาร 1 กิโลกรัม สืบจากข้าวเปลือก ≈ 2.5 กิโลกรัม)
ราคาจำหน่ายนํ้ามนข้าว	≈ 45 บาทต่อกิโลกรัม (นํ้ามนข้าว 1 กิโลกรัม ผลิตจากข้าวสาร ≈ 0.4 กิโลกรัม)
ราคาจำหน่ายนมผง (ราคาเพิ่มขึ้นประมาณ 40 บาท)	≈ 85 บาทต่อกิโลกรัม (นมผงข้าว 1 กิโลกรัม ผลิตจากนํ้ามนข้าว ≈ 2.8 กิโลกรัม) (นมผงข้าว 1 กิโลกรัม ผลิตจากข้าวสาร ≈ 1.12 กิโลกรัม)
ค่าไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงตามปัจจัยไม่คงที่ ได้แก่	ค่าไฟฟ้า ประมาณการ 5 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง
- ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (ขึ้นกับช่วงการใช้งาน)	
- ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)	
- ค่าบริการรายเดือน (Ft)	
- ภาษีมูลค่าเพิ่ม (Ft)	
การเดินเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีน 1 ชั่วโมง ที่กำลังการผลิต 1.2 กิโลกรัม	ใช้พลังงานไฟฟ้า ≈ 6.5 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าไฟฟ้า 32.50 บาทต่อชั่วโมง
การเดินเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนที่กำลังการผลิต 1 กิโลกรัม	ค่าไฟฟ้า 27.08 บาทต่อกิโลกรัม
จุดคุ้มทุน	
กำลังการผลิต	$\approx 23,220$ กิโลกรัม
ระยะเวลาการคืนทุน	≈ 6.6 ปี (เดินเครื่องวันละ 8 ชั่วโมง ที่กำลังการผลิต 1.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

หมายเหตุ: - บทความนี้นำเสนอการทดสอบเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนระยะสั้น เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องฯ ยังไม่มีผลการทดสอบต่อเนื่องระยะยาว ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกพฤติกรรมการณ์
สึกหรอ ของเครื่องฯ จึงไม่สามารถนำเสนอค่าซ่อมบำรุง และค่าเสื่อมราคาได้

2. ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนจะมีจุดคุ้มทุนที่ 6.6 ปี หรือที่กำลังการผลิตประมาณ 23,220 กิโลกรัม

ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน เกิดแนวคิดในการพัฒนาต่อยอดเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน โดยมีข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการติดตั้งหัวฉีด ในรูปแบบการติดตั้งหัวฉีดฉีดเฉียงทแยงมุมจากด้านล่างขึ้นด้านบน โดยที่จะสามารถปรับเปลี่ยนมุมหัวฉีด ให้มีพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของของไหล (น้ำนมข้าวไข่มดรีน) ในรูปแบบวิถีโค้งตามแรงโน้มถ่วง หรือการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ เพื่อเพิ่มระยะการเคลื่อนที่ของน้ำนมข้าวไข่ให้แตกตัวเป็นอะตอม และแก้ปัญหาหัวฉีดอุดตัน

2. การพัฒนาเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีนจากภาพที่ 5 โดยเปลี่ยนแปลงให้ภาชนะที่ 1 ที่วางอยู่ด้านล่างห้องทำแห้งเปลี่ยนแปลงเป็นถังพักน้ำนม และสูบลวนกลับไปยังถังป้อนน้ำนมในรูปแบบการอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยเพิ่มสมรรถนะการผลิตนมผงข้าวไข่มดรีนให้ดียิ่งขึ้น

3. การเปลี่ยนแปลงหัวฉีดแรงดันสูง ให้เป็นหัวฉีดแบบจานเหวี่ยง ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการแตกตัวเป็นละอองฝอยของน้ำนม

4. การพัฒนาออกแบบระบบควบคุมหัวฉีด ให้หัวฉีดฉีดเป็นจังหวะ แทนการฉีดแบบต่อเนื่อง เพื่อลดความชื้นสะสมในห้องทำแห้งไม่สูงมากเกินไป ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถของเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) ประจำปีงบประมาณ 2563 รหัสโครงการ มรภ. 005/2563

เอกสารอ้างอิง

- จิรวัดน์ จิงเจริญสุขยิ่ง. (2560). การออกแบบไซโคลนโดยจำลองกระบวนการและการพิมพ์สามมิติ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- จุฑามาศ ธีระสาโรช และเฉลิมพล ธนอมวงศ์. (2553). การหมักผลิตภัณฑ์คล้ายนมเปรี้ยวจากน้ำนมข้าวกล้องหอมมะลิ. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 38(1), 87-95.
- จุฑามาศ ธีระสาโรช และเฉลิมพล ธนอมวงศ์. (2558). การผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวหอมนิล. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 43(3), 395-402.
- ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม และเดชชาติ เชิดชัย. (2559). การศึกษาและปรับปรุงกล่องควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ลูกสูบเดี่ยวระบบหัวฉีดเพื่อใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิง. *วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ*, 2(1), 33-46.

- โพธิ์ทอง ปรานีตพลกรัง. (2563). เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 12(2), 347-361.
- ระวิน สืบคำ. (2556). เทคโนโลยีการลดความชื้น. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 23(2), 500-512.
- วรพงศ์ บุญช่วยแทน ชาตรี หอมเขียว และวรรณพร ชีววุฒิพงศ์. (2564). การพัฒนาเครื่องแยกเนื้อและเส้นใยผลตาลโตนด. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 40(1), 76-90.
- เอกชัย สุธีรศักดิ์ เพ็ชรพงษ์ สุกใส สราวุธ ฤทธิอร่าม ศรัณย์ โปสาวัง และอดิวิชัย สิริวิชัยกุล. (2558). การตรวจสอบสเปรย์เชื้อเพลิงและสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอล. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.*, 8(1), 1-14.
- Kuriakose, R. and Anandharamakrishnan, C. (2010). Computational fluid dynamics (CFD) applications in spray drying of food products. *Trends in Food Science & Technology*, 21(8), 383-398.
- Ozmen, L. and Langrish, T.A.G. (2002). Comparison of glass transition temperature and sticky point temperature for skim milk powder. *Drying Technology*, 20(6), 1177-1192.

**ระบบการวิเคราะห์สมรรถนะในกีฬาวอลเลย์บอล:
ประสิทธิภาพสมรรถนะการทำแต้ม
Performance Analysis System for Volleyball:
Efficacy of Scoring Performance**

ก.รวีวุฒิ ระจับเหตุ^{1*}
K.ravivuth Rangubhet^{1*}

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพสมรรถนะของการทำแต้ม การเสียแต้ม การเล่นต่อเนื่องระหว่างเซตที่ชนะกับเซตที่แพ้ กลุ่มตัวอย่างได้แก่แมทช์การแข่งขันกีฬาวอลเลย์บอลกีฬามหาวิทยาลัยแห่งประเทศไทยครั้งที่ 47 The Sun Games 2020 ระหว่างวันที่ 10-19 มกราคม พ.ศ. 2563 เก็บข้อมูลด้วยโปรแกรมการวิเคราะห์สมรรถนะ ทั้งหมด 15 แมทช์ 88 เซต 14,332 ข้อมูล ตั้งแต่รอบสองถึงรอบชิงชนะเลิศ ทำการวิเคราะห์สมรรถนะและหาประสิทธิภาพการทำแต้มได้ และการทำเสียแต้ม การเล่นต่อเนื่อง โดยใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าร้อยละ และสถิติการวิเคราะห์ค่า t-test เปรียบเทียบเป็นรายเซตระหว่างเซตที่ชนะกับเซตที่แพ้ ผลการวิจัยพบว่าการทำแต้มได้ (เซตที่ชนะ 17.35 ± 4.04 ครั้ง เซตที่แพ้ 13.81 ± 3.75 ครั้ง) และการถูกทำให้เสียแต้ม (เซตที่ชนะ 9.93 ± 8.20 ครั้ง เซตที่แพ้ 8.70 ± 5.96 ครั้ง) มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แต่การได้แต้มฟรี (เซตที่ชนะ 7.35 ± 4.40 ครั้ง เซตที่แพ้ 7.64 ± 4.43 ครั้ง) การได้เปรียบ (เซตที่ชนะ 51.96 ± 15.34 ครั้ง เซตที่แพ้ 49.48 ± 16.81 ครั้ง) การเล่นต่อเนื่อง (เซตที่ชนะ 42.00 ± 9.87 ครั้ง เซตที่แพ้ 42.45 ± 13.50 ครั้ง) การเสียเปรียบ (เซตที่ชนะ 13.38 ± 6.86 ครั้ง เซตที่แพ้ 14.51 ± 6.52 ครั้ง) และการเสียแต้มเอง (เซตที่ชนะ 22.25 ± 6.75 ครั้ง เซตที่แพ้ 24.80 ± 6.74 ครั้ง) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนค่าประสิทธิภาพสมรรถนะพบว่าประสิทธิภาพสมรรถนะ (เซตที่ชนะ -0.0387 ± 0.08876 เซตที่แพ้ -0.735 ± 0.05936) และประสิทธิภาพการทำแต้ม (เซตที่ชนะ -0.1019 ± 0.23638 เซตที่แพ้ -0.2084 ± 0.16751) มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แต่ประสิทธิภาพการเล่นต่อเนื่อง (เซตที่ชนะ 0.3574 ± 0.3229 เซตที่แพ้ 0.09441 ± 0.11166) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แสดงว่าทีมต้องรักษาความสามารถในการต้อบอล เพื่อให้ทีมได้มีโอกาสในการแสดงศักยภาพของการทำแต้มและลดความผิดพลาดในการทำเสียแต้มเอง

คำสำคัญ: การวิเคราะห์สมรรถนะ วอลเลย์บอล ประสิทธิภาพสมรรถนะ

¹ สาขาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

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

Received: 6 November 2021, Revised: 3 December 2021, Accepted: 7 December 2021

Abstract

This research aimed to study and compare the efficacy of scoring performance, losing points, playing successively between winning sets and losing sets. The subjects were 15 volleyball matches played in The 47th Thai University Games, or The Sun Games 2020, during January 10th-19th, 2020. Data were collected with a performance analysis program for 15 matches, 88 sets, 14,332 data from the second round to the final. Perform performance analysis and study scoring efficiency, losing points, and continuous play using the mean, standard deviation, percentage, and t-value analysis statistics. Comparison of each set between the winning sets and the losing sets. The results showed that scoring (winning sets 17.35 ± 4.04 times, losing sets 13.81 ± 3.75 times) and losing points (winning sets 9.93 ± 8.20 times, losing sets 8.70 ± 5.96 times), there was a difference at a statistically significant level of .05. But free points (winning sets 7.35 ± 4.40 times, losing sets 7.64 ± 4.43 times), advantage (winning sets 51.96 ± 15.34 times, losing sets 49.48 ± 16.81 times), counterattack (winning sets 42.00 ± 9.87 times, losing sets 42.45 ± 13.50 times), disadvantage (winning sets 13.38 ± 6.86 times, losing sets 14.51 ± 6.52 times) and minus points (winning sets 22.25 ± 6.75 times, losing sets 24.80 ± 6.74 times), there were no statistical difference. As for the performance efficacy, it was found that there was a difference between the performance efficacy (winning sets -0.0387 ± 0.08876 , losing sets -0.735 ± 0.05936) and scoring efficiency (winning sets -0.1019 ± 0.23638 , losing sets -0.2084 ± 0.16751) at a statistical significance of 0.05. However, counterattack efficacy (winning sets 0.3574 ± 0.3229 , losing sets 0.09441 ± 0.11166) was not statistically different. Therefore, the team must maintain the ability to pass the ball to allow teams to have the opportunity to showcase their scoring potential and reduce their own scoring mistakes.

Keywords: Performance analysis, Volleyball, Performance efficacy

บทนำ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพสมรรถนะการทำแต้มในกีฬาวอลเลย์บอล และเปรียบเทียบความแตกต่างประสิทธิภาพสมรรถนะระหว่างเซตที่ชนะกับเซตที่แพ้ ซึ่งการวิเคราะห์สมรรถนะในการแข่งขัน (performance analysis) เป็นการกำหนดจุดมุ่งสู่ความสำเร็จ (key performance) ของทีมเพราะสามารถสร้างโอกาสในขณะแข่งขันเพื่อหากลยุทธ์ที่ดีที่สุดมาปรับใช้ขณะแข่งขัน (Fried and Mumcu, 2017) การจดบันทึก การเก็บข้อมูลขณะแข่งขัน การวิเคราะห์ความสามารถนักกีฬา การเปรียบเทียบผลการแข่งขัน การหาคุณลักษณะสมรรถนะเกณฑ์มาตรฐานการเล่น และการสร้างผลสัมฤทธิ์ของทีม ล้วนเป็นส่วนหนึ่งของระบบและ

กระบวนการวิเคราะห์สมรรถนะทางการกีฬา (Peters and O'Donoghue, 2014) การวิเคราะห์สมรรถนะของนักกีฬาแต่ละคน แต่ละทีมจึงจำเป็นต้องการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการฝึกซ้อมและจำเป็นอย่างยิ่งในขณะแข่งขัน การที่ได้สามารถให้ผลย้อนกลับ (feedback) และเล่นเกมให้นักกีฬาได้อย่างทันเวลา (real time) (Hughes and Franks, 2015) ทั้งยังสามารถปรับแก้สมรรถนะหลังการแข่งขันได้ (post event)

ประสิทธิภาพของการแข่งขันเป็นข้อมูลที่สามารถบ่งบอกถึงรายละเอียดของการเล่นของทีมหรือนักกีฬาได้ ซึ่งประสิทธิภาพสมรรถนะนั้นหมายถึงการแสดงความสามารถ ทักษะ การเคลื่อนไหว เทคนิคการเล่น เทคนิคการชิงความได้เปรียบ สมรรถภาพร่างกาย (McMorris, 2014) ที่เกิดขึ้นขณะทำการแข่งขัน เป็นข้อมูลที่สามารถประเมินได้ด้วยตาเปล่า และข้อมูลที่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยระบบการจัดเก็บ ระบบการสรรหา ผ่านตัวชี้วัดสมรรถนะที่สำคัญ รวมถึงข้อมูลที่ได้รับการกลั่นกรองจากประสบการณ์ในการวิเคราะห์สมรรถนะแล้ว ทำให้เกิดนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์ต่อการสรรหา รวบรวม และวิเคราะห์ผลสมรรถนะที่เกิดขึ้น ดังนั้นการวิเคราะห์สมรรถนะจะนำไปสู่ข้อมูลที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพและผลสัมฤทธิ์ของทีม (Reynaud, 2015) อัตราส่วนประสิทธิภาพในการรุกและอัตราส่วนประสิทธิภาพการรับจะเป็นตัวทำนายสมรรถนะที่ดีของทีมในการแสดงความสามารถในขณะแข่งขัน และเป็นการสร้างความสำเร็จให้กับทีมได้ ดังนั้นการวิเคราะห์สมรรถนะจึงจำเป็นต้องการนำทีมไปสู่ชัยชนะ (Marszatek *et al.*, 2018)

เกมกีฬาโอลิมปิกเป็นชนิดกีฬาที่ได้รับความนิยมทั้งในระดับโลก และในประเทศไทย การสร้างฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพสูงสุดในการแข่งขันมักจะกล่าวถึง การตบ หรือการรุกที่รุนแรงมีประสิทธิภาพ แต่การที่นักกีฬาจะทำการรุกได้ย่อมเป็นผลมาจากความสามารถในการร่วมกันเล่นลูกในแต่ละครั้งของนักกีฬาและของทีม ซึ่งผ่านการฝึกซ้อม วางแผน สร้างกลยุทธ์ และต้องตัดสินใจอย่างฉับไว (Drikos *et al.*, 2018) แสดงว่าในการวิเคราะห์สมรรถนะกีฬาโอลิมปิก และการหาประสิทธิภาพสมรรถนะต้องแยกประเภทของการแสดงความสามารถเป็น การทำแต้มได้ การได้แต้มฟรี การเล่นที่ได้เปรียบคู่ต่อสู้ การเล่นต่อเนื่อง การเล่นที่เสียเปรียบ การเสียแต้มโดยคู่ต่อสู้ และการเสียแต้มเอง (Rangubhet, 2019) ซึ่งทั้ง 7 ด้านนี้ได้รวมเอาทักษะ และผลการแสดงทักษะที่เรียกว่าสมรรถนะในกีฬาโอลิมปิกมารวบรวมเป็นระบบแล้ว เช่น การเสิร์ฟ ผลการเสิร์ฟ การรุก ผลการรุก การสกัดกั้น ผลการสกัดกั้น การตั้งบอล ผลการตั้งบอล การจับบอล ผลการจับบอล

ด้วยความสำคัญของการวิเคราะห์เกมการแข่งขันจำเป็นต้องศึกษาประสิทธิภาพสมรรถนะที่เกิดขึ้นจากการแข่งขัน เพื่อสร้างผลย้อนกลับให้กับนักกีฬาและทีมในการเตรียมฝึกซ้อม การเล่นเกมขณะแข่งขัน การสร้างโอกาสในการตัดสินใจ ดังนั้นประสิทธิภาพสมรรถนะในการแข่งขันจึงเป็นทิศทางในการบ่งบอกถึงผลการแข่งขันไม่ว่าจะเป็นภาระชนะหรือการแพ้ในระดับเซต ระดับแมตช์ หรือระดับรายการแข่งขันเพราะการสร้างสมรรถภาพทางกายที่ดีเยี่ยม สามารถแสดงสมรรถนะในการแข่งขันได้อย่างเต็มที่ (Reeser and Bahr, 2017)

วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการวิเคราะห์สมรรถนะกีฬาวอลเลย์บอล 6 ทักษะ คือ การเสิร์ฟ การรับเสิร์ฟ การตั้งบอล การรุก การสกัดกั้น และการจัดบอล

วิเคราะห์สมรรถนะการทำแต้ม (การได้แต้ม การเสียแต้ม และการเล่นต่อเนื่อง) แบบรายเซตของทีมที่เข้าร่วมการแข่งขันรอบมหกรรมกีฬามหาวิทยาลัยแห่งประเทศไทย โดยวิเคราะห์ผลการแข่งขันรอบสองของการแข่งขันจนถึงรอบชิงชนะเลิศ ทำการวิเคราะห์ผลการทำแต้มได้ ผลการทำเสียแต้ม การพยายามทำแต้ม และการเล่นบอลต่อเนื่อง

ใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติ t-test ในการวิเคราะห์ประมวลผลที่ค่านัยสำคัญทางสถิติระดับ 0.05

ใช้ค่าประสิทธิภาพสมรรถนะ โดยหาได้จากสมการ (1) ซึ่งค่าประสิทธิภาพจะแสดงตามสมรรถนะ และแสดงผลรวมของแต่ละสมรรถนะใน 1 เซต และใช้ค่าประสิทธิภาพสมรรถนะของการได้เปรียบในการเล่นจากสมการ (2)

$$\text{ประสิทธิภาพสมรรถนะ} = \frac{\text{ผลรวมของการทำแต้มได้} - \text{ผลรวมของการทำแต้มเสีย}}{\text{ผลรวมของการทำแต้มทั้งหมด}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพสมรรถนะของ} \\ \text{การได้เปรียบในการเล่น} \end{aligned} = \frac{\text{ผลรวมของการได้เปรียบ} - \text{ผลรวมของการเสียเปรียบ}}{\text{ผลรวมของการเล่นต่อเนื่องทั้งหมดที่ไม่เกิดแต้ม}} \quad (2)$$

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ตัดแปลงและสร้างโปรแกรมการวิเคราะห์สมรรถนะกีฬาวอลเลย์บอล มาจากเครื่องมือในการวิเคราะห์สมรรถนะกีฬาวอลเลย์บอลชายหาดของ Rangubhet, 2014 ในงานวิทยานิพนธ์ดุสิตวิทยานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาระบบการวิเคราะห์สมรรถนะกีฬาวอลเลย์บอลชายหาดประเภทชาย ที่ได้ปรับเปลี่ยนเป็นเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะกีฬาวอลเลย์บอล ในการประมวลผลผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยทำการศึกษาสมรรถนะเพิ่มเติมในชนิดกีฬาวอลเลย์บอล เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์ของตัวโปรแกรม ทำการเขียนโปรแกรมด้วย visual basic

2. ขั้นตอนการทดลองเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลและทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สมรรถนะกีฬาวอลเลย์บอล จากไฟล์วิดีโอที่ได้ทำการบันทึกไว้ ทำการวิเคราะห์เป็นรายเซตและรายแมทช์ ตั้งแต่รอบสองจนถึงรอบชิงชนะเลิศโดยกลุ่มตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ได้แก่ เซตการแข่งขันกีฬาวอลเลย์บอลประเภททีมชาย รายการกีฬามหาวิทยาลัยแห่งประเทศไทยครั้งที่ 47 “47th The Sun Games 2020” ระหว่างวันที่ 10-19 มกราคม พ.ศ. 2563 เนื่องจากเป็นรายการแข่งขันสูงสุดในระดับชาติของกลุ่มนักศึกษา และการใช้ผลการแข่งขันตั้งแต่รอบสองเป็นต้นไปนั้น ข้อมูลในการวิเคราะห์สมรรถนะมีความใกล้เคียงไม่แตกต่างกันจนเกินไป ซึ่งจะวิเคราะห์สมรรถนะการทำแต้มในการเล่นกีฬาวอลเลย์บอลด้านการทำแต้ม การเสียแต้ม และการเล่นต่อเนื่อง ในแต่ละเซตของการแข่งขัน ทั้งหมด 15 แมทช์ 88 เซต 14,332 ข้อมูล

ทำการบันทึกภาพวิดีโอการแข่งขันทุกแมตช์และทุกเซตการแข่งขัน แล้วทำการเก็บข้อมูลการแข่งขันและวิเคราะห์เกมการแข่งขันด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สมรรถนะกีฬาบอลเลย์บอลที่ได้สร้างขึ้น โดยแยกกลุ่มตัวอย่างจากผลการแข่งขันเป็นเซตที่แพ้และเซตที่ชนะเพื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

ตัวแปรต้น คือ สมรรถนะที่เกิดขึ้นในขณะแข่งขันประกอบด้วย

1) การเสิร์ฟ คือ การเสิร์ฟธรรมดา การเสิร์ฟลอยนิ่ง การกระโดดเสิร์ฟ และกระโดดเสิร์ฟลอยนิ่ง

2) การรับเสิร์ฟ คือ รับเสิร์ฟแบบอยู่กับที่ รับเสิร์ฟแบบก้าว 1 ก้าว รับเสิร์ฟแบบก้าว 2 ก้าว และรับเสิร์ฟแบบไถร์ฟ

3) การเซตหรือการตั้ง คือ เซตสูง เซตกลาง เซตต่ำ และเซตไหล

4) การรุก คือ หัวเสา วาย ทับ แทรก สั้น ซี ไหลหลัง สั้นหลัง สามเมตร และโค้งหลัง

5) การสกัดกันหรือการบล็อก คือ ชูมือตรง โล้ตาม และล้วงไปข้างหน้า ผลการสกัดกัน คือ ฟาล์วตาข่าย โดนทัช ติดบล็อก โดนบล็อกเล่นต่อ ผ่านบล็อกได้แต้ม และผ่านบล็อกเล่นต่อ

6) การจับบอล คือ จับบอลแบบอยู่กับที่ จับบอลแบบก้าว 1-2 ก้าว และจับบอลแบบพุ่งรับบอล

จัดกลุ่มตามตัวชี้วัดสมรรถนะ 7 ด้าน ได้แก่ การทำแต้มได้ การได้แต้มฟรี การเล่นที่ได้เปรียบคู่ต่อสู้ การเล่นต่อเนื่อง การเล่นที่เสียเปรียบ การเสียแต้มโดยคู่ต่อสู้ และการเสียแต้มเอง

ตัวแปรตาม คือ ผลการแสดงสมรรถนะ ได้แก่ ผลการทำแต้มได้ การทำแต้มเสีย และผลการเล่นต่อเนื่อง

1) ผลการทำแต้มได้ คือ เสิร์ฟได้แต้ม (บอลลงพื้น และรับเสีย) ไม่ได้รับเสิร์ฟเพราะเสิร์ฟเสีย รุกได้แต้ม (บอลลงพื้น และรับเสีย) รุกได้ทัช และติดบล็อก

2) ผลการทำเสียแต้ม คือ เสิร์ฟเสีย (ฟาล์ว เสิร์ฟออก และเสิร์ฟติดตาข่าย) รับเสิร์ฟเสีย (บอลลงพื้น และรับบอลเสีย) รุกเสียแต้ม (ติดเน็ต ออก หรือฟาล์ว) รุกติดบล็อก บล็อกฟาล์วตาข่าย บล็อกโดนทัช ผ่านบล็อกได้แต้ม รับไม่ได้ และจับบอลเสีย

3) ผลการเล่นต่อเนื่องที่ได้เปรียบ คือ เสิร์ฟรับเข้าจุด รับเสิร์ฟเข้าจุด เซตเข้าจุด รุกโดนบล็อกเล่นต่อ รุกรับกระบอก โดนบล็อกเล่นต่อ ผ่านบล็อกเล่นต่อ และจับบอลเข้าจุด

4) ผลการเล่นต่อเนื่องที่เสียเปรียบ คือ เสิร์ฟรับไม่ตรงจุด รับเสิร์ฟกระบอก เซตสั้น เซตห่างตาข่าย เซตพลาด รุกรับง่าย และจับบอลกระบอก

จัดกลุ่มการแสดงประสิทธิภาพสมรรถนะ 3 ด้าน ได้แก่ ประสิทธิภาพสมรรถนะการทำแต้มได้ (scoring efficacy: plus point free point lose point minus point) และประสิทธิภาพการเล่นต่อเนื่อง (counterattack efficacy: advantage neutral disadvantage)

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 ปรับปรุงโปรแกรมวิเคราะห์สมรรถนะกีฬาบอลเลย์บอล

3.2 เก็บรวบรวมข้อมูลการแข่งขันรายเซตในแต่ละทักษะและสมรรถนะ

3.3 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สมรรถนะจากภาพถ่ายวิดีโอ

3.4 วิเคราะห์และหาข้อมูลทางสถิติ

3.5 สรุปผล

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าร้อยละ ค่าประสิทธิภาพสมรรถนะ และใช้สถิติในการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วย independent sample t-test

ผลการวิจัย

การทำแต้มได้ (เซตที่ชนะ 17.35 ± 4.04 ครั้ง เซตที่แพ้ 13.81 ± 3.75 ครั้ง) และการถูกทำให้เสียแต้ม (เซตที่ชนะ 9.93 ± 8.20 ครั้ง เซตที่แพ้ 8.70 ± 5.96 ครั้ง) มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แต่การได้แต้มฟรี (เซตที่ชนะ 7.35 ± 4.40 ครั้ง เซตที่แพ้ 7.64 ± 4.43 ครั้ง) การได้เปรียบ (เซตที่ชนะ 51.96 ± 15.34 ครั้ง เซตที่แพ้ 49.48 ± 16.81 ครั้ง) การเล่นต่อเนื่อง (เซตที่ชนะ 42.00 ± 9.87 ครั้ง เซตที่แพ้ 42.45 ± 13.50 ครั้ง) การเสียเปรียบ (เซตที่ชนะ 13.38 ± 6.86 ครั้ง เซตที่แพ้ 14.51 ± 6.52 ครั้ง) และการเสียแต้มเอง (เซตที่ชนะ 22.25 ± 6.75 ครั้ง เซตที่แพ้ 24.80 ± 6.74 ครั้ง) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถนะการเล่นต่อเนื่องและสมรรถนะการทำแต้ม-การเสียแต้มระหว่างเซตที่ชนะกับเซตที่แพ้

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (performance indicators)	winner (n=88)		loser (n=88)		Sig	t
	M	S.D.	M	S.D.		
1. การทำแต้มได้ (plus point: winner)	17.35	4.04	13.81	3.75	0.001*	3.513
2. การได้แต้มฟรี (free point)	7.35	4.40	7.64	4.43	0.797	0.259
3. การเล่นที่ได้เปรียบคู่ต่อสู้ (advantage)	51.96	15.34	49.48	16.81	0.323	0.608
4. การเล่นต่อเนื่อง (counterattack)	42.00	9.87	42.45	13.50	0.079	0.15
5. การเล่นที่เสียเปรียบ (disadvantage)	13.38	6.86	14.51	6.52	0.538	0.663
6. การเสียแต้มโดยคู่ต่อสู้ (lose point: forced error)	9.93	8.20	8.70	5.96	0.039*	0.673
7. การเสียแต้มเอง (minus point: unforced error)	22.25	6.75	24.80	6.74	0.827	1.487

