



วารสาร วิชชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ปีที่ 41 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2565

Vol. 41 No. 2 July - December 2022

วารสารวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN (Print) : 0125-2380

ISSN (Online) : 2672-958X



Wichcha Journal

Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

www.nstru.ac.th



วารสาร วิชชา WICHCHA JOURNAL มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

ปีที่ 41 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2565 Vol. 41 No. 2 July – December 2022

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

นโยบาย

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

ขอบเขตงาน

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

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการและงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นสื่อส่งเสริมการสร้างความรู้และองค์ความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อเป็นเวทีนำเสนอผลงานทางวิชาการของบุคลากรในมหาวิทยาลัยและบุคคลทั่วไป

ประเภทบทความ

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

กระบวนการพิจารณาบทความ

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

ค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ไม่เก็บค่าธรรมเนียมในการตีพิมพ์

เกี่ยวกับวารสาร

ชื่อวารสาร : วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ISSN ฉบับตีพิมพ์ : 0125-2380
ISSN ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ : 2672-958X
เว็บไซต์วารสาร : <https://www.tci-thaijo.org/index.php/wichcha/index>

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

จัดพิมพ์โดย : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

เลขที่ 1 หมู่ที่ 4 ตำบลท้าว อำเภอมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

บรรณาธิการที่ปรึกษา ประกอบด้วย

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

กองบรรณาธิการ ประกอบด้วย

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

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิโรตม์ เกตุแก้ว
รองศาสตราจารย์ ดร.การุณ ทองประจักษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุปัญญา จิตตพันธ์

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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สงรักษ์

ดร.ปิยรักษ์ ปริญาพงษ์ เจริญทรัพย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิระยุทธ สุดสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ศุภพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งนภา พิมพ์เสน

ดร.ศณิษา ธีระขุนท์

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

ผู้ประเมินอิสระหรือพิชญพิจารณา (Peer review) ตรวจสอบทางวิชาการประจำฉบับ

ศาสตราจารย์ ดร.สมปอง เตชะโต
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤติมา เสาวกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.จิรพล สังข์โพธิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนพงศ์ เกิดทองมี

รองศาสตราจารย์ ดร.สนธิชัย จันทน์เปรม
รองศาสตราจารย์ ดร.สังคม เตชะวงศ์เสถียร
รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย แก้วเกื้อกูล

รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ สืบสำราญ

รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เฟื่องหนู
รองศาสตราจารย์ ดร.โองการ วนิชาชีวะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กวิน ตันติเสวี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยภรณ์ แก้วอ่อน

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาลัยนวัตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย
วลัยลักษณ์
คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ จันจุฬา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนภูมิ ศิริงาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพคุณ ภักดิ์เมธวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษบา บัวคำ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย ทาระโคตร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณศิริ คำโอ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พอจิต นันทนาวัฒน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชรดา ปินใจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพัฒน์ ชัยวร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชพล พะวงศรีรัตน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมจินตนา คุ่มภัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังคณา พันธุ์หล่อ

ดร.เกษศิริรินทร์ รัตจร

ดร.นุชจรินทร์ เพชรเกลี้ยง

ดร.เยาวมาลย์ เขียวสอาด

ดร.สุธีรา วัฒนกุล

ดร.สุพิชญ์ แคมมณี

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำนักวิชารัฐศาสตร์และรัฐประศาสนศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้ตรวจทานภาษาต่างประเทศประจำฉบับ

Miss Christine Soriano

Ms.Kathylene Remegio

ศูนย์ภาษา สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ศูนย์ภาษา สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ฝ่ายจัดการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรศักดิ์ แก้วอ่อน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ศุภพันธ์

นางสาวกนกต์ฤทัย จรจรัส

ปก เลือมนการพิมพ์

พิมพ์ที่ เลือมนการพิมพ์

439 ถนนศรีธรรมโศก ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80000

โทร. 090-2895246 e-mail: pured2548@gmail.com

	หน้า
บทความวิจัย	
การวัดความเร็วปลายในการตกของโลหะทรงกลมรัศมีแตกต่างกันในกลีเซอรินโดยใช้ตัวตรวจจับเวลาที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ อภิสิทธิ์รัตน์ ชันแก้ว* มนูญชัย ไชยเพศ วริยา หลังหลี่ และพิชญา ทิพย์ศรี	1
ผลของคลื่นไมโครเวฟต่อโครงสร้างทางเคมีกายภาพของเปลือกไข่ไก่ พิไลพร หนูทองคำ ประภัสสร จุลบุตร และประสพพร จุลบุตร*	28
ผลของสารเคลือบผิวบุกและน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะเขือเทศเชอร์รี่ ทิตา สุนทรวิภาต	41
การคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่มีความสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้าข้าว สรลัี พรมมาเยกุล อรุพงษ์ เดียวกั ศศิพร จอมคำ และจุฑามาศ อาจนาศีลว*	56
การศึกษาระดับความสำคัญขององค์ประกอบของทุนมนุษย์วิศวกรโยธาและวิศวกรชลประทาน กรณีศึกษา ของกรมชลประทาน พรเทพ วุฒินวงศ์* และนคร กนกแก้ว	71
การพัฒนาต้นแบบเครื่องผสมน้ำยาพาราเก็งอัตโนมัติ พัชรินทร์ อินทมาศ อภิคันย์ ศิริพันธ์ สมหมาย ศรีสุข ธนาภรณ์ เมืองมุงคุณ ญัฐพงศ์ สุขสวัสดิ์ และพรหมพักตร์ บุญรักษา*	86
การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะของต้นประ (Elateriospermum tapos) บริเวณเส้นทางศึกษาธรรมชาติที่มี ภูมิประเทศแตกต่างกันในอุทยานแห่งชาติเขานัน จังหวัดนครศรีธรรมราช จุฑามาศ ศุภพันธ์ พัฒนพร รินทจักร วีระเกียรติ ทรัพย์มี และวรวิฑู มีสุข*	99
ผลของการอบดินแปลงแม่พันธุ์เบญจมาศด้วยไอน้ำต่อจุลินทรีย์ดิน กนกอร อัมพรายน์ ศิริพร เปรมฤทธิ์ และญัฐพงศ์ จันจุฬา*	114
การเจริญเติบโตและผลผลิตบัวบกจาก 5 แหล่งปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ อนันต์ พิริยะภัทรกิจ* พัชร เดชเลัย พรกมล รูปเลิศ และปัญญพัฒน์ พลพิมพ์	127
บทความวิชาการ	
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามบางแพให้มีคุณลักษณะที่เป็นอัตลักษณ์เฉพาะพื้นที่ ชฎาพร โพธิ์สุวรรณ* และนภธีรา จวอรรถ	16
คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ	141

การวัดความเร็วปลายในการตกของโลหะทรงกลมรัศมีแตกต่างกันในกลีเซอริน โดยใช้ตัวตรวจจับเวลาที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ Measurement of Terminal Velocity of Various Falling Spherical Metal Balls in Glycerin Using Timer Detectors Controlled by Computer

อภินิรรัตน์ ขันเกล้า^{1*} มนูญชัย ไชยเพศ¹ วิทยา หลั่งหลี่¹ และพิชญา ทิพย์ศรี¹
Aphinrat Khanklaeo^{1*} Mananchai Chaipet¹ Wiraya Langlee¹ and Pitchaya Thipsee¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วปลายถ้อยเสมือนกับรัศมียกกำลังสองของโลหะทรงกลมที่ตกลงในกลีเซอริน โดยตรวจวัดความเร็วจากตัวตรวจจับเวลาที่ติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลม เมื่อโลหะทรงกลมเคลื่อนที่ผ่านตัวตรวจจับเวลาสัญญาณจะถูกส่งไปประมวลผลและแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ จากการทดลองปล่อยโลหะทรงกลมขนาดต่าง ๆ กัน 6 ขนาด พบว่าความเร็วปลายของโลหะทรงกลมมีค่าเพิ่มขึ้นตามรัศมีของโลหะทรงกลมที่เพิ่มขึ้น โดยเมื่อนำความเร็วปลายไปคำนวณหาค่าความเร็วปลายถ้อยเสมือน แล้วนำความเร็วปลายถ้อยเสมือนไปหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วปลายถ้อยเสมือนกับรัศมีกำลังสองเป็นไปตามสมการ $v_{exp} = 11159.4r^2 + 0.554615$ และ $R^2 = 0.997702$ ซึ่งสอดคล้องกับสมการภายใต้กฎของสโตกส์ $v_t = 2(\rho - \rho')gr^2 / 9\eta$ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า วิธีการวัดความเร็วปลายของการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมในกลีเซอรินเป็นแนวทางในการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวทั่วไปได้

คำสำคัญ: การเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมในของเหลว ความเร็วปลาย กฎของสโตกส์ วงจรตรวจจับแสงอินฟราเรดด้วยโฟโต้ทานซิสเตอร์ เลขเรย์โนลด์

¹ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

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

Received: 1 March 2022, Revised: 20 May 2022, Accepted: 8 June 2022

Abstract

This research investigated the relationship between terminal velocity and radius squared of a free falling spherical metal in glycerin. The timer detectors were set along the moving path of the falling ball and sent the signals to the computer for evaluation and display output. Each sphere metal of 6 different radii was dropped in a rectangular storage container filled with glycerin. The terminal velocity of the spherical metal increases with the increasing radius of the spherical metal when taking the terminal velocity to calculate the expected velocity then take the expected velocity to find the relationship between the expected velocity and the radius squared according to the equation $v_{exp} = 11159.4r^2 + 0.554615$ and $R^2 = 0.997702$ which corresponds to the equation under Stokes' law. $v_t = 2(\rho - \rho')gr^2 / 9\eta$ This result shows that this technique can be an alternative way to measure terminal velocity in glycerin for studying the motion of spherical metal balls in liquid.

Keywords: Motion of falling spherical metal balls in a fluid, Terminal velocity, Stokes law, Infrared phototransistor circuit, Reynolds number

บทนำ

ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับฟิสิกส์บางปรากฏการณ์มีความซับซ้อนและเข้าใจยาก ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ในลักษณะต่าง ๆ โดยเฉพาะการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลว ต้องใช้ความรู้เรื่องกลศาสตร์ของไหล (fluid mechanics) ซึ่งเป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของของไหลในสภาวะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เนื่องจากแรงที่ของไหลกระทำต่อผิวของวัตถุที่สัมผัสหรือกระทำต่อสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลต่อของไหลในสภาวะที่หยุดนิ่งและสภาวะที่เคลื่อนที่ของไหลดังกล่าวนี้หมายถึงของเหลวและก๊าซ (สุนทร, 2563) การศึกษาในสาขานี้มีความซับซ้อนที่สุดของกลศาสตร์ การวิเคราะห์สถานการณ์ต่าง ๆ ทำได้จากการสร้างแบบจำลองอุดมคติง่าย ๆ กับกฎของนิวตันและกฎการคงตัวพลังงาน (Young and Freedman, 2016) ความรู้ทางฟิสิกส์ดังกล่าวนี้นำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านวิศวกรรมหลายด้าน โดยเฉพาะวิศวกรรมเครื่องกลและโยธา เพื่อการประยุกต์ใช้ให้เข้ากับการทำงานและสามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ (ชัยสวัสดิ์, ม.ป.ป.)

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของสิ่งต่าง ๆ ในของไหลหลายงานวิจัย เช่น งานวิจัยของสุรัตน์ (2562) ศึกษากลไกการขับเคลื่อนของฟองอากาศในของไหลที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของความหนืด โดยใช้วิธีการส่องของภาชนะที่บรรจุของเหลวในแนวตั้ง พบว่าของไหลที่มีความหนืดน้อย ฟองอากาศใช้เวลาในการเคลื่อนที่น้อยกว่าของไหลที่มีความหนืดมาก และงานวิจัยของ Ali *et al.* (2019) ศึกษาหาความหนืดของของเหลวโดยการตกของวัตถุทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน 4 ขนาด ซึ่งใช้วิธีการประมวลผลภาพเพื่อหาความเร็วปลายของวัตถุทรงกลมที่ตกลงไปในท่อ

ทรงกระบอกที่บรรจุของเหลว ต่อมาได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของความหนืด โดยงานวิจัยของ Border *et al.* (2020) อธิบายการตกของลูกกลมทองแดงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน 3 ขนาด แล้วปล่อยให้วัตถุตกลงในของเหลวที่มีความหนืดโดยใช้สารละลายผสมกลีเซอรอลและน้ำที่มีความเข้มข้นต่างกัน งานวิจัยดังกล่าวนี้ใช้สำหรับการเรียนการสอนเกี่ยวกับกลศาสตร์ของไหลที่มีความซับซ้อน

ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วปลายกับรัศมียกกำลังสองของโลหะทรงกลมที่ตกลงในกลีเซอรินโดยใช้โลหะทรงกลมที่มีรัศมีแตกต่างกัน 6 ขนาด ซึ่งได้ดัดแปลงชุดทดลองจากชุดทดลองที่มีอยู่แล้วของปานจิต (2558) เป็นชุดทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรี มีการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งชุดทดลองนี้ใช้วงจรตรวจจับแสงอินฟราเรดด้วยโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจวัดเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุ พร้อมทั้งเขียนโปรแกรม Arduino ควบคุมการทำงานของชุดทดลองและโปรแกรม Processing แสดงกราฟการเคลื่อนที่ไปพร้อมกับวัตถุบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ทำให้เห็นภาพลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุได้จริง แต่วงจรที่อยู่ในชุดทดลองนี้ไม่สามารถตรวจวัดเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เป็นทรงกลมได้ ผู้วิจัยจึงนำไปดัดแปลงเพื่อให้สามารถตรวจวัดเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมได้ โดยปรับระยะห่างระหว่างวงจรภาคส่งแสงอินฟราเรดกับวงจรภาครับแสงอินฟราเรด ด้วยการสร้างแบบจำลองเซ็นเซอร์จากช่วงความเข้มของการแผ่รังสีกับการกระจายเชิงมุมของ LED อินฟราเรดเพื่อให้ภาคส่งแสงอินฟราเรดสามารถส่งสัญญาณไปยังภาครับแสงอินฟราเรด ทำให้ตรวจวัดเวลาการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลม สามารถหาความเร็วปลายของโลหะทรงกลม และหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วปลายกับรัศมียกกำลังสองของโลหะทรงกลมได้ พร้อมทั้งปรับหัวจับวัตถุแบบแม่เหล็กไฟฟ้าให้ยาวขึ้น เพื่อให้วัตถุมีจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่อยู่ในกลีเซอริน ซึ่งถูกบรรจุไว้ในภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีผิวเรียบใสเพื่อให้ลำแสงขนานไปตกกระทบพื้นที่ผิวหน้าวัตถุแล้วสามารถทะลุผ่านภาชนะไปได้

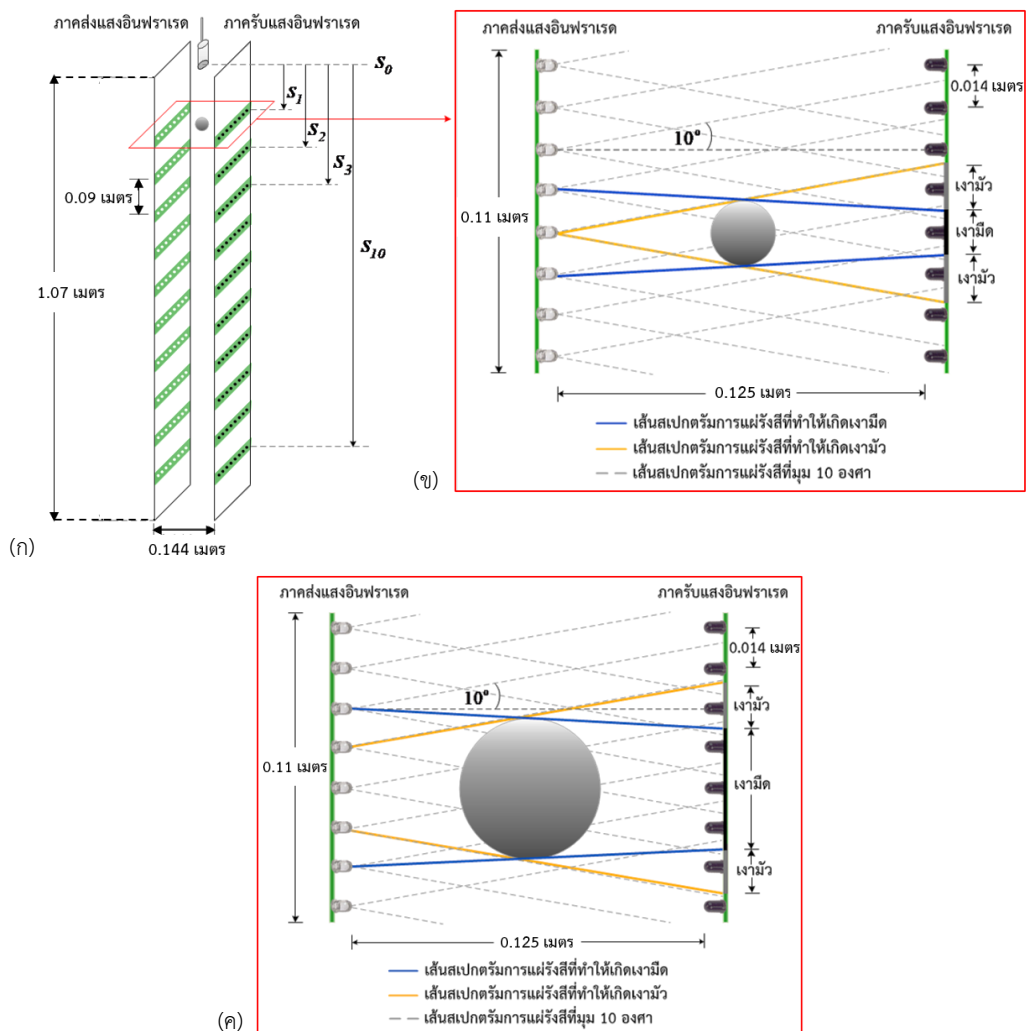
จากการดัดแปลงชุดทดลองดังกล่าวนี้เป็นการนำนวัตกรรมที่มีอยู่แล้วไปใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่าสามารถนำไปทดลองได้ 2 เรื่อง ในชุดทดลองเดียวกัน คือ การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรีและการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมที่ตกในกลีเซอริน โดยการทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรีได้ปรากฏอยู่ในบทความวิจัยของปานจิต (2558) ส่วนงานวิจัยนี้ทดลองการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมที่ตกในกลีเซอรินเท่านั้น ซึ่งการดัดแปลงช่วยลดการนำเข้าชุดทดลองจากต่างประเทศ อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการเรียนกลศาสตร์ของไหลและเป็นหลักการพื้นฐานสำหรับการออกแบบต่าง ๆ ในงานวิศวกรรมได้