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

ประสิทธิภาพสมรรถนะ (เซทที่ชนะ -0.0387 ± 0.08876 เซทที่แพ้ -0.735 ± 0.05936) และประสิทธิภาพการทำแต้ม (เซทที่ชนะ -0.1019 ± 0.23638 เซทที่แพ้ -0.2084 ± 0.16751) มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แต่ประสิทธิภาพการเล่นต่อเนื่อง (เซทที่ชนะ 0.3574 ± 0.3229 เซทที่แพ้ 0.09441 ± 0.11166) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพสมรรถนะ ประสิทธิภาพการเล่นต่อเนื่อง และประสิทธิภาพสมรรถนะการทำแต้ม-การเสียแต้มระหว่างเซทที่ชนะกับเซทที่แพ้

ประสิทธิภาพ (efficacy)	winner (n=88)		loser (n=88)		Sig	t
	M	S.D.	M	S.D.		
1. ประสิทธิภาพสมรรถนะ (performance efficacy)	-0.0387	0.08876	-0.735	0.05936	0.004*	1.817
2. การทำแต้มได้ (scoring efficacy)	-0.1019	0.23638	-0.2084	0.16751	0.006*	2.046
3. ประสิทธิภาพการเล่นต่อเนื่อง (counterattack efficacy)	0.3574	0.3229	0.09441	0.11166	0.286	1.314

หมายเหตุ: * มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การอภิปรายผลการวิจัย

1. ด้านการศึกษาประสิทธิภาพการทำแต้มได้ การเสียแต้ม และการเล่นต่อเนื่อง

ตัวชี้วัดสมรรถนะของการทำแต้ม การทำเสียแต้ม และการเล่นต่อเนื่องของเซทที่ชนะ มีค่าเฉลี่ยที่ดีกว่าเซทที่แพ้ในการแข่งขัน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเซทที่ชนะกับเซทที่แพ้มี 2 รายการที่มีความแตกต่างกันได้แก่ การทำแต้มได้ และการทำเสียแต้ม เนื่องจากการแบ่งตัวชี้วัดสมรรถนะใน 7 ด้านนี้ (การทำแต้มได้ การได้แต้มฟรี การเล่นที่ได้เปรียบคู่ต่อสู้ การเล่นต่อเนื่อง การเล่นที่เสียเปรียบ การเสียแต้มโดยคู่ต่อสู้ และการเสียแต้มเอง) เป็นการจัดกลุ่มผลการแสดงความสามารถขณะแข่งขันที่แยกเป็นการทำแต้มได้ด้วยความสามารถของนักกีฬาหรือทีมเอง (winner) ซึ่งทั้งเกมการแข่งขันจะมีแต้มเกิดขึ้นเสมอ และในแต่ละแต้มสามารถแยกเป็นแต้มได้ของทีมที่ทำคะแนนได้ และแยกเป็นแต้มเสียของทีมที่ทำผิดพลาดจนทำให้อีกฝ่ายเกิดคะแนนขึ้น ดังนั้น 1 แต้มที่เกิดขึ้นในการแข่งขันที่มีการพลิกคะแนนหรือกดสกอร์คะแนนนั้น ย่อมเกิดผลที่เรียกว่า การได้แต้ม ได้แก่ การตบลอง การสกัดกั้นได้ การตีหัก การเสิร์ฟเอซ (Ponlawan and Rangubhet, 2018) เป็นต้น ผลการศึกษาค้นคว้ากับ Kaewpunya *et al.* (2019) ที่พบว่าการเล่นเสิร์ฟ การรุก และการสกัดกั้นเป็นทักษะที่สำคัญในการเล่นกีฬาวอลเลย์บอล ส่วนการเสียแต้มเกิดขึ้นจากการถูกตบลองหรือรับลูกตบไม่ได้ ถูกตีหัก รับเสิร์ฟไม่ได้ เท่ากับการทำแต้มได้ จะทำให้เกิดการทำเสียแต้มที่เรียกว่าเป็นการเสียแต้มจากการรุกที่มีประสิทธิภาพของคู่ต่อสู้ จึงทำให้ผลของการทำแต้มได้ และการทำเสียแต้ม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเกิดขึ้น

คู่ที่สองของการเกิดแต้มในแต่ละครั้งคือ การได้แต้มฟรี และการเสียแต้มเอง การได้แต้มฟรีเกิดขึ้นต่อเมื่อคู่ต่อสู้ทำบอลติดตาข่าย ทำบอลออก หรือผิดระเบียบการแข่งขัน ทั้งการรุกและการเสิร์ฟ จึงเกิดการได้แต้มโดยที่ทีมไม่ได้ทำอะไรเลย แต่คู่ต่อสู้กลับทำเสียเอง เช่นเดียวกันกับการทำเสียแต้มเองที่เรียกทั่วไปว่า ฟาล์ว เอ้า หรือเน็ต ของทีมที่ทำให้เกิดแต้มเสียโดยคู่ต่อสู้ไม่ได้ทำอะไรนอกจากการแสดงสมรรถนะตามการเล่นทั่วไป สำหรับการได้เปรียบการเล่น การเสียเปรียบการเล่น และการเล่นต่อเนื่องนั้นเป็นกลุ่มการแสดงความสามารถที่เป็นการเล่นพื้นฐานที่คอยสนับสนุนการเล่นให้มีประสิทธิภาพ เช่น การรับเสิร์ฟ การรับตบ การสกัดกั้น การเซต การตบบอล เป็นต้น (Rattanasirivattana *et al.*, 2019) ซึ่งสมรรถนะดังกล่าวเป็นทักษะที่ต้องทำให้ดีเพื่อจะได้สร้างโอกาสในการรุกรับ แต่ถ้าแสดงทักษะพลาดก็จะกลายเป็นการเสียแต้มทันที ดังนั้นการเล่นต่อเนื่องจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกมการแข่งขันวอลเลย์บอลมีความสนุกสนาน

ในการแข่งขัน 1 เซต ทีมที่ทำคะแนนถึง 25 ก่อนจะเป็นฝ่ายชนะ และเมื่อนำค่าเฉลี่ยของการทำแต้ม (plus point = 17.35 ครั้ง) และการได้แต้มฟรี (free point = 7.35) มารวมกันเท่ากับ 24.70 ครั้ง หรือประมาณ 25 ครั้ง ซึ่งเท่ากับจบเซตพอดี ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Mantor *et al.*, (2018) ได้ศึกษาสมรรถนะการได้คะแนนและการเสียคะแนนในการแข่งขันวอลเลย์บอลชายหาด พบว่าค่าเฉลี่ยการได้แต้มเท่ากับ 17.78 ครั้งต่อเซต และค่าเฉลี่ยการเสียแต้มเท่ากับ 17.63 ต่อเซต ส่วนการเสียแตมนั้นจะมีค่าเฉลี่ยที่มากกว่าปกติ เนื่องจากการเสียแต้มจากการสกัดกั้น และการเสียแต้มจากการรับตบถูกแยกประเภทในการวิเคราะห์ จึงเท่ากับว่าถ้ามีการเสียแต้มจากการถูกตบผ่านการสกัดกั้นลง จึงมีการคิดการเสียแต้ม 2 ครั้ง จากการเสียแต้ม (lose point = 9.93) และเสียแต้มเอง (minus point = 22.25) รวมกันมีค่าเท่ากับ 32.18 ครั้ง ซึ่งมากกว่าการเสียแต้มปกติที่แต่ละทีมต้องไม่เกิน 25 แต้ม และประเด็นที่สำคัญของการแข่งขันคือการเล่นตบบอล ได้แก่ การเล่นได้เปรียบ การเล่นเสียเปรียบ และการเล่นต่อเนื่อง เช่น การเซต การรับเสิร์ฟ การรับตบ การสกัดกั้น และการตบ ที่ยังคงตบบอลกันได้ทั้งสองทีมที่แข่งขันกัน ซึ่งตัวเลขรวมกันของ 3 ด้านนี้ประมาณ 107.24 ครั้ง เท่ากับว่า 1 เซตต้องตบบอลถึง 107 ครั้งหรือ 1 แต้มต้องตบบอลถึง 4.28 ครั้งโดยประมาณของแต่ละทีม

จากการอภิปรายผลการวิจัยทำให้เห็นว่าจำนวนของการเล่นบอลแบบต่อเนื่องมีมากกว่าการทำแต้มได้และการทำเสียแต้ม แสดงว่าในการฝึกซ้อมของทีมจำเป็นต้องฝึกวิธีการเล่น ทักษะที่เกี่ยวข้องกับการตบบอลเป็นหลักมากถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ ของการฝึกซ้อม เช่น การเสิร์ฟ การรับเสิร์ฟ การตบ การรับตบ การเซต การสกัดกั้น เพื่อให้เกิดพื้นฐานในการแข่งขันที่ดีและเป็นการสร้างโอกาสในการรุกได้ดีอีกด้วย เพราะการปรับสมรรถนะในขณะแข่งขันต้องให้ผลย้อนกลับกับนักกีฬา ภายหลังจากทำการแข่งขันเสร็จแล้ว หรือในช่วงที่ทำการฝึกซ้อม (Minton, 2017) และอีก 30-40 เปอร์เซ็นต์ ของการฝึกซ้อม ต้องเน้นที่การมุ่งทำแต้มด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งการตบ การสกัดกั้น การเสิร์ฟ หรือกลยุทธ์ในการสร้างโอกาสเพื่อทำแต้มในการแข่งขันและต้องลดจำนวนครั้งของการทำเสียแต้มเอง (unforced error) เพราะค่าเฉลี่ยของการเสียแต้มเองประมาณ 10 ครั้งต่อเซต ถือว่าเป็นตัวเลขที่มากในการแข่งขัน ถ้าลดจำนวนการทำเสียเองได้ก็จะทำให้มีประสิทธิภาพในการเล่นมากขึ้นด้วย เพราะค่าประสิทธิภาพมาจากสมการ ผลการทำแต้มได้ ลบ ผลการทำเสียแต้ม หาค่าด้วยผลการทำแต้ม

ทั้งหมด ยิ่งผลลบจากการทำเสียแต้มน้อย จะทำให้ประสิทธิภาพมีค่าสูงขึ้นตามสมการ (1) (Santi *et al.*, 2021)

2. ด้านการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแสดงสมรรถนะ การทำแต้มน้อย และการเล่นต่อเนื่อง

ประสิทธิภาพสมรรถนะ เป็นการหาผลลัพธ์ของทุกทักษะ สมรรถนะที่ได้ทำการวิเคราะห์ หรืออาจเรียกว่าประสิทธิภาพของการแข่งขัน ที่เป็นข้อมูลทุก ๆ ด้านของการแสดงสมรรถนะ ค่าประสิทธิภาพหาได้จาก การทำแต้มน้อยได้ลบด้วยการทำเสียแต้มน้อย แล้วหารทั้งหมดด้วยการกระทำทุกอย่าง และเนื่องจาก ตัวเลขของการกระทำทุกอย่างมีมากกว่า ผลต่างของการทำแต้มน้อย จึงมีค่าประสิทธิภาพประมาณ -0.0387 ของทีมที่ชนะ และ -0.735 ของทีมที่แพ้ เมื่อลดตัวแปรของการหาประสิทธิภาพจนเหลือแค่การทำแต้มน้อยและการทำเสียแต้มน้อยจะมีค่าประสิทธิภาพที่สูงขึ้น หรือเมื่อวิเคราะห์รายด้าน แล้วนำผลรวมของประสิทธิภาพจะได้ตัวเลขที่ชัดเจนดังเช่น ค่าประสิทธิภาพการทำแต้มน้อย หรือค่าประสิทธิภาพการเล่นต่อเนื่อง

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพซึ่งทำการเปรียบเทียบแบบรายเซตพบว่าทีมที่ชนะจะมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพที่ดีกว่าทีมที่แพ้ และยังพบว่าประสิทธิภาพการทำแต้มน้อยและประสิทธิภาพสมรรถนะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ซึ่งมีผลการศึกษาที่ใกล้เคียงกับ Yu *et al.* (2018) ที่ได้ศึกษาสมรรถนะที่ส่งผลต่อการชนะการแข่งขันในการแข่งขันระดับชาติของประเทศจีนพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อชัยชนะในการแข่งคือ การรุก การสกัดกั้น และการตอบโต้ จึงเป็นเหตุผลที่สำคัญว่าทีมต้องแสดงสมรรถนะในการแข่งขันให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพราะทุกทักษะ และการแสดงความสามารถส่งผลต่อโอกาสในการสร้างชัยชนะให้กับทีม (Oldenburg, 2015) การวิเคราะห์ผลเป็นแบบรายเซต ทำให้ทราบข้อมูลประสิทธิภาพของสมรรถนะที่ชัดเจนได้ (มีผลต่างระหว่างเซตแพ้และเซตชนะ) แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบรายแมทช์ไม่พบความแตกต่างระหว่างทีมที่แพ้และทีมที่ชนะ (ผู้วิจัยไม่ได้รายงานผล) ซึ่งผลการแข่งขันจริง ๆ ขึ้นอยู่กับการแข่งขันทั้ง 3 หรือ 5 เซต ที่นับเป็น 1 แมทช์ และจากข้อมูลที่ได้อธิบายมา การแสดงสมรรถนะของทีมไม่คงที่ หรือมีโอกาสที่จะแพ้และชนะได้ถึงแม้จะไม่ใช้ทีมอันดับต้นของรายการแข่งขัน แต่จากข้อมูลที่ได้อธิบายให้เห็นว่าการชนะแบบรายเซตส่งผลต่อการแข่งขัน ทีมควรให้ความสำคัญกับการทำแต้มน้อยและปิดเกมในแต่ละเซตให้ได้ เนื่องจากการเล่นในสภาพที่มีคะแนนใกล้เคียงกัน หรือการที่นักกีฬาต้องแข่งขันแต้มน้อย หรือต้องแข่งขันในเซตตัดสินนั้น การทำแต้มน้อยจะมีความยากมากขึ้นจากโอกาสการทำแต้มน้อย 25 ครั้งเหลือแค่ 2 ครั้งในการเล่นแต้มน้อย และเหลือ 15 ครั้งในเซตตัดสิน ค่าเฉลี่ยและค่าประสิทธิภาพที่ได้ศึกษาจึงมีค่าสูงกว่าโอกาสในการทำแต้มน้อยเพื่อจบการแข่งขันให้ชนะได้

สรุปผลการวิจัย

1. ด้านการศึกษาประสิทธิภาพสมรรถนะการทำแต้มน้อย และการถูกทำให้เสีย มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แต่การได้แต้มน้อย การได้เปรียบ การเล่นต่อเนื่อง การเสียเปรียบ และการเสียแต้มน้อย ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

2. ด้านการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสมรรถนะ และประสิทธิภาพการทำแต้มน้อย มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แต่ ประสิทธิภาพการเล่นต่อเนื่อง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ควรมีการนำผลการวิเคราะห์สมรรถนะ และผลของประสิทธิภาพสมรรถนะในขณะแข่งขัน ไปคัดค้านวิธีการสมการในการทำนายผลการแข่งขัน ที่สำคัญควรนำผลการประเมินสมรรถนะของทีม หรือของตัวนักกีฬาไปสร้างเกณฑ์มาตรฐานสมรรถนะการทำแต้มในการแข่งขัน เพราะสามารถให้ผลย้อนกลับในระหว่างฝึกซ้อมได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา โครงการวิจัยงบประมาณรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

เอกสารอ้างอิง

- Drikos, S., Angelonidis, Y. and Sobonis, G. (2018). The role of skills in winning in different types of set in women's volleyball. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18(6), 950-960.
- Fried, G and Mumcu, C. (2017). *Sport analytics: A data-driven approach to sport business and management*. New York: Routledge.
- Hughes, M and Franks, I.M. (2015). *Essentials of performance analysis in sport*. (2nd ed). New York: Routledge.
- Kaewpunya, C., Tangchaisuriya, P., Wangtrakul, P. and Rangubhet, K.R. (2019). The Efficiency of Beach Volleyball Setting in University Games of Thailand 43rd Kran-Krao Games. In *National conference of the 11th Science Research* (pp. 267-273). Bangkok: Srinakharinwirot University.
- Mantor, R., Prawonganuphar, P., Valunpion, A. and Rangubhet, K.R. (2018). Performance analysis of win score and lose score in beach volleyball. In *National Conference of the 10th Science Research* (pp. 305-310). Mahasarakham: Mahasarakham University.
- Marszałek, J., Gómez, M.A. and Molik, B. (2018). Game performance differences between winning and losing sitting volleyball teams regarding teams' ability. *International Journal of Performance analysis in Sport*. 18(2), 367-379.
- McMorris, T. (2014) *Acquisition and performance of sports skills*. New Jersey: Wiley.
- Minton, R.B. (2017). *Sports math: an introductory course in the mathematics of sports science and sports analytics*. Florida: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Oldenburg, S. (2015). *Complete conditioning for volleyball*. Illinois: Human Kinetics.
- Peters, D. and O'Donoghue, P. (2014). *Performance analysis of Sport IX*. New York: Routledge.

- Ponlawan, T. and Rangubhet, K.R. (2018). Performance analysis of attack in beach volleyball. In *National Conference of the 10th Science Research* (pp. 54-60). Mahasarakham: Mahasarakham University.
- Rangubhet, K.R. (2014). *Development of performance analysis system for male beach volleyball players*. D.Sc. thesis in Dissertation of Sports Science. Chulalongkorn University, Bangkok.
- Rangubhet, K.R. (2019). Innovation of performance analysis for beach volleyball: performance indicator in male beach volleyball athletes. In *National Conference of the 11th Science Research* (pp. 242-251). Bangkok: Srinakharinwirot University.
- Rattanasirivattana, R., Chailert, P., Jantaraj, N. and Rangubhet, K.R. (2019). Performance analysis of beach volleyball serving in university games of Thailand 43rd Kran-Krao games. In *National Conference of the 11th Science Research* (pp. 274-280). Bangkok: Srinakharinwirot University.
- Reeser, J.C. and Bahr, R. (2017). *Volleyball*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Reynaud, C. (2015). *The volleyball coaching bible/American volleyball coaches administration*. Illinois: Human Kinetics.
- Santi, K., Hermsarnjod, J. and Rangubhet, K.R. (2021). Performance analysis of offensive position in women's volleyball in the SEA games 2019 competition. In *National Conference of the 10th Phayao Research* (pp. 445-451). Phayao: Phayao University.
- Yu, Y., Garcia-De-Alcaraz, A., Wang, L. and Liu, T. (2018). Analysis of winning determinant performance indicators according to teams level in Chinese women's volleyball. *International Journal of Performance analysis in Sport*. 18(5), 750-763.

ผลของการใช้น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้และวัสดุเศษเหลือผลไม้ในท้องถิ่น ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการจับตัวของยางก้อนถ้วย

Effects of Using Bio-extracts from Local Fruits and its Byproducts on the Coagulation Efficiency of Rubber Cup Lump

ฉัตรชัย สังข์ผุด^{1*} สุจารี แก้วคง¹ วรณชัย พรหมเกิด¹ และกฤษฎา ธารพงศ์ทรัพย์¹

Chatchai Sungpud^{1*} Sujaree Kaewkong¹ Wannachai Phromkerd¹

and Kritsada Thanphongsap¹

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเกษตรกรไทยนิยมใช้สารเคมีสำหรับการจับตัวของน้ำยางพาราสดเพื่อผลิตยางก้อนถ้วยในแปลงปลูก สภาพความเป็นกรดของน้ำทิ้งทำให้ดินยางเสื่อมโทรมและอาจทำให้น้ำยางเกิดอาการตายนิ่งได้ นอกจากนี้กรดที่ใช้อาจทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่มือหรือบริเวณสัมผัสและยังเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาสารจับตัวยางแบบชีวภาพสำหรับผลิตยางก้อนถ้วยโดยใช้กรดจากน้ำหมักชีวภาพผักผลไม้ในท้องถิ่น วางแผนทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ศึกษาผลของการเติมสารจับตัว 6 ชนิด คือ กรดฟอร์มิก 3 เปอร์เซ็นต์ กรดซัลฟิวริก 3 เปอร์เซ็นต์ กรดอะซิติก 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะนาว น้ำหมักชีวภาพจากกล้วย น้ำว่าสุก และน้ำหมักชีวภาพจากสับปะรด เพื่อตกตะกอนยางเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลอง พบว่ายางก้อนถ้วยมีค่าเฉลี่ยระยะในการจับตัวของน้ำยางมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าชุดการทดลองที่ใช้กรดซัลฟิวริกมีค่าระยะเวลาในการจับตัวของน้ำยางเร็วสุด 33 นาที แต่มีน้ำหนักแห้งและประสิทธิภาพการจับตัวของยางต่ำเพียง 87.64 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างผลการใช้น้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด พบว่าเปลือกมะนาวมีระยะเวลาในการจับตัวของน้ำยางเร็วสุด 235 นาที รองลงมาคือกล้วยน้ำว่าสุก และสับปะรด 466 และ 467 นาที ตามลำดับ โดยมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่น้ำหมักชีวภาพกล้วยน้ำว่าสุกมีประสิทธิภาพการจับของยางสูงสุด 99.61 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นน้ำหมักชีวภาพสับปะรด และน้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว คือ 95.56 และ 95.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด พบว่ากรดซัลฟิวริก 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดสูงสุด มีค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 0.71 และเข้มข้นเท่ากับ 0.97 ส่วนผลการใช้น้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำลง โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างของเข้มข้น เท่ากับ 4.11-4.97 เมื่อนำน้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวซึ่งใช้ระยะเวลาการจับตัวยางที่เร็วกว่ามาแช่กับเปลือกเงาะเป็นระยะเวลา

¹ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

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

Received: 14 October 2021, Revised: 14 December 2021, Accepted: 15 December 2021

2 สัปดาห์ ก่อนนำไปใช้งาน พบว่ายางก้อนถ้วยมีค่าเฉลี่ยระยะในการจับตัวของยางก้อนถ้วยเร็วขึ้น จาก 235 นาที เป็น 35 นาที และเพิ่มประสิทธิภาพการจับตัวของยางจาก 95.56 เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างของเซรัมหรือน้ำทิ้งหลังจากการตกตะกอนมีค่าต่ำ (ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.15) เมื่อเทียบกับผลการใช้กรดซัลฟิวริก (ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 0.71) ซึ่งเป็นผลดีต่อต้นยาง ไม่ส่งผลกระทบต่อผิวของเกษตรกรผู้ใช้และไม่ทำให้ดินเป็นกรด

คำสำคัญ: สารจับตัวยางชีวภาพ ยางก้อนถ้วย น้ำหมักชีวภาพ เปลือกมะนาว เปลือกเงาะ

Abstract

Nowadays, Thai farmers prefer to use chemicals to coagulate fresh rubber latex to produce rubber cup lumps in their fields. The acidic condition of the effluent deteriorates the rubber plants and may cause tapping panel dryness. In addition, the acid used can irritate hands or exposed skin and pollute the environment. Based on these problems, this research aimed to develop a bio-based rubber coagulant to produce rubber cup lumps using acids from local vegetable and fruit bio-extracts. A completely randomized design was used to study the effects of the addition of 6 coagulants, namely 3% formic acid, 3% sulfuric acid, 3% acetic acid, bio-extracts from lime peels, ripe bananas, and pineapple on the precipitation of rubber for 24 hours. The results showed that there was a statistical difference in the coagulation time of the rubber cup lumps between the 6 coagulants ($p < 0.05$). The rubber latex coagulation with sulfuric acid was the fastest, taking 33 minutes, but the rubber cup lump had a dry weight, and its coagulation efficiency was only 87.64%. When the results of the 3 bio-extracts were compared, it was found that the lime peel extract had the fastest latex coagulation time of 235 minutes, followed by ripe banana and pineapple with 466 and 467 minutes, respectively, with no significant difference between the fresh weight and the dry weight ($p > 0.05$), but the ripe banana bio-extract had the highest rubber coagulation efficiency of 99.61%, followed by the pineapple and the lime peel bio-extracts with 95.56% and 95.56%, respectively. The results of the acidity test showed that 3% sulfuric acid had the highest acidity value, with an initial pH of 0.71 and a serum of 0.97. When all 3 types of bio-extracts were used, the acidity was lower with a serum pH of 4.11-4.97. When the lime peel bio-extract, which had the fastest coagulation time, was soaked with rambutan peel for 2 weeks before use, it was found that the average coagulation time of the rubber cup lump was decreased from 235 minutes to 35 minutes and the coagulation efficiency increased from 95.56 to 100%. In addition, the pH of the serum or effluent after

settling was low (pH 5.15) compared to sulfuric acid (pH 0.71), which was beneficial to the rubber trees, did not cause skin irritation, and did not acidify the soil.