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยนำชุดทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรีในงานวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดทดลองฟิสิกส์โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมสำหรับการสอนฟิสิกส์ (ปานจิต, 2558) มาดัดแปลงเพื่อให้สามารถนำไปทดลองการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมที่ตกในกลีเซอรินได้ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. การดัดแปลงชุดทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรีเพื่อให้สามารถนำไปทดลองการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมที่ตกในกลีเซอริน

1.1 ออกแบบเพื่อให้วงจรตรวจจับแสงอินฟราเรดด้วยโฟโตทรานซิสเตอร์สามารถตรวจวัดเวลาการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมได้ เนื่องจาก LED อินฟราเรดแผ่รังสีโดยให้รังสีที่มีความเข้มของการแผ่รังสีสัมพันธ์กับการกระจัดเชิงมุม ซึ่งความเข้มของการแผ่รังสีสูงสุดที่ 0 องศา และลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ที่ 10 องศา (Everlight Electronics Company Limited, 2005) ผู้วิจัยจึงปรับระยะห่างระหว่าง LED อินฟราเรดกับโฟโตทรานซิสเตอร์ที่วางในแนวขนานกัน พิจารณาภาพที่ 1 ใช้ความเข้มของการแผ่รังสีกับการกระจัดเชิงมุมในการสร้างแบบจำลอง โดยมีช่วงการแผ่รังสีที่การกระจัดเชิงมุมเท่ากับ 10 องศา ใช้โลหะทรงกลมที่มีรัศมีอยู่ในช่วงที่ต้องการ ในการสร้างแบบจำลอง ผู้วิจัยใช้โลหะทรงกลมที่มีรัศมี 0.01100-0.02500 เมตร ให้ตกกึ่งกลางของวงจรตรวจจับแสงอินฟราเรดด้วยโฟโตทรานซิสเตอร์ และปรับระยะห่างระหว่าง LED อินฟราเรดกับโฟโตทรานซิสเตอร์จนเกิดเป็นเงามืดบนโฟโตทรานซิสเตอร์อย่างน้อย 1 ตัว ซึ่งระยะห่างของวงจรจากชุดทดลองเดิมเท่ากับ 0.200 เมตร และระยะห่างใหม่ที่เกิดขึ้นเงามืดเท่ากับ 0.125 เมตร ทำให้ภาคส่งแสงอินฟราเรดสามารถส่งสัญญาณไปยังภาครับแสงอินฟราเรดได้ ส่วนที่เป็นเงามืดจะไม่สามารถทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์ตรวจจับรังสีอินฟราเรดได้ จึงไม่สามารถตรวจวัดเวลาการเคลื่อนที่ของทรงกลมได้ ผู้วิจัยจึงเลือกโลหะทรงกลมขนาดต่าง ๆ ที่สามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด โดยมีรัศมีเท่ากับ 0.01587 0.01662 0.01746 0.01905 0.02059 และ 0.02221 เมตร ตามลำดับ เพื่อให้วงจรตรวจจับแสงอินฟราเรดด้วยโฟโตทรานซิสเตอร์สามารถตรวจวัดเวลาการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมได้

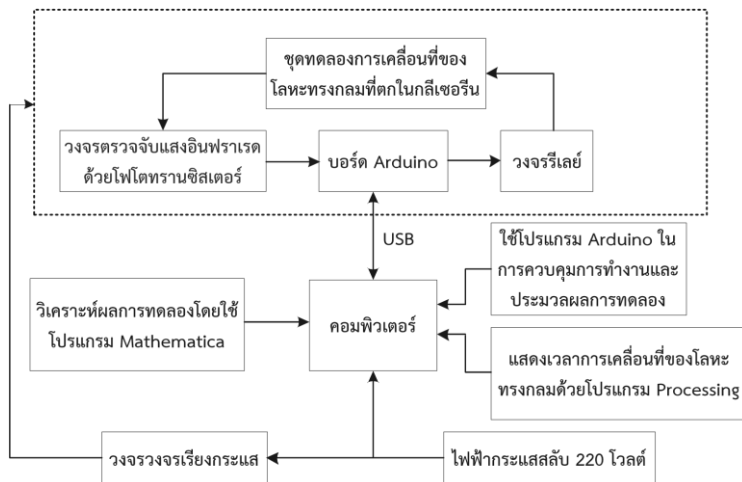


ภาพที่ 1 แบบจำลองวงจรตรวจจับแสงอินฟราเรดด้วยโฟโตรีซิสเตอร์ มองจากด้านข้าง (ก) มองจากด้านบน โดยโลหะทรงกลมมีรัศมี 0.01100 เมตร (ข) และมองจากด้านบน โดยโลหะทรงกลมมีรัศมี 0.02500 เมตร (ค)

1.2 ออกแบบภาชนะที่ใช้บรรจุกลีเซอรินเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด $0.10 \times 0.10 \times 1.17$ ลูกบาศก์เมตร ผิวเรียบใสทำมาจากแผ่นอะคริลิก เมื่อลำแสงอินฟราเรดตกกระทบกับพื้นผิวหน้าของแผ่นอะคริลิกแบบตั้งฉาก แสงจะสามารถทะลุผ่านไปได้ตกกระทบบนโฟโตรีซิสเตอร์ได้ ถ้าหากเป็นภาชนะรูปทรงกระบอกจะไม่สามารถตรวจวัดเวลาการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมได้

1.3 ออกแบบหัวจับวัตถุแบบแม่เหล็กไฟฟ้าให้ส่วนปลายด้านหนึ่งของหัวจับจมอยู่ในกลีเซอริน เพื่อให้จุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมอยู่ในกลีเซอริน และครอบหัวจับด้วยพลาสติกใสเพื่อป้องกันไม่ให้กลีเซอรินสัมผัสกับหัวจับวัตถุแบบแม่เหล็กไฟฟ้า

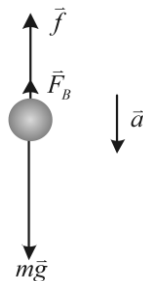
1.4 การทดลองถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์โดยมีแผนภาพการทำงาน ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพการทำงานของชุดทดลองการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมที่ตกในกลีเซอรินโดยควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์
ที่มา: ดัดแปลงจากปานจิต (2558)

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง

เมื่อปล่อยให้วัตถุทรงกลมเคลื่อนที่ในของเหลวภายใต้แรงดึงดูดของโลก วัตถุจะเคลื่อนที่ตกลงมา โดยมีแรงที่กระทำต่อวัตถุ 3 แรง คือ แรง $m\vec{g}$ มีทิศพุ่งลง แรงลอยตัว ($\vec{F}_B$) และแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลว ($\vec{f}$) มีทิศพุ่งขึ้น ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุทรงกลมขณะตกลงในของเหลวซึ่งบรรจุในภาชนะที่ไม่มีขอบเขตจำกัด

ที่มา: อนันตสิน และคณะ (2558)

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน สามารถเขียนสมการ (1) การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมได้ดังนี้

$$mg - F_B - f = ma \quad (1)$$

เมื่อ m คือ มวลของวัตถุทรงกลม มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

a คือ ความเร่งของวัตถุทรงกลม มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s^2)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

โดยทั่วไปวัตถุทรงกลมที่เคลื่อนที่ตกลงในของเหลวภายใต้แรงดึงดูดของโลก จะเกิดแรงต้านที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับขนาดของความเร็วของวัตถุ (v) และมีทิศทางข้ามกับความเร็วของวัตถุ สามารถเขียนสมการ (2) ได้ดังนี้

$$\vec{f} = -k\vec{v} \quad (2)$$

เมื่อ f คือ แรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

v คือ ความเร็วของวัตถุ ณ เวลาใด ๆ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

k คือ ค่าคงที่ (ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางและรูปร่างของวัตถุ)

ในกรณีที่วัตถุเป็นทรงกลมเคลื่อนที่ในของเหลว ค่า $k = 6\pi\eta r$ ดังนั้นสมการ (2) สามารถเขียนเป็นสมการ (3) ได้ดังนี้

$$\vec{f} = -6\pi\eta r\vec{v} \quad (3)$$

สมการ (3) เรียกว่า กฎของสโตกส์ (Stokes law) โดย η คือ ความหนืดของของเหลว มีหน่วยเป็น นิวตัน·วินาทีต่อตารางเมตร ($N \cdot s/m^2$) และ r คือ รัศมีของวัตถุทรงกลม มีหน่วยเป็น เมตร (m)

ในช่วงเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ในของเหลว วัตถุทรงกลมจะเคลื่อนที่ตกลงมาด้วยความเร่ง ต่อมาแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมที่มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามขนาดของความเร็วที่เพิ่มขึ้นจนทำให้ความเร่งลดลงเป็นศูนย์ นั่นคือ วัตถุทรงกลมเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ที่เรียกว่า “ความเร็วปลาย” (terminal velocity: v_t) ซึ่งในขณะนั้นวัตถุทรงกลมอยู่ในสภาวะสมดุลจึงทำให้แรงลัพธ์ทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุทรงกลมมีค่าเป็นศูนย์ (หทัยชนก และคณะ, 2556) ดังนั้นจากสมการ (1) จึงได้ว่า

$$mg - F_B - f = 0$$

$$\rho \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right) g - \rho' \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right) g - 6\pi\eta r v_t = 0$$

$$v_t = \frac{2(\rho - \rho')g}{9\eta} r^2 \quad (4)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุทรงกลม มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

ρ' คือ ความหนาแน่นของของเหลว มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

จากสมการ (4) พบว่าความเร็วปลายแปรผันตรงกับรัศมีกำลังสองของวัตถุทรงกลม สำหรับการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมในของเหลวที่ไหลเร็วโนลต่ำ อันเนื่องมาจากอัตราส่วนของขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุทรงกลมต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทรงกระบอกที่ใช้เป็นภาชนะที่บรรจุของเหลว สามารถใช้ความเร็วปลายถือเสมือน (expected velocity: v_{exp}) ซึ่งเป็นความเร็วปลายที่เสมือนว่าวัตถุทรงกลมนั้นเคลื่อนที่ในของเหลวที่อยู่ในภาชนะที่มีขนาดไม่จำกัดแทนความเร็วปลายของวัตถุทรงกลมที่เคลื่อนที่ในของเหลวในภาชนะที่มีขนาดจำกัด (Owen and Ryu, 2005) โดยความเร็วปลายถือเสมือนสามารถหาได้จากสมการ (5)

$$v_{exp} = \frac{v_t}{1 - 2.104(d/D) + 2.089(d/D)^3} \quad (5)$$

เมื่อ v_t คือ ความเร็วปลาย มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุทรงกลม มีหน่วยเป็น เมตร

D คือ ความยาวของหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีหน่วยเป็น เมตร

จะได้สมการ (4) เป็น

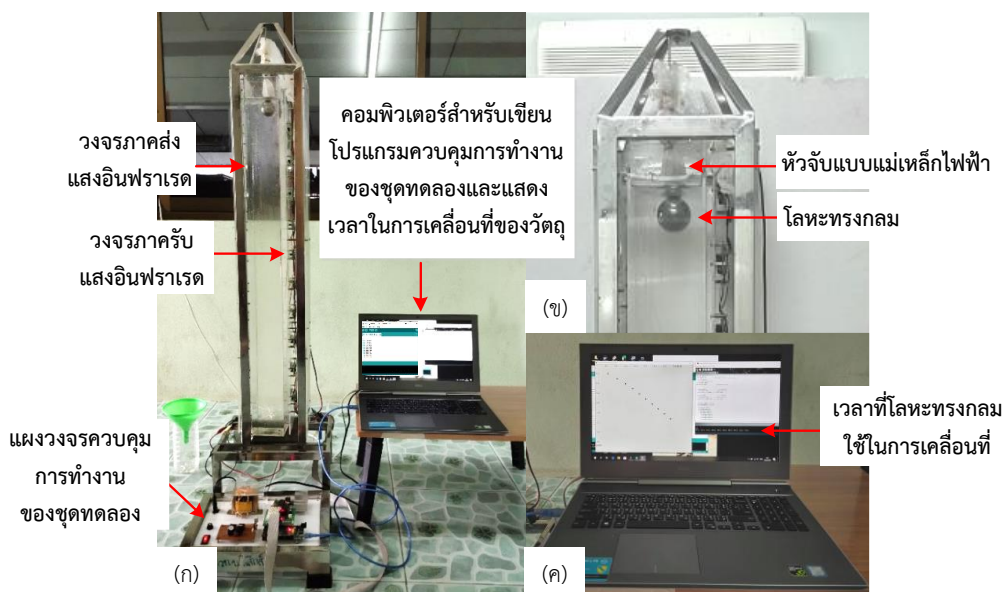
$$v_{exp} = \frac{2(\rho - \rho')g}{9\eta} r^2 \quad (6)$$

จากสมการ (6) จะพบว่า v_{exp} และ r^2 มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นโดยมีความชัน คือ $\frac{2(\rho - \rho')g}{9\eta}$ ซึ่งสามารถนำไปหาความหนืดของของเหลวได้จากค่าที่ใกล้เคียงค่าความหนืดของของเหลวที่แท้จริง

3. วิธีการทดลองเพื่อหาความเร็วปลายของโลหะทรงกลมและหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วปลายกับรัศมียกกำลังสองของโลหะทรงกลม

3.1 เตรียมชุดทดลองการตกของโลหะทรงกลมในกลีเซอรินดังภาพที่ 4 (ก) พร้อมกับบรรจุกลีเซอรินลงในภาชนะทรงสี่เหลี่ยมปริมาตร 9.072 ลิตร ปรับเครื่องปรับอากาศภายในห้องให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส แล้วรอนกว่ากลีเซอรินมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับอุณหภูมิห้อง จึงเริ่มการทดลอง

3.2 สั่งให้โปรแกรม Arduino และโปรแกรม Processing ทำงานเพื่อควบคุมการทำงานของชุดทดลองและแสดงผลการทดลอง ในขณะเดียวกันเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับชุดทดลอง วงจรรีเลย์จึงทำงาน โดยหัวจับแบบแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถดูดและปล่อยให้โลหะทรงกลมตกลงในกลีเซอรินแบบอัตโนมัติที่ตำแหน่งกึ่งกลางของภาชนะ โดยติดโลหะทรงกลมที่มีรัศมี 0.01587 เมตร ที่บริเวณหัวจับแบบแม่เหล็กไฟฟ้า หลังจากนั้นโปรแกรม Processing กราฟการเคลื่อนที่ไปพร้อมกับวัตถุบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งแสดงเวลาการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมที่ผ่านเซ็นเซอร์จำนวน 10 ตำแหน่ง แล้วบันทึกเวลาของโลหะทรงกลมที่เคลื่อนที่ผ่านเซ็นเซอร์ทั้งหมด



ภาพที่ 4 ชุดทดลองการตกของโลหะทรงกลมในกลีเซอริน (ก) หัวจับแบบแม่เหล็กไฟฟ้าดูดโลหะทรงกลมก่อนปล่อยให้เคลื่อนที่ (ข) และหน้าจอคอมพิวเตอร์แสดงเวลาที่โลหะทรงกลมใช้ในการเคลื่อนที่จากหัวจับไปยังเซ็นเซอร์ทั้ง 10 ตำแหน่ง (ค)

3.3 ทำการทดลองซ้ำตามข้อที่ 3.1-3.2 โดยเปลี่ยนรัศมีของโลหะทรงกลมเป็น 0.01662 0.01746 0.01905 0.02059 และ 0.02221 เมตร ตามลำดับ และทำการทดลอง 30 ครั้งต่อโลหะทรงกลม 1 ขนาด แล้วหาเวลาเฉลี่ยทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมแต่ละขนาด

3.4 พิจารณาช่วงการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมที่มีความเร็วคงที่ แล้วนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา เพื่อนำไปคำนวณหาความเร็วปลายและความเร็วปลายถ้อยเสมือนของโลหะทรงกลมแต่ละขนาด

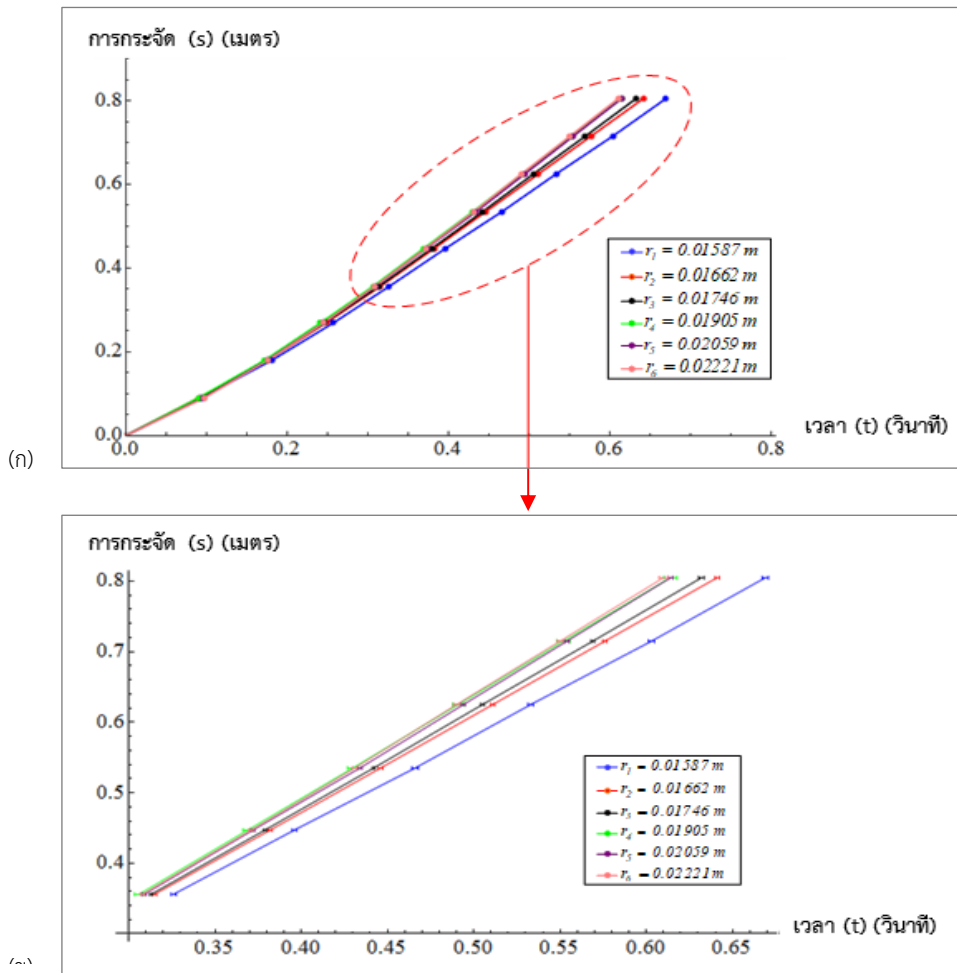
3.5 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความเร็วปลายถ้อยเสมือนกับลอการิทึมของรัศมีของโลหะทรงกลม เพื่อนำความชันไปใช้พิจารณาความเหมาะสมในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ด้วยกฎของสโตกส์ (Owen and Ryu, 2005)

3.6 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วปลายถ้อยเสมือนกับรัศมียกกำลังสองของโลหะทรงกลม เพื่อนำความชันของกราฟไปคำนวณหาความหนืดเทียบกับค่าความหนืดจริง

ผลการวิจัย

เมื่อปล่อยโลหะทรงกลมที่มีรัศมีแตกต่างกัน 6 ขนาด ให้ตกลงในภาชนะที่บรรจุกลีเซอรินแบบอัตโนมัติโดยควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ แล้วนำข้อมูลจากการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเฉลี่ยของโลหะทรงกลมแต่ละขนาด ซึ่งแสดงผลการทดลองดังภาพที่ 5 (ก)

การหาความเร็วปลายจากช่วงการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมที่มีความเร็วคงที่ ทำได้โดยวิธีการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเฉลี่ยของโลหะทรงกลมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งพิจารณาจากลักษณะการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมแต่ละขนาดในช่วงของกราฟที่เป็นเส้นตรง แสดงดังภาพที่ 5 (ข) หลังจากนั้นหาความเร็วปลายของโลหะทรงกลมแต่ละขนาดจากความชันของกราฟที่เป็นไปตามสมการเส้นตรงคือ $s = mt + b$ โดย m คือ ความชันของกราฟ มีค่าเท่ากับความเร็วปลาย และ b คือ ค่าจุดตัดบนแกน s โดยได้แสดงความเร็วปลายไว้ดังตารางที่ 1

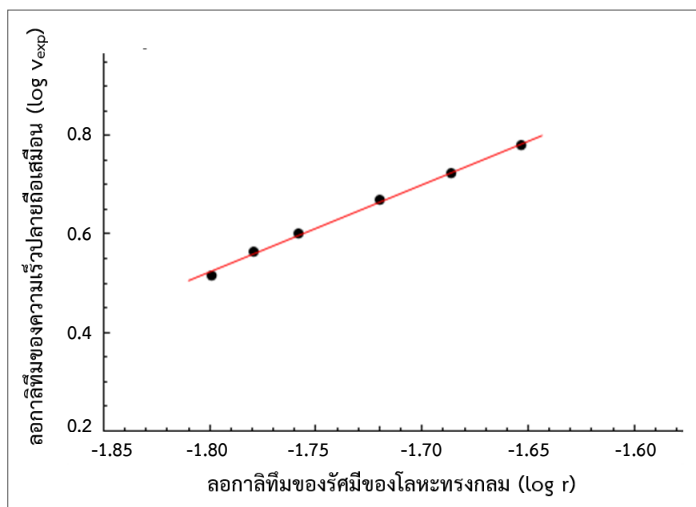


ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเฉลี่ยของโลหะทรงกลมแต่ละขนาด เมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง (ก) และวัตถุเริ่มเคลื่อนที่เข้าสู่ความเร็วปลาย (ข)

ตารางที่ 1 ผลการทดลองความเร็วปลายของโลหะทรงกลมแต่ละขนาด

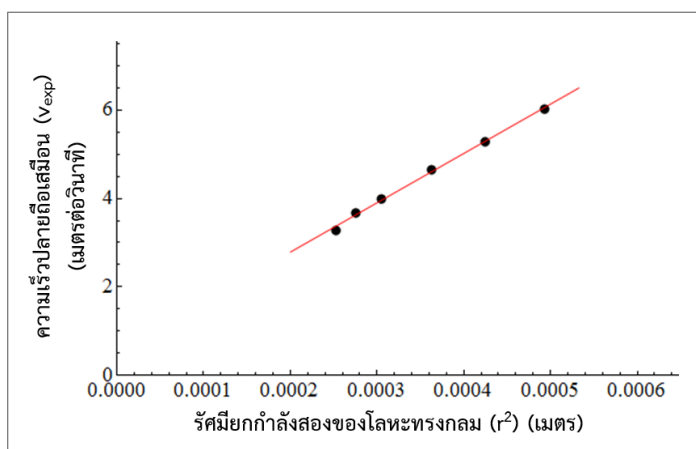
รัศมีของ โลหะทรงกลม (เมตร)	ความเร็วปลาย ถือเสมือน (เมตรต่อวินาที)	ลอการิทึม ของรัศมีของ โลหะทรงกลม	ลอการิทึม ของความเร็วปลาย ถือเสมือน
0.01587	3.2866 ± 0.0071	-1.79942	0.51675 ± 0.00093
0.01662	3.6658 ± 0.0080	-1.77937	0.56417 ± 0.00095
0.01746	3.9872 ± 0.0170	-1.75796	0.60067 ± 0.00185
0.01905	4.6590 ± 0.0389	-1.72011	0.66828 ± 0.00366
0.02059	5.2884 ± 0.0189	-1.68634	0.72332 ± 0.00155
0.02221	6.0205 ± 0.0298	-1.65345	0.77963 ± 0.00216

นำข้อมูลจากตารางที่ 1 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความเร็วปลายถือเสมือนกับลอการิทึมของรัศมีของโลหะทรงกลม แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความเร็วปลายถือเสมือนกับลอการิทึมของรัศมีของโลหะทรงกลม

จากภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความเร็วปลายถือเสมือนกับลอการิทึมของรัศมีของโลหะทรงกลม โดยหาค่าความชันได้เท่ากับ 1.76848 ซึ่งใกล้เคียงค่า 2 ซึ่งเหมาะที่จะใช้กฎของสโตกส์ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ (Owen and Ryu, 2005) ดังนั้นจึงสามารถหาค่าความหนืดตามสมการ (6) ได้ โดยนำข้อมูลจากตารางที่ 1 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วปลายถือเสมือนกับรัศมียกกำลังสองของโลหะทรงกลม แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วปลายถือเสมือนกับรัศมียกกำลังสองของโลหะทรงกลม

จากภาพที่ 7 พบว่าเมื่อโลหะทรงกลมมีขนาดใหญ่ขึ้นจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วปลายเกือบเสมือนที่เพิ่มขึ้นเป็นไปตามสมการ $v_t = 11159.4r^2 + 0.554615$ มีค่า $R^2 = 0.997702$ และเมื่อนำความชันที่ได้จากกราฟไปหาค่าความหนืดของกลีเซอรินตามสมการ (6) ได้ค่าความหนืดของกลีเซอรินเท่ากับ 1.364 นิวตัน·เมตรต่อวินาทีกำลังสอง ($N \cdot m/s^2$) ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหนืดมาตรฐานของกลีเซอรินที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่มีค่าเท่ากับ 0.954 นิวตัน·เมตรต่อวินาทีกำลังสอง (รัชดา, 2558) พบว่ามีค่าความหนืดของกลีเซอรินที่ได้จากการทดลองเป็น 1.43 เท่า ของค่าความหนืดมาตรฐานของกลีเซอริน

การอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีกับความเร็วปลายของโลหะทรงกลมที่ตกลงในกลีเซอรินโดยใช้ตัวตรวจจับเวลาที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการทดลองใช้โลหะทรงกลมที่มีขนาดแตกต่างกัน 6 ขนาด เมื่อพิจารณาภาพที่ 4 พบว่าแรงต้านการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงดึงดูดของโลกคือ แรงต้านการเคลื่อนที่ของโลหะในของเหลว (f) และแรงลอยตัว (F_b) โดยที่แรงต้านการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมในของเหลวจะเป็นศูนย์และค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้โลหะทรงกลมเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งด้วยความเร่งในช่วงเริ่มต้น แล้วค่อย ๆ เพิ่มความเร็วขึ้นจนมีความเร็วคงที่ เรียกว่า ความเร็วปลาย (อนันตสิน และคณะ, 2558) ซึ่งรัศมีของโลหะทรงกลมเป็นบทบาทสำคัญของการเคลื่อนที่ที่ทำให้ได้ค่าความเร็วปลายที่แตกต่างกัน สำหรับกราฟการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมที่มีรัศมีแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่าลักษณะการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมที่มีขนาดเล็กที่สุด คือ 0.01587 เมตร จะเข้าสู่ช่วงที่มีความเร็วคงที่ได้เร็วที่สุด รองลงมา คือ โลหะทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ 0.01662 0.01746 0.01905 0.02059 และ 0.02221 เมตร ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความชันของกราฟในช่วงที่มีความเร็วคงที่ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่าโลหะทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ 0.02221 เมตร มีความเร็วปลายมากที่สุด รองลงมา คือ โลหะทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ 0.02059 0.01905 0.01746 0.01662 และ 0.01587 เมตร ตามลำดับ โดยโลหะทรงกลมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในการทดลองนี้จะเข้าสู่ช่วงที่มีความเร็วคงที่ได้ช้าที่สุดแต่มีความเร็วปลายมากที่สุดเมื่อเทียบกับโลหะทรงกลมขนาดอื่น ๆ ดังนั้นเมื่อเพิ่มโลหะทรงกลมให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ความเร็วปลายจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีลักษณะการเพิ่มขึ้นเป็นแบบเส้นตรงที่สอดคล้องกับสมการ $v_t = 2(\rho - \rho')gr^2/9\eta$ แต่เนื่องจากการทดลองหาความเร็วปลายของโลหะทรงกลมตามสมการดังกล่าวนี้ใช้ได้ในกรณีที่ภาชนะบรรจุของเหลวมีขนาดเป็นอนันต์หรือไม่มีขอบเขตจำกัด ซึ่งการทดลองนี้ของเหลวถูกบรรจุอยู่ในภาชนะทรงสี่เหลี่ยมที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.10×0.10 เมตร จะเห็นได้ว่าพื้นที่หน้าตัดของภาชนะมีความยาวของด้านยาวกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของโลหะทรงกลมไม่มาก ดังนั้นภาชนะจึงส่งผลกับการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลม จึงเปลี่ยนความเร็วปลายเป็นความเร็วปลายเกือบเสมือน ซึ่งเป็นความเร็วที่เสมือนว่าวัตถุทรงกลมนี้เคลื่อนที่ในของเหลวที่บรรจุอยู่ในภาชนะที่มีขอบเขตไม่จำกัด เมื่อนำความเร็วปลายเกือบเสมือนไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความเร็วปลายเกือบเสมือนกับลอการิทึมของรัศมีของโลหะทรงกลมจะได้เป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชันที่อยู่ในช่วงที่สามารถพิจารณาการเคลื่อนที่ด้วยกฎของสโตกส์ และเมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วปลายเกือบเสมือนกับรัศมียกกำลังสอง

ของโลหะทรงกลมได้เป็นกราฟเส้นตรงที่สอดคล้องกับสมการ $v_t = 11159.4r^2 + 0.554615$ มีค่า $R^2 = 0.997702$ ซึ่งสามารถนำความชันของกราฟมาหาความหนืดของของเหลวโดยใช้สมการ (6) ได้ค่าความหนืดมาตรฐานของกลีเซอริน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการดัดแปลงชุดทดลองจากชุดทดลองเดิมที่มีอยู่แล้วของปานจิต (2558) เพื่อให้สามารถนำไปทดลองเพิ่มอีก 1 เรื่อง คือ การตกของโลหะทรงกลมในกลีเซอริน เมื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมที่เคลื่อนที่ในของเหลวที่มีความหนืดภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก พบว่าวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งในช่วงแรกซึ่งเป็นช่วงสั้น ๆ และหลังจากนั้นวัตถุก็จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ที่เรียกว่าความเร็วปลาย โดยความเร็วปลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อโลหะทรงกลมมีรัศมีเพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ความกว้างของท่อสี่เหลี่ยมที่ใช้บรรจุกลีเซอรินมีขนาดโตกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของโลหะทรงกลมไม่มากนัก ทำให้อัตราส่วนของความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความกว้างของหน้าตัดของภาชนะที่บรรจุกลีเซอรินมีผลต่อขนาดของความเร็วปลายจึงเปลี่ยนไปใช้ความเร็วปลายที่เหมือนในกรณีวิเคราะห์การเคลื่อนที่แทน จากการวิเคราะห์กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความเร็วปลายที่เหมือนกับลอการิทึมของรัศมีของโลหะทรงกลม พบว่าการเคลื่อนที่ของโลหะทรงกลมในงานวิจัยนี้เหมาะสมที่จะใช้กฎของสโตกส์จึงใช้ความสัมพันธ์ตามสมการ (6) ได้ และเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วปลายที่เหมือนกับรัศมียกกำลังสองจะได้กราฟเส้นตรงที่สอดคล้องกับสมการ $v_t = 11159.4r^2 + 0.554615$ มีค่า $R^2 = 0.997702$ และเมื่อนำไปหาความหนืดของกลีเซอรินจะได้ค่าความหนืดของกลีเซอรินเป็น 1.43 เท่าของค่าความหนืดมาตรฐานของกลีเซอริน

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาเพื่อศึกษาอิทธิพลของผนังภาชนะรูปทรงต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ปานจิต มุสิก ที่เอื้อเฟื้อชุดทดลองการตกแบบเสรีของวัตถุทรงกลมสำหรับใช้ในการพัฒนาชุดทดลองการตกของโลหะทรงกลมในกลีเซอริน จนทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. (ม.ป.ป.). *กลศาสตร์ของไหล*. กรุงเทพฯ: ก.วิวรรณ.
- ปานจิต มุสิก. (2558). การพัฒนาชุดทดลองฟิสิกส์โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมสำหรับการสอนฟิสิกส์. *การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ “ราชภัฏวิจัย ครั้งที่ 3”*. นครศรีธรรมราช.

- รัชดา สุขพันธุ์. (2558). การเปรียบเทียบการหาความหนืดของของเหลวโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ภาพ วิดีโอดิจิทัลและวิธีการจับเวลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
- สุนทร สิทธิปาก. (2563). *กลศาสตร์ของไหล*. สืบค้นเมื่อ 14 มกราคม 2565, จาก: <http://technology.udru.ac.th/book/suntorn/กลศาสตร์ของไหล/กลศาสตร์ของไหล.pdf>.
- สุรัตน์ กาบทุม. (2562). การเคลื่อนที่ของฟองอากาศภายใต้อิทธิพลของความหนืดของของไหลและการสั่นสะเทือนสำหรับการสอนฟิสิกส์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- หทัยชนก เพ็ชรมาตศรี ธัญญพ นิลกำจร และสุพิชญ์ แคมมณี. (2556). เทคนิคการวัดความหนืดโดยอาศัยการตกของวัตถุทรงกลม: บทบาทของอิทธิพลของผนังหลอด. *วารสารวิทยาศาสตร์ มศว*, 29(2), 131-148.
- อนันตสิน เตชะกำพุช พิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์ และพรชัย พชรินทร์ตะกุล. (2558). *ฟิสิกส์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Ali, S.H., Al-Zuky, A.A.D., Al-Saleh, A.H. and Mohamad, H.J. (2019). Measure liquid viscosity by tracking falling ball automatically depending on image processing algorithm. *Journal of Physics*, 1294(2), doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1294/2/022002>.
- Border, N.S., Reilly, A., Miller, A., Jamali, S. and Newaz, A. (2020). *A high precision falling-ball viscometer using a fast camera*. Retrieved 8 December 2021, from: https://www.researchgate.net/publication/342587666_A_high_precision_falling-ball_viscometer_using_a_fast_camera.
- Everlight Electronics Company Limited. (2005). *Technical data sheet 5 mm infrared LED T-1 3/4*. Retrieved 10 December 2021, from: <http://www.scrpdf.com/pdf/Optoelectronic/Opto%20Isolator%20%26%20interruptor/IR383.pdf>.
- Owen, J.P. and Ryu, W.S. (2005). The effects of linear and quadratic drag on falling spheres: An undergraduate laboratory. *European Journal of Physics*, doi: <https://doi.org/10.1088/0143-0807/26/6/016>.
- Young, H.D. and Freedman, R.A. (2016). *Sears & zemansky's university physics with modern physics*. (4thed). Harlow: Pearson.