Keywords: Bio-based rubber coagulant, Rubber cup lump, Bio-extract, Lime peel, Rambutan peel

บทนำ

ยางพาราเป็นพืชอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทยและภูมิภาคอาเซียน ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยาง 18.76 ล้านไร่ เป็นผู้ผลิตและส่งออกยางมากที่สุดของโลก (สุจินต์, 2556) ปี พ.ศ. 2562 ไทยผลิตยางพาราได้ 4,736,498 ตัน มีส่วนแบ่งตลาดประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยส่งออกในรูปร่างแท่งมากที่สุด รองลงมาเป็นยางแผ่นลมควั่น ยางน้ำชั้น ยางผสม และยางประเภทอื่น ๆ ตามลำดับ (กองการยาง, 2563) ในส่วนของยางแท่ง (technically specified rubber: TSR) เป็นยางแท่งที่มีปริมาณการส่งออกเป็นอันดับหนึ่ง (ณัชชาธิ์ และคณะ, 2561) ปี พ.ศ. 2562 สามารถส่งออกสูงถึง 1,518,550 ตัน (กองการยาง, 2563) จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา (โควิด-19) ไปทั่วทุกภูมิภาคของโลกและยังไม่สามารถควบคุมได้ในหลายประเทศทำให้เกิดผลกระทบต่อห่วงโซ่เศรษฐกิจทั่วโลก แนวโน้มปลายปี พ.ศ. 2563 หลายประเทศออกมาตรการปิดเมือง (lockdown) ส่งผลกระทบต่อระบบโลจิสติกส์ทำให้ไทยส่งออกยางพาราลดลง (จันจิรา และอริวัฒน์, 2563) รัฐบาลจึงสนับสนุนเงินทุนแก่สหกรณ์การเกษตรในการจัดตั้งโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ในหลายพื้นที่ทั่วประเทศ โดยวัตถุประสงค์หลักสำหรับการผลิตยางแท่ง STR20 คือยางก้อนถ้วย (อมรเดช และอมรฤทธิ์, 2561) ดังนั้นปัจจุบันเกษตรกรหันมาผลิตยางก้อนถ้วยเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่สูง และแหล่งปลูกยางใหม่แถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เกษตรกรร้อยละ 65 นิยมผลิตยางก้อนถ้วย (สำนักงานตลาดกลางยางพาราหนองคาย, 2559) เนื่องจากในหลายท้องที่ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตยางแผ่นดิบ อีกทั้งกระบวนการผลิตยางก้อนถ้วยมีขั้นตอนในการผลิตที่ง่าย ต้นทุนการผลิตต่ำและใช้แรงงานน้อยกว่าการผลิตยางแผ่นดิบ

น้ำยางสดจากการกรีดยางมีปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content: DRC) ตั้งแต่ 25-40 เปอร์เซ็นต์ โดย DRC จะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับอายุของต้นยาง วิธีการจัดการ การดูแลสวนยาง ระบบกรีดยาง วิธีการกรีดยาง และพันธุ์ยาง (ปรีดีเปรม, 2563) นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่น ๆ ได้แก่ โปรตีน 1.5 เปอร์เซ็นต์ เรซิน 2.0 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 1.0 เปอร์เซ็นต์ และสารอินทรีย์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำยางสดมีอนุภาคยางขนาด 0.05-5 ไมครอน แขนงลอยอยู่ในของเหลว มีความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิกรัม ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.5-7.0 มีประจุเป็นลบผลึกกันอยู่ตลอดเวลา ทำให้อนุภาคสามารถแขวนลอยและคงสภาพเป็นน้ำยางอยู่ได้จนกว่าจะมีสภาพแวดล้อมและปัจจัยต่าง ๆ มารบกวนทำให้น้ำยางเสียเสถียรภาพและจับตัวกันเป็นก้อน (สถาบันวิจัยยาง, 2536) พฤติกรรมการผลิตยางก้อนถ้วยของเกษตรกรในแต่ละพื้นที่ที่มีความหลากหลายสูงมาก อีกทั้งส่วนใหญ่ยังปฏิบัติไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการทำให้ยางก้อนถ้วยที่ป้อนเข้าสู่โรงงานมีคุณภาพต่ำและหลากหลาย ซึ่งโรงงานต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบเพื่อให้ได้ยางแท่ง STR20 ตามมาตรฐานที่กำหนด การทำยางก้อนถ้วยโดยเกษตรกรจะกรีดยางให้น้ำยางสดไหลลงในถ้วย

รองรับน้ำยางจนหมดแปลง จากนั้นหยดน้ำกรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก หรือกรดฟอร์มิกที่เตรียมไว้ กวนให้เข้ากัน ปล่อยให้จับตัวในถ้วยรองรับน้ำยาง และเก็บเกี่ยวยางก้อนถ้วยใน 1-3 วันถัดมาแล้ว นำมาผึ่งแดดให้แห้ง ปัญหาที่พบ คือ ผลการใช้กรดซัลฟิวริกส่งผลให้ยางมีสีคล้ำเสื่อมสภาพได้ง่าย เนื้อยางแข็งกระด้าง มีค่าความหนืดต่ำ และความแข็งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้กรดเหล่านี้ยังเป็นอันตรายต่อหน้ายาง (ปรีดีเปรม, 2558) เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของเกษตรกร เกิดอาการแพ้ มีผื่นแดง (Dinesh Fernando and Kaluarachchi, 2012) และเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Tekasakul and Tekasakul, 2006) ส่วนการใช้กรดอินทรีย์ คือ กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิก มีข้อดี คือ สลายตัวง่าย ยางก้อนถ้วยที่ได้มีสมบัติทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์ดี และมีความปลอดภัยค่อนข้างสูง แต่มีข้อด้อย คือ ราคาค่อนข้างแพง (ชัยวุฒิ และคณะ, 2561)

น้ำหมักชีวภาพ (bio-extract) ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์จากส่วนต่าง ๆ ของพืชหรือสัตว์ โดยผ่านกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจนทำการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ให้มีโมเลกุลเล็กลง น้ำหมักชีวภาพที่ได้จะมีทั้งจุลินทรีย์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นหลากหลายชนิด มีกรดอินทรีย์ เช่น กรดแล็กติก กรดอะซิติก รวมทั้งสารประกอบที่สกัดได้จากเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ สารพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมน เอนไซม์ และอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก (เบญจวรรณ และอรัญ, 2555) โดยสายสมร และสมนภา (2557) ศึกษาผลการใช้ น้ำหมักชีวภาพเปลือกสับปะรดผสมใบเตยเป็นสารจับตัวยางธรรมชาติ พบว่ามีแนวโน้มที่จะนำมาใช้เป็นสารจับตัวยางได้ เนื่องจากยางที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับผลการใช้กรดฟอร์มิก ต่อมาไมชาตุลลัทธ และคณะ (2560) ศึกษาการจับตัวของน้ำยางด้วยน้ำมะพร้าวหมัก พบว่าน้ำยางแข็งตัวอย่างสม่ำเสมอและมีสีขาวอมเหลือง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายางก้อนที่ได้นั้นมีคุณภาพดี ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการใช้ น้ำหมักชีวภาพตะลิงปลิง (พัชรี และคณะ, 2560) ประเทศไทยมีผักผลไม้และวัสดุเศษเหลือจากการแปรรูปผักผลไม้ในท้องถิ่นอีกหลากหลายชนิดที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นน้ำหมักชีวภาพสำหรับใช้เป็นสารจับตัวยางชีวภาพ การทดลองตอนที่ 1 ของงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สารจับตัวยางจากน้ำหมักชีวภาพกล้วยน้ำว้าสุก สับปะรด และเปลือกมะนาว เปรียบเทียบกับกรดฟอร์มิก กรดซัลฟิวริก และกรดอะซิติก ต่อประสิทธิภาพการจับตัวของยางก้อนถ้วย อย่างไรก็ตามพบว่าผลการใช้ น้ำหมักชีวภาพเพียงอย่างเดียวต้องใช้ระยะเวลาการจับตัวของยางนาน ซึ่งอาจทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพของยางเนื่องจากฝนตกหรือการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน ดังนั้นในการทดลองตอนที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการเสริมใบชะมวง ใบเงาะ และเปลือกเงาะ ด้วยการแช่ในชั้นตอนหลังจากหมักเสร็จสิ้นแล้วเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจับตัวของยางเปรียบเทียบกับสารละลายกรดชนิดต่าง ๆ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุ

น้ำยางพาราได้จากต้นยางพาราสายพันธุ์ PRIM 600 จากสวนยางพาราของเกษตรกร ในอำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยมีปริมาณเนื้อยางแห้ง เท่ากับ 37 เปอร์เซ็นต์

วัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสุก สับปะรด มะนาว เงาะ และใบชะมวง ซื้อจากตลาดกลางผัก-ผลไม้ อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช

กรดฟอร์มิก กรดซัลฟิวริก และกรดอะซิติก ใช้เกรดวิเคราะห์ (analytical reagent grade)

2. อุปกรณ์

อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่จำเป็น ได้แก่ ถ้วยรองน้ำยางขนาด 600 มิลลิลิตร นาฬิกาจับเวลา เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ TANITA รุ่น KD-321 และเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ OHAUS รุ่น STARTER2100

3. วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1 การเปรียบเทียบผลการใช้น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ชนิดต่าง ๆ ต่อสมบัติการจับตัวของยางก้อนถ้วย

วิธีการเตรียมน้ำหมักชีวภาพสำหรับใช้ทดสอบเป็นสารจับตัวของยาง โดยนำกล้วยน้ำว้าสุก สับปะรด และเปลือกมะนาวมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วชั่งน้ำหนักอย่างละ 3 กิโลกรัม บรรจุลงในถังหมัก (ถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร) เติมน้ำตาลทรายแดงปริมาณ 1 กิโลกรัม และน้ำสะอาด 10 ลิตร เพื่อให้ได้อัตราส่วน 3:1:10 กวนให้เข้ากัน ปิดฝาหมักในที่ร่มที่อุณหภูมิห้อง (30-35 องศาเซลเซียส) วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 2 เดือน จะได้น้ำหมักชีวภาพที่มีลักษณะใส มีกลิ่นเปรี้ยว ไม่มีฟองอากาศ และมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.0 นำน้ำหมักชีวภาพมากรองผ่านสำลีจนได้น้ำหมักชีวภาพที่มีลักษณะใสก่อนนำไปใช้ทดสอบเป็นสารจับตัวของยางก้อนถ้วย

วางแผนทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) เปรียบเทียบคุณสมบัติของสารจับตัว 6 ชนิด ๆ ละ 4 ซ้ำ คือกรดฟอร์มิก 3 เปอร์เซ็นต์ กรดซัลฟิวริก 3 เปอร์เซ็นต์ กรดอะซิติก 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว น้ำหมักชีวภาพกล้วยสุก และน้ำหมักชีวภาพสับปะรด ต่อประสิทธิภาพการจับตัวของยางก้อนถ้วย โดยชั่งน้ำยางพาราสด 350 กรัม ใส่ในภาชนะถ้วยรองน้ำยางขนาด 600 มิลลิลิตร จำนวนซ้ำละ 4 ใบ เติมน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิดลงไปใบละ 10 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง โดยจับบันทึกเวลาที่ยางจับตัวเป็นก้อนสมบูรณ์ แยกเนื้อยางก้อนถ้วยออกจากน้ำเซรัม วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของเซรัมหลังตกตะกอนโดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ชั่งน้ำหนักสดของยางก้อนถ้วย จากนั้นนำไปหาน้ำหนักแห้งโดยการอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ คำนวณหาประสิทธิภาพการจับตัวของยาง จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพการจับตัวของยาง (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของยางก้อนถ้วย}}{\text{ปริมาณเนื้อยางแห้งทั้งหมด}} \times 100$$

โดยที่ปริมาณเนื้อยางแห้งทั้งหมด คำนวณจากปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางสดเท่ากับ 37 องศาเซลเซียส

การทดลองที่ 2 การเปรียบเทียบผลการนำน้ำหมักชีวภาพมาแช่สกัดกรดธรรมชาติจากวัสดุเศษเหลือของผลไม้ในท้องถิ่นต่อการเพิ่มสมบัติการจับตัวของยางก้อนถ้วย

จากผลการทดลองตอนที่ 1 น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวใช้ระยะเวลาในการจับตัวยางเร็วสุด นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพการจับตัวของยางและน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพกล้วยน้ำว้าสุก และสับปะรด ดังนั้นจึงคัดเลือกน้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวมาปรับปรุงคุณสมบัติต่อการแช่ใบเงาะสด เปลือกเงาะสด และใบชะมวงสดให้ท่วมในอัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพต่อของแข็ง 3:1 ปิดฝาดังตั้งทิ้งไว้ในที่ร่ม เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ นำมากรองผ่านสำลีหลาย ๆ ครั้ง

จนได้สารจับตัวชีวภาพที่มีลักษณะใส วัดค่าความเป็นกรด-ด่างแล้วนำไปใช้ทดสอบเป็นสารจับตัวของยางก้อนถ้วย

วางแผนทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เปรียบเทียบคุณสมบัติของสารจับตัว 6 ชนิด ๆ ละ 4 ซ้ำ คือกรดฟอร์มิก 3 เปอร์เซ็นต์ กรดซัลฟิวริก 3 เปอร์เซ็นต์ กรดอะซิติก 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวแช่ใบเงาะ เปลือกเงาะ และใบชะมวง ต่อประสิทธิภาพการจับตัวของยางก้อนถ้วย โดยชั่งน้ำยางพาราสด 350 กรัม ใส่ในภาชนะถ้วยรองน้ำยางขนาด 600 มิลลิลิตร เติมสารจับตัวยางแต่ละชนิดลงไปใบละ 10 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง โดยจับบันทึกเวลาที่ยางจับตัวเป็นก้อนสมบูรณ์ แยกเนื้อยางก้อนถ้วยออกจากน้ำเซรั่ม วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของเซรั่มหลังตกตะกอน ชั่งน้ำหนักสดและหาน้ำหนักแห้งของยางก้อนถ้วยเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

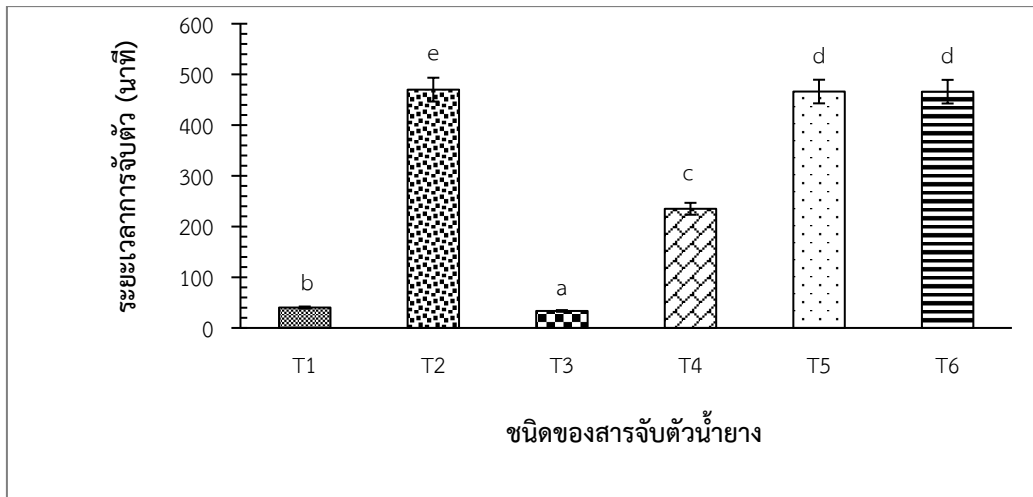
นำข้อมูลที่ได้อิงวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของแต่ละชุดการทดลอง จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลอง โดยวิธีของ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป IBM-SPSS Statistics 21

ผลการวิจัย

1. ผลของกรดและน้ำหมักชีวภาพต่อประสิทธิภาพการจับตัวของยางก้อนถ้วย

1.1 ระยะเวลาการจับตัวของยางก้อนถ้วย

ผลการทดสอบระยะเวลาในการจับตัวของยางก้อนถ้วยโดยใช้สารจับตัวยางชนิดต่าง ๆ จำนวน 6 ชนิด คือ กรดฟอร์มิก 3 เปอร์เซ็นต์ กรดอะซิติก 3 เปอร์เซ็นต์ กรดซัลฟิวริก 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว น้ำหมักชีวภาพกล้วยน้ำว้าสุก และน้ำหมักชีวภาพสับปะรด เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาเฉลี่ยในการจับตัวของยางก้อนถ้วยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การใช้กรดซัลฟิวริกมีค่าระยะเวลาในการจับตัวของน้ำยางเร็วที่สุด เท่ากับ 33 นาที รองลงมา คือ กรดฟอร์มิก 40 นาที สำหรับผลการใช้น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว น้ำหมักชีวภาพกล้วยน้ำว้าสุก น้ำหมักชีวภาพสับปะรด และกรดอะซิติก ใช้ระยะเวลาในการจับตัวของน้ำยางค่อนข้างยาวนาน เท่ากับ 235 466 467 และ 470 นาที ตามลำดับ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลของการใช้กรดและน้ำหมักชีวภาพต่อระยะเวลาการจับตัวของยางก้อนถ้วย

T1 = กรดฟอร์มิก T2 = กรดอะซิติก T3 = กรดซัลฟิวริก T4 = น้ำหมักเปลือกมะนาว

T5 = น้ำหมักกล้วยน้ำว้า และ T6 = น้ำหมักสับปะรด

หมายเหตุ: - ตัวอักษร a b c และ e ในกราฟแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

1.2 ประสิทธิภาพของการจับตัวของยางก้อนถ้วย

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการจับตัวของยางก้อนถ้วยโดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากวัตถุดิบในท้องถิ่น พบว่ายางก้อนถ้วยมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำหนักรีดทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำหนักรีดของยางก้อนถ้วยทุกชุดการทดลองในช่วง 244.75-275.75 กรัมต่อน้ำยางสด 350 กรัม (คิดเป็น 69.7-78.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำยางสด)

ตารางที่ 1 น้ำหนักรีด น้ำหนักแห้ง และประสิทธิภาพการจับของยางก้อนถ้วยที่ใช้กรดและน้ำหมักชีวภาพจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ

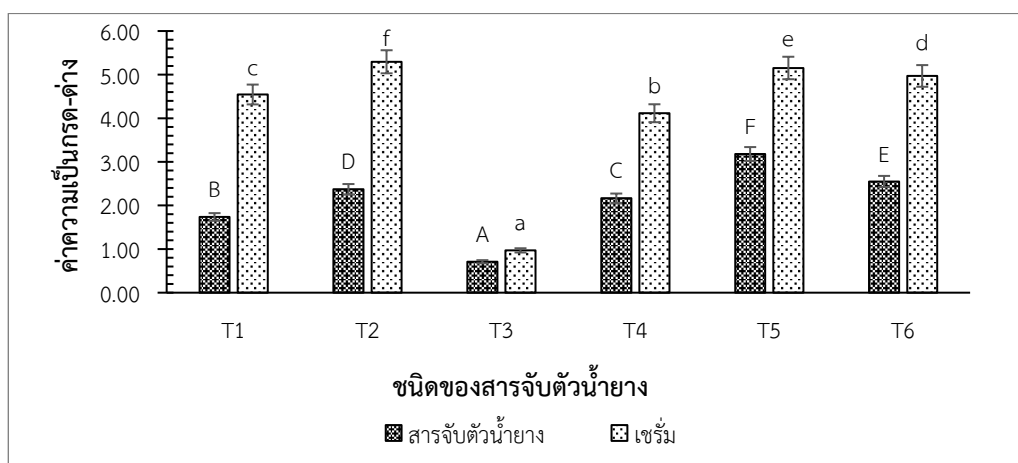
ชนิดของสารจับตัวน้ำยาง	น้ำหนักรีด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ประสิทธิภาพการจับของยาง (เปอร์เซ็นต์)
กรดฟอร์มิก	266.75±16.90 ^{ns}	119.75±2.22 ^b	92.47
กรดอะซิติก	268.75±15.06 ^{ns}	119.50±3.32 ^b	92.28
กรดซัลฟิวริก	244.75±22.10 ^{ns}	113.50±2.89 ^c	87.64
น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว	261.00±12.91 ^{ns}	125.75±2.75 ^a	95.56
น้ำหมักชีวภาพกล้วยน้ำว้า	275.75±25.88 ^{ns}	129.00±1.41 ^a	99.61
น้ำหมักชีวภาพสับปะรด	270.50±21.38 ^{ns}	128.50±3.71 ^a	99.23

หมายเหตุ: - ตัวอักษร a b และ c ในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และตัวอักษร ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (mean±SD)

เมื่อนำยางก้อนถ้วยไปทำแห้งพบว่าน้ำหนักแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผลการใช้น้ำหมักชีวภาพจากวัตถุดิบในท้องถิ่นทั้ง 3 ชนิด ได้ปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดในช่วง 125.75-129.00 กรัมต่อน้ำยางสด 350 กรัม (คิดเป็น 36.0-36.9 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักน้ำยางสด) เมื่อคิดคำนวณในรูปของค่าประสิทธิภาพการจับของยางเทียบกับปริมาณ DRC เริ่มต้น 37 เปอร์เซ็นต์ พบว่าผลการใช้น้ำหมักชีวภาพจากวัตถุดิบในท้องถิ่นทั้ง 3 ชนิด ให้ค่าประสิทธิภาพการจับของยางสูงสุด 95.56-99.61 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับผลการใช้กรดซัลฟิวริกมีประสิทธิภาพการจับของยางเพียง 87.64 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 1

1.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารจับตัวยางและเซิร์ม

ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างของสารจับตัวยางแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายกรดซัลฟิวริก 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุด เท่ากับ 0.71 รองลงมาคือค่าความเป็นกรด-ด่างของกรดฟอร์มิก 3 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 1.73 สำหรับกรดอะซิติกและน้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว น้ำหมักชีวภาพกล้วยน้ำว้าสุก น้ำหมักชีวภาพสับปะรดซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ชนิดกรดอ่อน มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นอยู่ในช่วง 2.16-3.18 จากนั้นเมื่อนำไปตกตะกอนยางก้อนถ้วยเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเซิร์มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของเซิร์มจากกรดซัลฟิวริก 3 เปอร์เซ็นต์ ยังคงมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุด เท่ากับ 0.97 รองลงมาคือค่าความเป็นกรด-ด่างของเซิร์มจากน้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว เท่ากับ 4.11 สำหรับเซิร์มของน้ำหมักชีวภาพสับปะรด เซิร์มของน้ำหมักชีวภาพกล้วยน้ำว้าสุก และกรดอะซิติกมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงสูงสุด เท่ากับ 4.97-5.15 ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารจับตัวยางและเซิร์มของน้ำทั้งจากการตกตะกอนยางก้อนถ้วยด้วยกรดและน้ำหมักชีวภาพชนิดต่าง ๆ

T1 = กรดฟอร์มิก T2 = กรดอะซิติก T3 = กรดซัลฟิวริก T4 = น้ำหมักเปลือกมะนาว

T5 = น้ำหมักกล้วยน้ำว้า และ T6 = น้ำหมักสับปะรด

หมายเหตุ: - ตัวอักษร a b และ f ในแต่ละชุดของกราฟแบ่งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. ผลการแช่ใบเงาะ เปลือกเงาะ และใบชะมวงในน้ำหมักชีวภาพต่อประสิทธิภาพการจับตัวของยางก้อนถ้วย

2.1 ระยะเวลาการจับตัวของยางก้อนถ้วย

ผลการทดสอบระยะเวลาในการจับตัวของยางก้อนถ้วย โดยใช้สารจับตัวยางชนิดต่าง ๆ จำนวน 6 ชนิด คือ กรดฟอร์มิก 3 เปอร์เซ็นต์ กรดอะซิติก 3 เปอร์เซ็นต์ กรดซัลฟิวริก 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวแช่ใบเงาะ น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวแช่เปลือกเงาะ และน้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวแช่ใบชะมวง เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาเฉลี่ยในการจับตัวของยางก้อนถ้วยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยชุดการทดลองที่ใช้ น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวแช่เปลือกเงาะมีระยะเวลาเฉลี่ยในการจับตัวของน้ำยางเร็วที่สุดเท่ากับ 35.50 นาที เร็วกว่าชุดการทดลองที่ใช้กรดซัลฟิวริกซึ่งมีค่าระยะเวลาในการจับตัวของน้ำยางเฉลี่ย เท่ากับ 40.75 นาที (ตารางที่ 2) รองลงมาคือกรดฟอร์มิก น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวแช่ใบชะมวง น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวแช่ใบเงาะ และกรดอะซิติก มีระยะเวลาในการจับตัวของน้ำยางเฉลี่ย เท่ากับ 43.50 176.75 458.75 และ 462.50 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลของกรดและน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะนาวที่แช่ใบเงาะ เปลือกเงาะ และใบชะมวงต่อระยะเวลาการจับตัวของยางก้อนถ้วย

ชนิดของสารจับตัวน้ำยาง	ระยะเวลาการจับตัว (นาที)
กรดฟอร์มิก	43.50±0.57 ^c
กรดอะซิติก	462.50±0.57 ^f
กรดซัลฟิวริก	40.75±0.50 ^b
น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว+ใบเงาะ	458.75±0.57 ^e
น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว+เปลือกเงาะ	35.50±0.57 ^a
น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว+ใบชะมวง	176.75±0.50 ^d

หมายเหตุ: - ตัวอักษร a b และ f ในตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (mean±SD)

2.2 ประสิทธิภาพของการจับตัวของยางก้อนถ้วย

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการจับตัวของยางก้อนถ้วยโดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะนาวแช่ใบเงาะ เปลือกเงาะ และใบชะมวง พบว่ายางก้อนถ้วยมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำหนัสดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนัสดของยางก้อนถ้วยที่จับตัวด้วยกรดอะซิติก น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวที่แช่เปลือกและใบของเงาะ มีค่าสูงสุด ในช่วง 264-271 กรัมต่อน้ำยางสด 350 กรัม (คิดเป็น 75.4-77.4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักน้ำยางสด) ดังแสดงในตารางที่ 3 และเมื่อนำยางก้อนถ้วยไปทำแห้งพบว่าน้ำหนักแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผลการใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะนาวที่แช่เปลือกและใบของเงาะได้ปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดในช่วง 124-130 กรัมต่อน้ำยางสด 350 กรัม (คิดเป็น 35.4-37.0 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักน้ำยางสด) เมื่อคิดคำนวณในรูปของค่าประสิทธิภาพการจับของยางเทียบกับปริมาณ

DRC เริ่มต้น 37 เปอร์เซ็นต์ พบว่าผลการใช้น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวที่แช่ใบและเปลือกของเงาะ ให้ค่าประสิทธิภาพการจับตัวของยางสูงสุด 96.95 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลการใช้สารจับตัวของชนิดอื่น ๆ มีประสิทธิภาพการจับของยางเพียง 91.31-92.66 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 3 นอกจากนี้เมื่อนำตัวอย่างยางก้อนถ้วยที่ได้หลังจากการทาน้ำหนักแห้งมาทดสอบคุณสมบัติของยางก้อนถ้วยเบื้องต้น พบว่ายางก้อนถ้วยที่ผ่านการจับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพมีคุณภาพด้านสีที่ไม่คล้ำมากซึ่งใกล้เคียงกับผลการใช้กรดฟอร์มิก และมีกลิ่นที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับผลการใช้กรดทางการค้าที่เกษตรกรนิยมใช้คือกรดซัลฟิวริกซึ่งจะให้ยางก้อนถ้วยที่มีสีคล้ำกว่า (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ลักษณะปรากฏด้านสีของยางก้อนถ้วย

(ก) กรดซัลฟิวริก (ข) กรดอะซิติก (ค) น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว

ตารางที่ 3 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และประสิทธิภาพการจับของยางก้อนถ้วยที่ใช้กรดและน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะนาวที่แช่ใบเงาะ เปลือกเงาะ และใบชะมวง

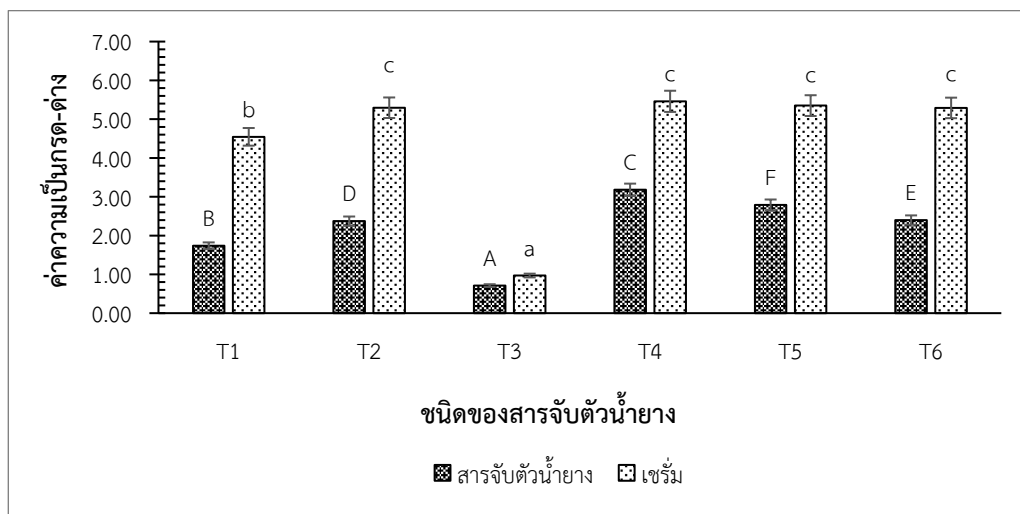
ชนิดของ สารจับตัวของยาง	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ประสิทธิภาพ การจับตัวของยาง (เปอร์เซ็นต์)
กรดฟอร์มิก	256.50±2.64 ^b	120.00±0.81 ^b	92.66
กรดอะซิติก	271.25±9.17 ^a	120.00±3.55 ^b	92.66
กรดซัลฟิวริก	231.50±7.14 ^c	120.00±1.41 ^b	92.66
น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวแช่ใบเงาะ	268.75±1.89 ^a	124.25±1.70 ^{ab}	95.95
น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวแช่เปลือกเงาะ	264.25±2.98 ^{ab}	129.50±1.73 ^a	100.00
น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวแช่ใบชะมวง	257.75±6.70 ^b	118.25±10.75 ^b	91.31

หมายเหตุ: - ตัวอักษร a b และ c ในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (mean±SD)

2.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารจับตัวของยางและเชอร์รี่

ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างของสารจับตัวของยางแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะนาวที่แช่ใบเงาะ เปลือกเงาะ และใบชะมวง มีค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง 2.40-3.18 ซึ่งสูงกว่า

ค่าความเป็นกรด-ด่างของกรดซัลฟิวริก (ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 0.01) และกรดฟอร์มิก (ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 1.73) เมื่อนำไปตกตะกอนอย่างก้นถ้วยเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของเซรุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของเซรุ่มจากผลการใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะนาวที่แช่ใบเงาะ เปลือกเงาะ และใบชะมวงมีค่าความเป็นกรดต่ำสุดและไม่แตกต่างทางสถิติกับผลการใช้กรดอะซิติกเป็นสารจับตัว คือ มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.29-5.46 ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารจับตัวยางและเซรุ่มของยางก้นถ้วยที่ใช้กรดและน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะนาวที่แช่ใบเงาะ เปลือกเงาะ และใบชะมวง

T1 = กรดฟอร์มิก T2 = กรดอะซิติก T3 = กรดซัลฟิวริก T4 = น้ำหมักเปลือกมะนาว+ใบเงาะ

T5 = น้ำหมักเปลือกมะนาว+ใบเงาะ และ T6 = น้ำหมักเปลือกมะนาว+ใบชะมวง

หมายเหตุ: - ตัวอักษร a b และ f ในแต่ละชุดของกราฟแท่งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลของกรดและน้ำหมักชีวภาพต่อประสิทธิภาพการจับตัวของยางก้นถ้วย