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามบางแพให้มีคุณลักษณะที่เป็นอัตลักษณ์เฉพาะพื้นที่

Factors Influencing Bang Phae Giant Freshwater Prawn Farming to Promote Geographically Unique Prawn Characteristics

ชญาพร โพคัยสุวรรณค์^{1*} และนภธีรา จวอรรถ¹
Chadaporn Pokaisawan^{1*} and Nopthira Jawaut¹

สาระสังเขป

กุ้งก้ามกรามบางแพ คือ กุ้งที่มีลักษณะเปลือกสีน้ำเงินมันเงา ก้ามสีน้ำเงิน สีคราม หรือสีทอง เนื้อแน่นเต็มเปลือก รสชาติหวาน มันกุ้งมาก และไม่มีกลิ่นคาวเมื่อปรุงสุก ผลิตในพื้นที่ของอำเภอบางแพ อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี ด้วยลักษณะของดินในอำเภอบางแพ อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอโพธาราม เป็นดินเหนียวหรือดินร่วนปนเหนียว มีสีเทาเข้มจนถึงสีดำ ซึ่งเกิดจากตะกอนน้ำผสมกับตะกอนทะเลที่พัฒนาในสภาพน้ำกร่อยเป็นหลัก และมีบางส่วนเกิดจากตะกอนน้ำพัดพาจึงมีความอุดมสมบูรณ์ด้วยแร่ธาตุและจุลินทรีย์ปานกลางถึงสูง มีปฏิกริยาดินเป็นกรด-ด่างปานกลางอยู่ในระหว่าง 5.5-8.0 และมีการระบายน้ำเร็ว ผสมผสานกับภูมิปัญญาชาวบ้านที่นำพืชที่ขึ้นเฉพาะถิ่น คือ ต้นธูปฤๅษี มาหมักกับดินทำให้น้ำในบ่อกลายเป็นสีชาหรือน้ำตาลอมเขียว มีผลให้แสงแดดส่องลงไปยังได้บ่อได้น้อยลง ช่วยให้สภาพในบ่อเลี้ยงกุ้งเกิดแพลงก์ตอน ไรน้ำ และตะไคร่น้ำ ซึ่งเป็นอาหารตามธรรมชาติของกุ้ง กอปรกับมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบน้ำทะเลเคยท่วมถึงหรือเป็นแอ่งที่ราบน้ำท่วมถึง ลักษณะของน้ำซึ่งมีคุณภาพน้ำประเภท 2 มีคุณสมบัติเหมาะสมในการอนุรักษ์สัตว์น้ำและทำการประมง และลักษณะภูมิอากาศที่โปร่งเย็น ไม่ร้อนจัด ไม่หนาวจัด ทำให้อุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส รวมทั้งกระบวนการเพาะเลี้ยงกุ้งของเกษตรกรในพื้นที่ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้กุ้งที่เลี้ยงโตเร็ว มีเปลือกสีน้ำเงินมันเงา เนื้อแน่นเต็มเปลือก รสชาติหวาน มันกุ้งมาก และไม่มีกลิ่นคาวเมื่อปรุงสุก ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่เป็นอัตลักษณ์เฉพาะของกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในพื้นที่ของสามอำเภอดังกล่าว

คำสำคัญ: ปัจจัย การเลี้ยงกุ้งก้ามกรามบางแพ แหล่งภูมิศาสตร์ อัตลักษณ์เฉพาะพื้นที่

¹ สาขาวิชาภาษาอังกฤษธุรกิจสมัยใหม่ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

* Corresponding author e-mail: chporn08@gmail.com

Received: 30 March 2022, Revised: 9 June 2022, Accepted: 9 June 2022

Summary

The unique characteristics of Bang Phae giant freshwater prawn are as follows; the body is dark glossy bluish, the claws are dark bluish, greenish, or gold, the texture is firm to touch, the flavor is delicate and sweet, the head has a lot of creamy fat, the smell is delightful after cooking. The area for cultivation is in Bang Phae, Damneonsaduak, and Photharam districts, in Ratchaburi. The soil characteristics of Bang Phae, Damneonsaduak, and Photharam districts are considered as clay soil or clay-loom soil with dark grey to black hue. The landform was consolidated from alluvial deposits in brackish water conditions, resulting in the fertilized soil properties with high to medium levels of minerals and microorganisms. The soil acidity or alkalinity (pH) there is at a medium-range between 5.5-8.0, and the drainage level is poor. Due to the soil qualities and the local wisdom use of local narrow-leaf cattails to be fermented together, the watercolor in the ponds changes to tea or greenish-brown due. Those colors can provide shade to the pond bottom and shield it from the sun's rays, allowing planktons, water mites, and moss to thrive in the water. They eventually become the natural food of the prawns. In addition, the terrain is a kind of floodplain, with the water type 2 suited for aquatic animal preservation and fisheries. The weather is also pleasant, resulting in average water temperatures of 25 to 30 degrees Celsius, as well as locals' unique farming practices. These geographical factors and practices contribute to the efficient production of giant freshwater prawns that can create the prawns' distinguishing characteristics such as developing quickly, having a dark glossy bluish color, firm texture, exquisite taste, a lot of fat on the head, and a delightful smell after cooking. As a result, the prawn products become the identity of the three districts.

Keywords: Factors, Farming of Bang Phae giant freshwater prawns, Geographical areas, Area unique characteristics

บทนำ

บทความวิชาการเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอถึงปัจจัยต่าง ๆ ของพื้นที่แหล่งผลิตในอำเภอบางแพ อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี ที่มีผลต่อการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามซึ่งทำให้ผลผลิตมีคุณลักษณะเฉพาะแตกต่างจากผลผลิตของเขตพื้นที่อื่น ได้แก่ 1) สภาพภูมิศาสตร์ ประกอบด้วย ลักษณะทางธรณีวิทยา ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะทางอุทกศาสตร์ และลักษณะภูมิอากาศ 2) ภูมิปัญญาท้องถิ่น และ 3) กระบวนการเลี้ยง โดยเนื้อหาจะกล่าวถึงประวัติความเป็นมา ลักษณะทางกายภาพ วัตถุประสงค์สำหรับการเลี้ยง กระบวนการเลี้ยง และลักษณะทาง

ภูมิศาสตร์ที่สัมพันธ์กับการเลี้ยง ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าอาจจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร ผู้ประกอบการค้า นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป

เนื้อหาความ

1. ประวัติความเป็นมาของกึ่งก้ามกรามบางแพ

ในสมัยโบราณวิถีชีวิตของผู้คนล้นพื้งแม่น้ำลำคลองในการดำรงชีวิตและยังชีพ ผู้คนส่วนใหญ่ตั้งบ้านเรือนอยู่ใกล้ริมฝั่งแม่น้ำทั้ง 2 ฝากฝั่ง โดย “อาชีพตกกึ่งก้ามกรามหรือกึ่งแม่น้ำ” เป็นอาชีพหนึ่งของคนริมฝั่งแม่น้ำที่มีรายได้ดีและยังเป็นการใช้เวลาว่างให้เป็นประโยชน์ ทั้งนี้การตกกึ่งแม่น้ำต้องอาศัยความชำนาญ ความอดทน และการสังเกตกระแสน้ำขึ้นกระแสน้ำลง ทำให้ชาวบ้านหันมานิยมวิธีการเบ็ดตกโดยใช้สารเคมีแทน อันก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งปัญหาที่เกิดจากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม การที่โรงงานอุตสาหกรรมปล่อยน้ำเสียลงในแม่น้ำเป็นการทำลายระบบนิเวศของแม่น้ำลำคลอง ส่งผลให้กุ้ง หอย ปู ปลา และสัตว์น้ำในแม่น้ำเกิดการสูญพันธุ์ ซึ่งกึ่งก้ามกรามนับเป็นสัตว์น้ำอีกชนิดหนึ่งที่มีปริมาณลดลงอย่างมากเนื่องจากผลกระทบในหลายๆ ด้าน รัฐบาลจึงมีนโยบายส่งเสริมการเลี้ยงกุ้งขึ้นดังปรากฏในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2515-2519) โดยส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงกึ่งก้ามกรามขึ้นเพื่อทดแทนผลผลิตจากธรรมชาติ (สำนักงานสภาพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2515) มีการคิดค้นและพัฒนาเทคนิค วิธีการและนวัตกรรมการเพาะเลี้ยง จนทำให้การเลี้ยงกึ่งก้ามกรามกลายเป็นอาชีพที่สามารถสร้างรายได้จำนวนมากอาชีพหนึ่ง (ประไพพิศ, 2553) พื้นที่ที่มีการเลี้ยงกึ่งก้ามกรามมากที่สุดในประเทศ คือ เขตพื้นที่ภาคกลาง โดยเฉพาะในจังหวัดสุพรรณบุรี พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี นครปฐม และราชบุรี

จังหวัดราชบุรีตั้งอยู่ในภาคกลางด้านตะวันตก มีแม่น้ำแม่กลองเป็นแม่น้ำสายสำคัญไหลผ่าน ซึ่งในอดีตสองฝากฝั่งของแม่น้ำแม่กลองในพื้นที่จังหวัดสมุทรสงครามซึ่งเป็นเขตติดต่อกับจังหวัดราชบุรีจะเต็มไปด้วย “เรือตกกึ่ง” อาชีพตกกึ่งก้ามกรามเป็นวิถีชีวิตของคนริมฝั่งแม่น้ำแม่กลองมาตั้งแต่สมัยโบราณ เนื่องจากจังหวัดสมุทรสงครามมีพื้นที่ลำคลองมากกว่า 360 แห่ง โดยบางแพได้รับการยกฐานะเป็นอำเภอเมื่อปี พ.ศ. 2547 ประกอบด้วย 7 ตำบล และ 65 หมู่บ้าน (สำนักงานจังหวัดราชบุรี, 2562) มีลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบลุ่มคล้ายแอ่งกระทะ สภาพดินเป็นดินเหนียวและดินร่วนปนเหนียวที่มีความอุดมสมบูรณ์

ในอดีตชาวบ้านส่วนใหญ่ของอำเภอบางแพมีอาชีพทำการเกษตรโดยปลูกข้าวเป็นหลัก แต่ด้วยลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะทำให้น้ำท่วมขังเกือบทั้งปี การปลูกข้าวของเกษตรกรจึงประสบปัญหาเนื่องจากน้ำท่วมขังในนานทำให้ข้าวที่ปลูกอยู่ในสภาพลอยน้ำ เมื่อเก็บเกี่ยวแล้วไม่สามารถรับประทานได้ พื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่ของอำเภอก็จึงถูกปล่อยให้รกร้างว่างเปล่าเป็นที่อยู่อาศัยของวัชพืชล้มลุกคือ “ธูปฤๅษี” หรือที่ชาวบ้านเรียกกันว่า “ปรีอ” “กกช้าง” “กกธูป” หรือ “เพื้อ” ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียและดูดเก็บโพแทสเซียมได้จากปัญหาการปลูกข้าวทำให้เกษตรกรรวมทั้งส่วนราชการพยายามแก้ปัญหาเพื่อใช้ประโยชน์จากพื้นที่ในการทำการเกษตรอื่นแทนการปลูกข้าว และด้วยสภาพพื้นที่ดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวที่มีความอุดมสมบูรณ์ด้วยแร่ธาตุจุลินทรีย์ มีระบบการชลประทานที่ดี มีคลองธรรมชาติและลำน้ำ

ไหลผ่าน ผนวกกับวิถีชีวิตของชาวบ้านในพื้นที่สองฟากฝั่งแม่น้ำแม่กลองที่มีอาชีพตกกุ้งก้ามกราม จึงมีการนำพันธุ์กุ้งก้ามกรามมาเริ่มทดลองเลี้ยงประมาณปี พ.ศ. 2519 ด้วยเป็นกุ้งที่เป็นที่นิยมของตลาด มีราคาสูง รวมทั้งกุ้งก้ามกรามในแหล่งน้ำธรรมชาติลดปริมาณลงจำนวนมาก โดยหลังจากได้ทดลองเลี้ยงแล้ว พบว่าพื้นที่ดินที่ไม่สามารถปลูกข้าวแล้วได้ผลผลิตที่ดั้นนั้น สามารถเลี้ยงกุ้งก้ามกรามได้ผลเป็นอย่างดี ได้ผลผลิตกุ้งก้ามกรามที่มีลักษณะโดดเด่นคือ “กุ้งมีเปลือกสีน้ำเงินมันเงา เนื้อแน่น เต็มเปลือก มีปริมาณมันที่หัวมาก และสีครีมเข้ม น้ำหนักดี มีรสชาติหวาน และไม่มีกลิ่นคาวเมื่อปรุงสุก” (ประกอบ, ม.ป.ป.; พยุง ภัทรกุลชัย, สัมภาษณ์, 20 พฤษภาคม 2564; อำนาจ จินชาข้า, สัมภาษณ์, 22 พฤษภาคม 2564; ประสพชัย, 2565) สามารถขายและสร้างรายได้ทดแทนการปลูกข้าวได้ เกษตรกรจึงหันมาเลี้ยงกุ้งก้ามกรามจำนวนมาก ทำให้อำเภอบางแพมีชื่อเสียงในการเลี้ยงกุ้งทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพจนกระทั่งได้รับการขนานนามจากวงการเลี้ยงกุ้งว่าเป็น “เมืองหลวงของการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม” (คารณ, 2562) และมีคำขวัญประจำอำเภอกว่าที่แสดงให้เห็นถึงความสำคัญและความโดดเด่นของกุ้งก้ามกรามว่า “เปิดทะเลาะป้อนาม กุ้งก้ามกรามชื่อนิยม อีกโคมนพันธุ์ดี ประเพณีไทยทรงดำ แหล่งเพาะชำไม้ดอก สินค้าออกเห็ดนานาพันธุ์” และเป็นประจำในช่วงเดือนธันวาคมของทุกปีทางอำเภอบางแพ เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งในอำเภอบางแพ และจังหวัดราชบุรีจะร่วมกันจัดงาน “เทศกาลกุ้งปลอดสาร สืบสานประเพณีของดีบางแพ” ณ บริเวณที่ว่าการอำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรีเพื่อประชาสัมพันธ์เผยแพร่ชื่อเสียงของกุ้งก้ามกรามและส่งเสริมการท่องเที่ยวของจังหวัดราชบุรีเพื่อยกระดับเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตของชุมชนท้องถิ่น

จากความสำเร็จของการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในพื้นที่อำเภอบางแพดังกล่าวข้างต้น ทำให้มีการส่งเสริมให้ขยายพื้นที่การเลี้ยงไปยังอำเภอใกล้เคียงซึ่งมีสภาพภูมิประเทศและลักษณะทางธรณีวิทยาที่คล้ายคลึงกัน ได้แก่ อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอโพธาราม โดยปัจจุบันอำเภอบางแพ อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอโพธาราม มีเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกราม จำนวน 1,122 ราย พื้นที่การผลิต จำนวน 19,045 ไร่ ปริมาณการผลิตต่อปี จำนวน 6,345,750 กิโลกรัม และสามารถสร้างรายได้เฉลี่ยต่อปี จำนวน 1,561,054,500 บาท (สำนักงานประมงจังหวัดราชบุรี, 2564) ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสำเร็จของการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามบางแพทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพของผลผลิตอย่างเด่นชัด

2. ลักษณะทางกายภาพของกุ้งก้ามกรามบางแพ

กุ้งก้ามกรามมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Macrobrachium rosenbergii* มีชื่อสามัญคือ giant freshwater prawn และมีชื่อเรียกในภาษาไทยหลายชื่อ เช่น “กุ้งแม่น้ำ” ใช้เรียกกุ้งก้ามกรามที่พบในแม่น้ำลำคลองตามธรรมชาติ ซึ่งมีขนาดใหญ่ เปลือกมีสีฟ้าอมเขียว ก้ามมีตะไคร่น้ำจับ “กุ้งนาง” ใช้เรียกกุ้งก้ามกรามเพศเมียที่มีอายุตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไป กุ้งนางมักตัวเล็กและมีไข่สีส้มอยู่เต็มท้อง และ “กุ้งก้ามเหียน” หรือ “กุ้งก้ามเหลือง” ใช้เรียกกุ้งก้ามกรามที่มีก้ามเล็กและมีจุดเด่นอยู่ที่ปลายก้ามมีสีเหลืองอมส้ม เป็นต้น (ส.พุ่มสุวรรณ, 2555) สำหรับกุ้งก้ามกรามบางแพนั้นมีลักษณะทางกายภาพ (ประสพชัย, 2565) ดังนี้

2.1 เปลือก: มีสีน้ำเงินมันเงา

2.2 ก้าม: สีน้ำเงิน สีคราม หรือสีทอง มีปุ่มแบบตะปุ่มตะป่ำ เพศผู้จะมีก้ามโตและยาวกว่าเพศเมีย