จากการทดลองพบว่าผลการใช้กรดซัลฟิวริกมีระยะเวลาการจับตัวของน้ำยางเร็วที่สุด เนื่องจากกรดซัลฟิวริกมีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ H_2SO_4 เป็นกรดอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นกรดแก่ คือแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ได้มาก แต่อย่างไรก็ตามยางก้นถ้วยที่ได้มีคุณภาพต่ำ (ปริดีเปรม, 2558) เป็นอันตรายต่อเกษตรกร ดันยางพารา และสิ่งแวดล้อม (Dinesh Fernando and Kaluarachchi, 2012; Tekasakul and Tekasakul, 2006) ส่วนกรดฟอร์มิกเป็นกรดอีกชนิดหนึ่งที่จับตัวเนื้อยางได้อย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับการกรดซัลฟิวริกซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ อีกทั้งไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและไม่ตกค้างในยาง และมีความปลอดภัยค่อนข้างสูง แต่อย่างไรก็ตามราคาค่อนข้างแพง (ปริดีเปรม, 2558) ส่วนผลการใช้กรดอะซิติกและน้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว น้ำหมักชีวภาพกล้วยน้ำว้าสุก น้ำหมักชีวภาพสับปะรดซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือกรดอะซิติกซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ชนิดอ่อนที่แตกตัวให้

ไฮโดรเจนไอออนได้น้อยกว่า จึงส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาในการจับตัวที่นานกว่าการใช้กรดซัลฟิวริก 10 เท่า แต่อย่างไรก็ตามผลจากการทดลองในภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว มีแนวโน้มในการลดระยะเวลาในการจับตัวของยางก้อนถ้วยเร็วกว่ากรดอะซิติกถึง 2 เท่า ทั้งนี้เนื่องจาก น้ำหมักชีวภาพมีกรดอินทรีย์ที่เกิดจากการสร้างของจุลินทรีย์ เช่น กรดแล็กติก และกรดอะซิติก (เบญจวรรณ และอรทัย, 2555) นอกจากนี้ในพืชตระกูลส้ม ได้แก่ มะนาว มีกรดซิตริกเป็นส่วนประกอบหลักถึง 7-9 เปอร์เซ็นต์ (ภัสจันท์ และคณะ, 2552) ซึ่งกรดดังกล่าวมีส่วนช่วยในการจับตัวของยางได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังให้ค่าประสิทธิภาพการจับของยางสูงถึง 95.56 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 125.75 ± 2.75 กรัมต่อน้ำยางสด 350 กรัม โดยไม่แตกต่างทางสถิติกับผลการใช้น้ำหมักชีวภาพจากกล้วยน้ำว้าสุกที่ให้ค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 129.00 ± 1.41 กรัมต่อน้ำยางสด 350 กรัม (ตารางที่ 1)

2. ผลการแช่ใบเงาะ เปลือกเงาะ และใบชะมวงในน้ำหมักชีวภาพต่อประสิทธิภาพการจับตัวของยางก้อนถ้วย

ผลของการใช้น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวเพียงอย่างเดียวต้องใช้ระยะเวลาในการจับตัวของยางก้อนถ้วยนาน 235 นาที แต่เมื่อนำน้ำหมักชีวภาพมาแช่เปลือกเงาะเป็นระยะเวลา 14 วัน ก่อนนำไปใช้พบว่าระยะเวลาการจับตัวของน้ำยางเร็วขึ้น 7 เท่า (35 นาที) ทั้งนี้เนื่องจากสารกลุ่มเพคตินที่เป็นองค์ประกอบหลักในเปลือกผลไม้ (Cheok *et al.*, 2018) ซึ่งพบได้ทั้งในเปลือกมะนาว (Shaha *et al.*, 2013) และเปลือกเงาะ (Mahmood *et al.*, 2018) โดยเฉพาะในเปลือกเงาะมีรายงานพบสารกลุ่มเพคติน 1.05-1.89 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักสด (Normah and Hasnah, 2000) สารเพคตินในผลไม้เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิก (galacturonic acid) และเมื่อสกัดด้วยชนิดของกรดและความเข้มข้นที่เหมาะสมก็จะละลายมากับน้ำ (Kaya *et al.*, 2014; Yeoh *et al.*, 2008) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสกัดด้วยกรดซิตริก (Pereira *et al.*, 2016) ดังนั้นการแช่เปลือกเงาะที่มีสารเพคตินสูงในน้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวซึ่งมีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบจะทำให้เกิดการละลายและปลดปล่อยกรดกรดกาแล็กทูโรนิกออกมาภายนอกเซลล์จึงส่งผลให้น้ำยางสามารถจับตัวได้เร็วขึ้น

ผลจากการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งจากการตกตะกอนยาง ดังแสดงในภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวเป็นสารจับตัวยางจะปล่อยน้ำทิ้งที่มีระดับค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีพิษต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าผลการใช้กรดซัลฟิวริกและกรดฟอสฟอริก (Tekasakul and Tekasakul, 2006) และยังมีข้อดี คือ สลายตัวง่ายและมีความปลอดภัยสูง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสารสกัดเปลือกมะนาวและสารแทนนินจากเปลือกเงาะมีสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราหลายสายพันธุ์ได้ดี (ภัสจันท์ และคณะ, 2552; Chutia *et al.*, 2009) ซึ่งจะส่งผลดีต่อการเก็บรักษา

ผลจากการใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นสารจับตัวยางจากการทดลองนี้นอกจากมีประสิทธิภาพการจับตัวของยางสูงแล้ว ยังทำให้ยางก้อนถ้วยที่ได้มีคุณภาพของสีไม่คล้ำมาก ไม่มีไอรกทำลายหน้ายาง (ปริดีเปรม, 2558) และไม่เป็นอันตรายต่อเกษตรกร (Dinesh Fernando and Kaluarachchi, 2012) ช่วยลดต้นทุนการผลิตและหันมาพึ่งตนได้มากขึ้น เนื่องจากเกษตรกรต้องการมีรายได้เพิ่มปัจจุบันความต้องการทำวนเกษตรในสวนยางพาราเชิงเดี่ยวหลังเปิดกรีดของเกษตรกรส่วนใหญ่อยู่ในระดับ

สูงมาก (ศรีณญัส และคณะ, 2563) ดังนั้นการใช้น้ำหมักชีวภาพในการตกตะกอนอย่างกอนถ้วยเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างความยั่งยืนในการทำอาชีพวนเกษตรในสวนยางพาราได้

สรุปผลการวิจัย

การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าผลการใช้กรดซัลฟิวริกและกรดฟอร์มิค 3 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเป็นสารจับตัวอย่างกอนถ้วยใช้ระยะเวลาจับตัวเพียง 33-40 นาที ในขณะที่ผลการใช้น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาว น้ำหมักชีวภาพกล้วยน้ำว้าสุก และน้ำหมักชีวภาพสับปะรด ต้องใช้ระยะเวลาในการจับตัวอย่างสมบูรณ์นานสุด 467 นาที หรือช้ากว่าประมาณ 14 เท่า แต่ให้ค่าประสิทธิภาพในการจับตัวอย่างและน้ำหนักแห้งที่สูงกว่าการใช้กรดทางการค้า และเมื่อนำน้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวซึ่งใช้ระยะเวลาในการจับตัวอย่างสมบูรณ์เพียง 235 นาที มาเสริมประสิทธิภาพเพิ่มเติมโดยการนำเปลือกเงาะมาแช่ พบว่าสามารถเร่งระยะเวลาจับตัวของน้ำยางพาราสดในระหว่างการผลิตอย่างกอนถ้วยได้เทียบเท่ากับผลการใช้กรดซัลฟิวริกและกรดฟอร์มิคซึ่งเป็นกรดที่นิยมใช้กันทั่วไป และพบว่าประสิทธิภาพการจับตัวของยางในผลิตภัณฑ์อย่างกอนถ้วยโดยใช้น้ำหมักชีวภาพเปลือกมะนาวแช่เปลือกเงาะให้ประสิทธิภาพสูงสุดสามารถเก็บเกี่ยวเนื้อยางได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยคุณภาพโดยรวมของยางกอนถ้วย ได้แก่ สีและกลิ่น มีแนวโน้มดีกว่าผลการใช้กรดซัลฟิวริก นอกจากนี้ขี้เถ้าหรือน้ำทิ้งยังมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีความเป็นกรดต่ำกว่าน้ำทิ้งที่เกิดจากการจับตัวด้วยกรดซัลฟิวริก ช่วยลดอาการหน้ายางตายนิ่งและสภาพความเป็นกรดของดินในบริเวณสวนยางซึ่งส่งผลให้ต้นยางเสื่อมโทรม อีกทั้งการใช้น้ำหมักชีวภาพยังช่วยลดต้นทุนการผลิตและลดอาการระคายเคืองที่มีมือหรือบริเวณสัมผัสของเกษตรกรผู้ใช้

ข้อเสนอแนะ

การจับตัวน้ำยางสดด้วยน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ในท้องถิ่นในการทดลองนี้ใช้ระยะเวลาจับตัวเร็ว และยางกอนถ้วยมีสมบัติใกล้เคียงกับการใช้กรดฟอร์มิค ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้แทนกรดฟอร์มิคที่มีราคาสูงได้ดี และช่วยให้เกษตรกรหลีกเลี่ยงการใช้กรดซัลฟิวริก เนื่องจากมีผลกระทบต่อคุณภาพของยางกอนถ้วย สุขภาพของเกษตรกรและสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวัสดุ เครื่องมือ และห้องปฏิบัติการจากหลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ประจำปีการศึกษา 2563

เอกสารอ้างอิง

- กองการยาง. (2563). *สถิติยางประเทศไทย*. สืบค้นเมื่อ 12 สิงหาคม 2564, จาก: <https://www.doa.go.th/rc/suratthani/wp>.
- จันจิรา พวงทอง และอริวิทย์ แดงนิษฐ์. (2563). สถานการณ์ยางพาราปี 2562 และแนวโน้มปี 2563. *วารสารยางพารา ฉบับอิเล็กทรอนิกส์*, 41, 6-39.

- ชัยวุฒิ วัดจ้ง เสาวลักษณ์ บุญยอด และประสิทธิ์ กาญจนนา. (2561). การใช้ประโยชน์น้ำทิ้งจากการจับตัวแผ่นยางดิบสำหรับการผลิตยางก้อนถ้วย. *Science and Technology RMUTT Journal*, 8(2), 31-34.
- ณัชชาธิ์ ทวีหิรัญรัฐกิจ เปรมกมล ปิยะทัต และสุมาลี จิระจรัส. (2561). ความสัมพันธ์ของปัจจัยส่วนบุคคลที่ส่งผลต่อสภาพการผลิตยางก้อนถ้วยของสมาชิกสหกรณ์การเกษตรปฏิรูปที่ดินท่าแซะ จำกัด อำเภوتاฉาง จังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารวิทยาการจัดการ*, 5(2), 205-231.
- เบญจวรรณ คำศรี และอรทัย ขวาลภาฤทธิ์. (2555). การผลิตน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ตะกอนสลัดจ์เป็นวัสดุหมักรวม. ใน *การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9* (หน้า 461-467). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปรีดีเปรม ทัศนกุล. (2558). หยุดการใช้กรดซัลฟิวริกในการจับตัวยาง. *วารสารยางพารา*, 36(3), 14-18.
- ปรีดีเปรม ทัศนกุล. (2563). สมบัติพื้นฐานของน้ำยางสดและยางแผ่นรมควันที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ประกอบการ. *วารสารยางพารา ฉบับอิเล็กทรอนิกส์*, 41, 40-46.
- พัชรี หล่งหมาน จิรนนท์ กล่อมมนรา แก้วรักษา และจาตุรนต์ ทิพย์วงศ์. (2560). การประยุกต์ใช้สถิติเพื่อการออกแบบสภาวะที่เหมาะสมในการหมักกรดอินทรีย์จากผลตะลิงปลิงโดย *Zygosaccharomyces rouxii* TISTR 5044 สำหรับทำยางก้อนถ้วย. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 22(3), 581-595.
- ภัสจันท์ หิรัญ อรพิน เกิดชูชื่น และณัฐฐา เลาหลกุลจิตต์. (2552). ประสิทธิภาพของสารสกัดจากมะนาว มะกรูดและส้มโอในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 40(2 พิเศษ), 91-94.
- ไมชาตุลอักมัล ท่าตะ อรวรรณ ทิพย์มณี และอาอีเซาะส์ เบ็ญหาวัน. (2560). การรักษาสภาพน้ำยางด้วยน้ำซึ่เถาและการจับตัวของน้ำยางด้วยน้ำมะพร้าวหมัก. ใน *รายงานการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ และสังคมศาสตร์: ราชภัฏวิชาการ. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช* (หน้า 212-217). นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
- สถาบันวิจัยยาง. (2536). *น้ำยาง*. สืบค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2561, จาก: http://pnnpandbest.com/rubber/pnp_book04.html.
- สายสมร ล้าลอง และสมนภา คำนัน. (2557). การใช้หมักชีวภาพเปลือกสับปะรดผสมใบเตยเป็นสารจับตัวยางธรรมชาติ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 16(2), 55-62.
- สำนักงานตลาดกลางยางพาราหนองคาย. (2559). *ยางก้อนถ้วย*. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2563, จาก: <https://goo.gl/NGFoNP>.
- สุจินต์ แมนเหมือน. (2556). อนาคตยางพารากับประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน. *วารสารยางพารา*, 34(1), 7-16.
- ศรีณญภัส รักศิลป์ เชิดศักดิ์ เกื้อรักษ์ และรวันต์ อินทศิริสวัสดิ์. (2563). ความต้องการการทำวนเกษตรในสวนยางพาราเชิงเดี่ยวหลังเปิดกรีดของเกษตรกรพื้นที่ต้นน้ำ คลองป่าพะยอม-คลองท่าแนะ จังหวัดพัทลุง. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 39(2), 72-86.

- อมรเดช พุทธิพิพัฒน์ขจร และอมรฤทธิ์ พุทธิพิพัฒน์ขจร. (2561). การหาปริมาณเนื้อยางแห้งของ ยางก้อนถ้วยด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 26(4), 694-704.
- Cheok, C.Y., Adzahan, N.M., Rahman, R.A., Zainal Abedin, N.H., Hussain, N., Sulaiman, R. and Chong, G.H. (2018). Current trends of tropical fruit waste utilization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(3), 335-361.
- Chutia, M., Deka, P., Pathak, M.G. and Sarma, T.C. (2009). Antifungal activity and chemical composition of *Citrus reticulata* Blanco essential oil against phytopathogens from North East India. *LWT- Food Science and Technology*, 42(3), 777-780.
- Dinesh Fernando, M.G. and Kaluarachchi, C.I. (2012). Death due to adult respiratory distress syndrome following assault with rubber acid could it have been averted. *Sri Lanka Journal of Forensic Medicine. Science and Law*, 3(1), 13-15.
- Kaya, M., Sousa, A.G., Cr peau, M.J., S rensen, S.O. and Ralet M.C. (2014). Characterization of citrus pectin samples extracted under different conditions: influence of acid type and pH of extraction. *Annals of Botany*, 114(6), 1319-1326.
- Mahmood, K., Fazilah, A., Yang, T.A., Sulaiman, S. and Kamilah, H. (2018). Valorization of rambutan (*Nephelium lappaceum*) by-products: Food and non-food perspectives. *International Food Research Journal*, 25(3), 890-902.
- Normah, O. and Hasnah, K.A.K. (2000). Pectin content of selected local fruit by-products. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 28(2), 195-201.
- Pereira, P.H.F., Oliveira, T  S., Rosa, M.F., Cavalcante, F.L., Moates, G.K., Wellner, N., Waldron, K.W. and Azeredo, H.M.C. (2016). Pectin extraction from pomegranate peels with citric acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 88, 373-379.
- Shaha, R.K., Nayagi, Y., Punichelvana, A.P. and Afandi, A. (2013). Optimized extraction condition and characterization of pectin from Kaffir Lime (*Citrus hystrix*). *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 1(2), 1-11.
- Tekasakul, P. and Tekasakul, S. (2006). Environmental problems related to natural rubber production in Thailand. *Journal Aerosol Research*, 21(2), 122-129.
- Yeoh S., Shi, J., T.A.G. and Langrish, T.A.G. (2008). Comparisons between different techniques for water-based extraction of pectin from orange peels. *Desalination*, 218(1-3), 229-237.

สภาวะการผลิตวุ้นสวรรค์จากไซรัปกล้วยน้ำว้า

โดย *Acetobacter* sp. TISTR 1014

The Production Conditions of Nata from Banana Syrup

by *Acetobacter* sp. TISTR 1014

อดิศรา ตันตสุทธิกุล^{1*}

Adisara Tantasuttikul^{1*}

บทคัดย่อ

กล้วย (*Musa sapientum* L.) มีผลผลิตเป็นจำนวนมากในประเทศไทย กล้วยในระยะสุกงอมเนื้อมีลักษณะนิ่ม และจะเริ่มเน่าเสียภายใน 2-3 วัน ซึ่งกล้วยในระยะนี้มีปริมาณน้ำตาลสูง จึงได้มีการใช้ประโยชน์มาผลิตเป็นไซรัปกล้วย นอกจากนี้มีต่อยอดไซรัปมาผลิตเชลลูโลส หรือวุ้นสวรรค์ โดยใช้เชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (11 18 และ 26 องศาบริกซ์ (°Brix) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญและสร้างเส้นใยของเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในไซรัปกล้วยที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 คือ 11 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 4.2 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และระดับความเข้มข้นของหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ภายหลังการหมัก 7 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถผลิตเชลลูโลสได้ปริมาณสูงสุด มีความหนา 1.13 ± 0.15 เซนติเมตร ค่าสี $L^* 52.16 \pm 0.02$ ค่าสี $a^* -3.16 \pm 0.05$ ค่าสี $b^* 0.42 \pm 0.29$ การทนต่อการเคี้ยว (chewiness) ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 องศาบริกซ์ สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การใช้ประโยชน์จากไซรัปกล้วยน้ำว้าเพื่อการผลิตวุ้นสวรรค์ สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร เช่น ขนมหวาน โยเกิร์ต และไอศกรีม เป็นต้น จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้แก่กล้วยในระยะสุกงอม

คำสำคัญ: *Acetobacter* sp. ไซรัปกล้วย วุ้นสวรรค์ กล้วยน้ำว้า เชลลูโลส

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

* Corresponding author e-mail: adisara.ta@skru.ac.th

Received: 7 October 2021, Revised: 20 December 2021, Accepted: 20 December 2021

Abstract

Bananas (*Musa sapientum* L.) are very productive in Thailand. In the ripening period of bananas, the flesh is soft and will begin to rot within 2-3 days. In this period, the sugar content in the banana is very high; therefore, the overripe banana is utilized to produce banana syrup. In addition, the utilization of syrup extends to produce cellulose or Nata by *Acetobacter* sp. TISTR 1014. This research studied total dissolved solids (11, 18, and 26 °Brix) that affected microbial growth and cellulose production. The results found that the growth conditions of *Acetobacter* sp. TISTR 1014 was 11 °Brix under pH 4.2, ammonium sulfate 0.5% (m/v) and the concentration of the initial inoculum was 10% (v/v). The fermentation period was 7 days at 30°C, which is the highest quality of cellulose production. The thickness was 1.13 ± 0.15 cm. L^* was 52.16 ± 0.02 , a^* was -3.16 ± 0.05 and b^* was 0.42 ± 0.29 . The chewiness of total dissolved solids at 11 °Brix was highest significantly ($p \leq 0.05$). Therefore, the utilization of syrup extends to produce cellulose. Cellulose can be used as an ingredient in many kinds of food such as dessert, yogurt, and ice cream, which is an alternative to add value to the overripe bananas.

Keywords: *Acetobacter* sp., Banana syrup, Bacteria cellulose, Namwah Banana, Cellulose

บทนำ

กล้วย (*Musa sapientum* L.) เป็นพืชเมืองร้อนที่ปลูกมากทุกพื้นที่ในประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกกล้วยทั้งหมด 481,639 ไร่ กล้วยที่นิยมบริโภค เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยหอม และกล้วยเล็บมือนาง เป็นต้น กล้วยน้ำว้ามีพื้นที่ปลูกมากที่สุด 328,456 ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2563) และให้ผลผลิตเป็นจำนวนมากตลอดปี จากผลผลิตที่มากทำให้เกิดปัญหาสภาวะกล้วยล้นตลาด เนื่องจากกล้วยเป็นผลไม้ประเภทผลไม้บ่มได้ (climacteric fruit) หลังการเก็บเกี่ยวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรวดเร็ว การผลิตเอทิลีน (ethylene) เพิ่มขึ้น อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ทำให้สุกอย่างรวดเร็ว เกิดการเน่าเสียและเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก (ภูมิพงษ์ และคณะ 2563) ดังนั้นจึงได้นำกล้วยน้ำว้าในระยะสุกงอมมาใช้ประโยชน์ พบว่ากล้วยในระยะสุกงอม (เปลือกสีเหลืองมีจุดกระสีน้ำตาล) ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 2.6 น้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 33.6 และซูโครสร้อยละ 53.2 เป็นต้น (Trisnaputri *et al.*, 2018) เมื่อสัมผัสลม เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น สารประกอบเพกทิน (pectin) โมเลกุลของแป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาล มีอัตราส่วนของน้ำตาลและกรดเพิ่มขึ้น (ภูมิพงษ์ และคณะ 2563) จึงได้นำกล้วยน้ำว้าระยะสุกงอมมาผลิตเป็นไซรัปจากกล้วยน้ำว้าหรือน้ำกล้วยเข้มข้นที่ผ่านการหมักด้วยเอนไซม์ ทำให้เกิดการย่อยแป้งเป็นน้ำตาล น้ำตาลที่ได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น น้ำตาลฟรุกโตส และกลูโคส เป็นต้น ไซรัปที่ได้มีลักษณะเหลวใส มีกลิ่นรสกล้วย สามารถเก็บรักษาได้นาน เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลสูงไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 (จิตรรัตน์, 2559; Trisnaputri

et al., 2018) นอกจากการผลิตเป็นไซรัปกล้วยแล้ว นักวิจัยได้นำไซรัปมาใช้ประโยชน์ในการผลิต วุ้นสวรรค์หรือเซลลูโลสจากแบคทีเรีย (bacterial cellulose) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหมัก ของแบคทีเรีย แบคทีเรียที่นิยมในการนำมาผลิตวุ้นสวรรค์ คือ *Acetobacter xylinum* สามารถ เจริญได้ในสภาวะที่มีน้ำตาลสูง อีกทั้งสามารถผลิตเซลลูโลสได้ดี เซลลูโลสที่สร้างขึ้นประกอบด้วย พอลิแซ็กคาไรด์ที่ต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-glycosidic bond ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนัง เซลล์พืช การผลิตวุ้นสวรรค์จำหน่ายในประเทศราคาขายส่งแผ่นวุ้นที่ยังไม่ได้แปรรูป ราคาอยู่ที่ กิโลกรัมละ 15-25 บาท (ปราโมทย์, 2546) เซลลูโลสที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทาง การแพทย์ ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์บำบัดน้ำเสีย และผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นต้น (วิจิตร และ คณะ 2555; จุฬาลักษณ์, 2559) นอกจากนี้การประยุกต์ใช้เซลลูโลสในอาหาร เช่น การประยุกต์ ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด หรือเป็นองค์ประกอบในอาหาร ซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหาร โดยนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม หรือโยเกิร์ต เป็นต้น (Raghunathan, 2013) ดังนั้นการนำไซรัป กล้วยน้ำว้าที่ได้จากกล้วยในระยะสุกงอมมาใช้ประโยชน์ และต่อยอดเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์วุ้นสวรรค์ เป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่กล้วยน้ำว้า เกิดความหลากหลายและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมหัวเชื้อ

นำน้ำมะพร้าวปริมาตร 300 มิลลิลิตร ผสมด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต ร้อยละ 0.5 โดย น้ำหนักต่อปริมาตร ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ให้ความร้อนโดยการต้ม เติมน้ำตาลซูโครส ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็น 22 องศาบริกซ์ ($^{\circ}$ Brix) ตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที ทำการปรับความเป็น กรด-ด่าง (pH) ด้วยกรดอะซิติกให้ได้ 4.2 แบ่งใส่ขวดรูปชมพู่ขวดละ 100 มิลลิลิตร ปิดปากขวดด้วย จุกสำลีและฟรอยล์ นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส 15 นาที เมื่ออาหารเย็นตัวลงใส่เชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 (จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย) ร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร เข้าเครื่องเขย่าและบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3-5 วัน (ดัดแปลง จาก Jagannath *et al.*, 2008)

2. การศึกษาลักษณะของไซรัปกล้วยน้ำว้า

ไซรัปที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นการต่อยอดการผลิตไซรัปจากงานวิจัยของกมลทิพย์ (2564) โดยนำกล้วยน้ำว้าที่สุกเต็มที่ระยะสุกงอมมาบดละเอียด ปรับให้ได้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นเติมเอนไซม์อะไมเลสและเพคตินเอสร้อยละ 0.10 นาน 4 ชั่วโมง นำมา คั้นแยกส่วนใส ซึ่งเรียกว่า ไซรัปกล้วย นำไซรัปกล้วยที่ผลิตได้มาศึกษาคุณสมบัติของไซรัปกล้วยโดย การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังหมัก

3. การเตรียมวุ้นสวรรค์จากไซรัปกล้วยน้ำว้า

นำน้ำไซรัปกล้วยน้ำว้า ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้น 26 องศาบริกซ์ ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาณของแข็งที่ละลายเป็น 11 18 และ 26 องศาบริกซ์ ด้วย น้ำมะพร้าว เติมแอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้ได้ 4.2 นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ใส่ภาชนะที่เตรียมไว้

รอให้เย็นใส่หัวเชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 ร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร หมักไว้ 5-7 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจากจินตนา และคณะ, 2560)

4. การศึกษาลักษณะของแผ่นวุ้นสวรรค์

หลังจากการหมักไซร้กล้วยเป็นเวลา 7 วัน นำแผ่นวุ้นที่ได้มาทำการล้างผ่านน้ำ และนำไปต้มเพื่อไล่กลิ่นกรด จากนั้นนำไปแช่ในน้ำและเก็บในตู้เย็นเพื่อนำไปแปรรูปและวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของวุ้นสวรรค์ สังเกตลักษณะที่ปรากฏ และการวัดความหนาของแผ่นวุ้นสวรรค์ โดยทำการวัด 3 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย การตรวจสอบความนุ่มเหนียวของวุ้นสวรรค์โดยการทดสอบการทนเคี้ยวของชิ้นวุ้น (chewiness) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer, TA.XT2i) ใช้หัววัด 4 มิลลิเมตร Cylinder probe (P/4) โดยทำการวัด 5 จุดแล้วหาค่าเฉลี่ย วิเคราะห์ค่าสีระบบ CIE (L^* a^* b^*) ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab (color flex) นำแผ่นวุ้นสวรรค์ตัดชิ้น ทำการวัดค่าสีตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design: CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 23

ผลการวิจัย

1. การศึกษาลักษณะของไซร้กล้วยน้ำว่า

จากงานวิจัยของกมลทิพย์ (2564) ผลิตไซร้กล้วยน้ำว่าซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกล้วยในระยะสุกงอมมาผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสและเพคตินเอส เพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยแป้งและสารประกอบเพคติน จึงทำให้ได้ไซร้ที่มีสีน้ำตาลและใส ปริมาณน้ำตาลสูงขึ้น เมื่อตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 25 องศาบริกซ์ มีความเป็นกรดต่างประมาณ 6-7

หลังจากนั้นนำมาปรับค่าความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 4.2 และปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่ระดับ 11 18 และ 26 องศาบริกซ์ ทำการหมักไซร้กล้วยน้ำว่าที่ได้กับเชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน มีความเป็นกรดต่าง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเป็นกรดต่างของไซร้กล้วยน้ำว่าที่ระดับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่าง ๆ หลังจากการหมักเป็นเวลา 7 วัน

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)
11	3.21±0.01 ^b
18	3.16±0.00 ^c
26	3.36±0.00 ^a

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ตัวอย่าง

- ตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. การศึกษาลักษณะของแผ่นวันสวรรค

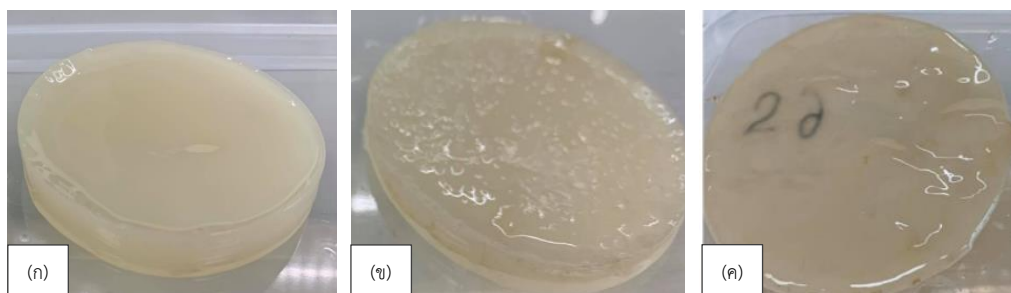
จากการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 11 18 และ 26 องศาบริกซ์ เติมน้ำส้มสายชูเพื่อปรับ pH ให้เป็น 4.2 ซึ่งหมักไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพ พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีผลต่อการสร้างแผ่นวันของเชื้อจุลินทรีย์ ความหนาจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง เชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 เจริญได้ดีที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 องศาบริกซ์ มีความหนา 1.13 ± 0.15 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 18 และ 26 องศาบริกซ์ โดยมีความหนาอยู่ที่ 0.67 ± 0.06 และ 0.53 ± 0.06 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 1

ตารางที่ 2 ความหนาของวันสวรรคหลังจากการหมักเป็นเวลา 7 วัน

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ความหนา (เซนติเมตร)
11	1.13 ± 0.15^a
18	0.67 ± 0.06^b
26	0.53 ± 0.06^b

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ตัวอย่าง

- ตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 1 วันสวรรคจากไซร้กล้วยที่ระดับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่าง ๆ หลังจากการหมักเป็นเวลา 7 วัน (ก) 11 องศาบริกซ์ (ข) 18 องศาบริกซ์ (ค) 26 องศาบริกซ์

หลังจากการเป็นเวลา 7 วัน นำวันที่ได้มาวัดค่าสี พบว่าเมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ค่า L^* ก็จะมีค่าลดลง โดยวันที่หมักที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 องศาบริกซ์ มีค่า L^* มากที่สุด มีค่า a^* ที่ไม่แตกต่างกันกับที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 18 และ 26 องศาบริกซ์ และค่า b^* เท่ากับ 0.42 ± 0.29 แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสีของวุ้นสวรงค์จากไซรัปกล้วยที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้แตกต่างกัน ที่หมักเป็นเวลา 7 วัน

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
11	52.16±0.02 ^a	-3.16±0.05 ^a	0.42±0.29 ^b
18	48.23±0.05 ^b	-2.49±0.05 ^a	0.61±0.13 ^a
26	36.56±0.02 ^c	-6.70±8.66 ^a	-2.45±0.07 ^c

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ตัวอย่าง
- ตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการศึกษาการทดสอบวัดค่าการทนต่อการเคี้ยวของวุ้นสวรงค์จากน้ำไซรัปกล้วยน้ำว้า หลังจากการหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่าวุ้นสวรงค์ที่ผลิตได้ที่สภาวะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 องศาบริกซ์ มีค่าการทนต่อการเคี้ยว เท่ากับ 2,148.61±555.90 กรัม เมื่อเทียบกับสภาวะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 18 และ 26 องศาบริกซ์ โดยมีค่าการทนต่อการเคี้ยว เท่ากับ 998.67±56.13 และ 647.88±111.67 กรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าการทนต่อการเคี้ยวของวุ้นสวรงค์ที่ระดับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่าง ๆ ที่หมักเป็นเวลา 7 วัน

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ค่าการทนต่อการเคี้ยว (กรัม)
11	2,148.61±555.90 ^a
18	998.67±56.13 ^b
26	647.88±111.67 ^b

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ตัวอย่าง
- ตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การอภิปรายผลการวิจัย

การผลิตวุ้นสวรงค์จำเป็นต้องปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากเชื้อ *A. xylinum* สามารถสร้างเส้นใยได้ดีที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 10 องศาบริกซ์ และปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (Jagannath *et al.*, 2008) เนื่องจากเป็นแหล่งธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ซึ่งช่วยให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีและทำให้ผลิตภักดิ์สูงขึ้น (จิราภรณ์ และฉัตรชัย, 2557) ในกระบวนการหมักความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการผลิตเซลลูโลสอยู่ในช่วง 4-6 ซึ่งเป็นค่าเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ *A. xylinum* (อนันต์ และคณะ, 2553) แต่ความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.0 ส่งผลให้การผลิตเซลลูโลสลดลง (Raghunathan, 2013) การปรับสภาพของการหมักให้เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ *A. xylinum* จะช่วยลดการปนเปื้อน ในงานวิจัยไซรัปกล้วยน้ำว้ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6-7 ปรับให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.2

และปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 18 และ 26 องศาบริกซ์ หลังจากการหมักเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ซึ่งเกิดจากกระบวนการหมักของเชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 ที่สามารถเจริญได้ดีที่มีกลูโคสซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอน และผลิตเป็น 5-Ketogluconic acid จากกลูโคส ทำให้ความเป็นกรดต่ำลงลงในช่วงการหมัก (ศยามพงษ์, 2560) และมีการผลิตเส้นใยเพิ่มขึ้นขณะการหมัก ผลการทดลองในงานวิจัยสอดคล้องกับการศึกษาของ Jagannath *et al.* (2008) พบว่าแบคทีเรีย *A. xylinum* สามารถเจริญเติบโตได้ดีและสร้างวุ้นที่มีความหนาหนามากที่สุดที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 10 องศาบริกซ์ ซึ่งงานวิจัยนี้มีการใช้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 องศาบริกซ์ มีความหนาของเซลล์มากกว่าที่ 18 และ 26 องศาบริกซ์ วุ้นสวรรค์ที่ได้มีลักษณะเรียบ ใส และเนื้อสัมผัสนุ่มเหนียว แตกต่างลักษณะวุ้นสวรรค์ที่ได้จากการหมักที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 18 และ 26 องศาบริกซ์ พบว่ามีสีเข้มขึ้น (สีน้ำตาลอ่อน) ทำให้ค่า L^* ลดลง การเปลี่ยนแปลงสีที่เข้มขึ้นเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากการกระทำของเอนไซม์ (enzymatic browning) รวมถึงปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ในกระบวนการเตรียมไซรัป อีกทั้งพบว่าการเพิ่มปริมาณการใช้ไซรัปส่งผลให้การสร้างวุ้นลดลง เนื่องจากปริมาณของสารฟีนอลิกที่เป็นองค์ประกอบในกล้วย ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (Cook and Samman, 1996) และพบว่าค่าการทนต่อการเคี้ยวในสภาวะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 11 มีค่ามากกว่าที่ 18 และ 26 ของแข็งที่ละลายได้ 10 องศาบริกซ์ เนื่องจากสภาวะนี้มีความหนาของวุ้นสวรรค์ที่ได้หนากว่าที่สภาวะอื่น ๆ ความหนาของวุ้นสวรรค์มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสในทางกายภาพและทางด้านประสาทสัมผัส ลักษณะเนื้อสัมผัสของวุ้นสวรรค์ที่เป็นที่ต้องการ คือ จะต้องมิลักษณะเหนียว นุ่ม แน่น และเรียบเนียน (Jagannath *et al.*, 2008)

สรุปผลการวิจัย

สภาวะที่ใช้ในการผลิตวุ้นสวรรค์จากไซรัปกล้วยน้ำว้า โดยใช้เชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 องศาบริกซ์ ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.2 ปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และปริมาณหัวเชื้อร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร หมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน มีความหนาของวุ้นสวรรค์ 1.13 ± 0.15 เซนติเมตร เนื้อวุ้นสวรรค์มีสีค่อนข้างขาว เนื้อวุ้นมีลักษณะเหนียว นุ่ม แน่น เรียบเนียน และอุ้มน้ำได้ดี สามารถนำมาแปรรูปใช้ประโยชน์ทางการค้า เช่น นำมาแปรรูปเป็นอาหารหวาน ส่วนผสมในเยลลี่ โยเกิร์ตและไอศกรีม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่สนับสนุนการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. (2563). รายงานพิเศษ : ไชว์กล้วยน้ำว้าพันธุ์ใหม่ 'สุโขทัย1' ให้ผลผลิตสูง-คุณค่าทางโภชนาการชนะเลิศ. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2563, จาก: <https://www.naewna.com/local/469317>.
- กมลทิพย์ นิคมรัตน์. (2564). การพัฒนาเครื่องคั้นน้ำนมผสมไซรัปกล้วยน้ำว้า. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 31* (หน้า 1131-1138). สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- จินตนา พรหมวงษ์ป้อ วนิดา โยคินิตย์ และจุฬาลักษณ์ เมาชีวะกุล. (2560). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการหมักเพื่อผลิตวุ้นด้วย *Acetobacter xylinum* TISTR 975 จากน้ำมะม่วง. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 40(2), 271-282.
- จิราภรณ์ สังข์ผุด และฉัตรชัย สังข์ผุด. (2557). การผลิตเส้นใยเซลลูโลสด้วยน้ำหวานต้นจาก. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 33(2), 60-71.
- จุฬาลักษณ์ เมาชีวะกุล. (2559). การผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสสายพันธุ์ *Acetobacter xylinum* และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. *การเกษตรราชภัฏ*, 15(2), 25-33.
- ปราโมทย์ ธรรมรัตน์. (2546). ประสบการณ์วิจัยพัฒนาวุ้นมะพร้าวและวุ้นสวรรค์ครบวงจร. *ประชาคมวิจัย*. 50, 7-9.
- ธิดารัตน์ เทพรรัตน์. (2559). การผลิตไซรัปกล้วยน้ำว้า. *วารสารวิชาการปทุมวัน*, 6(16), 7-14.
- ภูมิพงษ์ ชูช่วยสุวรรณ เทพปัญญา เจริญรัตน์ สุปัญญา จิตตพันธ์ และนวลกมล อำนวนสิน. (2563). การพยากรณ์ระยะสุกของกล้วยหอมทองโดยใช้การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน. *Thai Journal of Science and Technology*, 9(2), 287-297.
- วิจิตรา ใหม่จันทร์ พิชามญช์ กำมั่งละการ สุวรรณ สดปรัก กุลนันท์ ปุติพรหม ชูติมา อันชนะ จันทร์ทิมา พงษ์พานิช และสุรศักดิ์ ละลอกน้ำ. (2555). การผลิตเซลลูโลสจากแบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* TISTR 086 โดยใช้ผลผลิตทางการเกษตรเป็นแหล่งคาร์บอน. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเอการเรียนรู้*. 3(2), 92-97.
- ศยามพงษ์ พงษ์ดำ. (2560). การหายใจระดับเซลล์ของแบคทีเรียกรดอะซิติก: การหมักแบบออกซิเดทีฟและการประยุกต์ใช้. *วารสารวิจัย มสธ*, 10(3), 203-236.
- อนันต์ บุญปาน สิริแซ พงษ์สวัสดิ์ และจิรพรรณ คำผา. (2553). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นสวรรค์จากกากน้ำตาล. ใน *ประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48* (หน้า 547-554). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Cook, N.C. and Samman, S. (1996). Flavonoids-Chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 7(2), 66-76.
- Jagannath, A., Kalaiselven, A., Manjunatha, P.S. and Bawa, A.S. (2008). The effect of pH, sucrose and ammonium sulphate concentrations on the production of bacterial cellulose (Nata-de-coco) by *Acetobacter xylinum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(11), 2593-2599.

- Raghunathan, D. (2013). Production of microbial cellulose from the new bacterial strain isolated from temple wash waters. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2(12), 275-290.
- Trisnaputri, A.C., Usman, N.R., Mustawa, M.A. and Jaya, A.M. (2018). Production banana glucose syrup with the α -amylase supplementation. *International Journal of Applied Biology*, 2(1), 61-65.

ผลของรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของบัวบก
แหล่งปลูกอุบลราชธานี

Effects of Gamma Irradiation on the Growth and the Yield of
Asiatic Pennywort (*Centella asiatica* L. Urb.)
Grown in Ubon Ratchathani Province

หนึ่งฤทัย ด้านเขตรแดน¹ อนันต์ ปิริยะภักทริก² ณัฐพงศ์ จันจุฬา² และคมกฤษณ์ แสงเงิน^{1*}
Neungruethai Dankhetdean¹, Anan Piriya-phattarakit², Nattapong Chanchula²
and Komgrit Saengngoen^{1*}

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงพันธุ์บัวบกให้ได้ผลผลิตปริมาณสูง วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) ประกอบด้วย 6 สิ่งทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ โดยนำต้นบัวบกไปฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันที่ระดับรังสีแกมมา 0 20 40 60 80 และ 100 เกรย์ จากนั้นนำออกปลูกในแปลงทดลอง บันทึกการเจริญเติบโตเป็นเวลา 60 วัน และบันทึกข้อมูลผลผลิตเมื่อบัวบกอายุ 80 วัน การศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณรังสีแกมมาเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตและการเจริญเติบโตลดลง ปริมาณรังสีแกมมาที่ทำให้บัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานีรอดชีวิตที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (LD₅₀) มีค่าเท่ากับ 80.98 เกรย์ รังสีแกมมาความเข้มข้น 60 เกรย์ ส่งผลให้จำนวนไหล จำนวนต้นต่อไหล และความยาวไหลสูงที่สุดเท่ากับ 6.50 ไหล 6.70 ต้นต่อไหล และ 51.40 เซนติเมตร ตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นรังสีแกมมาความเข้มข้น 60 เกรย์ ส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 43.91 และ 3.98 กรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ: บัวบก รังสีแกมมา การเจริญเติบโต ผลผลิต

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์

² ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

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

Received: 31 October 2021, Revised: 20 December 2021, Accepted: 20 December 2021

Abstract

The objective of this study was to breed Asiatic pennywort for high yield. The experimental design was a randomized complete block design (RCBD) consisting of 6 treatments with 3 replications. Asiatic pennywort from Ubon Ratchathani province was acutely irradiated by gamma rays with doses of 0, 20, 40, 60, 80, and 100 gray, then planted in the experimental plot. The growth was recorded for 60 days, and yield was collected 80 days after planting. The results showed that higher doses of gamma-rays decreased the survival rate and growth of the plants. The plants survived at the LD50 of gamma radiation which was 80.98 gray. At gamma rays of 60 gray, the number of stolons, the number of plants per stolon, and the length of stolon were the highest with 6.50 stolons, 6.70 plants, and 51.40 cm, respectively. In addition, the gamma-ray concentration of 60 gray resulted in the highest fresh weight and dry weight of 43.91 and 3.98 grams, respectively.

Keywords: Asiatic pennywort, Gamma radiation, Growth, Yield

บทนำ

บัวบก (*Centella asiatica* L. Urb.) เป็นพืชสมุนไพรที่มีความสำคัญ ได้รับความนิยมนำมาใช้แพร่หลายทั้งในประเทศและต่างประเทศ สารออกฤทธิ์ที่สำคัญในบัวบก ได้แก่ สารประกอบไตรเทอร์พีน (triterpene compound) โดยพบว่าสารประกอบไตรเทอร์พีนเป็นสารประกอบที่พบมากที่สุดใบบัวบก ซึ่งสารประกอบหลักของไตรเทอร์พีน ได้แก่ มาเดคาสโซไซด์ (madecassoside) อะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) กรดมาเดคาสสิก (madecassic acid) และกรดอะเซียติก (asiatic acid) (นฤมล, 2551) ซึ่งมีฤทธิ์ด้านการอักเสบ (Park *et al.*, 2017) รักษาบาดแผล (สุกัญญา และคณะ, 2563) ทำให้เลือดหยุดเร็ว กระตุ้นการสร้างคอลลาเจนในเนื้อเยื่อผิวหนังให้กลับคืนสู่สภาพปกติ ช่วยเสริมสร้างเนื้อเยื่อให้แข็งแรงและมีความยืดหยุ่น จึงนิยมนำไปใช้ในเครื่องประพินผิวและความงาม

ประเทศไทยมีการปลูกบัวบกเพื่อการค้าทุกภาค โดยแหล่งปลูกที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดนครปฐม นครศรีธรรมราช อุบลราชธานี และนนทบุรี ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกบัวบกทั้งหมด 1,040 ไร่ ได้ผลผลิตรวม 1,819.64 ตัน ผลตอบแทนเฉลี่ย 35,000 บาทต่อไร่ (สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร, 2563) การเพาะปลูกบัวบกแบบทั่ว ๆ ไป คือ ปลูกในกระถางและปลูกในแปลง นิยมใช้พันธุ์พื้นบ้านที่มีอยู่ในแต่ละท้องถิ่น การปลูกเชิงการค้ายังมีน้อยเนื่องจากบัวบกแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกันในเรื่องของการเจริญเติบโต (อนันต์ และคณะ, 2562) รวมทั้งปริมาณสารเอเซียติโคไซด์ที่มีอยู่ภายในใบบัวบก ส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมปลูกบัวบกขายสดเป็นผักพื้นบ้านเนื่องจากขายได้ราคา และสามารถขายได้ตลอดทั้งปี จึงไม่เห็นความสำคัญของการผลิตเพื่อสกัดเป็นยารักษาโรค และมีเพียงบางส่วนที่นำมาแปรรูปเป็นเครื่องดื่มสมุนไพรจากใบบัวบก (สุตสายชล และณัฐวดี, 2562)

การกลายพันธุ์เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตและสามารถถ่ายทอดไปสู่ลูกหลานรุ่นหลังได้ การกลายพันธุ์ในธรรมชาติมีอัตราการเกิดค่อนข้างต่ำ แต่สามารถเพิ่มอัตราการกลายพันธุ์ให้สูงขึ้นโดยการเหนี่ยวนำด้วยสิ่งก่อการกลายพันธุ์ เช่น รังสี ได้แก่ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา หรือรังสีนิวตรอน และสารเคมี ได้แก่ เอทิล เมทานีซัลโฟเนต (ethyl methanesulfonate: EMS) โพแทสเซียม แอไซด์ (potassium azide) 2-อะมิโนพิวรีน (2-aminopurine) และมอร์ฟิน (morphine) เป็นต้น การเหนี่ยวนำโดยใช้รังสีมีวิธีการใช้ง่าย ไม่มีรังสีตกค้าง ไม่มีอันตรายแก่ผู้นำพืชไปปลูกหรือผู้ดูแลหลังการใช้รังสี (สิรินุช, 2540) การฉายรังสีแกมมาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารพันธุกรรมในเซลล์ที่เกิดขึ้นกับโมเลกุลของดีเอ็นเอ โดยไม่ได้เกิดจากการรวมตัว (recombination) หรือการแยกตัว (segregation) ของสารพันธุกรรมตามปกติ และสามารถถ่ายทอดลักษณะดังกล่าวจากเซลล์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปยังเซลล์ลูกได้ (สิรินุช, 2553) มีการชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยรังสีแกมมากันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในการพัฒนาพันธุ์ไม้ดอกไม้ประดับ เช่น บานไม่รู้โรยลูกผสมพันธุ์กลาย (ศรัญญู และคณะ, 2561) ลินเดอร์เนีย (สุพิชชา และคณะ, 2561) และกุหลาบหนู (ภิญญารัตน์ และนันทริยา, 2560) การวิจัยในครั้งนี้จึงได้ศึกษาการปรับปรุงพันธุ์บัวบกโดยใช้รังสีแกมมาเพื่อให้ได้บัวบกที่มีผลผลิตสูง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ผลของรังสีแกมมาต่ออัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของบัวบก

นำบัวบกจากแหล่งปลูกอุบลราชธานีที่ได้จากการรวบรวมของอนันต์ และคณะ (2562) ที่ปักชำไว้ในกระถาง 2 นิ้ว อายุ 1 เดือน ไปฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันด้วยเครื่องฉายรังสีแบบ carrier type รุ่น JS 8900 IR-155 มีธาตุโคบอลต์-60 เป็นต้นกำเนิดรังสี ณ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) อำเภอบางกรวย จังหวัดนครนายก ที่ระดับรังสีแกมมา 0 20 40 60 80 และ 100 เกรย์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) โดยแต่ละการทดลองทำ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 20 ต้น จากนั้นนำต้นบัวบกที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาไปปลูกในแปลงทดลอง โดยปลูกในวงท่อซีเมนต์ขนาด 40x60 เซนติเมตร ใช้วัสดุ คือ กาบมะพร้าวและดินผสม อัตราส่วน 1:1 ปลูกให้มีระยะห่าง 10x10 เซนติเมตร ให้ปุ๋ยสูตรเสมอ 15-15-15 ทุก 1 สัปดาห์ ตลอดอายุการทดลอง ดูแลรักษาต้นบัวบกโดยควบคุมการให้น้ำและกำจัดศัตรูพืชอย่างสม่ำเสมอ บันทึกจำนวนต้นที่รอดชีวิตและหาเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต หลังจากได้รับรังสีแกมมาระดับต่าง ๆ ภายหลังจากการได้รับรังสีแกมมาที่ 30 วัน ($LD_{50(30)}$) และเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบต่อต้น (ใบ) โดยนับจำนวนใบทั้งหมดของต้นแม่ ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดจากความกว้างของทั้งสองด้านตั้งฉากกันแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ความยาวไหล (เซนติเมตร) โดยวัดจากโคนต้นแม่ถึงส่วนที่ยาวที่สุดของไหลด้วยไม้บรรทัด จำนวนไหลต่อต้น (ไหล) โดยนับจำนวนไหลที่แตกจากต้นแม่ และจำนวนต้นต่อไหล (ต้น) โดยนับจำนวนต้นที่งอกออกจากไหลของต้นแม่ เป็นเวลา 60 วัน นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS 15.0 (SPSS, Inc, 2006) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี duncan's multiple range test (DMRT)

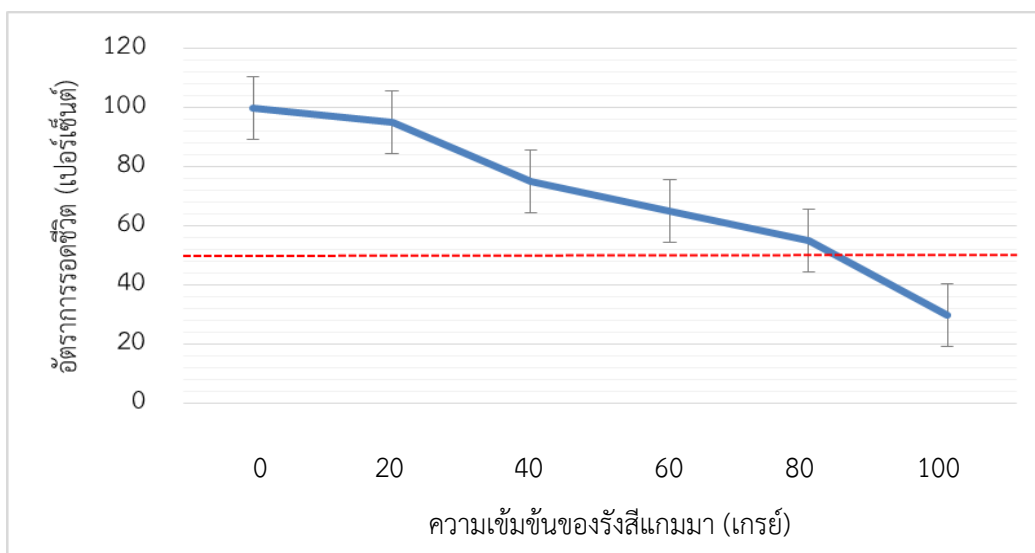
2. ผลของรังสีแกมมาต่อผลผลิตและปริมาณสารเอเซียติโคไซด์

เก็บเกี่ยวต้นบัวบกทั้งต้นที่อายุ 80 วัน แยกใบแห้งออก บันทึกน้ำหนักสด แล้วนำมาล้างด้วยน้ำให้สะอาด ตากลมให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน บันทึกน้ำหนักแห้ง นำตัวอย่างแห้งของบัวบกจากสิ่งทดลองที่ได้มาฉายรังสีแกมมา ความเข้มข้นใกล้เคียงกับค่า LD_{50} และที่ไม่ได้ฉายรังสีแกมมา ไปสกัดและวิเคราะห์หาปริมาณสารเอเซียติโคไซด์ด้วยเทคนิค high performance liquid chromatography (HPLC) ใช้คอลัมน์ reverse phase kinetex C18 (100×2.1 mm, I.D. 2.60 μ m) ดีเทคเตอร์ (detector) ความยาวคลื่น 206 นาโนเมตร ด้วยอัตราการไหลคงที่ 0.50 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ปริมาตรสารตัวอย่างในการฉีดเข้าเครื่อง 20 ไมโครลิตร อ่านค่าที่เครื่องวิเคราะห์ได้โดยมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (%weight per weight: %w/w) นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS 15.0 (SPSS, Inc, 2006) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี duncan's multiple range test (DMRT)

ผลการวิจัย

1. ผลของรังสีแกมมาต่ออัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของบัวบก

จากการนำต้นบัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานีไปฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันที่ระดับรังสีแกมมา 0 20 40 60 80 และ 100 เกรย์ และนำกลับมาปลูกในแปลงเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าบัวบกมีอัตราการรอดชีวิตลดลงตามระดับรังสีแกมมาที่เพิ่มสูงขึ้น ต้นที่ไม่ผ่านการฉายรังสีแกมมามีอัตราการรอดชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ต้นอ่อนที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ระดับ 100 เกรย์ มีอัตราการรอดชีวิตต่ำที่สุด 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับรังสีแกมมากับอัตราการรอดชีวิตของบัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานี คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ (LD_{50}) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.98 เกรย์ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับรังสีแกมมากับอัตราการรอดชีวิตของบัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานี หลังได้รับการฉายรังสีแกมมา 30 วัน

จำนวนใบของต้นบัวบกที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาหลังนำมาปลูกในแปลงทดลองเป็นระยะ 60 วัน พบว่าต้นบัวบกมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตามปกติในแต่ละช่วงอายุ และรังสีแกมมามีแนวโน้มในการส่งเสริมให้มีจำนวนใบเพิ่มมากขึ้น โดยรังสีแกมมาความเข้มข้น 80 เกรย์ ส่งผลให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงสุดเท่ากับ 18.90 ใบ รองลงมา คือ รังสีแกมมาความเข้มข้น 20 เกรย์ ให้จำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 18.10 ใบ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับรังสีแกมมาความเข้มข้นอื่น ๆ ในขณะที่ต้นบัวบกที่ไม่ผ่านการฉายรังสีแกมมามีจำนวนใบเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 12.50 ใบ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลของรังสีแกมมาต่อจำนวนใบของบัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานีที่อายุ 10-60 วัน

ระดับรังสี	จำนวนใบที่ระยะเวลาต่าง ๆ (ใบ)					
แกมมา (เกรย์)	10	20	30	40	50	60
0	2.20 ^{ab}	3.40 ^{ab}	6.70 ^{cd}	8.50 ^{cd}	10.10 ^{cd}	12.50 ^{cd}
20	2.30 ^{ab}	3.50 ^a	9.90 ^{ab}	14.10 ^{ab}	16.30 ^{ab}	18.10 ^{ab}
40	2.20 ^{ab}	3.30 ^{ab}	9.00 ^{bc}	11.00 ^{bcd}	13.70 ^{bcd}	15.20 ^{bcd}
60	2.50 ^a	3.60 ^a	9.60 ^b	12.10 ^{bc}	14.10 ^{bc}	16.60 ^{bc}
80	1.90 ^b	2.80 ^{bc}	12.50 ^a	15.80 ^a	17.60 ^a	18.90 ^a
100	1.80 ^b	2.60 ^c	6.00 ^d	8.30 ^d	10.30 ^d	12.90 ^d
F-test	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)	27.86	20.90	34.52	34.92	29.80	25.99

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

สำหรับความกว้างทรงพุ่มของบัวบก พบว่าปริมาณรังสีแกมมาที่เพิ่มสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ความกว้างทรงพุ่มลดลง โดยรังสีแกมมาความเข้มข้น 20 เกรย์ ส่งผลให้ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 29.95 เซนติเมตร รองลงมา คือ รังสีแกมมาความเข้มข้น 60 เกรย์ มีความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยเท่ากับ 25.90 เซนติเมตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับรังสีแกมมาความเข้มข้นอื่น ๆ ในขณะที่รังสีแกมมาระดับ 100 เกรย์ ให้ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 20.40 เซนติเมตร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลของรังสีแกมมาต่อความกว้างทรงพุ่มของบัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานีที่อายุ 10-60 วัน