- 2.3 เนื้อ: มีเนื้อแน่นเต็มเปลือก น้ำหนักดี
- 2.4 รสชาติ: หวานและไม่เหม็นกลิ่นคาวเมื่อปรุงสุก
- 2.5 ปริมาณมัน: มีมันมากที่หัวและสีครีมเข้ม
- 2.6 หัว: มีขนาดใหญ่กว่าลำตัว กุ้งเพศผู้มีขนาดหัวโตกว่าเพศเมีย
- 2.7 ความยาว: มีความยาวประมาณ 10-30 เซนติเมตร (จากปลายหางถึงตา)
- 2.8 เพศผู้: มีขนาดตัวและก้ามโตกว่าเพศเมีย และส่วนปลายของปล้องที่ 2 บานออกน้อยกว่าเพศเมีย
- 2.9 เพศเมีย: มีขนาดตัวและก้ามเล็กกว่าเพศผู้ และส่วนปลายของปล้องที่ 2 บานออกมากกว่าเพศผู้
- 2.10 ขนาด: ประมาณ 5-40 ตัวต่อกิโลกรัม
- 2.11 รูปร่าง: 1) ลักษณะลำตัวยาวกว่าหัว
 - 2) ลำตัวค่อนข้างกลม มี 6 ปล้อง หางมีจุดสีส้ม 3 จุด
 - 3) มีขาสำหรับว่ายน้ำ 5 คู่
 - 4) มีแขนหาง 2 ข้าง ตรงกลางมีลักษณะคล้ายหนามแหลม
 - 5) มีขาสำหรับเดิน 5 คู่ คู่ที่ 1 และ 2 มีปลายแยกเป็น 2 แฉก เรียกว่า ก้าม ส่วนคู่ที่ 3 4 และ 5 มีส่วนปลายเป็นปลายแหลมธรรมดา
 - 6) มีกรีปลายแหลม ขอบหยักเหมือนฟันเลื่อยใช้เป็นอาวุธในการป้องกันตัว
 - 7) มีหนวด 6 เส้น
 - 8) ก้าม คือ ขาเดินคู่ที่ 2 ส่วนขาเดินคู่ที่ 1 เป็นก้ามเล็ก ๆ ใช้สำหรับจับอาหารเข้าปากและทำความสะอาดหัวกับใบหน้า

3. วัตถุประสงค์สำหรับการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามบางแพ

3.1 พันธุ์

พ่อพันธุ์แม่พันธุ์ของกุ้งก้ามกรามบางแพใช้พันธุ์กุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงอยู่ในจังหวัดต่าง ๆ ของประเทศไทย เช่น ราชบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม และอยุธยา เป็นต้น หรือนำพันธุ์มาจากต่างประเทศ เช่น ประเทศเมียนมาร์ ประเทศอินเดีย เป็นต้น โดยคัดตัวที่มีลักษณะที่ดีไว้เป็นพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ ได้แก่ อายุประมาณ 6-7 เดือน ซึ่งควรเลี้ยงแยกเพศกัน คือ แยกบ่อเลี้ยงระหว่างเพศผู้และเพศเมีย มีลักษณะแข็งแรงสมบูรณ์ ปราดเปรี้ยว ลำตัวใส และเพศผู้มีก้ามโตไม่มาก (ประกอบ, ม.ป.ป.)

3.2 ลูกกุ้ง

การคัดลูกกุ้งก้ามกรามบางแพจะคัดลูกกุ้งที่คว่ำแล้วประมาณ 1 สัปดาห์ หรือมีอายุไม่ต่ำกว่า 20 วัน และได้รับการปรับสภาพให้อยู่ในน้ำจืดแล้วไม่ต่ำกว่า 2-3 วัน หรือใช้ลูกกุ้งที่ผ่านการอนุบาลมาแล้ว 60-90 วัน

3.3 อาหาร

อาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามบางแพมี 3 ประเภท ได้แก่ 1) อาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยง เช่น ไส้เดือนแดง ลูกไร ตัวอ่อนของลูกน้ำ เป็นต้น 2) อาหารสด เช่น เนื้อปลาทะเลตลิ่งเดียว เป็นต้น และ 3) อาหารเม็ดหรืออาหารสำเร็จรูป โดยอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามทั้ง 3 ประเภท (ประกอบ, ม.ป.ป.) มีคุณสมบัติ ดังนี้

1) มีโปรตีนสูงประมาณร้อยละ 30-40 และมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนอย่างครบถ้วน

2) มีไขมันไม่อิ่มตัวไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 เช่น น้ำมันจากปลาทะเล เป็นต้น

3) มีคาร์โบไฮเดรตต่ำ อาหารที่จำเป็นต้องใส่แบ่งให้ใช้แบ่งที่ได้จากพืช เช่น แป้งสาลี และต้องทำให้แบ่งสุกก่อน

4) มีความชื้นไม่สูงกว่าร้อยละ 12

5) ต้องจมน้ำ เนื่องจากกุ้งก้ามกรามเป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่ตามพื้นบ่อเป็นส่วนใหญ่ อาหารที่ใช้เลี้ยงจึงต้องจมน้ำ

6) เป็นอาหารเม็ดที่คงตัวในน้ำได้ไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมง เพราะกุ้งเป็นสัตว์ที่กินอาหารแบบกัดแทะจึงต้องใช้เวลานานในการกินอาหาร

4. กระบวนการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามบางแพ

กระบวนการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามบางแพในพื้นที่อำเภอบางแพ อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอโพธาราม มีรายละเอียดดังนี้

4.1 การเลือกสถานที่เลี้ยงกุ้ง

1) คุณภาพดิน ควรเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนปนเหนียวซึ่งสามารถเก็บกักน้ำได้ดี

2) คุณภาพน้ำ ควรอยู่ใกล้แหล่งน้ำที่มีคุณภาพดี ใสสะอาด มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.5-8.0 ไม่ได้รับผลกระทบของมลภาวะที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม แหล่งชุมชน และการทำการเกษตร รวมทั้งมีปริมาณน้ำมากเพียงพอตลอดปี นอกจากนี้จากแหล่งน้ำตามธรรมชาติแล้ว น้ำจากระบบชลประทานและแหล่งน้ำใต้ดินก็มีความสำคัญในการสำรองน้ำในฤดูแล้ง (นพคุณ, 2558)

3) แหล่งพันธุ์กุ้ง ควรอยู่ในบริเวณที่ไม่ห่างจากแหล่งพันธุ์กุ้งเพื่อความสะดวกในการลำเลียงขนส่งและจัดหาพันธุ์

4) สาธารณูปโภค ควรอยู่ใกล้สิ่งอำนวยความสะดวกที่จำเป็นต่อการเลี้ยงกุ้ง เช่น ถนน ไฟฟ้า ตลาดกลางกุ้ง เป็นต้น

4.2 รูปแบบบ่อและการสร้างบ่อเลี้ยง

1) รูปแบบบ่อเลี้ยงกุ้งควรเป็นรูปสี่เหลี่ยมเพื่อความสะดวกในการจัดการและการจับผลผลิต มีขนาดพื้นที่ประมาณ 3-10 ไร่ และลึกประมาณ 1-2 เมตร เนื่องจากบ่อที่ตื้นจะทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงเกินไปในฤดูร้อน

2) บ่อควรอัดแน่นและเรียบ มีความลาดเอียงไปทางหลุมจับกุ้งไม่เกิน 50 เซนติเมตร ซึ่งจะช่วยให้จับกุ้งได้สะดวก

4.3 การเตรียมบ่อเลี้ยง

1) สูบน้ำออกจากบ่อและตากบ่อให้แห้งเพื่อกำจัดศัตรูกุ้งที่เหลืออยู่โดยหว่านปูนขาวในอัตรา 60-100 กิโลกรัมต่อไร่

2) กำจัดศัตรูกุ้ง เช่น ปลาชนิดต่าง ๆ กบ เขียด นกชนิดต่าง ๆ โดยใช้ปูนขาวและป้องกันศัตรูกุ้งโดยการสูบน้ำผ่านผ้าหรือถุงกรอง

4.4 การเตรียมน้ำ

หลังจากตากบ่อให้แห้งแล้วให้หว่านปูนขาวให้กระจายทั่วบ่อ แล้วจึงเปิดน้ำลงบ่อ โดยกรองด้วยผ้าหรือถุงกรองเพื่อป้องกันศัตรูกุ้งที่ปนมากับน้ำโดยเฉพาะไข่และตัวอ่อนของปลา ถ้าน้ำจากแหล่งน้ำที่ใช้มีคุณภาพดีสามารถสูบน้ำเข้าบ่อได้เลย หลังจากนั้นควรพักน้ำไว้ 3-5 วัน ระหว่างการเตรียมน้ำต้องเปิดเครื่องให้น้ำเพื่อให้ไบโพดตีน้ำช่วงเวลากลางวันเพื่อปรับสภาพน้ำให้เข้าสู่ภาวะสมดุลเสียก่อนจึงปล่อยกุ้งลงเลี้ยง หรืออาจหว่านปลาปนผสมรำละเอียดในสัดส่วน 1:1 โดยใส่ในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อไร่ ละลายน้ำแล้วสาดให้ทั่วหรือใช้ฟางข้าวหมักเพื่อให้เกิดอาหารธรรมชาติ เช่น แพลงก์ตอนไรน้ำ เป็นต้น โดยดูน้ำให้เป็นสีชาหรือน้ำตาลอมเขียวซึ่งเกษตรกรอาจใช้วัชพืช "ธูปฤๅษี" หมักกับดินในบ่อกุ้งเพื่อปรับสภาพน้ำให้มีสีชาหรือน้ำตาลอมเขียวก่อนปล่อยกุ้ง 1-2 วัน ทั้งนี้ควรมีบ่อพักน้ำเพื่อใช้สำหรับการกักเก็บน้ำไว้ใช้ตามความต้องการและสามารถใช้เป็นที่พักคุณภาพน้ำที่สูบน้ำจากแม่น้ำลำคลองให้ดีขึ้นและใช้กักเก็บน้ำขณะถ่ายน้ำระหว่างการเลี้ยงกุ้งและขณะที่มีการจับกุ้งอีกด้วย

4.5 การเลือกพันธุ์กุ้งก้ามกราม

พันธุ์กุ้งก้ามกรามที่ดีควรมีการว่ายน้ำอย่างปราดเปรียว แข็งแรง ลำตัวใส และเป็นกุ้งที่คว่ำมาแล้วประมาณ 1 สัปดาห์ (อายุประมาณ 25-30 วันขึ้นไป) และได้รับการปรับสภาพให้อยู่ในน้ำจืดแล้วไม่น้อยกว่า 2-3 วัน การปล่อยกุ้งที่เพิ่งคว่ำ 1-2 วันลงเลี้ยง พบว่าส่วนใหญ่มีอัตราการรอดต่ำ

4.6 การลำเลียงพันธุ์กุ้งก้ามกราม

การลำเลียงลูกกุ้งก้ามกรามควรใช้ถุงพลาสติกขนาดความกว้าง 14 นิ้ว และความยาว 24 นิ้ว บรรจุน้ำประมาณ 2.5 ลิตร บรรจุลูกกุ้งคว่ำแล้วประมาณ 2,000 ตัวต่อถุง อัดออกซิเจนบริสุทธิ์ใส่ถุงโดยควบคุมอุณหภูมิในถุงให้ไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส โดยไม่จำเป็นต้องใช้รถห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิ แต่ควรระมัดระวังความร้อนจากพื้นรถสัมผัสกับถุงบรรจุลูกกุ้งโดยตรง ทั้งนี้อาจใช้ถังพลาสติกขนาดต่าง ๆ โดยบรรจุน้ำและลูกกุ้งคว่ำแล้วในปริมาณที่เหมาะสมแทนถุงพลาสติกได้

4.7 การปล่อยพันธุ์กุ้งก้ามกราม

การปล่อยพันธุ์กุ้งก้ามกรามลงบ่อนิยมทำในเวลาเช้ามีดหรือเย็น โดยนำถุงหรือถังพลาสติกที่บรรจุพันธุ์กุ้งมาแช่ในบ่อเพื่อปรับอุณหภูมิของน้ำในบ่อและน้ำในถุงหรือถังพลาสติกให้เท่ากันโดยใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที แล้วจึงเปิดปากถุงหรือถัง จากนั้นตักน้ำในบ่อผสมกับน้ำในถุงหรือถังก่อนปล่อยพันธุ์กุ้งลงบ่ออย่างช้า ๆ เพื่อช่วยให้กุ้งสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพน้ำในบ่อเลี้ยงซึ่งจะทำให้มีอัตราการรอดมากขึ้น ทั้งนี้ควรเปิดเครื่องให้อากาศก่อนนำลูกกุ้งมาปล่อยเพื่อเพิ่มออกซิเจนและทำให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อเท่ากันทุกระดับความลึก และเติมเกลือแกงลงไปในพื้นที่ที่จะนำลูกกุ้งมาปล่อยเพื่อเพิ่มอัตราการรอดของลูกกุ้งก้ามกราม (ยุพินท์ และรัชนิบูลย์, ม.ป.ป.)

4.8 วิธีการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม

วิธีที่ 1 การเลี้ยงด้วยรูปแบบกึ่งพัฒนาและพัฒนา ขั้นตอนการอนุบาลลูกกุ้ง ให้นำลูกกุ้งที่คว่ำแล้วประมาณ 1 สัปดาห์ และได้รับการปรับสภาพให้อยู่ในน้ำจืดแล้วอย่างน้อย 2-3 วัน ไปอนุบาลในบ่อดิน โดยใช้อัตราปล่อยประมาณ 80,000-160,000 ตัวต่อไร่ อนุบาลประมาณ 2-3 เดือน จนได้กุ้งขนาด 2-5 กรัมต่อตัว หลังจากนั้นจึงย้ายไปเลี้ยงในบ่อเลี้ยงกุ้งโดยปล่อยในอัตรา 5,000-7,000 ตัวต่อไร่ หลังจากเลี้ยงในบ่อประมาณ 4 เดือนแล้วจึงจับกุ้งเพื่อจำหน่าย โดยทำการปิดบ่อเพื่อคัดแยกเพศและขนาดของกุ้ง

วิธีที่ 2 การเลี้ยงด้วยรูปแบบดั้งเดิม เป็นการเลี้ยงโดยเน้นการให้อาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยง โดยนำลูกกุ้งที่คว่ำแล้วประมาณ 1 สัปดาห์และได้รับการปรับสภาพให้อยู่ในน้ำจืดแล้วอย่างน้อย 2-3 วัน ปล่อยลงบ่อเลี้ยงโดยตรงในอัตรา 40,000 - 60,000 ตัวต่อไร่ หลังจากนั้นประมาณ 6-10 เดือนขึ้นไป จึงทยอยจับกุ้งที่โตได้ขนาดขายและทยอยจับประมาณเดือนละครั้งจนเห็นว่าไม่มีกุ้งเหลือน้อยจึงจับหมดบ่อ

4.9 อาหารและการให้อาหารกุ้งก้ามกราม

ในช่วงแรกของการปล่อยลูกกุ้งลงบ่อจะเลี้ยงโดยเน้นให้อาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยง โดยสังเกตน้ำให้มีสีที่ตีเพราะแสดงว่ามีอาหารตามธรรมชาติในบ่อเพียงพอสำหรับเลี้ยงกุ้ง หลังจากนั้น 10 วัน จึงเปลี่ยนเป็นการให้อาหารเม็ดหรืออาหารสำเร็จรูปชนิดจมน้ำที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 หรืออาจใช้อาหารกุ้งกุลาดำที่มีโปรตีนร้อยละ 38-40 แทน อาหารควรคงสภาพในน้ำได้นานไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมง เนื่องจากกุ้งกินอาหารโดยการกั๊กตะกอน ถ้าอาหารละลายน้ำง่ายจะทำให้กุ้งไม่ได้รับอาหารเต็มที่ ทำให้สิ้นเปลืองค่าอาหาร และทำให้คุณภาพของน้ำในบ่อกุ้งเน่าเสียอีกด้วย สำหรับกุ้งเล็กควรให้อาหารชนิดเกร็ด และจะให้อาหารที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามขนาดของกุ้ง โดยให้อาหารลูกกุ้งในปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักกุ้งในช่วงเดือนที่ 1 แล้วลดลงเหลือร้อยละ 3 ในช่วงเดือนที่ 3 การให้อาหารกุ้งควรหว่านให้กระจายทั่วบ่อจะทำให้กุ้งกินอาหารได้ทั่วถึง โดยให้อาหารวันละ 2-3 ครั้ง อาหารมื้อเช้าและเย็นให้ในปริมาณเท่า ๆ กัน เฉลี่ยประมาณร้อยละ 40 ต่อมื้อ ในขณะที่มื่อกลางวันให้ประมาณร้อยละ 20 แต่ถ้าเลี้ยงวันละ 2 มื้อ คือ เช้าและเย็นนั้นปริมาณการให้อาหารแต่ละมื้อจะเท่า ๆ กัน คือประมาณร้อยละ 50 และเมื่อกุ้งอายุครบ 4 เดือน สำหรับการเลี้ยงในรูปแบบกึ่งพัฒนาและพัฒนา หรือเมื่อกุ้งอายุครบ 6 เดือนสำหรับการเลี้ยงในรูปแบบดั้งเดิมนั้น การให้อาหารจะลดปริมาณลงเหลือเพียงร้อยละ 1-2 ในแต่ละมื้อ

5. ลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่สัมพันธ์กับการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามบางแพ

สภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามบางแพ มีรายละเอียดดังนี้