ระดับรังสี	ความกว้างทรงพุ่มที่ระยะเวลาต่าง ๆ (เซนติเมตร)					
แกมมา (เกรย์)	10	20	30	40	50	60
0	x	5.35 ^b	11.50 ^b	20.50 ^{bc}	23.20 ^{bc}	25.40 ^b
20	x	6.50 ^a	14.80 ^a	26.25 ^a	28.20 ^a	29.95 ^a
40	x	5.00 ^{bc}	10.15 ^{bc}	19.30 ^{bc}	21.10 ^{bc}	22.85 ^{bc}
60	x	5.50 ^{ab}	12.05 ^{ab}	22.55 ^{ab}	24.70 ^{ab}	25.90 ^{ab}
80	x	5.10 ^{bc}	11.15 ^b	21.25 ^b	22.90 ^{bc}	24.05 ^{bc}
100	x	3.55 ^c	7.80 ^c	16.70 ^c	19.50 ^c	20.40 ^c
F-test	x	*	*	*	*	*
C.V. (%)	x	21.84	29.98	23.26	20.09	19.17

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

- x ยังไม่สามารถวัดค่าได้

สำหรับจำนวนไหลต่อต้านบัวบก พบว่าในความเข้มข้นของรังสีแกมมาระยะ 20 เกรย์แรก ต้นบัวบกยังไม่มีการสร้างไหล แต่รังสีแกมมามีแนวโน้มในการส่งเสริมให้มีจำนวนไหลต่อต้านเพิ่มมากขึ้น โดยรังสีแกมมาความเข้มข้น 60 เกรย์ ส่งผลให้มีจำนวนไหลเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 6.50 ไหล รองลงมา คือ รังสีแกมมาความเข้มข้น 80 เกรย์ มีจำนวนไหลเฉลี่ยเท่ากับ 6.10 ไหล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับรังสีแกมมาความเข้มข้นอื่น ๆ ในขณะที่รังสีแกมมาระดับ 100 เกรย์ มีจำนวนไหลเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 3.90 ไหล (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลของรังสีแกมมาต่อจำนวนไหลต่อต้านของบัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานีที่อายุ 10-60 วัน

ระดับรังสี	จำนวนไหลที่ระยะเวลาต่าง ๆ (ไหล)					
แกมมา (เกรย์)	10	20	30	40	50	60
0	-	-	2.50 ^{ab}	2.60 ^{cd}	3.60 ^{cd}	4.50 ^{cd}
20	-	-	2.40 ^{ab}	3.40 ^{bc}	4.70 ^{bc}	5.10 ^c
40	-	-	2.20 ^b	3.00 ^c	4.10 ^c	5.20 ^{bc}
60	-	-	3.10 ^a	4.40 ^a	5.50 ^a	6.50 ^a
80	-	-	3.00 ^a	4.20 ^{ab}	5.10 ^{ab}	6.10 ^{ab}
100	-	-	1.70 ^b	2.10 ^d	2.70 ^d	3.90 ^d
F-test	-	-	*	*	*	*
C.V. (%)	-	-	32.35	33.94	25.95	21.01

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

- x ยังไม่สามารถวัดค่าได้

สำหรับจำนวนต้นต่อไหล พบว่ารังสีแกมมาความเข้มข้น 60 เกรย์ ส่งผลให้จำนวนต้นต่อไหลมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 6.70 ต้นต่อไหล รองลงมา คือ รังสีแกมมาความเข้มข้น 80 เกรย์ มีจำนวนต้นต่อไหลเฉลี่ยเท่ากับ 6.50 ต้นต่อไหล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับรังสีแกมมาความเข้มข้นอื่น ๆ ในขณะที่รังสีแกมมาระดับ 100 เกรย์ มีจำนวนต้นต่อไหลต่ำที่สุดเท่ากับ 3.50 ต้นต่อไหล (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลของรังสีแกมมาต่อจำนวนต้นต่อไหลของบัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานีที่อายุ 10-60 วัน

ระดับรังสี	จำนวนต้นต่อไหลที่ระยะเวลาต่าง ๆ (ต้น)					
แกมมา (เกรย์)	10	20	30	40	50	60
0	x	x	1.60 ^{ab}	2.50 ^c	3.40 ^{cd}	5.50 ^c
20	x	x	1.70 ^{ab}	2.80 ^{bc}	4.00 ^{bc}	5.60 ^{bc}
40	x	x	1.70 ^{ab}	2.40 ^{cd}	3.30 ^d	5.10 ^{cd}
60	x	x	2.20 ^a	3.70 ^a	4.80 ^a	6.70 ^a
80	x	x	2.00 ^{ab}	3.40 ^{ab}	4.40 ^{ab}	6.50 ^{ab}
100	x	x	1.40 ^b	1.60 ^d	2.60 ^d	3.50 ^d
F-test	x	x	*	*	*	*
C.V. (%)	x	x	38.85	33.62	24.61	16.03

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

- x ยังไม่สามารถวัดค่าได้

สำหรับความยาวไหลต่อต้น พบว่ารังสีแกมมาความเข้มข้น 60 เกรย์ ส่งผลให้ความยาวไหลเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 51.40 เซนติเมตร รองลงมา คือ รังสีแกมมาความเข้มข้น 80 และ 20 เกรย์ มีความยาวไหลเฉลี่ยเท่ากับ 47.00 และ 46.50 เซนติเมตร ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับรังสีแกมมาความเข้มข้นอื่น ๆ ในขณะที่รังสีแกมมาระดับ 100 เกรย์ มีความยาวไหลเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 33.70 เซนติเมตร (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ผลของรังสีแกมมาต่อความยาวไหลของบัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานีที่อายุ 10-60 วัน

ระดับรังสี แกมมา (เกรย์)	ความยาวไหลที่ระยะเวลาต่าง ๆ (เซนติเมตร)					
	10	20	30	40	50	60
0	x	x	18.30 ^b	27.40 ^{bcd}	32.40 ^{bcd}	40.20 ^{bcd}
20	x	x	21.75 ^{ab}	33.05 ^{abc}	37.70 ^{abc}	46.50 ^{abc}
40	x	x	17.10 ^b	24.45 ^{cd}	29.45 ^{cd}	37.50 ^{cd}
60	x	x	27.30 ^a	38.55 ^a	43.55 ^a	51.40 ^a
80	x	x	23.30 ^{ab}	34.70 ^{ab}	38.05 ^{ab}	47.00 ^{ab}
100	x	x	15.80 ^b	20.10 ^d	24.10 ^d	33.70 ^d
F-test	x	x	*	*	*	*
C.V. (%)	x	x	43.27	33.37	28.57	23.22

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

- x ยังไม่สามารถวัดค่าได้

2. ผลของรังสีแกมมาต่อผลผลิตและปริมาณสารเอเซียติโคไซด์

เมื่อบัวบกอายุ 80 วัน ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต หาค่าน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง พบว่าค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันในทุกระดับความเข้มข้นของรังสีแกมมา โดยรังสีแกมมาความเข้มข้น 60 เกรย์ ส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด 43.91 และ 3.98 กรัม ตามลำดับ รองลงมา คือ รังสีแกมมาความเข้มข้น 0 เกรย์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.80 และ 3.31 กรัม ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับรังสีแกมมาความเข้มข้นอื่น ๆ ในขณะที่รังสีแกมมาระดับ 100 เกรย์ มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่ำที่สุดเท่ากับ 21.39 และ 2.05 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารเอเซียติโคไซด์ที่มีอยู่ในบัวบกจากสิ่งทดลองที่ได้ฉายรังสีแกมมาความเข้มข้นใกล้เคียงกับค่า LD₅₀ (60 และ 80 เกรย์) และที่ไม่ได้ฉายรังสีแกมมา พบว่ารังสีแกมมาความเข้มข้น 80 เกรย์ ส่งผลให้สารเอเซียติโคไซด์มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 3.10 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับรังสีแกมมาความเข้มข้น 60 และ 0 เกรย์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.80 และ 1.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ผลของรังสีแกมมาต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณสารเอเซียติโคไซด์ของต้นบัวบก แหล่งปลูกอุบลราชธานี เมื่อปลูกเลี้ยงในแปลงทดลองเป็นเวลา 80 วัน

ระดับรังสีแกมมา (เกรย์)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาณสารเอเซียติโคไซด์ (เปอร์เซ็นต์)
0	36.80 ^b	3.31 ^b	1.23 ^c
20	21.45 ^{cd}	2.06 ^{cd}	x
40	28.00 ^c	2.55 ^c	x
60	43.91 ^a	3.98 ^a	1.80 ^b
80	31.12 ^{bc}	3.08 ^{bc}	3.10 ^a
100	21.39 ^d	2.05 ^d	x
F-test	*	*	*
C.V. (%)	36.70	32.82	5.08

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

- x ไม่ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสาร

การอภิปรายผลการวิจัย

ระดับรังสีแกมมามีผลต่อการรอดชีวิต การเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารสำคัญของบัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานี โดยอัตราการรอดชีวิตลดลงตามระดับรังสีแกมมาที่เพิ่มสูงขึ้น ต้นบัวบกที่ไม่ผ่านการฉายรังสีแกมมามีอัตราการรอดชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ต้นที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ระดับ 100 เกรย์ มีอัตราการรอดชีวิตต่ำที่สุด 30 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าปริมาณรังสีแกมมาที่เพิ่มขึ้นอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในเซลล์และเนื้อเยื่อพืชที่สร้างความเสียหายต่อกระบวนการและกลไกต่าง ๆ ภายในเซลล์ที่ส่งผลให้อัตราการรอดชีวิตของพืชลดลง (ชนภูมิ และวาสนี, 2563) สอดคล้องกับสุพิชชา และคณะ (2561) พบว่าปริมาณรังสีแกมมาที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ลินเดอร์เนียมมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตลดลง ในขณะที่ Gang *et al.* (2007) ได้ศึกษาวิจัยเหียน (*Narcissus tazetta*) ซึ่งเป็นพืชล้มลุกมีหัวคล้ายหัวหอม พบว่าพืชยังได้รับปริมาณรังสีแกมมามากขึ้นอัตราการรอดของพืชก็จะลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าปริมาณรังสีแกมมาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการรอดชีวิตของพืชหลายชนิดลดลง เช่น บานไม่รู้โรยลูกผสมพันธุ์กล้วย (ศรีบุญ และคณะ, 2561) และกุหลาบหนู (ภิญญารัตน์ และนันทพริยา, 2560)

รังสีแกมมาความเข้มข้น 60 เกรย์ ส่งผลให้บัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานีมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและให้ผลผลิตมากที่สุด ส่วนรังสีแกมมาความเข้มข้น 80 เกรย์ ส่งผลให้สารเอเซียติโคไซด์ของบัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานีมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 3.10 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณรังสีแกมมาส่งผลกระทบต่อกระบวนการเติบโตของบัวบก แต่ยังเป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป เป็นไปได้ว่าปริมาณรังสีแกมมาที่เพิ่มขึ้นอาจมีผลต่อกระบวนการทาง

สรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญและพัฒนาของเซลล์และเนื้อเยื่อที่ส่งผลต่อการพัฒนาการของพืชทั้งในด้านการเพิ่มปริมาณเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ ซึ่งส่งผลต่อสัณฐานวิทยาของพืชที่เปลี่ยนแปลงไป ตามบทบาทของรังสีแกมมาต่อการกลายพันธุ์ คือ เมื่อนำพืชหรือส่วนของพืชที่ใช้ขยายพันธุ์ได้ เช่น เมล็ด ใบ ราก เหง้า ฯลฯ มาฉายรังสีแกมมา รังสีแกมมาจะถ่ายเทพลังงานให้กับเซลล์พืชก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีขึ้นกับองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับสารพันธุกรรมหรือที่เรียกว่ายีน ซึ่งเป็นตัวกำหนดลักษณะต่าง ๆ ของพืช ควบคุมกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์พืช หรือสารพันธุกรรมเปลี่ยนแปลงเนื่องจากได้รับพลังงานจากรังสีแกมมา ก็จะทำให้หน้าที่ที่สารพันธุกรรมนั้นทำอยู่หรือควบคุมบังคับอยู่เปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่อเซลล์นั้นแบ่งตัวพัฒนาเป็นต้นพืชก็จะได้ลักษณะที่ต่างไปจากเดิม ดังเช่นงานทดลองของ Cheema and Atta (2003) พบว่าความสูงของข้าวพันธุ์ Basmati 370 ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับรังสีแกมมาความเข้มข้น 300 เกรย์ ขณะที่ Mokobia and Anomohanran (2005) พบว่าข้าวโพดมีอัตราการเติบโตลดลงเมื่อได้รับรังสีแกมมาในปริมาณที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าปริมาณรังสีแกมมาที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้การเติบโตของพืชทั้งในด้านความสูง จำนวนใบและความกว้างทรงพุ่มของพืชหลายชนิดลดลง เช่น ทานตะวัน (Guiyun *et al.*, 2006) และบานไม่รู้โรยลูกผสมพันธุ์กลาย (ศรัญญู และคณะ, 2561)

สรุปผลการวิจัย

การฉายรังสีแกมมามีผลทำให้อัตราการรอดชีวิต การเจริญเติบโต และผลผลิตของบัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานีลดลง โดยระดับรังสีแกมมาที่ 60 เกรย์ ส่งผลให้บัวบกมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและให้ผลผลิตมากที่สุด ในขณะที่การให้ระดับรังสีแกมมาที่ 80 เกรย์ ส่งผลให้บัวบกมีปริมาณสารเอเชียติโคไซด์สูงที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการติดตามหรือเก็บผลผลิตของบัวบกในช่วงรุ่นที่ 2 เพื่อศึกษาและพัฒนาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการ “การสร้างภาคีในการผลิต บัณฑิตระดับปริญญาโท-เอก” รวมทั้งการเอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

เอกสารอ้างอิง

ธนภูมิ ศิริงาม และวาสนี พงษ์ประยูร. (2563). ผลของรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตและการรอดชีวิตในข้าวพันธุ์ กข47. *Thai Journal of Science and Technology*, 9(4), 1-9.

- นฤมล นอยหอย. (2551). ผลของตัวทำละลายที่ใช้สกัดและการแปรรูปต่อคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบกลุ่มไตรเทอร์ปีนในบัวบก (*Centella asiatica* (Linn.) Urban). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พินุช จอมพุก. (2553). เทคโนโลยีนิวเคลียร์กับการเกษตร. กรุงเทพฯ: ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภิญญารัตน์ กองประโคน และนันทริยา จิตบำรุง. (2560). การใช้รังสีแกมมาชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาในกุหลาบหนู. *แก่นเกษตร*, 45(1)(พิเศษ), 1296-1302.
- ศรัณยู ถนิมลักษณ์ ธัญญะ เศษะศิลป์พิทักษ์ พัฒนา สุขประเสริฐ พินุช จอมพุก และอนันต์ พิริยะภัทรกิจ. (2561). การชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ในบานไม่รู้โรยลูกผสมพันธุ์กลายโดยการฉายรังสีแกมมา. *Thai Journal of Science and Technology*, 7(1), 48-57
- สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร. (2563). *สถานการณ์การผลิตพืช 2563*. สืบค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2563, จาก: <http://www.agriman.doae.go.th/home/news/2563/51-52.pdf>.
- สิรินุช ลามศรีจันทร์. (2540). *การกลายพันธุ์ของพืช*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุกัญญา จันทรสุณะ ลลิตา เจริญทรัพย์ เยาวพา จิระเกียรติกุล และพรชัย หาระโคตร. (2563). ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของใบบัวบก. *Thai Journal of Science and Technology*, 28(12), 2262-2272.
- สุดสายชล หอมทอง และณัฐวดี คงคะคิด. (2562). การตรวจหาโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *Escherichia coli* ในน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบก บริเวณใกล้กับมหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 38(1), 79-90.
- สุพิชชา สิทธินิสัยสุข ธัญญะ เศษะศิลป์พิทักษ์ พินุช จอมพุก และณัฐพงศ์จันจุฬา. (2561). ผลของรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันต่อต้นลินเดอร์เนียในสภาพปลอดเชื้อ. *Thai Journal of Science and Technology*, 7(2), 158-168.
- อนันต์ พิริยะภัทรกิจ พรกมล รูปเลิศ กนกอร อัมพรายน์ และณัฐพงศ์ จันจุฬา. (2562). การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของบัวบกสายพันธุ์ต่าง ๆ. *Thai Journal of Science and Technology*, 8(1), 1-12.
- Cheema A.A. and Atta, B.A., (2003). Radiosensitivity studies in basmati rice. *Pakistan Journal of Botany*, 35(2), 197-207.
- Gang, L., Xiaoying, Z., Yijing, Z., Qingcheng, Z. Xun, X. and Jiashu, C. (2007). Effect of radiation on regeneration of Chinese narcissus and analysis of genetic variation with AFLP and RAPD markers. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 88(3), 319-327.
- Guiyun, D., Weidong, P. and Gongshe, L. (2006). The analysis of proteome changes in sunflower seeds induced by N⁺ implantation. *Journal of Biosciences*, 31, 247-253.

- Mokobia, C.E. and Anomohanran, O. (2005). The effect of gamma irradiation on the germination and growth of certain Nigerian agricultural crops. *Journal of Radiological Protection*, 25(2), 181-188.
- Park, J.H., Choi, J.Y., Son, D.J., Park, E.K., Song, M.J., Hellström, M. and Hong, J.T. (2017). Anti-Inflammatory effect of titrated extract of *Centella asiatica* in phthalic anhydride-induced allergic dermatitis animal model. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(4), doi: <https://doi.org/10.3390/ijms18040738>.

ความหลากหลายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่และความสัมพันธ์ต่อ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแม่น้ำยม

Diversity of Macroinvertebrate Fauna and its Relationship with Environmental Factors in the Yom River

ปฏิพัทธ์ สันป่าเป้า¹ สุพัฒน์ พลชา¹ วิทยา ทาวงศ์¹ ภาวิณี พงษ์ชัยสิทธิ์¹ และปิยวัฒน์ ปองผดุง^{1*}
Pathipat Sanpapao¹, Supat Ponza¹, Wittaya Tawong¹, Pawinee Phongchaisit¹
and Piyawat Pongpadung^{1*}

บทคัดย่อ

การศึกษาความหลากหลายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่และปัจจัยสิ่งแวดล้อม มีเป้าหมายเพื่อประเมินคุณภาพของแหล่งน้ำและทราบถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อสัตว์หน้าดินในแม่น้ำยม การศึกษาดำเนินการโดยออกสำรวจในพื้นที่แม่น้ำยม รวม 16 สถานี เก็บตัวอย่างในช่วงฤดูหนาว (มกราคม พ.ศ. 2561) ฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2561) และฤดูฝน (กรกฎาคม พ.ศ. 2561) ผลการศึกษาพบสัตว์หน้าดินทั้งหมด 47 วงศ์ จาก 3 ไฟลัม โดยสัตว์หน้าดินกลุ่มเด่น ได้แก่ Unionidae (10.67 เปอร์เซ็นต์) Viviparidae (10.46 เปอร์เซ็นต์) Chironomidae (8.22 เปอร์เซ็นต์) และ Tubificidae (7.44 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ค่าดัชนีความหลากหลาย ดัชนีความสม่ำเสมอ และดัชนีความชุกชุมของสัตว์หน้าดิน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.07 ± 0.07 0.67 ± 0.09 และ 1.87 ± 0.09 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์หน้าดินและปัจจัยสิ่งแวดล้อมโดยวิธี CCA พบว่าตัวอ่อนริ้นน้ำจืดอันดับ Diptera และไส้เดือนน้ำจืดอันดับ Haplotaxida และ Lumbriculida มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ น้ำ ความชื้น บีโอดี ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ แอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรต และปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน ในขณะที่ตัวอ่อนแมลงน้ำอันดับ Hemiptera Odonata Decapoda Trichoptera และ Ephemeroptera มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ การนำไฟฟ้า ความเป็นด่าง และความโปร่งแสง เมื่อประเมินคุณภาพน้ำด้วยค่า ASPT (ค่าเฉลี่ย 5.11 ± 0.85) และเปรียบเทียบค่าตามดัชนีมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน สามารถสรุปได้ว่าคุณภาพน้ำในแม่น้ำยมอยู่ในระดับปานกลาง และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภท 3 ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำและการควบคุมการปล่อยของเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำในแม่น้ำยมอย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: ความสัมพันธ์ สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ คุณภาพน้ำ ดัชนีชีวภาพ แม่น้ำยม

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

* Corresponding author e-mail: piyawatp@nu.ac.th

Received: 2 December 2021, Revised: 22 December 2021, Accepted: 22 December 2021

Abstract

Studies on the diversity of macrobenthic fauna and environmental factors were carried out to assess the quality of water resources and investigate the correlation of environmental factors with macrobenthic fauna in the Yom River. The field surveys were conducted at 16 sampling stations. Samples were collected in the winter season (January 2018), summer season (April 2018), and the rainy season (July 2018). The results showed that forty-seven families from 3 phyla of macrobenthic fauna were identified. The dominant benthic fauna group were Unionidae (10.67%) Viviparidae (10.46%) Chironomidae (8.22%) and Tubificidae (7.44%). The Shannon-Wiener diversity index Magalef index and Evenness index were 2.07 ± 0.07 , 0.67 ± 0.09 , and 1.87 ± 0.09 , respectively. Canonical correspondence analysis revealed that Diptera, Haplotaenida, and Lumbriculida showed a positive correlation with some parameters such as pH, water temperature, turbidity, BOD, chlorophyll a, ammonia, nitrite, nitrate, and total organic matter, while Hemiptera, Odonata, Decapoda, Trichoptera, and Ephemeroptera showed the positive correlation with total dissolved solids, conductivity, alkalinity and transparency. After assessing the water quality using the ASPT value (mean value of 5.11 ± 0.85) and comparing it with the standard index of surface water quality, it was concluded that water quality reached mesotrophic status and surface water quality CLASS 3. These results can be beneficial in monitoring water quality and controlling effluents from various activities to conserve the water resources in the Yom River.

Keywords: Correlation, Macrobenthic fauna, Water quality, Bioindicator, Yom river

บทนำ

แม่น้ำยมเป็นแม่น้ำสาขาที่สำคัญสายหนึ่งของประเทศไทย โดยมีความยาวตลอดลำน้ำประมาณ 735 กิโลเมตร ปัจจุบันสภาพแวดล้อมในลุ่มน้ำยมได้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากอดีตเป็นอย่างมาก ส่งผลทำให้สถานการณ์คุณภาพน้ำมีแนวโน้มเสื่อมโทรมลง ปัญหาหลักสำคัญของแม่น้ำยมคือ ในช่วงฤดูแล้งบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำยมจะประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำในการอุปโภคบริโภคของประชากรในพื้นที่ (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2555) แต่ในทางกลับกันในช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นสูง ส่งผลทำให้ประสบปัญหาอุทกภัยน้ำท่วมขังหลายพื้นที่ที่กระแสน้ำไหลผ่านภายในลุ่มน้ำยม เนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้เป็นบริเวณลุ่มน้ำที่ไหลผ่านตัวเมือง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีแหล่งชุมชนแออัดและมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อประกอบอาชีพทางการเกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก โดยจะมีการใช้ปุ๋ยและสารเคมีต่าง ๆ ทางเกษตรกรรม ซึ่งจะเกิดการชะล้างสารเคมีและปล่อยน้ำทิ้งจากชุมชนลงสู่แหล่งน้ำ (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2555) จึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ เป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งชนิดและปริมาณ ปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาระบบการตรวจวัดคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำโดยใช้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำนั้น ๆ มาเป็นดัชนีทางชีวภาพในการชี้วัดคุณภาพของแหล่งน้ำ

สัตว์หน้าดินเป็นกลุ่มสัตว์ที่ดำรงชีวิตอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำ อาศัยเฉพาะประจำที่ มีการเคลื่อนที่น้อย จึงได้รับผลกระทบโดยตรงจากน้ำทิ้งและการใช้ประโยชน์ของชุมชน เนื่องจากเป็นกลุ่มที่หากินตามพื้นผิวหน้าดินและมีการฝังตัวอยู่กับที่ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ความหลากหลายของสัตว์หน้าดินเป็นตัวบ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศสำหรับปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ ที่อาศัยอยู่บริเวณนั้นได้ (อิสระ, 2557) ซึ่งหากสภาพแวดล้อมในแหล่งน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงจากเดิมก็จะส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวและชนิดของสัตว์หน้าดินในบริเวณนั้น ๆ (กัญญณัฐ และคณะ, 2556) เมื่อพบแมลงน้ำกลุ่ม EPT ได้แก่ แมลงน้ำอันดับอีฟิเมอโรพเทอร่า (Ephemeroptera) พลีคอปเทอร่า (Plecoptera) และไทรคอปเทอร่า (Trichoptera) เป็นกลุ่มที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมสามารถทนต่อมลพิษในแหล่งน้ำได้น้อย ซึ่งแสดงถึงแหล่งน้ำนั้นมีคุณภาพดี (กิตติยา และคณะ, 2560) ในขณะที่สัตว์หน้าดินบางชนิดมีความทนทานได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ได้แก่ ไส้เดือนน้ำจืดชั้น Oligochaeta เช่น *Tubifex* sp. และริ้นน้ำจืดอันดับ Diptera เช่น *Chironomus* sp. เป็นกลุ่มที่มีความทนทานสูงมักจะอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง (อำพร และคณะ, 2557) ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าสัตว์หน้าดินสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำ เพื่อติดตามตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศในแหล่งน้ำได้เป็นอย่างดี โดยการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาความหลากหลายของสัตว์หน้าดินในแม่น้ำยม ปัจจัยคุณภาพน้ำ และความสัมพันธ์ของสัตว์หน้าดินกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ซึ่งผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการประเมินความเสื่อมโทรมของพื้นที่ รวมถึงยังสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดทำแผนและแนวทางในการอนุรักษ์แม่น้ำยมต่อไป

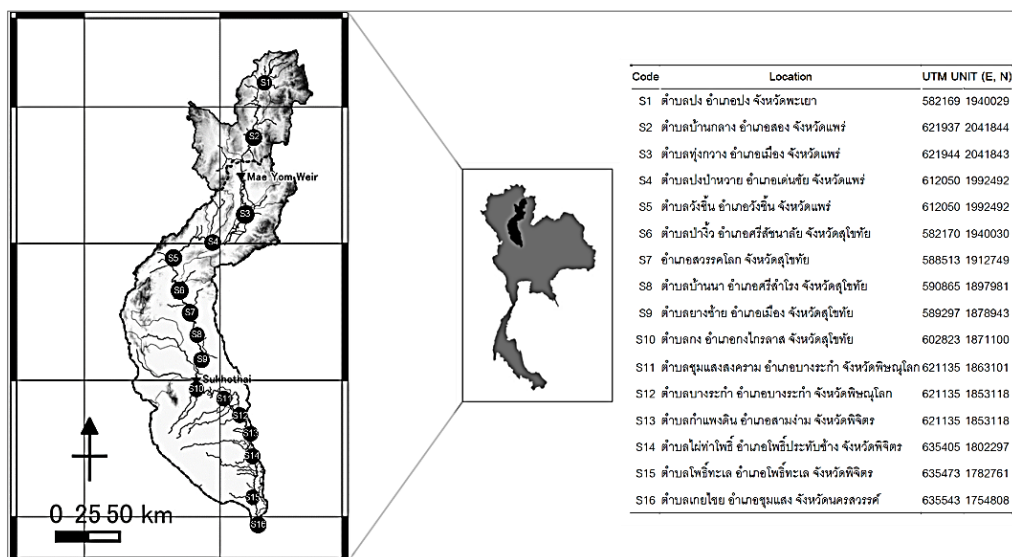
วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่และระยะเวลาทำวิจัย

ศึกษาประชาคมสัตว์หน้าดินและปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแม่น้ำยม เริ่มจากจังหวัดพะเยาแพร่ สุโขทัย พิษณุโลก พิจิตร และนครสวรรค์ เก็บตัวอย่าง 16 สถานี (ภาพที่ 1) โดยอ้างอิงตามลักษณะทางกายภาพและการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ แม่น้ำยมตอนต้นเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ยังไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมต่าง ๆ (สถานี S1-S6) ส่วนแม่น้ำยมตอนกลางและตอนล่างเป็นตัวแทนพื้นที่ที่ผ่านการใช้ประโยชน์จากกิจกรรมตลอดทั้งลำน้ำ (สถานี S7-S16) โดยช่วงเวลาศึกษาเป็นตัวแทนของฤดูกาล ได้แก่ เดือนมกราคม (ฤดูหนาว) เมษายน (ฤดูร้อน) และกรกฎาคม (ฤดูฝน) พ.ศ. 2561

2. การศึกษาความหลากหลายของสัตว์หน้าดิน

เก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินในบริเวณห่างจากฝั่งที่มีความลึกของน้ำไม่เกิน 1 เมตร สถานีละ 3 ครั้ง โดยใช้ Ekman grab ขนาดพื้นที่หน้าตัด 15x15 เซนติเมตร นำดินที่เก็บได้มาร่อนด้วยตะแกรงร่อน ขนาดช่องตะแกรง 250 ไมโครเมตร เพื่อแยกสัตว์หน้าดินและตะกอนขนาดใหญ่ไว้ แล้วรักษาสภาพตัวอย่างด้วยน้ำยาฟอร์มาลินเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นคัดแยกตัวอย่าง (sorting) สัตว์หน้าดินภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ โดยแยกตัวอย่างสัตว์ไว้ใส่หลอดแก้วแล้วรักษาสภาพด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ทำการระบุชนิด (identification) ตัวอย่างสัตว์หน้าดินถึงระดับวงศ์ (family) โดยใช้เอกสารของ Edmonson (1959), Brandt (1974), Sangpradub and Boonsoong (2006) และบุญเสฐียร (2557)



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างในแม่น้ำยมระหว่างเดือนมกราคมถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2561

3. การศึกษาคุณภาพน้ำและดินตะกอน

เก็บตัวอย่างน้ำตามจุดเก็บตัวอย่างที่กำหนดที่ระดับความลึกจากผิวน้ำประมาณ 30 เซนติเมตร และห่างจากฝั่งอย่างน้อย 2 เมตร หรือบริเวณใกล้เคียง วิเคราะห์ปัจจัยคุณภาพน้ำภาคสนาม ได้แก่ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen: DO) อุณหภูมิ (water temperature: temp) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) การนำไฟฟ้า (conductivity: cond) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (total dissolved solid: TDS) โดยใช้เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบพกพา AZ รุ่น 8602 (Az instrument Corp., Taiwan) ความขุ่น โดยใช้เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบพกพา HANNA รุ่น HI93703 (Hanna Instruments Ltd., Italy) สำหรับค่าความโปร่งแสงของน้ำ (transparency; trans) โดยใช้ Secchi disc ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน (total organic matter content: TOM) ตามวิธีการของ Parsons *et al.* (1984) จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (total suspended solid: TSS) ความเป็นด่าง (alkalinity: ALK) แอมโมเนีย (ammonia: NH_3) ไนไตรท์ (nitrite: NO_2^-) ไนเตรต (nitrate: NO_3^-) ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate: PO_4^{3-}) และคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll α : chl α) ตามวิธีการ APHA, AWWA and WEF (2012) นำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการของคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยและคำนวณปริมาณสัตว์หน้าดิน คำนวณค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon-wiener (H') และดัชนีความสม่ำเสมอ (species evenness) ดัชนีความชุกชุม (Magalef index) และคะแนนประเมินคุณภาพน้ำ ASPT (average score per taxon) โดยใช้สัตว์หน้าดิน (Mustow, 2002) วิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยคุณภาพน้ำระหว่างจุดและเดือนที่เก็บตัวอย่างด้วยวิธี ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการ duncan multiple range test วิเคราะห์การจัดกลุ่ม (cluster analysis: CA) ความคล้ายคลึงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแม่น้ำในแต่ละเดือนและจุดเก็บตัวอย่าง โดยวิธี euclidean distance-ward's linkage วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง

ปัจจัยคุณภาพน้ำและปริมาณสัตว์หน้าดิน โดยวิธีการ canonical correspondence analysis (CCA) โดยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติทั้งหมดด้วยโปรแกรม R-statistic version 4.1.1 (R Development Core Team, 2009)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาความหลากหลายของสัตว์หน้าดิน

การศึกษาสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในแม่น้ำยม ระหว่างเดือนมกราคมถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2561 พบสัตว์หน้าดินทั้งหมด 3 ไฟลัม (phylum) 19 อันดับ (order) และ 47 วงศ์ (family) โดยแบ่งออกเป็นไฟลัมอาร์โทรพอดา (Arthropoda) ไฟลัมมอลลัสกา (Mollusca) และไฟลัมแอนเนลิดา (Annelida) คิดเป็น 44.81 39.11 และ 16.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณเฉลี่ยรวมสัตว์หน้าดินทั้งหมด 1,430 ตัวต่อตารางเมตร สัตว์หน้าดินกลุ่มเด่นที่พบ ได้แก่ หอยสองฝาวงศ์ Unionidae (10.67 เปอร์เซ็นต์) หอยฝาเดียววงศ์ Viviparidae (10.46 เปอร์เซ็นต์) ตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดวงศ์ Chironomidae (8.22 เปอร์เซ็นต์) และไส้เดือนน้ำจืดวงศ์ Tubificidae (7.44 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ปริมาณของสัตว์หน้าดินที่พบในแม่น้ำยม ระหว่างเดือนมกราคมถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2561

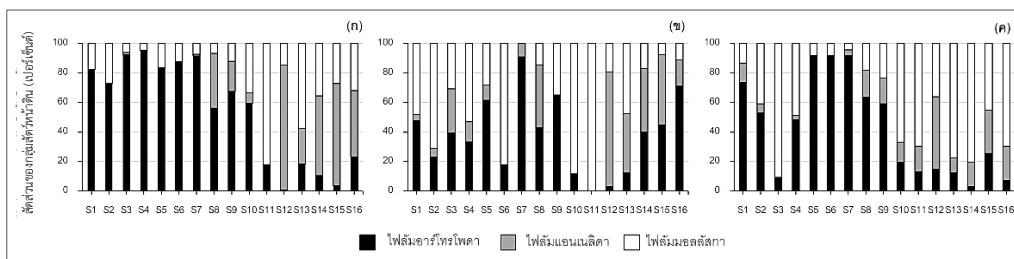
อนุกรมวิธาน			ความถี่ที่พบ (เปอร์เซ็นต์)			ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
ไฟลัม	อันดับ	วงศ์	มกราคม พ.ศ. 2561	เมษายน พ.ศ. 2561	กรกฎาคม พ.ศ. 2561	
Arthropoda	Ephemeroptera	Baetidae	1.65	2.74	2.47	2.29
		Caenidae	1.23	5.38	3.82	3.47
		Ephemeridae	1.68	0.27	1.03	0.99
		Heptageniidae	9.84	2.09	0.00	3.98
		Leptophlebiidae	2.95	3.81	2.29	3.02
		Polymitarcyidae	0.27	0.00	0.00	0.09
		Potamanthidae	0.68	0.90	0.00	0.52
	Plecoptera	Perlidae	0.14	6.39	0.97	2.50
	Trichoptera	Ecnomidae	0.35	0.58	0.81	0.58
		Hydropsychidae	12.10	0.81	2.89	5.27
		Leptoceridae	0.28	0.81	1.82	0.97
		Limnephilidae	0.14	0.72	0.00	0.29
		Philopotamidae	0.56	0.00	0.00	0.19
		Polycentropodidae	0.72	0.00	0.36	0.36
		Psychomyiidae	0.56	0.27	0.00	0.28
	Odonata	Chlorocyphidae	0.00	0.00	0.36	0.12
		Coenagrionidae	0.00	0.27	0.00	0.09
		Euphaeidae	0.14	0.00	0.00	0.05
		Gomphidae	2.57	2.36	1.07	2.00
		Lestidae	0.42	0.54	1.43	0.79
		Libellulidae	0.70	0.54	0.00	0.41
		Macromiidae	1.47	0.72	0.00	0.73
	Coleoptera	Chrysomelidae	0.00	0.27	1.43	0.57
		Elmidae	0.99	5.10	2.14	2.74
		Psephenidae	0.48	0.27	1.07	0.61

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ไฟล์	อนุกรมวิธาน		ความถี่ที่พบ (เปอร์เซ็นต์)			ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	อันดับ	วงศ์	มกราคม พ.ศ. 2561	เมษายน พ.ศ. 2561	กรกฎาคม พ.ศ. 2561	
	Hemiptera	Corixidae	1.19	0.00	0.00	0.40
		Naucoridae	0.00	0.00	0.36	0.12
		Notonectidae	0.59	0.62	1.26	0.83
	Lepidoptera	Pyrilidae	0.14	0.00	0.00	0.05
	Diptera	Ceratopogonidae	0.72	0.67	0.36	0.58
		Chironomidae	7.36	7.45	9.85	8.22
		Simuliidae	0.00	0.00	0.36	0.12
		Tipulidae	0.50	0.39	0.36	0.42
	Decapoda	Palaemonidae	0.82	0.93	0.93	0.89
		Parathelphusidae	0.28	0.54	0.00	0.27
Annelida	Haplotaxida	Naididae	3.97	4.17	5.62	4.58
		Tubificidae	12.71	2.65	6.95	7.44
	Lumbriculida	Lumbriculidae	2.24	1.61	8.40	4.09
Mollusca	Architaenioglossa	Ampullariidae	0.56	1.27	1.44	1.09
	Mesogastropoda	Viviparidae	5.45	14.50	11.42	10.46
		Thiaridae	1.56	4.79	10.36	5.57
	Sorbeoconcha	Pachychilidae	0.00	0.90	0.00	0.30
	Basommatophora	Lymnaeidae	0.00	0.00	0.68	0.23
	Neogastropoda	Buccinidae	0.83	2.57	2.91	2.10
	Mytilida	Mytilidae	1.40	2.03	0.90	1.45
	Venerida	Cyrenidae	7.66	7.51	6.56	7.24
	Unionida	Unionidae	12.10	12.58	7.34	10.67
3	19	47	100.00	100.00	100.00	100.00

เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของกลุ่มสัตว์หน้าดิน (ภาพที่ 2) พบว่าตลอดระยะเวลาการศึกษา กลุ่มสัตว์หน้าดินมีความแตกต่างกัน โดยช่วงเดือนที่ศึกษาจะพบสัตว์หน้าดินไฟล์อาร์โทรพอดามีสัดส่วนสูงสุด (37-52 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาเป็นไฟล์มอลลัสกา (30-46 เปอร์เซ็นต์) และไฟล์แอนเนลิดา (8-21 เปอร์เซ็นต์) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับสมสงวน และคณะ (2561) และทินพันธุ์ (2556) พบว่าสัตว์หน้าดินไฟล์อาร์โทรพอดามีชนิดมากสุดในแม่น้ำชี แม่น้ำปิง แม่น้ำน่าน แม่น้ำยม และแม่น้ำเจ้าพระยา เนื่องด้วยลักษณะของการไหลของกระแสน้ำและระดับปริมาณน้ำที่มีการผันแปรตลอดเวลา ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์หน้าดินไฟล์อาร์โทรพอดามีวงจรชีวิตที่หลากหลาย เช่น กลุ่มแมลงน้ำ กลุ่มหนอนแดง และกลุ่มปู ส่งผลให้สัตว์หน้าดินไฟล์นี้สามารถพบแพร่กระจายได้ตลอดทุกช่วงของลำน้ำยม ขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างพบว่าสัดส่วนของสัตว์หน้าดินแบ่งเป็นสองกลุ่มหลักอย่างชัดเจน โดยในเดือนมกราคม สถานี S1 ถึง S6 ซึ่งเป็นตัวแทนของแม่น้ำยมตอนต้นจะพบปริมาณของสัตว์หน้าดินไฟล์อาร์โทรพอดามากที่สุด และจะมีสัดส่วนลดลงในช่วงของแม่น้ำยมตอนกลางถึงตอนล่าง (S8-S16) ดังภาพที่ 2 (ก) สอดคล้องกับบุญเสฐียร (2557) กล่าวว่าแมลงน้ำอันดับ Ephemeroptera Plecoptera และ Trichoptera ชอบอาศัยชุกชุมในแหล่งต้นน้ำและพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของมลพิษต่ำ อย่างไรก็ตามปริมาณของสัตว์หน้าดินไฟล์อาร์โทรพอดาในสถานีที่ S1 ถึง S6 มีสัดส่วนลดลงในเดือนเมษายน ดังภาพที่ 2 (ข) และ

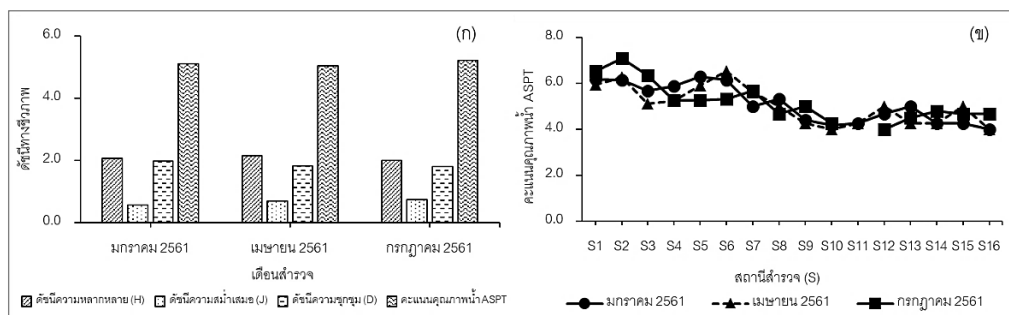
จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนกรกฎาคม ดังภาพที่ 2 (ค) ทั้งนี้เนื่องจากช่วงฤดูร้อนมีปัจจัยคุณภาพน้ำบางประการที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งส่งผลต่อการลดสัดส่วนของสัตว์หน้าดินโพลีอาร์โทรพดา ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ความเป็นต่าง บีโอดี ความโปร่งแสง และไนเตรท สำหรับสัตว์หน้าดินกลุ่มเด่น ได้แก่ ไส้เดือนน้ำจืดชั้น Oligochaeta สามารถพบได้ทุกสถานีสำรวจบริเวณพื้นที่ตอนล่างของแม่น้ำยมในสถานี S8-S16 (อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ถึงอำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพื้นที่ตอนล่างของแม่น้ำยมเป็นบริเวณที่มีการใช้ประโยชน์จากชุมชนจำนวนมาก เช่น การใช้น้ำในกิจกรรมครัวเรือน การทำการเกษตร และอื่น ๆ ซึ่งการทำกิจกรรมเหล่านี้ส่งผลให้บริเวณพื้นที่ตอนล่างมีการปนเปื้อนของมลพิษ ดังนั้นสัตว์หน้าดินกลุ่มนี้จึงอาจเป็นตัวแทนที่น่าสนใจที่ใช้ติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่มีการปนเปื้อนมลพิษ ส่วนตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดในวงศ์ Chironomidae พบว่าการแพร่กระจายทั้งลำน้ำซึ่งสามารถพบได้ทุกฤดูกาล สอดคล้องกับพิชาศิษฐ์ และสิทธิชัย (2564) และ De Lima *et al.* (2014) ประเทศบราซิลที่พบว่าตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดอันดับ Diptera ถูกพบเป็นกลุ่มเด่นเชิงปริมาณ โดยพบกระจายอยู่ในทุกฤดูกาลและสถานีเก็บตัวอย่างจากผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดอันดับ Diptera มีลักษณะการดำรงชีวิตที่หลากหลายและสามารถทนทานได้ในช่วงกว้าง (ณัฐธิดา และเรวดี, 2554) ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าสัตว์หน้าดินชนิดนี้น่าจะมีบทบาทที่สำคัญต่อระบบนิเวศในแม่น้ำยม ทั้งนี้ตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดจัดเป็นกลุ่มที่ทนทานต่อมลพิษในแหล่งน้ำที่มีการสะสมของสารอินทรีย์สูงได้ดีและสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำได้ (Soontornprasit, 2012)



ภาพที่ 2 สัดส่วนของกลุ่มสัตว์หน้าดินแม่น้ำยมในเดือนมกราคม (ก) เมษายน (ข) และกรกฎาคม (ค)

สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพมีค่าอยู่ในช่วง 0.71-3.16 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.07 ± 0.07 ซึ่งหมายความว่าความอุดมสมบูรณ์ของน้ำในแม่น้ำยมอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลาง ขณะที่ค่าดัชนีความสม่ำเสมอมีค่าอยู่ในช่วง 0.20-1.00 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.67 ± 0.09 ส่วนค่าดัชนีความชุกชุมมีค่าอยู่ในช่วง 0.70-4.16 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.87 ± 0.09 (ตารางที่ 2) การจัดเกณฑ์คุณภาพน้ำโดยใช้ค่าคะแนนประเมินคุณภาพน้ำ ASPT ของสัตว์หน้าดิน พบว่ามีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.04-5.20 คะแนน ดังภาพที่ 3 (ก) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.11 ± 0.85 (ตารางที่ 2) แสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำจัดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพปานกลาง ซึ่งสอดคล้องกับกัญญานุฐ และคณะ (2560) พบว่า ASPT บริเวณลำห้วยสาขาของหนองเล็งทรายจังหวัดพะเยามีค่าระหว่าง 4.0-6.7 แต่เมื่อแบ่งกลุ่มตามสถานีกลับพบว่าพื้นที่แม่น้ำยมตอนบน สถานี S1-S6 มีคะแนนคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงค่อนข้างดี (5.1-7.1 คะแนน) โดยพบสัตว์หน้าดินกลุ่มแมลงน้ำอันดับ Ephemeroptera Plecoptera และ Trichoptera ที่มีการแพร่กระจายในสัดส่วนที่สูง ขณะที่กลุ่มแม่น้ำยมตอนล่าง สถานี S7-S16 มีคะแนนคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงปานกลาง (4.0-5.7 คะแนน) ทั้งนี้เนื่องจาก

พื้นที่ตอนล่างของแม่น้ำยมเป็นพื้นที่ที่มีการใช้แหล่งน้ำในด้านชุมชนและด้านเกษตรกรรมเป็นหลัก ส่งผลให้คุณภาพน้ำมีความเสื่อมโทรมลงและมีการสะสมสารอินทรีย์ในดินตะกอนบริเวณพื้นที่ท้องน้ำสูงขึ้น แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนจากสัดส่วนสัตว์หน้าดินไฟลัมแอนเนลิดาและไฟลัมมอลลัสกาที่พบแพร่กระจายเป็นชนิดเด่น ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าช่วงลำน้ำยมระหว่างตอนบนและตอนล่างมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 3 (ข)



ภาพที่ 3 การประเมินค่าดัชนีทางชีวภาพ (ก) และคะแนนประเมินคุณภาพน้ำ ASPT ของสัตว์หน้าดินในแม่น้ำยม (ข)

2. ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ

จากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำยม ระหว่างเดือนมกราคมถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2561 พบว่าค่าเฉลี่ยของปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ น้ำ ความขุ่น ความโปร่งแสง ความเป็นด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ไนโตรเจน ไนเตรต และออร์โธฟอสเฟต มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแต่ละช่วงเดือน ในขณะที่ปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ การนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ ความเป็นด่าง แอมโมเนีย ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (S1-S16) ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทั่วไปแสดงให้เห็นว่าแม่น้ำยมมีสภาพแวดล้อมแตกต่างกันไปตามฤดูกาลและการใช้ประโยชน์จากกิจกรรมของมนุษย์ สอดคล้องกับ Ishtiyag *et al.* (2017) ที่กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลจะส่งผลทำให้ลักษณะทางกายภาพและคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำแตกต่างกันออกไป และสอดคล้องกับการศึกษาในแหล่งน้ำนิ่ง เช่น อ่างเก็บน้ำแม่ถางจังหวัดแพร่ และกว๊านพะเยา ที่พบว่าฤดูกาลส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ ได้แก่ ออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารอาหาร และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ปฏิพัทธ์ และคณะ, 2560; วิมลรัตน์ และคณะ, 2556) และสอดคล้องกับการศึกษาในแม่น้ำอิง แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำลี้ ที่พบว่ากิจกรรมในแหล่งน้ำส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำทางกายภาพและปริมาณสารอาหารกลุ่มไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (พิชยา, 2557; สันธิวัฒน์ และคณะ, 2557; ลูติมน และสุชาติ, 2562) เนื่องจากแหล่งน้ำไหลจะมีการเคลื่อนตัวของมวลน้ำตลอดเวลาจึงส่งผลให้คุณภาพน้ำมีความแตกต่างกันตามพื้นที่การใช้ประโยชน์

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของปัจจัยสิ่งแวดล้อมแต่ละเดือนในแม่น้ำยม

ปัจจัยสิ่งแวดล้อม	ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด (ค่าเฉลี่ย)			ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	มกราคม พ.ศ. 2561	เมษายน พ.ศ. 2561	กรกฎาคม พ.ศ. 2561	
ความเป็นกรด-ด่าง	7.40-8.60 (8.07) ^b	7.80-9.10 (8.51) ^a	6.80-7.80 (7.28) ^c	7.95±0.33
อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	23.30-32.60 (28.06) ^b	27.10-35.40 (31.19) ^a	26.90-32.10 (30.80) ^a	30.01±1.96
ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)	230.00-486.50 (323.88)	248.50-533.50 (314.47)	225.50-336.50 (278.84)	305.73±61.65
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (พีพีเอ็ม)	115.00-243.50 (165.91)	124.50-266.50 (156.19)	112.50-168.50 (139.28)	153.79±31.38
ความขุ่น (เอ็นทียู)	2.90-104.50 (42.10) ^b	5.50-170.00 (65.67) ^b	67.00-430.50 (257.50) ^a	121.76±63.90
ความโปร่งแสง (เซนติเมตร)	22.50-60.00 (37.31) ^a	12.50-40.00 (29.63) ^b	6.00-33.50 (11.72) ^c	26.22±8.62
ความเป็นด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	89.50-181.00 (133.28) ^a	93.00-174.50 (127.38) ^b	92.00-127.00 (103.53) ^c	121.40±21.86
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.00-8.40 (6.11) ^a	3.70-11.60 (6.99) ^a	2.60-7.20 (3.43) ^b	5.51±1.65
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.00-1.25 (0.62) ^b	0.90-9.10 (3.29) ^a	0.90-7.00 (3.55) ^a	2.49±1.50
ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.09-1.12 (0.30)	0.09-2.50 (0.46)	0.18-0.46 (0.29)	0.35±0.31
ปริมาณไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.00-0.13 (0.05) ^b	0.00-0.38 (0.07) ^b	0.07-0.16 (0.12) ^a	0.08±0.06
ปริมาณไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.01-0.05 (0.02) ^b	0.01-0.33 (0.14) ^a	0.01-0.12 (0.05) ^b	0.07±0.05
ปริมาณออร์โธฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.02-0.49 (0.15) ^b	0.00-0.43 (0.09) ^b	0.14-0.58 (0.32) ^a	0.19±0.14
ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร)	0.93-32.87 (7.09)	0.29-59.09 (7.31)	0.15-3.19 (1.12)	5.17±7.70
สารอินทรีย์รวมในดินตะกอน (เปอร์เซ็นต์)	1.23-5.14 (2.89) ^b	1.17-5.70 (2.88) ^b	1.19-7.59 (4.61) ^a	3.46±1.73
ดัชนีความหลากหลาย	0.71-2.76 (2.07)	1.50-2.91 (2.15)	1.43-3.16 (2.14)	2.07±0.07
ดัชนีความสม่ำเสมอ	0.20-0.89 (0.57) ^b	0.37-0.90 (0.69) ^{ab}	0.39-1.00 (0.75) ^a	0.67±0.09
ดัชนีความขรุขระ	1.00-3.65 (1.98)	1.12-3.89 (1.82)	0.70-4.16 (1.93)	1.87±0.09
คะแนนประเมินคุณภาพน้ำ ASPT	4.0-6.3 (5.1)	4.0-6.5 (5.0)	4.0-7.1 (5.2)	5.11±0.85
ปริมาณสัตว์หน้าดิน (×10 ³ ตัวต่อตารางเมตร)	0.82-6.32 (2.10) ^a	0.35-2.14 (1.07) ^b	0.04-4.48 (1.13) ^b	1.43±1.08

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

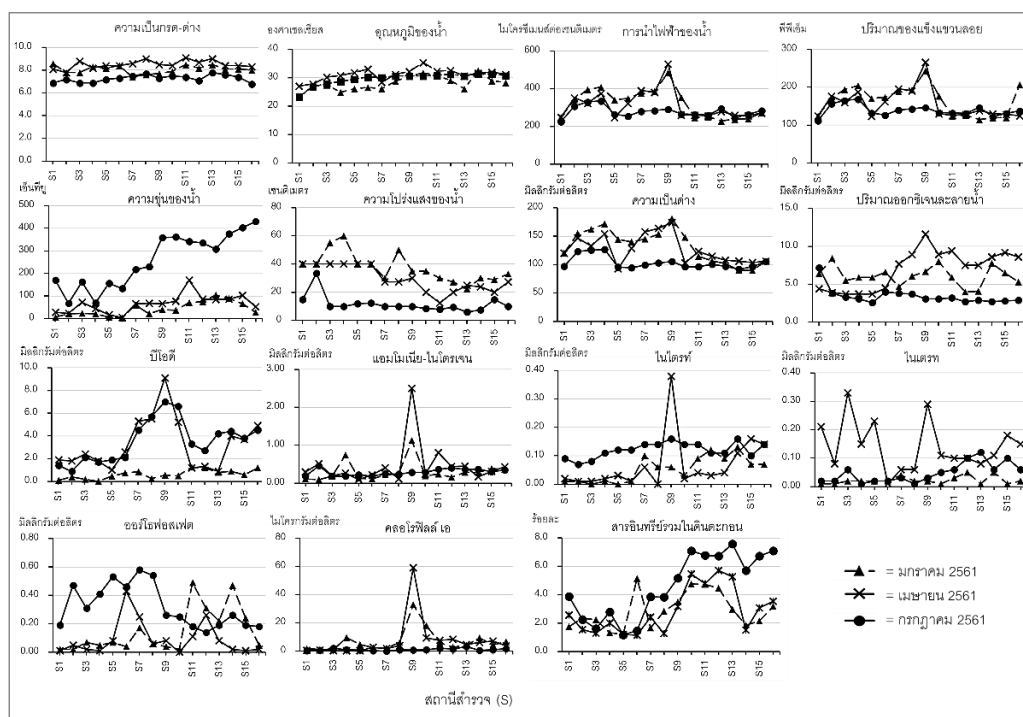
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแม่น้ำยม

	pH	temp	cond	TDS	TUR	trans	ALK	DO	BOD	NH ₃	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	chl a	TOM
เดือน	**	**	0.14	0.09	**	**	**	**	**	0.34	**	**	**	0.12	0.11
สถานี	0.99	**	**	**	0.88	0.79	**	0.97	0.29	**	0.16	0.96	0.90	**	**

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

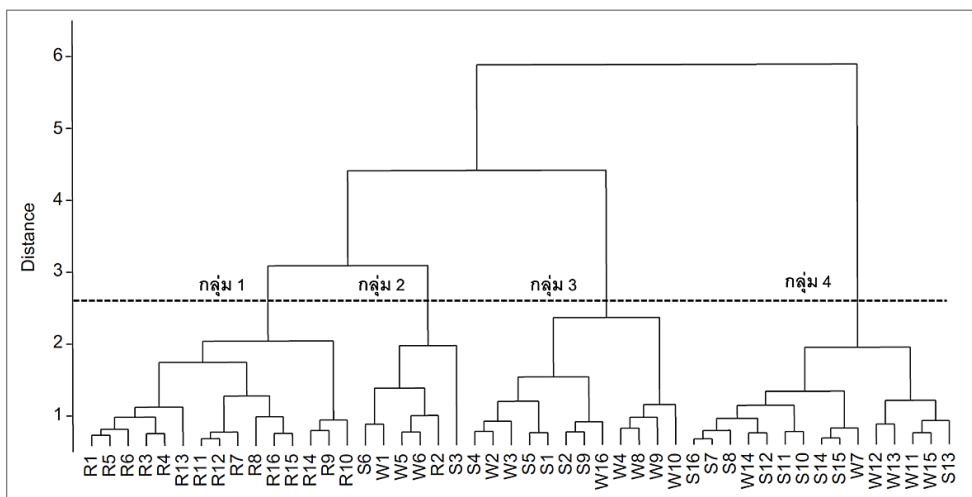
ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารแสดงให้เห็นว่าปริมาณธาตุอาหารมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในช่วงที่ทำการศึกษา โดยปริมาณธาตุอาหารตลอดแม่น้ำยมจะมีปริมาณสูงบริเวณพื้นที่ตอนล่างตั้งแต่สถานีเก็บตัวอย่าง S9 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ถึงสถานี S16 อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณแหล่งชุมชน มากกว่าพื้นที่ตอนบนซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ต้นน้ำ โดยภาพรวมจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรท ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับที่ไม่เกินเกณฑ์ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ยกเว้นสถานีเก็บตัวอย่างในบริเวณ