5.1 ลักษณะภูมิประเทศ

- 1) อำเภอบางแพ มีพื้นที่เป็นที่ราบลุ่ม ไม่มีป่าและภูเขา อากาศโปร่งเย็น มีความชุ่มชื้นพอสมควร ลำน้ำสำคัญที่ใช้เป็นประโยชน์ในการทำการเกษตร คือ ลำคลองสายใหญ่โพหัก ทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญ ได้แก่ ปลาและสัตว์น้ำ
- 2) อำเภอดำเนินสะดวก มีพื้นที่เป็นที่ราบลุ่ม มีแม่น้ำลำคลองหลายสาย ฤดูร้อนอากาศไม่ร้อนจัด และฤดูหนาวอากาศไม่หนาวจัด
- 3) อำเภอโพธาราม มีพื้นที่ด้านทิศตะวันออกและตอนกลางเป็นที่ราบลุ่ม ด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นที่ราบสูง มีภูเขาและเนินเขาอยู่ทั่วไป มีแม่น้ำสำคัญ คือ แม่น้ำแม่กลอง ไหลผ่าน

5.2 ลักษณะทางธรณีวิทยา

- 1) วัตถุต้นกำเนิดดินของอำเภอบางแพ อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอโพธารามเกิดจากตะกอนน้ำสมกับตะกอนทะเลที่พัฒนาในสภาพน้ำกร่อยเป็นหลักและมีบางส่วนเกิดจากตะกอนน้ำพัดพา (กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551)

2) ลักษณะดินของอำเภอบางแพ อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอโพธาราม มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวเนื้อละเอียดจนถึงเนื้อละเอียดมาก สีเทาเข้มจนถึงสีดำ เป็นดินในกลุ่มชุดดินที่ 2 (ชุดดินอยุธยา) 3 (ชุดดินบางแพ) และ 8 (ชุดดินดำเนินสะดวก) มีความอุดมสมบูรณ์ด้วยแร่ธาตุและจุลินทรีย์ปานกลางถึงสูง มีปฏิกิริยาดินเป็นกรด-ด่างปานกลาง ประมาณ 5.5-8.0 และมีการระบายน้ำเลว (กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551) จึงทำให้อำเภอบางแพ อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอโพธาราม มีดินที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดรวมทั้งกุ้งก้ามกรามด้วย กอปรกับพื้นที่ของอำเภอบางแพ อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอโพธารามมีวัชพืชที่ขึ้นเฉพาะถิ่น คือ ฤๅษี ซึ่งขึ้นอยู่ทั่วไปในพื้นที่ เมื่อเกษตรกรนำมาผสมลงในบ่อเพื่อหมักกับดินทำให้น้ำในบ่อกลายเป็นสีชาหรือน้ำตาลอมเขียว ซึ่งเป็นสีที่ได้มาจากสีของวัชพืชฤๅษีและมีผลให้แสงแดดส่องลงไปใต้บ่อได้น้อยลง เพราะสีน้ำที่เข้มสกัดกั้นแสงไว้ช่วยให้สภาพในบ่อกุ้งมีดครึ้ม มีผลให้เกิดแพลงก์ตอน ไร้ และตะไคร่น้ำ ซึ่งเป็นอาหารตามธรรมชาติของกุ้งทำให้กุ้งก้ามกรามมีอาหารกินในปริมาณมาก กุ้งจึงโตเร็ว มีเนื้อแน่นเต็มเปลือก รสชาติหวาน และไม่มีการปนเปื้อนเมื่อปรุงสุก รวมทั้งมีเปลือกสีน้ำตาลเงินมันเงาและมีปริมาณมันสีครีมเข้มที่หัวมาก

5.3 อุทกศาสตร์

แหล่งน้ำจากระบบชลประทานที่สนับสนุนการทำการเกษตรและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของอำเภอบางแพ อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอโพธาราม ผันน้ำมาจากเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ์ โดยเขื่อนทั้ง 2 แห่งมีต้นน้ำมาจากแม่น้ำสาขาที่สำคัญ 2 สาย คือ แม่น้ำแควใหญ่และแม่น้ำแควน้อย ซึ่งไหลมาบรรจบกันกลายเป็นแม่น้ำแม่กลองไหลผ่านอำเภอบางแพและอำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอบ้านโป่ง อำเภอโพธาราม และอำเภอเมืองราชบุรี จังหวัดราชบุรี อำเภอบางคนที อำเภออัมพวา และอำเภอเมืองสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสงคราม และไหลลงสู่อ่าวไทยนั้น น้ำที่มาจากแม่น้ำแม่กลองเป็นน้ำที่มีคุณภาพน้ำประปาที่ 2 หมายถึง น้ำที่สามารถใช้ประโยชน์ในการอุปโภคบริโภคได้โดยผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และสามารถใช้ในการอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การว่ายน้ำและการกีฬาทางน้ำได้ (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน), 2555) โดยมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาที่ 2 ได้แก่ 1) ออกซิเจนละลายในน้ำไม่ต่ำกว่า 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร 2) ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ไม่เกินกว่า 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร 3) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดไม่เกินกว่า 5,000 MPN ต่อ 100 มิลลิกรัม 4) แบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์มไม่เกินกว่า 1,000 MPN ต่อ 100 มิลลิกรัม และ 5) แอมโมเนียรวมไม่เกินกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

5.4 ภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศโปร่งเย็น ไม่ร้อนจัด และไม่หนาวจัดนั้นเหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเนื่องจากอุณหภูมิที่น้ำที่เหมาะสมที่สุดในการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปอาจทำให้กุ้งอ่อนแอหรือตายได้

ด้วยลักษณะดินในอำเภอบางแพ อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอโพธาราม เป็นดินเหนียวหรือดินร่วนปนเหนียว มีสีเทาเข้มจนถึงสีดำ ซึ่งเกิดจากตะกอนน้ำผสมกับตะกอนทะเลที่พัฒนาในสภาพน้ำกร่อยเป็นหลัก และมีบางส่วนเกิดจากตะกอนน้ำพัดพาจึงมีความอุดมสมบูรณ์ด้วยแร่ธาตุและจุลินทรีย์ปานกลางถึงสูง มีปฏิกิริยาดินเป็นกรด-ด่างปานกลาง อยู่ในระหว่าง 5.5-8.0 และ

มีการระบายน้ำเลว ผสมผสานกับภูมิปัญญาชาวบ้านที่นำพืชที่ขึ้นเฉพาะถิ่น คือ ต้นธูปฤๅษี มาหมักกับดินทำให้น้ำในบ่อกลายเป็นสีชาหรือน้ำตาลอมเขียว มีผลให้แสงแดดส่องลงไปยังได้บ่อได้น้อยลงช่วยให้สภาพในบ่อเลี้ยงกุ้งเกิดแพลงก์ตอน ไร้ และตะไคร่น้ำ ซึ่งเป็นอาหารตามธรรมชาติของกุ้ง กอปรกับลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบน้ำทะเลเคยท่วมถึงหรือเป็นแอ่งที่ราบน้ำท่วมถึง และลักษณะภูมิอากาศที่โปร่งเย็น ไม่ร้อนจัด ไม่หนาวจัด ทำให้อุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ซึ่งปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้กุ้งโตเร็ว มีเปลือกสีน้ำเงินมันเงา เนื้อแน่นเต็มเปลือก รสชาติหวานมันกุ้งมาก และไม่มีกลิ่นคาวเมื่อปรุงสุก จึงทำให้พื้นที่ของทั้งสามอำเภอดังกล่าวเหมาะสมแก่การเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเป็นอย่างยิ่ง

สรุป

“กุ้งก้ามกรามบางแพ” เป็นกุ้งที่มีคุณลักษณะที่เป็นอัตลักษณ์เฉพาะพื้นที่ของอำเภอบางแพ อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี โดยมีผลมาจากปัจจัยทางสภาพภูมิศาสตร์ ประกอบด้วยลักษณะทางธรณีวิทยาที่มีลักษณะดินเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนปนเหนียวสีเทาเข้มถึงสีดำ ลักษณะภูมิประเทศที่เป็นที่ราบน้ำทะเลเคยท่วมถึงหรือเป็นแอ่งที่ราบน้ำท่วมถึง ลักษณะทางอุทกศาสตร์ที่มีแหล่งน้ำมาจากระบบชลประทานซึ่งมีคุณภาพน้ำประเภทที่ 2 มีคุณสมบัติสามารถใช้ในการอนุรักษ์สัตว์น้ำและทำการประมงได้ และลักษณะภูมิประเทศที่โปร่งเย็น ไม่ร้อนจัด ไม่หนาวจัดเหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ใช้พืช “ธูปฤๅษี” หมักกับดินในบ่อเพื่อปรับสภาพน้ำให้มีสีชาหรือน้ำตาลอมเขียว กอปรกับกระบวนการเลี้ยงตามรูปแบบของเกษตรกรในพื้นที่ ทำให้กุ้งก้ามกรามบางแพมีลักษณะที่เป็นอัตลักษณ์เฉพาะพื้นที่ดังลักษณะที่ปรากฏในภาพที่ 1 2 และ 3



ภาพที่ 1 มีเปลือกสีน้ำเงินมันเงา

ที่มา: ประกอบ ทรัพย์ยอดแก้ว (การสื่อสารส่วนบุคคล, 15 พฤษภาคม 2564)



ภาพที่ 2 มีปริมาณมันสีครีมเข้มที่ห้วมาก

ที่มา: ประกอบ ทรัพย์ยอดแก้ว (การสื่อสารส่วนบุคคล, 15 พฤษภาคม 2564)



ภาพที่ 3 เนื่อแน่นเต็มเปลือก

ที่มา: ประกอบ ทรัพย์ยอดแก้ว (การสื่อสารส่วนบุคคล, 15 พฤษภาคม 2564)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานพาณิชย์ จังหวัดราชบุรี ที่สนับสนุนงบประมาณให้มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง จัดทำโครงการจัดทำคำขอสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ไทยเพื่อขึ้นทะเบียนในประเทศสินค้ากึ่งกำกรวมบางแพ และอนุญาตให้ใช้ข้อมูลสำหรับการจัดทำบทความทางวิชาการเรื่องนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2551). *การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดราชบุรี*. กรุงเทพฯ: บริษัทแอดวานซ์วิชั่นเซอร์วิส จำกัด.
- คำรณ ห่วงหวัศศรี. (2562). *เมืองหลวงของการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามอยู่ที่ อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรีนะ จะบอกให้*. สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2564, จาก: https://www.youtube.com/watch?v=_oGtWURXFAY.
- นพคุณ ภักดีณรงค์. (2558). ปัจจัยในการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 20(1), 251-260.
- ประกอบ ทรัพย์ยอดแก้ว. (ม.ป.ป.). *การเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกราม*. สืบค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2564, จาก: https://www.thailandshrimp.org/agriculture_giant.html.
- ประไพพิศ จันทรอัน. (2553). *การผลิตและการตลาดกุ้งก้ามกราม กรณีศึกษา: จังหวัดกาฬสินธุ์และจังหวัดราชบุรี*. กรุงเทพฯ: ธนาการเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร.
- ประสพชัย พูลเกิด. (2565). *คำขอขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์*. ราชบุรี: สำนักงานพาณิชย์จังหวัดราชบุรี.
- ยุพินท์ วิวัฒน์ชัยเศรษฐ์ และรัชนิบูลย์ ทิพย์เนตร. (ม.ป.ป.). *การเลี้ยงกุ้งก้ามกราม*. กรุงเทพฯ: กรมประมง.
- ส.พุ่มสุวรรณ. (2555). *กุ้งก้ามกราม*. กรุงเทพฯ: นานามีบุ๊กพับลิเคชันส์.
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน). (2555). *การดำเนินการด้านการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลโครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 ลุ่มน้ำและแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง ลุ่มแม่น้ำแม่กลอง*. กรุงเทพฯ: สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน).
- สำนักงานจังหวัดราชบุรี. (2562) *แผนพัฒนาจังหวัดราชบุรี พ.ศ. 2561-2564 (ฉบับทบทวนปี พ.ศ. 2562)*. ราชบุรี: สำนักงานจังหวัดราชบุรี.
- สำนักงานประมงจังหวัดราชบุรี. (2564). *ข้อมูลการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามจังหวัดราชบุรี*. ราชบุรี: สำนักงานประมงจังหวัดราชบุรี.
- สำนักงานสภาพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2515). *แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2515-2519*. กรุงเทพฯ: สำนักงานสภาพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.

ผลของคลื่นไมโครเวฟต่อโครงสร้างทางเคมีกายภาพของเปลือกไข่ไก่

Effect of Microwave Radiation on Physicochemical Structure of Chicken Eggshells

พิไลพร หนูทองคำ¹ ประภัสสร จุลบุตร์² และประสพพร จุลบุตร์^{1*}
Pilaipon Nuthongkum¹ Prapassorn Junlabhut² and Prasopporn Junlabhut^{1*}

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่ เมื่อเปลือกไข่ไก่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟโดยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ 400 560 และ 800 วัตต์ ด้วยเวลาที่เท่ากัน 5 นาที พบว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่จะมีความเป็นผลึกแบบรอมโบฮีดรอลของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เพิ่มขึ้น ขนาดผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 69.51 นาโนเมตร เป็น 77.79 89.17 และ 91.22 นาโนเมตร ตามลำดับ จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงเวลาในการให้ความร้อนของคลื่นไมโครเวฟที่ 5 10 15 20 และ 25 นาที โดยให้กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟคงที่ 800 วัตต์ พบว่าที่ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์เป็นเวลา 10 นาที โครงสร้างแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่ที่ได้มีความเป็นผลึกสูงสุด และเมื่อเพิ่มเวลามากขึ้นที่ 15 และ 20 นาที ค่าความเป็นผลึกจะมีค่าลดลง และที่เวลา 25 นาที แคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จะเริ่มมีการเปลี่ยนโครงสร้างเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ดังแสดงในผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

คำสำคัญ: เปลือกไข่ไก่ แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมออกไซด์ คลื่นไมโครเวฟ

¹ สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

² สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคนครสวรรค์ สถาบันการอาชีวศึกษา ภาคเหนือ 4

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

Received: 21 February 2022, Revised: 2 June 2022, Accepted: 10 June 2022

Abstract

In this research, the effect of microwaves on physical and structural properties of chicken eggshells with various were studied. The influence of thermal treatment with various microwave power at 400, 560 and 800 W for 5 min were investigated. As the power increases, the rhombohedral crystallinity of CaCO_3 of chicken egg shell particles is heightened. The calculated crystalline size increased from 69.51 nm to 77.79, 89.17 and 91.22 nm, respectively. Then, microwaves were heated with various time for 5, 10, 15, 20 and 25 min with a constant power of 800 W. The results indicated that the power at 800 W for 10 min were used to improve the highest crystallinity of the CaCO_3 of the chicken egg shell. As the time increases up to 15 and 20 min, the crystallinity was slightly decreased. As time went up to 25 min, the structural reveals that CaCO_3 can be transformed into the CaO structure as seen in X-ray diffraction patterns.

Keywords: Chicken egg shells, Calcium carbonate, Calcium oxide, Microwave

บทนำ

เปลือกไข่ไก่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการบริโภคทั้งในภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือน โดยทั่วไปมักกำจัดโดยวิธีฝังกลบโดยไม่มีการปรับสภาพก่อนทำให้เกิดมลพิษอินทรีย์ (Laca *et al.*, 2017) เปลือกไข่ไก่มีน้ำหนักประมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักทั้งหมด (Wei *et al.*, 2009) มีองค์ประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate: CaCO_3) สูงถึงร้อยละ 94.0 ของน้ำหนักเปลือกไข่ไก่ นอกจากนั้นเป็นแมกนีเซียมคาร์บอเนต (ร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักเปลือกไข่ไก่) แคลเซียมฟอสเฟต (ร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักเปลือกไข่ไก่) และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ (ร้อยละ 4.0 ของน้ำหนักเปลือกไข่ไก่) (Stadelman, 2000) ปัจจุบันงานวิจัยเพื่อเพิ่มมูลค่าเปลือกไข่ไก่เติบโตอย่างรวดเร็วและหลากหลายงานวิจัย เช่น การใช้เปลือกไข่ไก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การใช้เปลือกไข่ไก่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (Wei *et al.*, 2009) เป็นต้น และสิ่งที่น่าสนใจจากงานวิจัยของ Cho and Seo (2010) พบว่าแคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide: CaO) ที่ได้จากการเผาเปลือกไข่ไก่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่มีประสิทธิภาพได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต จากงานวิจัยของ Li *et al.* (2018) พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตจากน้ำเสีย นอกจากนี้มีงานวิจัยที่นำเปลือกไข่ไก่มาเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วัสดุไฮดรอกซิดรอกซิลอะพาไทต์เพื่อทดแทนฟันและกระดูกมนุษย์ (Asra *et al.*, 2018) และยังถูกใช้เป็นสารตัวเติม (filler) และตัวเพิ่มปริมาณ (extender) ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ กระดาษ และเซรามิก เป็นต้น และเป็นสารตั้งต้นในการผลิตแคลเซียมออกไซด์ (Tangboriboon *et al.*, 2012)

โดยทั่วไปการสังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากวัสดุในธรรมชาติ มักใช้เทคนิคทางกายภาพโดยการให้ความร้อนและระยะเวลาที่เหมาะสมกับสารตัวอย่าง ซึ่งแหล่งความร้อนที่ใช้มักมาจากเตาเผา โดยความร้อนที่ผิวด้านนอกจะสูงกว่าด้านในซึ่งได้จากการถ่ายเทความร้อนเข้าไปภายในวัสดุ จึงทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการสังเคราะห์ยาวนาน อีกทั้งต้องใช้อุณหภูมิสูง งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แหล่งความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่าแหล่งความร้อนชนิดอื่น คือ มีอัตราการให้ความร้อนเร็ว มีความสม่ำเสมอ โดยความร้อนที่ได้รับจากคลื่นไมโครเวฟเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นภายในวัตถุออกสู่ภายนอก จึงลดการสูญเสียความร้อนระหว่างอากาศ ดังนั้นการใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟจึงช่วยลดระยะเวลาในการสังเคราะห์ได้เป็นอย่างมาก และยังเป็นการลดการสูญเสียพลังงานได้ดีอีกทางหนึ่ง

งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบของคลื่นไมโครเวฟที่มีอิทธิพลต่อลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่ โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ และระยะเวลาในการให้ความร้อน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กระบวนการเตรียมผงเปลือกไข่ไก่

นำเปลือกไข่ไก่มาลอกเยื่อหุ้มออก จากนั้นล้างทำความสะอาด และนำไปอบให้แห้งด้วยเตาอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียด นำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช (mesh) เพื่อให้ได้ขนาดใกล้เคียงกัน

2. ศึกษา กำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟที่เหมาะสม

ซึ่งผงเปลือกไข่ไก่จากข้อที่ 1 ปริมาณ 10 กรัม นำมาให้ความร้อนจากไมโครเวฟดัดแปลงจากหัวแมกนีตรอน 1 หัว ที่ความยาวคลื่น 2.45 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 800 วัตต์ โดยศึกษาอิทธิพลของกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันที่ 400 560 และ 800 วัตต์ (เมื่อเทียบกับไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ กำลังไฟฟ้าจะให้ระดับความร้อนจะเป็น ปานกลาง แรงปานกลาง และแรง ตามลำดับ) โดยกำหนดให้ระยะเวลาที่ให้ความร้อนเท่ากันที่ 5 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาศึกษาลักษณะทางกายภาพ สืบจากการสังเกตด้วยตาเปล่าเทียบกับการระบุเขตสีจากโปรแกรม ImageJ และลักษณะทางโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffraction: XRD)

3. ศึกษา ระยะเวลาที่ให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟที่เหมาะสม

นำผงเปลือกไข่ไก่จากข้อที่ 1 มาให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2 และศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาที่ให้ความร้อนที่แตกต่างกันที่ 5 10 15 20 และ 25 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาศึกษาลักษณะทางกายภาพ สืบจากการสังเกตด้วยตาเปล่าเทียบกับการระบุเขตสี และลักษณะของอนุภาคหลังการให้ความร้อนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy: SEM) และลักษณะทางโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

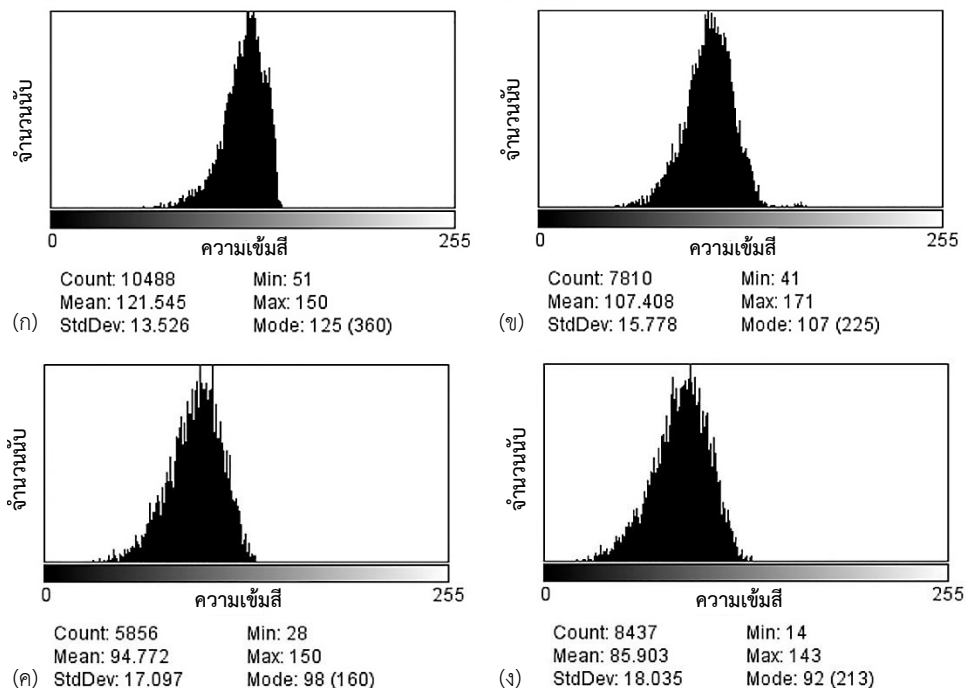
ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษากำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟที่เหมาะสม

ลักษณะทางกายภาพของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าแตกต่างกันที่ 400 560 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 5 นาทีเท่ากัน พบว่าเปลือกไข่ไก่ก่อนการให้ความร้อนจะมีเนื้อสีเหลืองอ่อนเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า ต่างจากเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากไมโครเวฟมีลักษณะของสีที่เข้มขึ้นเมื่อเทียบกับเปลือกไข่ไก่ก่อนได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ โดยที่กำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ เปลือกไข่ไก่มีสีน้ำตาล เมื่อได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น พบว่าเปลือกไข่ไก่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มและสีน้ำตาลปนเทา ที่กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 560 และ 800 วัตต์ ดังภาพที่ 1 และเมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มสี (color intensity) ในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J พบว่าความเข้มสีที่ได้สอดคล้องกับผลจากการสังเกตด้วยตาเปล่า คือเนื้อสีมีความเข้มขึ้นเมื่อให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ดังภาพที่ 2

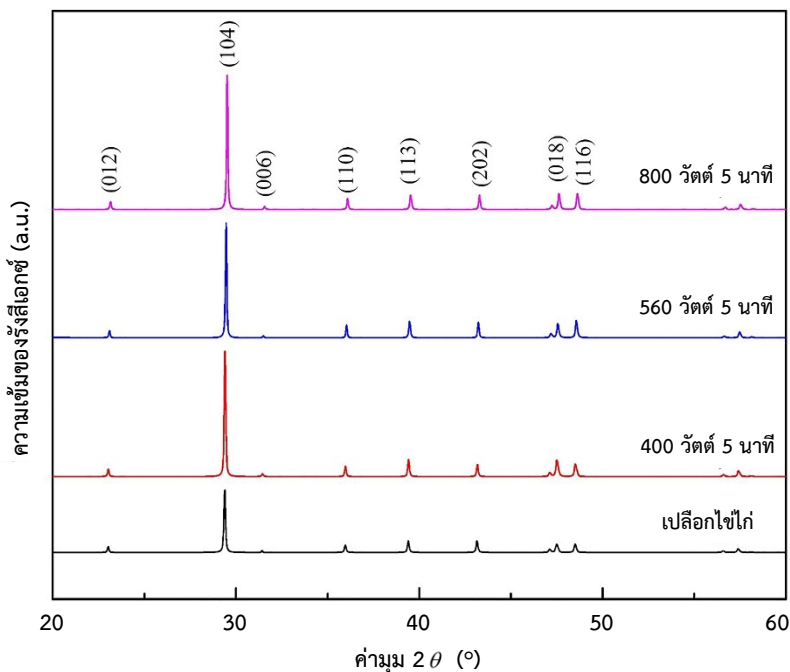


ภาพที่ 1 เปลือกไข่ไก่ก่อนการให้ความร้อน (ก) และเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ (ข) 560 วัตต์ (ค) และ 800 วัตต์ (ง) ที่เวลา 5 นาที



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์ความเข้มสีในระบบ RGB จากภาพถ่ายเปลือกไข่ไก่ก่อนการให้ความร้อน (ก) และเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ (ข) 560 วัตต์ (ค) และ 800 วัตต์ (ง) ที่เวลา 5 นาที ด้วยโปรแกรม Image J

จากการศึกษาลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าแตกต่างกันที่ 400 560 และ 800 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ดังภาพที่ 3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ระนาบการเลี้ยวเบนที่ (012) (104) (006) (110) (113) (202) (018) และ (116) ตรงกับมุม 23.13 29.48 31.56 36.09 39.49 43.28 47.53 และ 48.51 องศา ตามลำดับ ตรงกันกับฐานข้อมูลมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 01-086-0174 สอดคล้องกับรูปแบบของแคลเซียมคาร์บอเนต มีลักษณะของแคลไซต์ (calcite) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบรอมโบฮีดรอล (rhombohedral) ในระบบเฮกซะโกนอล (hexagonal) มีค่าแลตทิซพารามิเตอร์ (lattice parameters) เท่ากับ $a = b = 4.988 \text{ \AA}$ และ $c = 17.068 \text{ \AA}$ ที่มุม $\alpha = 90^\circ$ $\beta = 90^\circ$ และ $\gamma = 120^\circ$



ภาพที่ 3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 400 560 และ 800 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

จากภาพที่ 3 พบตำแหน่งสูงสุดของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มุมการเลี้ยวเบน 29.5° ผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ความเข้มที่ตำแหน่งสูงสุดจะเพิ่มขึ้น และมีความคมชัด แสดงถึงค่าความเป็นผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อคำนวณขนาดผลึก (crystalline size) ของเปลือกไข่ไก่ที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อนจากไมโครเวฟ โดยใช้ระนาบการเลี้ยวเบนสูงสุด ด้วยสมการเชอร์เรอร์ (Scherrer's equation)

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่เท่ากับ 0.94 λ คือ ค่าความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ $\text{CuK}\alpha$ (0.15406 นาโนเมตร) β คือ ความกว้างที่ความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของความสูงสูงสุดของกราฟ (full width at half maximum: FWHM) และ θ คือ มุมของแบร็ก (Bragg's angle) พบว่าขนาดของผลึกของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าแตกต่างกันที่ 400 560 และ 800 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 69.51 77.79 89.17 และ 91.22 นาโนเมตร

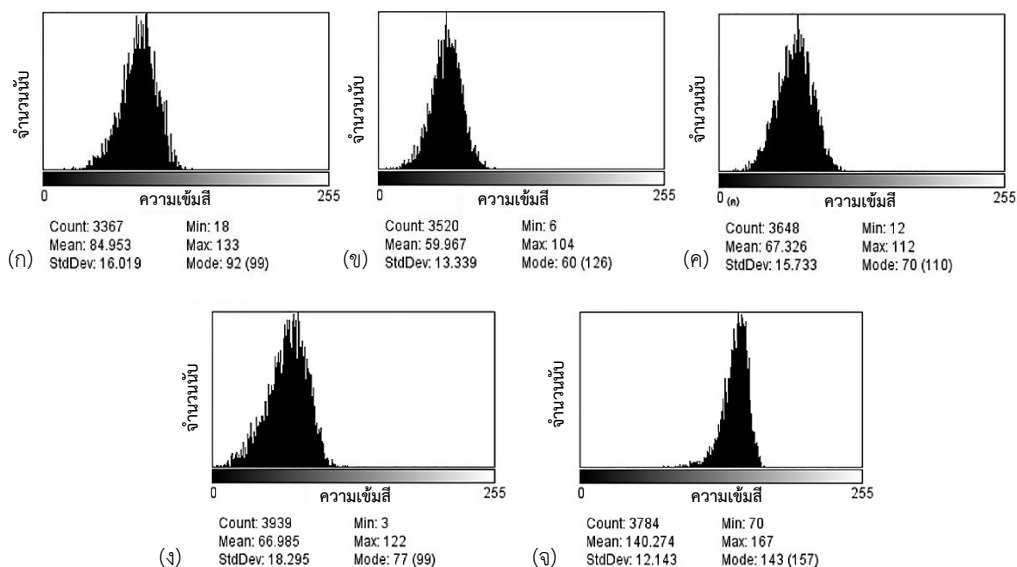
2. ผลการศึกษาระยะเวลาที่ทำให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟที่เหมาะสม

เนื่องจากความเป็นผลึกของลักษณะทางโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าเพิ่มขึ้นจากผลการศึกษาพบว่า กำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟที่ 800 วัตต์ ระยะเวลา 5 นาที ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพ คือ สี และลักษณะทางโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนตเด่นชัดที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้กำลังไฟฟ้างี้มาศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการให้ความร้อนที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่ โดยศึกษาระยะเวลาที่แตกต่างกันที่ 5 10 15 20 และ 25 นาที

ต่อมาคือผลจากการศึกษาการให้ความร้อนเปลือกไข่ไก่ด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ โดยศึกษาอิทธิพลของเวลาที่แตกต่างกันที่ 5 10 15 20 และ 25 นาที ลักษณะของสีของเปลือกไข่ไก่จากการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่าสีของเปลือกไข่ไก่มีสีที่เข้มข้นเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลา 5 นาที เปลือกไข่ไก่มีสีน้ำตาลปนเทา ดังภาพที่ 4 (ก) ที่ระยะเวลา 10 15 และ 20 นาที เปลือกไข่ไก่มีสีเทาที่เข้มข้นจนกระทั่งมีสีเทาเข้มปนดำที่ระยะเวลา 20 นาที ดังภาพที่ 4 (ข) (ค) และ (ง) และเมื่อให้ความร้อนแก่เปลือกไข่ไก่ที่ระยะเวลา 25 นาที พบว่าขนาดของอนุภาคลดลงมีความสม่ำเสมอมากขึ้น สีของเปลือกไข่ไก่เปลี่ยนเป็นสีขาวและมีสีเทาเจือปนอยู่เล็กน้อย ดังภาพที่ 4 (จ) และเมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J พบว่าความเข้มสีมีค่าสูง (เข้าใกล้ 255) ขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ 800 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 15 และ 20 นาที ตามลำดับ ซึ่งที่เวลาในการให้ความร้อน 25 นาที พบว่าความเข้มสีมีค่าสูงสุด แสดงให้เห็นว่าสีมีลักษณะเข้าใกล้สีขาวอย่างชัดเจน ผลของสีของเปลือกไข่ไก่สอดคล้องกับสีขาวของแคลเซียมออกไซด์ที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพที่ 5

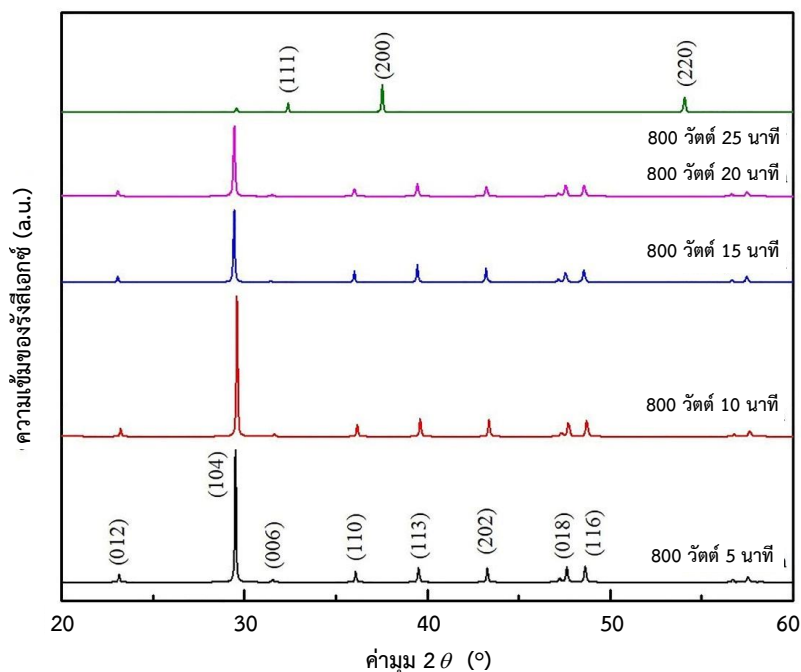


ภาพที่ 4 ภาพถ่ายเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 นาที (ก) 10 นาที (ข) 15 นาที (ค) 20 นาที (ง) และ 25 นาที (จ)



ภาพที่ 5 การวิเคราะห์ความเข้มสีในระบบ RGB จากภาพถ่ายเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 นาที (ก) 10 นาที (ข) 15 นาที (ค) 20 นาที (ง) และ 25 นาที (จ) ด้วยโปรแกรม Image J

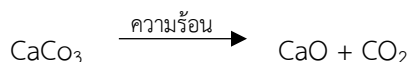
ลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นระยะเวลา 5 10 15 20 และ 25 นาที ดังภาพที่ 6 พบว่าเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนเป็นระยะเวลา 5 10 15 และ 20 นาที มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สอดคล้องกับรูปแบบของแคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะของแคลไซต์ มีระนาบ (104) ระนาบการเลี้ยวเบนหลัก ซึ่งพบว่าความเข้มของระนาบเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 5 นาที เป็น 10 นาที และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 15 และ 20 นาที พบว่าความเข้มของระนาบหลักลดลง หมายถึงลักษณะทางโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนตลดลง การลดลงของผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นช่วงรอยต่อการเริ่มมีการเปลี่ยนลักษณะทางโครงสร้างไปเป็นโครงสร้างของแคลเซียมออกไซด์ และที่ระยะเวลา 25 นาที พบว่าระนาบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่สอดคล้องกับรูปแบบของแคลเซียมคาร์บอเนตเหลือลดลงอย่างเห็นได้ชัด และเกิดรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ระนาบการเลี้ยวเบนที่ (111) (200) และ (220) ตรงกับมุม 32.35 37.53 และ 54.06 องศา ตามลำดับ ตรงกับฐานข้อมูลมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 01-077-2010 ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบของแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งผลของลักษณะทางโครงสร้างของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สอดคล้องกับผลของการเกิดสี