สถานี S9 เทศบาลอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ที่มีค่าแอมโมเนียสูงเกินค่ามาตรฐานโดยเฉพาะในเดือนมกราคมและเมษายน พ.ศ. 2561 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.12 และ 0.76 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณสถานีเก็บตัวอย่างนี้เป็นบริเวณแหล่งชุมชนหนาแน่นในเขตเทศบาลอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ส่งผลให้มีปริมาณธาตุอาหารไหลลงสู่แม่น้ำปริมาณมาก นอกจากนี้แล้วยังเป็นช่วงที่น้ำในแม่น้ำยมมีปริมาณน้อยและมีการกั้นเขื่อนบริเวณตอนบนและล่างของอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ทำให้พื้นที่บริเวณนี้เป็นลักษณะคล้ายแอ่งน้ำ ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ แสดงให้เห็นว่ามีค่าสูงอย่างชัดเจนในสถานีเก็บอย่างบริเวณชุมชนเมืองตามช่วงเวลาที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 4) โดยมีค่าสูงอย่างเห็นได้ชัดในเดือนมกราคมและเมษายน พ.ศ. 2561 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวและร้อน ตามลำดับ สำหรับเดือนมกราคมมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วง 0.93-32.87 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.09 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยสถานีที่มีค่าสูงสุดคือสถานีที่ 9 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย มีค่าเท่ากับ 32.87 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาคือสถานีที่ 10 อำเภอคลองกระลาต จังหวัดสุโขทัย มีค่าเท่ากับ 18.25 ไมโครกรัมต่อลิตร ในขณะที่เดือนเมษายนค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วง 0.29-59.09 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.31 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยสถานีที่มีค่าสูงสุดคือสถานีที่ 9 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย มีค่าเท่ากับ 59.09 ไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำโดยใช้เกณฑ์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำ พบว่าทั้งสองสถานีจัดเป็นแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์มาก (eutrophic status) ดังนั้นควรมีการควบคุมการปล่อยของเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำอย่างจริงจัง รวมทั้งรณรงค์สร้างจิตสำนึกการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำให้กับประชาชนโดยรอบแหล่งน้ำ ซึ่งจะก่อให้เกิดการขับเคลื่อนการดูแลรักษาทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนต่อไป



ภาพที่ 4 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละเดือนและจุดเก็บตัวอย่างในแม่น้ำยม ระหว่างเดือนมกราคมถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2561

เมื่อวิเคราะห์การจัดกลุ่มตามความคล้ายคลึงระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนและสถานีสำรวจ สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม (ภาพที่ 5) ดังนี้ กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มสถานีสำรวจตลอดลำน้ำ (S1-S16) ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการไหลหลากของน้ำและตะกอนปริมาณมาก มีคุณภาพน้ำหลายปัจจัยที่แตกต่างจากฤดูกาลอื่น ๆ โดยมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 3.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตร 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟต 0.32 มิลลิกรัมต่อลิตร และความขุ่นของน้ำเท่ากับ 257.5 เอ็นทียู ส่วนกลุ่มที่ 2 และ 3 คือกลุ่มสถานีสำรวจบริเวณต้นน้ำ (S1-S6) ในช่วงเดือนมกราคมและเมษายน พ.ศ. 2561 อย่างไรก็ตามในกลุ่มที่ 3 พบว่าสถานีที่ 8-10 เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 จัดรวมอยู่ในกลุ่มนี้เนื่องจากเป็นสถานีเก็บตัวอย่างที่อยู่บริเวณตอนกลางของแม่น้ำยม ซึ่งมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมคล้ายคลึงกันกับพื้นที่ตอนบนสำหรับกลุ่มที่ 4 คือ กลุ่มสถานีสำรวจปลายน้ำ (S7-S16) ในช่วงเดือนมกราคมและเมษายน พ.ศ. 2561 เมื่อพิจารณาผลการศึกษาคูณภาพน้ำในแม่น้ำยมตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดินสามารถจัดอยู่ในแหล่งน้ำประเภท 3 (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) และในภาพรวมอาจกล่าวได้ว่าสถานการณ์ทางด้านคุณภาพน้ำในพื้นที่ตอนบนและตอนล่างของแม่น้ำยมยังอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ และสามารถบำบัดตัวเองได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางน้ำ ยกเว้นบางสถานีที่ต้องมีการเฝ้าระวังเป็นพิเศษ โดยเฉพาะสถานีเก็บตัวอย่างพื้นที่ตอนล่างของแม่น้ำยม อาทิ สถานี S9 บริเวณเขตเทศบาลอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย และสถานี S10 บริเวณอำเภองกรลาส จังหวัดสุโขทัย เนื่องจากมีความเสี่ยงต่อการส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศโดยเฉพาะปัญหาการเกิดสาหร่ายยูโทรฟิเคชัน

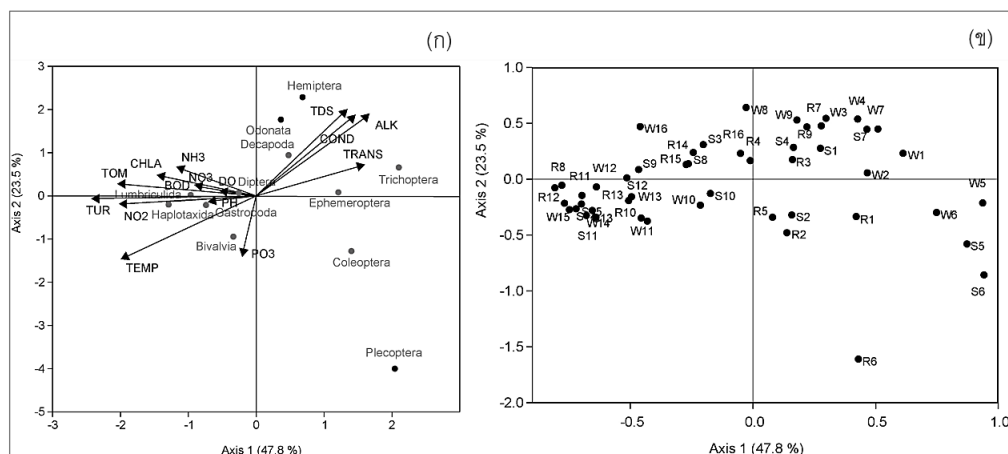


ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความคล้ายคลึงจัดกลุ่มของปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละเดือนและจุดเก็บตัวอย่างในแม่น้ำยม ระหว่างเดือนมกราคมถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2561 โดย W = winter season (ฤดูหนาว เดือนมกราคม) S = summer season (ฤดูร้อน เดือนเมษายน) และ R = rainy season (ฤดูฝน เดือนกรกฎาคม) ส่วน 1-16 = sampling site (สถานีสำรวจ)

3. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับกลุ่มสัตว์หน้าดิน

จากภาพ 6 (ก) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยวิธี CCA โดยใช้การอธิบายความสัมพันธ์ คือ ถ้าตัวแปรอยู่ในด้านเดียวกันแสดงว่ามีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง แต่ถ้าตัวแปรกระจายในด้านตรงกันข้ามแสดงถึงความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน จากผลการวิเคราะห์พบว่าแกน axis 1 และ

axis 2 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมและการแพร่กระจายของสัตว์หน้าดิน ได้ 47.8 และ 23.5 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 6) ซึ่งจะอธิบายแกน axis 1 เนื่องจากมีความสำคัญสูงสุด โดย axis 1 ประกอบด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ การนำไฟฟ้า ความเป็นด่าง และความโปร่งแสง มีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับกลุ่มสัตว์หน้าดิน ได้แก่ ตัวอ่อนแมลงน้ำอันดับ Hemiptera Odonata Decapoda Trichoptera และ Ephemeroptera ในช่วงแม่น้ำยมตอนต้น (S1-S7) และแปรผกผันกับค่า อุณหภูมิ น้ำ บีโอดี ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรท ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความขุ่น และปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน ขณะเดียวกันปัจจัยสิ่งแวดล้อมดังกล่าวมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับสัตว์หน้าดิน ได้แก่ ตัวอ่อนริ้นน้ำจืดอันดับ Diptera ไล่เดือนน้ำจืดอันดับ Haplotoxida และ Lumbriculida ในช่วงแม่น้ำยมตอนกลางถึงตอนล่าง (S8-S16) นอกจากนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมและสัตว์หน้าดินในแต่ละเดือนที่สามารถแบ่งแยกได้ชัดเจน ดังภาพที่ 6 (ข) ซึ่งสอดคล้องกับ Silva *et. al.* (2009) ที่ศึกษาความหลากหลายและความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในแหล่งน้ำไหล พบว่าแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ จะพบความหลากหลายของแมลงน้ำสูง ในขณะที่บริเวณแหล่งน้ำที่มีสารอาหารสูงจะส่งผลกระทบต่อการอยู่อาศัยของแมลงน้ำ สำหรับปริมาณสารอาหาร ความขุ่น บีโอดี ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายของตัวอ่อนริ้นน้ำจืดอันดับ Diptera หอยฝาเดียว และไล่เดือนน้ำจืดอันดับ Haplotoxida และ Lumbriculida จากปัจจัยที่กล่าวมานั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่แสดงให้เห็นว่าน้ำถูกปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์มาก ซึ่งสัตว์หน้าดินกลุ่มไล่เดือนน้ำจืดเป็นสิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีวิตโดยการกินเศษซากพืชซากสัตว์และอินทรีย์สารเป็นอาหาร จัดเป็นตัวชี้วัดสภาพมลพิษทางอินทรีย์สาร (สรณรัชฎ์, 2545) สอดคล้องกับการศึกษาของ Boonsoong and Sangpradub (2002) ซึ่งกล่าวว่าในพื้นที่เลี้ยงปลาที่มีสารอินทรีย์สะสมในปริมาณสูงจะพบกลุ่มสัตว์หน้าดินที่มีความทนทานต่อมลพิษ เช่น ไล่เดือนน้ำจืด และหนอนแดง จากผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าสัตว์หน้าดินกลุ่มนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการเป็นดัชนีประเมินคุณภาพของแหล่งน้ำต่าง ๆ ได้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น สารปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ได้แก่ ยาฆ่าแมลง หรือโลหะหนักอื่น ๆ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (ณัฐริดา และสุปนิษฐ์, 2563)



ภาพที่ 6 ผลการการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (CCA) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับกลุ่มสัตว์หน้าดิน (ก) ในแต่ละเดือนและจุดเก็บตัวอย่าง (ข) ในแม่น้ำยม ระหว่างเดือนมกราคมถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2561

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความหลากหลายของสัตว์หน้าดินกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแม่น้ำยม ช่วงเดือนมกราคมถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2561 พบว่าช่วงเดือนและแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างมีปริมาณสัตว์หน้าดินเฉลี่ยทั้งหมด 1,430 ตัวต่อตารางเมตร โดยมีสัตว์หน้าดินไฟลัมอาร์โทรพอดาเป็นชนิดเด่นในสถานีต้นน้ำ S1-S6 ส่วนสัตว์หน้าดินไฟลัมแอนเนลิดาและไฟลัมมอลลัสกาเป็นชนิดเด่นในสถานีตอนล่าง S7-S16 ปัจจัยคุณภาพน้ำในแม่น้ำยม โดยภาพรวมพบว่าสถานการณ์ทางด้านคุณภาพน้ำในพื้นที่ตอนบนและตอนล่างของแม่น้ำยมยังอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ แต่อย่างไรก็ตาม มีบางสถานีที่ต้องมีการเฝ้าระวังเป็นพิเศษ โดยเฉพาะสถานีเก็บตัวอย่าง S9 บริเวณเขตเทศบาลอำเภอเมืองจังหวัดสุโขทัย ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน เนื่องจากมีความเสี่ยงต่อการส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ โดยเฉพาะปัญหาคุณภาพน้ำบางประการที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานและปัญหาการเกิดสภาวะยูโทรฟิเคชัน การศึกษาครั้งนี้ยังชี้ให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมและสัตว์หน้าดิน โดยเฉพาะสารอาหารกลุ่มไนโตรเจน คลอโรฟิลล์ เอ ความขุ่น บีโอดี อุณหภูมิ น้ำ และปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน มีอิทธิพลต่อตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดอันดับ Diptera และไส้เดือนน้ำจืดอันดับ Haplotaxida และ Lumbriculida ขณะที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ การนำไฟฟ้า ความเป็นด่าง และความโปร่งแสง มีอิทธิพลต่อตัวอ่อนแมลงน้ำอันดับ Hemiptera Odonata Decapoda Trichoptera และ Ephemeroptera เมื่อประเมินคุณภาพน้ำจากค่า ASPT ของสัตว์หน้าดิน มีค่าเฉลี่ยแต่ละฤดูกาลอยู่ระหว่าง 5.04-5.20 (เกณฑ์คุณภาพน้ำปานกลาง) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าคุณภาพน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดิน สามารถสรุปได้ว่าคุณภาพน้ำในแม่น้ำยมจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของแหล่งน้ำผิวดินประเภท 3 ดังนั้นผลจากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำสัตว์หน้าดินมาใช้ในการติดตามตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในพื้นที่แม่น้ำยม และการควบคุมการปล่อยของเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรแหล่งน้ำและการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททุนสร้างสถานภาพนักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2546). *คู่มือการติดตามตรวจสอบและประเมินคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำจืดผิวดิน*. กรุงเทพฯ: สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ.
- กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์ ศิริลักษณ์ วลัยุชเพียร และสันธิวัฒน์ พิทักษ์พล. (2556). ความหลากหลายของแมลงน้ำในแม่น้ำอิง. *วารสารแก่นเกษตร*, 41(1), 142-148.
- กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์ ศิริลักษณ์ วลัยุชเพียร สุกัญญา พิกแก้ว และภัทมาศ อ่ำทอง. (2560). การใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำในลำห้วยสาขาของหนองเล็งทรายจังหวัดพะเยา. *วารสารแก่นเกษตร*, 45(4), 653-662.
- กิตติยา ถาวโรฤทธิ์ พงษ์พันธ์ สุขสุพันธ์ และนฤมล แสงประดับ. (2560). ความหลากหลายของแมลงชีปะขาว แมลงสโตนฟลายและแมลงหนอนปลอกน้ำในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าฮาลา-บาลา จังหวัดนราธิวาส. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 1(3), 149-161.

- จิตติมน ญาณพิช และสุชาติ เหลืองประเสริฐ. (2562). การประเมินความสัมพันธ์ของแพลงก์ตอนพืช กับคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา. *วิศวกรรมสาร มก*, 107(32), 65-72.
- ณัฐธิดา คลังกลาง และเรวดี ไรจนกนันท์. (2554). การใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินเพื่อเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยการประยุกต์ใช้ belgian biotic index (BBI) กรณีศึกษา ลำน้ำใกล้เคียงโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มในอำเภอนองใหญ่จังหวัดชลบุรี. ใน *การประชุมสัมมนาทางวิชาการการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 12* (หน้า 765-773). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ณัฐธิดา จันทวงศ์ และสุปนิษฐ์ ไหมแพ. 2563. ความหลากหลายและการกระจายของโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรนในแหล่งน้ำจืด อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 39(2), 45-59.
- ทินพันธุ์ เนตรแพ. (2556). ความหลากหลายของสัตว์พื้นท้องน้ำในแม่น้ำจังหวัดนครสวรรค์. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*, 5(5), 1-8.
- บุญเสถียร บุญสูง. (2557). คู่มือจำแนกตัวอ่อนแมลงชีปะขาว แมลงสโตนฟลายและแมลงหนอนปลอกน้ำในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปฎิพัทธ์ สันป่าเป้า สุพัฒน์ พลชา ปิยวัฒน์ ปองผดุง และวิทยา ทาวงศ์. (2560). ความหลากหลายชนิดของแพลงก์ตอนพืชและความสัมพันธ์ต่อคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่. *วารสารแก่นเกษตร*, 45(4), 663-674.
- พิชยา ชุมก. (2557). ความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่แพลงก์ตอนพืชแพลงก์ตอนสัตว์และไดอะตอมพื้นท้องน้ำและการใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำในแม่น้ำลำจังหวัดลำพูน. *พืชนศาสตร์*, 10(2), 81-97.
- พิชาธิษฐ์ แสงเมฆ และสิทธิชัย ฮะทะโชติ. (2564). ผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อประชาคมสัตว์หน้าดินในหนองหารจังหวัดสกลนคร. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 13(1), 107-124.
- วิมลรัตน์ บุตรดาชุย เจนจิรา หมื่นเร็ว และสุทธัย พงศ์พัฒนศิริ. (2556). การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำผิวดินในกว๊านพะเยา (ลุ่มน้ำแม่โขง). *วารสารนเรศวรพะเยา*, 6(2), 111-115.
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. (2555). *ฐานข้อมูลพื้นฐานลุ่มน้ำยม*. กรุงเทพฯ: สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน).
- สมสงวน ปัสสาโก จุไรรัตน์ คุรุโคตร และชมภู เหนือศรี. (2561). คุณภาพน้ำและความหลากหลายของสัตว์หน้าดินในแม่น้ำชี. *วารสารเกษตรพระวรุณ*, 15(1), 156-167.
- สรณรัชฏ์ กาญจนะวณิช. (2545). *คู่มือหาซื้อสัตว์เล็กน้ำจืด โครงการนักสืบสายน้ำ*. กรุงเทพฯ: บริษัทอมรินทร์พริ้นท์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).
- สันธิวัฒน์ พัทธ์กุล กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์ และศิริลักษณ์ วลัยชัยเพียร. (2557). คุณภาพน้ำและความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในแม่น้ำอิง. *วารสารแก่นเกษตร*, 42(ฉบับพิเศษ 1), 778-784.
- อำพร ศักดิ์เศรษฐ ณิชารินทร์ แก้วฤทธิ์ และชไมพร แก้วศรีทอง. (2557). การประเมินคุณภาพน้ำด้วยวิธี AARL-PP Score ของแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น และ BMWP (THAI) Score ของสัตว์หน้าดินในลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. *วารสารการประมง*, 67(1), 29-42.

- อิสระ ธานี. (2557). การใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินขนาดใหญ่เพื่อการติดตามตรวจสอบทางชีวภาพ. *วารสารวิจัย มสค สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 7(1), 125-137.
- APHA, AVWWA, and WEF. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater. (22nd ed). *Water Environment Federation*. Washington DC: American public health association, American water work association and water pollution control federation.
- Boonsoong, B. and Sangpradub, N. (2002). Impact of intensive fish cage culture on benthic macroinvertebrates in Chi River, Northeast, Thailand. *KKU Science Journal*, 30(4), 228-240. (in Thai)
- Brandt, R.A.M. (1974). The non-marine aquatic mollusca of Thailand. *Archiv für Molluskenkunde*, 105, 1-423.
- De Lima, F.B., Schäfer, A.E. and Lanzer, R.M. (2013). Diversity and spatial and temporal variation of benthic macroinvertebrates with respect to the trophic state of Lake Figueira in the South of Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 25(4), 429-441.
- Edmonson, W.T. (1959). Freshwater biology. (2nd ed). New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Ishtiaq, A.N., Anisa, B.K. and Abdul, H. (2017). Evaluation of seasonal variability in surface water quality of Shallow Valley Lake, Kashmir, India, using multivariate statistical techniques. *Pollution*, 3(3), 349-362.
- Mustow, S.E. (2002). Biological monitoring of rivers in Thailand and application of the BMWP score. *Hydrobiologia*, 479(1), 191-229.
- Parsons, T.R, Maita, Y. and Lalli, C.M. (1984). A manual of chemical and biochemical methods for seawater analysis. Oxford: Pergamon press, Inc.
- R Development Core Team. (2009). *R: A language and environment for statistical computing*. Retrieved 5 October 2021, from: <http://www.R-project.org/>.
- Sangpradub, N. and Boonsoong, B. (2006). *Identification of freshwater invertebrates of the Mekong River and its tributaries*. Vientiane: Mekong River Commission.
- Silva, F.L., Moreira, D.C., Ruiz, S.S. and Bochini, G.L. (2009). Diversity and abundance of aquatic macroinvertebrates in a lotic environment in Midwestern São Paulo State, Brazil. *Ambi-Agua, Taubaté*, 4(1), 37-44.
- Soontornprasit, K. (2012). Use of aquatic insects as bioindicators of water quality in Kwan Phayao, Phayao Province. *Journal of Community Development Research*, 5(1), 15-24. (in Thai)

**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 2 ท่าน แบบผู้ประเมินอิสระและผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ประเมิน (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 15 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 ให้ข้อมูลทางวิชาการที่มีการตรวจเอกสาร (literature review) โดยระบุถึงแหล่งที่มาของข้อมูล (อ้างอิง) และจุดมุ่งหมายที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งวัตถุประสงค์ของการวิจัย

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

➤ ผลการวิจัย (results) รายงานผลการวิจัยให้ได้ใจความชัดเจนและตรงประเด็นโดยยึดแนวทางตามวัตถุประสงค์เป็นหลัก ควรอธิบายผลการวิจัยด้วยคำบรรยายเป็นหลัก แต่ถ้ามีตัวเลขหรือตัวแปรมากควรนำเสนอเป็นภาพและตาราง แทรกในเนื้อหา พร้อมอธิบายผลการวิจัยให้ได้สาระครบถ้วน

➤ การอภิปรายผลการวิจัย (discussion) เป็นการชี้แจงผลการวิจัยว่าตรงกับวัตถุประสงค์/สมมติฐานของการวิจัย สอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลการวิจัยของผู้อื่นที่มีอยู่ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

➤ สรุปผลการวิจัย (conclusion) สรุปผลการวิจัยให้ได้ใจความชัดเจนและตรงประเด็น

➤ ข้อเสนอแนะ (suggestion) (ถ้ามี)

➤ กิตติกรรมประกาศ (acknowledgements) ให้ระบุว่าจะงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนหรือความช่วยเหลือจากองค์กรใด และบุคคลใดบ้าง

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

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

3.2.1 ส่วนประกอบตอนต้น

➤ ชื่อเรื่อง (title) ควรสั้นกะทัดรัด ไม่ยาวจนเกินไป ให้เขียนชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษในบรรทัดถัดไป

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

➤ สาระสังเขป (summary) เป็นการย่อเนื้อความของบทความทั้งเรื่องให้สั้นได้เนื้อหาสาระครบถ้วน

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

3.2.2 เนื้อหา (main text) ในบทความทางวิชาการมีองค์ประกอบดังนี้

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

3.3 ตารางและภาพประกอบ ให้จัดแทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็นเท่านั้น โดยเนื้อหาและคำอธิบายในตารางและภาพสามารถใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น

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

ตารางที่ 1 จำนวนฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง และความเร็รรอบของจานโซ่

จานโซ่	จำนวนฟัน	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (mm)	ความเร็รรอบ (pm)
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

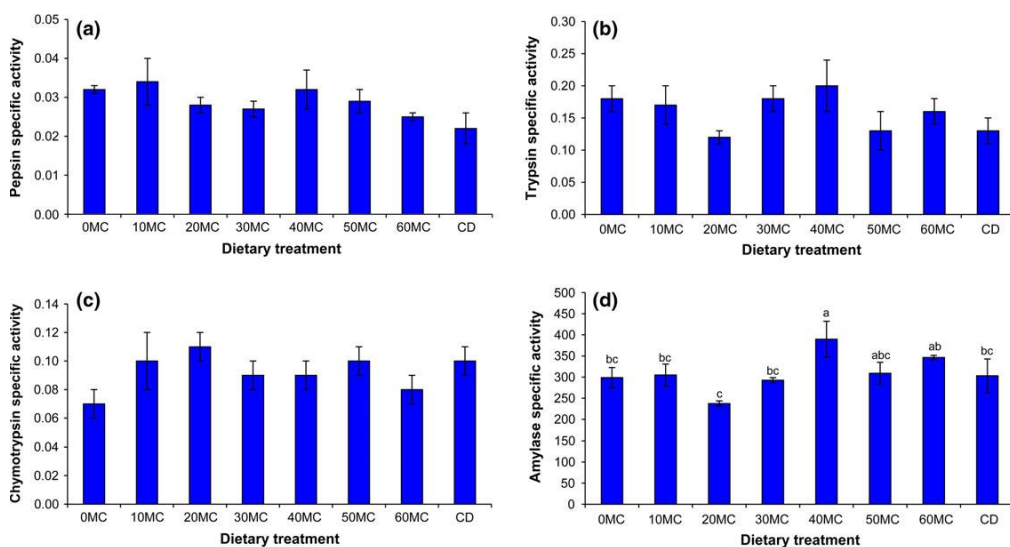


Figure 1 The specific activities (U/mg protein) of pepsin (a), trypsin (b), chymotrypsin (c) and amylase (d) in giant freshwater prawns subjected to various dietary replacements of protein from fish meal with mackerel condensate (MC). The data are expressed as mean $\pm$ SEM ($n = 3$). Different superscripts 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 สรเมธี วชิรปราการ. (2551). <i>เปิดชีวิตเทวดานางฟ้าไขปริศนาแดนสวรรค์</i> . นนทบุรี: สมาร์ทบุ๊ก. Almond, G.A. and Powell, B.G. (1976). <i>Comparative political today</i> . Boston: Little Brown and Company. กรณีตีพิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป เจือจันทร์ จงสถิต และรุ่งเรือง สุชาติพิทย์. (2550). <i>การสังเคราะห์งานวิจัยคุณลักษณะและกระบวนการปลูกฝังจริยธรรมของประเทศต่าง ๆ</i> . (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ชุมมนุสสการณการเกษตรแห่งประเทศไทย. 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.
ตัวอย่าง กรณีที่วารสารมีเลขหน้า สมรักษ์ รอดเจริญ และการุณ ทองประจุแก้ว. (2559). สภาพการเลี้ยงและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (<i>Nostoc commune</i> TISTR 8870) ที่ผ่านการดัดแปรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. <i>วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย</i>, 8(2), 219-229. Palazzo, A.J., Cory, T.J. and Hardy, S.E. (2003). Root growth and metal uptake in four grasses grown on Zn-contaminated soil. <i>Journal of Environmental Quality</i>, 32(3), 834-840. กรณีที่วารสารไม่มีเลขหน้า 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). <i>สมรรถนะแห่งตนต่อการเฝ้าระวังโรคความดันโลหิตสูงของอาสาสมัครสาธารณสุขอำเภอนาหมื่น จังหวัดน่าน</i>. 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). <i>ความอุดมสมบูรณ์ของดิน</i>. สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2542, จาก: http://158.108.200.11/scil/009hom~1/009421/chap1.html. Adkins, J. (2016). <i>Marine scientist devotes career to reversing trend of by catch</i>. Retrieved 1 July 2018, from: https://phys.org/news/2016-03-marine-scientist-devotes-career-reversing.html.

รายงานการประชุม
ชื่อ/ชื่อสกุล./(ปีที่พิมพ์)/ชื่อเรื่อง./ชื่อการประชุมหรือการสัมมนา./สถานที่พิมพ์.
ตัวอย่าง สุรยุทธ แจ่มเกิด. (2559). ความมั่นคงทางอาหารของชุมชนบ้านบางปรก. <i>การประชุมวิชาการ ความมั่นคงทางอาหารแห่งชาติ</i> . กรุงเทพฯ.
รายงานการวิจัย
ชื่อ/ชื่อสกุล./(ปีที่พิมพ์)/ชื่อเรื่อง./รายงานวิจัย./ชื่อมหาวิทยาลัย.
ตัวอย่าง จันทิมา ชั่งสิริพร พรศิริ แก้วประดิษฐ์ และพฤกระยา พงศ์ยี่หล้า. (2559). การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราที่ได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับงานเครื่องกรองน้ำ. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
บทหนึ่งในหนังสือการประชุม (proceeding) และเอกสารการสัมมนา
ชื่อ/ชื่อสกุล./(ปีที่พิมพ์)/ชื่อบทความหรือบท./ใน/ชื่อการประชุมหรือการสัมมนา/(หน้าแรก-หน้าสุดท้าย)/เมืองที่พิมพ์:/หน่วยงานที่จัดทำ.
ตัวอย่าง กรวรรณ มากสุข. (2555). วาทกรรมความงามของเด็กมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช. ใน <i>การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏวิจัย ครั้งที่ 3</i> (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