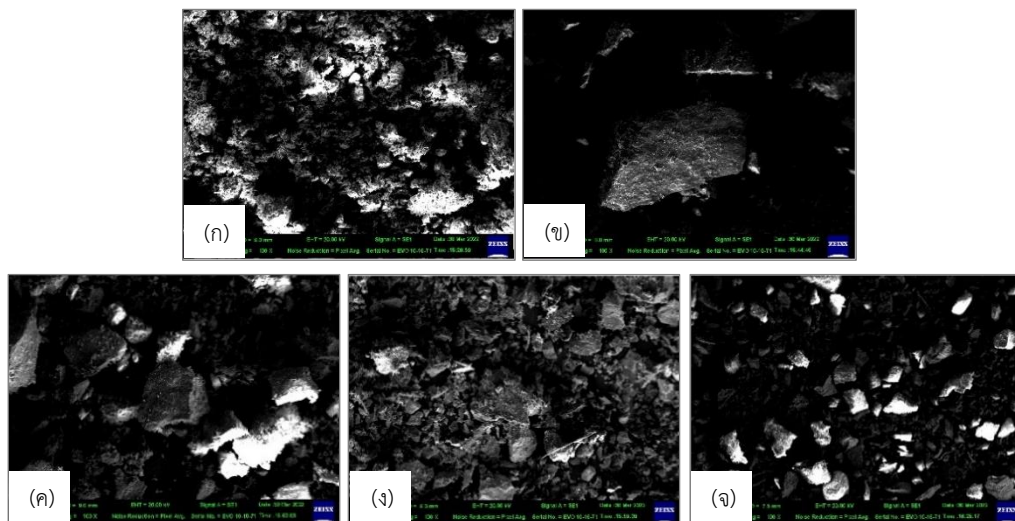


ภาพที่ 6 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นระยะเวลา 5 10 15 20 และ 25 นาที

3. ผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาของเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าอนุภาคเปลือกไข่ไก่มีขนาดเล็กและมีรูปร่างที่แตกต่างกัน เมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟเพิ่มขึ้นเป็น 20 นาที พบว่าอนุภาคมีการรวมตัวกันเล็กน้อย และเมื่อให้ความร้อนแก่เปลือกไข่ไก่ที่ระยะเวลา 25 นาที พบว่าลักษณะอนุภาคมีความสม่ำเสมอ มีความพรุนและการกระจายตัวเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 7) ซึ่งมาจากการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) สอดคล้องกับสมการการเสื่อมสลายโครงสร้างผลึกแบบแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ (Park *et al.*, 2007) เมื่อได้รับความร้อน ดังสมการ





ภาพที่ 7 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกไซไฟท์ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 นาที (ก) 10 นาที (ข) 15 นาที (ค) 20 นาที (ง) และ 25 นาที (จ)

สอดคล้องกับกลุ่มวิจัยของ Wei *et al.* (2009) พบว่าที่อุณหภูมิการเผาต่ำกว่า 700 องศาเซลเซียส ขนาด รูปร่างและโครงสร้างจะคล้ายกับโครงสร้างของเปลือกไซไฟท์ตามธรรมชาติ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส ขนาดของอนุภาคลดลงและรูปร่างของอนุภาคมีความสม่ำเสมอและโครงสร้างเปลือกไซไฟท์เกิดจากการเปลี่ยนแปลง จึงกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาในการเผา เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้นและระยะเวลาการเผาที่ยาวนานขึ้นการเปลี่ยนโครงสร้างเป็นแคลเซียมออกไซด์จะสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขนาดผลึกของเปลือกไซไฟท์ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นระยะเวลา 5 10 15 20 และ 25 นาที คำนวณจากตำแหน่งสูงสุดของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มุมการเลี้ยวเบน 29.5 องศาและจากตำแหน่งสูงสุดของแคลเซียมออกไซด์ที่มุมการเลี้ยวเบน 37.53 องศา พบว่าความเป็นผลึกของเปลือกไซไฟท์เพิ่มขึ้นจาก 91.22 เป็น 96.60 นาโนเมตร ที่ระยะเวลา 10 นาที และความเป็นผลึกของเปลือกไซไฟท์ลดลงเป็น 77.03 และ 68.63 นาโนเมตร เมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนแก่เปลือกไซไฟท์เพิ่มขึ้นเป็น 15 และ 20 นาที ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 25 นาที ความเป็นผลึกที่คำนวณจากระนาบ 104 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 59.83 นาโนเมตร แต่ในขณะเดียวกันความเป็นผลึกที่คำนวณจากระนาบ 200 ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมออกไซด์ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 82.88 นาโนเมตร

การอภิปรายผลการวิจัย

โดยทั่วไปแล้วเปลือกไข่ไก่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักเปลือกแห้ง (Stadelman, 2000) เมื่อเปลือกไข่ไก่ได้รับความร้อนจะส่งผลให้สารประกอบอินทรีย์ในเปลือกไข่ไก่เกิดการเสื่อมสลาย ดังนั้นเมื่อเปลือกไข่ไก่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าแตกต่างกัน จึงส่งผลให้สีของเปลือกไข่ไก่เข้มขึ้น (Tangboriboon *et al.*, 2012)

เมื่อกำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟเพิ่มขึ้นเป็น 400 560 และ 800 วัตต์ ซึ่งเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที มีความเป็นผลึกสูงสุด และมีลักษณะของแคลไซต์ เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟมีอัตราการให้ความร้อนเร็วและสม่ำเสมอ การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความร้อนภายในเปลือกไข่ไก่ทำให้สังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่ได้รวดเร็วและมีผลในการปรับปรุงคุณภาพความเป็นผลึก สังเกตได้จากตำแหน่งสูงสุดของแคลเซียมคาร์บอเนตที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ มีความคมชัดและความเข้มสูงสุด (Stadelman, 2000) สอดคล้องกับภาพที่ 1

เมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ แก่เปลือกไข่ไก่จาก 5 นาที เป็น 10 15 20 และ 25 นาที พบว่าที่ระยะเวลา 25 นาที เปลือกไข่ไก่เปลี่ยนเป็นสีขาว และมีสีเทาเจือปนอยู่เล็กน้อย สีเทาที่เจือปนอยู่เล็กน้อยในตัวอย่างนี้อาจเกิดจากการเสื่อมสลายที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบอินทรีย์ในเปลือกไข่ไก่ (วิมลลักษณ์ และคณะ, 2554)

จากผลการศึกษาพบว่าเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นระยะเวลา 25 นาที ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในเปลือกไข่ไก่ได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้แคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่ไก่เปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ไม่สมบูรณ์ในระหว่างการสังเคราะห์ จึงพบระนาบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ 2 เฟส คือ เฟสหลักเป็นแคลเซียมออกไซด์ และเฟสรองเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของเปลือกไข่ไก่

แต่อย่างไรก็ตามอิทธิพลของความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ ก็ยังสามารถเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่ จากโครงสร้างที่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตให้เป็นแคลเซียมออกไซด์ได้ โดยใช้เวลา 25 นาที กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษากำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางโครงสร้างจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ของเปลือกไข่ไก่ พบว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเป็น 800 วัตต์ ลักษณะทางกายภาพของเปลือกไข่ไก่เปลี่ยนไป คือ มีสีที่เข้มขึ้น เนื่องจากการเสื่อมสลายของสารประกอบอินทรีย์เมื่อได้รับความร้อนโดยกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งแปรผันตรงกับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเตาไมโครเวฟ (สมศักดิ์ และคณะ, 2550) เมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 10 นาที พบว่าเปลือกไข่ไก่มีโครงสร้างเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตลักษณะของแคลไซต์ซึ่งเสถียรที่สุดทางอุณหพลศาสตร์ของแคลเซียมคาร์บอเนต เช่นเดียวกับแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม (Murakami *et al.*, 2007) และมีความเป็นผลึกสูงสุดเท่ากับ 96.60 นาโนเมตร เมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนเป็น 25 นาที พบว่าเปลือกไข่ไก่เปลี่ยนโครงสร้างเป็น

แคลเซียมออกไซด์ได้แม้จะไม่สมบูรณ์ แต่มีความเป็นผลึกสูงสุดถึง 82.88 นาโนเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับเตรียมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่โดยใช้เตาเผา พบว่าต้องให้ความร้อนแก่เปลือกไข่ไก่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ที่ 900 องศาเซลเซียส จึงทำให้เปลือกไข่ไก่เปลี่ยนโครงสร้างเป็นแคลเซียมออกไซด์ (สุกร, 2558) การเปลี่ยนโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่โดยใช้เตาไมโครเวฟใช้เวลาสั้นกว่าเนื่องจากความร้อนที่เปลือกไข่ไก่ได้รับจากคลื่นไมโครเวฟเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นภายในวัสดุอย่างทั่วถึง การทะลุผ่านของคลื่นไมโครเวฟส่งผลให้ความร้อนภายในวัสดุเกิดขึ้นได้อย่างสม่ำเสมอทั้งปริมาตรและรวดเร็ว ระยะเวลาในการสังเคราะห์จึงสั้นกว่ากระบวนการอื่น แม้การเปลี่ยนโครงสร้างจะเกิดอย่างไม่สมบูรณ์

ข้อเสนอแนะ

ถ้าเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟอีกเล็กน้อย น่าจะสามารถสังเคราะห์โครงสร้างของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่ด้วยเตาไมโครเวฟได้อย่างสมบูรณ์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ (บางคล้า) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์ ยุพาพร รักสกุลพิพัฒน์ และนิธินาถ ศุภกาญจน์. (2554). การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเปลือกไข่ไก่. *รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยสุรนารี*. นครราชสีมา.
- สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช และดวงเดือน อาจองค์. (2550). การอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้เตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง. *วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา*, 18(1), 63-69.
- สุกร บุษยีน มณฑา มาลัยทอง และอภิสิทธิ์ โพธิ์แก้ว. (2558). การสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 4(2), 115-122, doi: <https://doi.org/10.14456/tjst.2015.10>.
- Asra, D.Y., Sari, Y.W. and Kiagus, D. (2018). Effect of microwave irradiation on the synthesis of carbonated hydroxyapatite (CHA) from chicken eggshell. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 187(1), doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/187/1/012016>.
- Cho, Y.B. and Seo, G. (2010). High activity of acid-treated quail eggshell catalysts in the transesterification of palm oil with methanol. *Bioresource Technology*, 101(22), 8515-8519, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.082>.

- Laca, A., Laca, A. and Díaz, M. (2017). Eggshell waste as catalyst: A review. *Journal of Environmental Management*, 197, 351-359, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.088>.
- Li, Y., He, X., Hu, H., Zhang, T., Qu, J. and Zhang, Q. (2018). Enhanced phosphate removal from wastewater by using in situ generated fresh trivalent Fe composition through the interaction of Fe(II) on CaCO_3 . *Journal of Environmental Management*, 221, 38-44, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.018>.
- Murakami, F.S., Rodrigues, P.O., de Campos, C.M.T. and Silva, M.A.S. (2007). Physicochemical study of CaCO_3 from egg shells. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27(3), 658-662, doi: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000300035>.
- Park, H.J., Jeong, S.W., Yang, J.K., Kim, B.G. and Lee, S.M. (2007). Removal of heavy metals using waste eggshell. *Journal of Environmental Sciences*, 19(12), 1436-1441, doi: [https://doi.org/10.1016/s1001-0742\(07\)60234-4](https://doi.org/10.1016/s1001-0742(07)60234-4).
- Stadelman, W.J. (2000). Eggs and egg products. In Francis, F.J. (ed.). *Encyclopedia of Food Science and Technology*, pp. 593-599. New York: John Wiley & Sons.
- Tangboriboon, N., Kunanuruksapong, R. and Sirivat, A. (2012). Preparation and properties of calcium oxide from eggshells via calcination. *Materials Science Poland*, 30(4), 313-322, doi: <https://doi.org/10.2478/s13536-012-0055-7>.
- Wei, Z., Xu, C. and Li, B. (2009). Application of waste eggshell as low-cost solid catalyst for biodiesel production. *Bioresource Technology*, 100(11), 2883-2885, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.039>.

ผลของสารเคลือบผิวบุกและน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว ของมะเขือเทศเชอร์รี่

Effect of Konjac Powder and Moringa Seed Oil Extract Coating on the Postharvest Quality of Cherry Tomato

ทิตา สุนทรวิภาต^{1*}

Thita Soonthornvipat^{1*}

บทคัดย่อ

การศึกษากล่าวถึงผลของสารเคลือบผิวบุกและน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะเขือเทศเชอร์รี่ เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 15 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 72-78 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสารเคลือบผิวบุก (10 เปอร์เซ็นต์) ผสมกับน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัด 25 มิลลิลิตรต่อลิตร ช่วยลดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลผลิตได้ดีกว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบด้วยผงบุกและน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดที่ 10 15 20 มิลลิลิตรต่อลิตร และมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว ($p < 0.05$) ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น พบว่าผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้เคลือบผิวมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษามะเขือเทศเชอร์รี่เมื่อครบ 15 วัน เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อที่พบว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบด้วยบุกและน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดที่ 10 15 20 และ 25 มิลลิลิตรต่อลิตร มีค่าความแน่นเนื้อมากกว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว ($p < 0.05$) การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีพบว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบผิวร่วมกับน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดทุกกรรมวิธีมีอัตราการลดลงของวิตามินซีน้อยกว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้เคลือบผิว ($p < 0.05$) สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสีผิวของผล ($L^* a^* b^*$) และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และค่าความเป็นกรด-ด่างของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบผิวด้วยบุกและน้ำมันเมล็ดมะรุมทุกกรรมวิธี และชุดควบคุมคือไม่เคลือบผิวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจากผลการทดลองใช้สารเคลือบผิวจากธรรมชาติที่สามารถรับประทานได้ร่วมกับน้ำมันสกัดเมล็ดมะรุมเคลือบผิวมะเขือเทศเชอร์รี่อาจจะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับเกษตรกรรายย่อยในการใช้วัสดุในท้องถิ่นเพื่อลดต้นทุนการผลิตสินค้าเกษตรและยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับการการยืดอายุและเก็บรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะเขือเทศเชอร์รี่ได้ในอนาคต

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีและพัฒนากาเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

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

Received: 14 May 2022, Revised: 7 June 2022, Accepted: 15 June 2022

คำสำคัญ: ผงบุก น้ำมันเมล็ดมะรุมสกัด มะเขือเทศเชอร์รี่ อายุการเก็บรักษา

Abstract

This research studies the effect of konjac powder and moringa seed oil extract on the postharvest quality of cherry tomato when stored at 15 days at ambient temperature $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$, relative humidity 72-78%. The results showed that konjac coating with 25 ml of moringa seed oil extract helped to reduced fresh weight loss on coating tomatoes with konjac and moringa seed oil extract with 10 15 and 20 ml per l including better than without coating ($p < 0.05$) respectively. It was found tomatoes without coating enhanced fresh weight loss along the storage time (15 days) as same as the firmness. The results showed that tomatoes coating with konjac and moringa seed oil 10, 15, 20, and 25 ml per l had firmness more than tomatoes without coating ($p < 0.05$). The measurement of ascorbic acid, found that tomatoes coating with moringa seed oil extract in every concentration had low ascorbic acid changing compared with tomatoes without coating ($p < 0.05$). For the physical appearance such as colour (L^* , a^* , and b^*) and chemical compositions which is total soluble solid, titratable acidity and pH, the results showed that tomatoes coating with moringa seed oil extract in every concentration and tomatoes without coating were not significant ($p > 0.05$). Therefore, the results of using natural edible coating with moringa seed oil extract coating tomatoes might be the alternative choice for retail farmers that they can use local material to reduce the cost of agricultural production. Additionally, this can be environmental friendly for extending the shelf life of cherry tomatoes in the future.

Keywords: Konjac powder, Moringa seed oil extract, Cherry tomato, Shelf life

บทนำ

ประเทศไทยโดยเฉพาะทางภาคเหนือมีการปลูกมะเขือเทศเชอร์รี่กันมากเนื่องจากสภาพอากาศที่มีความเย็นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต มะเขือเทศเชอร์รี่จัดเป็นมะเขือเทศที่นิยมนำมาบริโภคผลสด (table tomato) เนื่องจากมีรสชาติที่หวานกรอบ เมล็ดน้อย มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และสามารถนำไปบริโภคแบบผลไม้สดได้ ซึ่งได้รับความนิยมของผู้บริโภคที่ให้ความสนใจในเรื่องของสุขภาพ ประกอบกับกระแสเรื่องการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นผู้บริโภคส่วนใหญ่จึงหันมาสนใจและเพิ่มปริมาณความต้องการที่จะรับประทานผลิตภัณฑ์สดใหม่และปราศจากสารเคมีเจือปน ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการผลิตสินค้าเกษตรที่มีคุณภาพ หากแต่กระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ผลิตผลทางการเกษตรหลายชนิดเกิดความสูญเสียทั้งทางคุณภาพและทางปริมาณ ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาสั้น ราคาของผลผลิตตกต่ำ

และไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (El-Ramady *et al.*, 2015) สำหรับมะเขือเทศเชอร์รี่จัดเป็นผลไม้ที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจตามอายุอ่อนแก่ (climacteric fruit) กระบวนการสุกและการเสื่อมสลายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการกระตุ้นจากแก๊สเอทิลีน (ethylene) ส่งผลให้มะเขือเทศเชอร์รี่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพได้อย่างรวดเร็ว (Alba *et al.*, 2000) โดยปกติการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวในผักและผลไม้มีอัตราเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งมากถึง 25-50 เปอร์เซ็นต์ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่ไม่เหมาะสมและขาดองค์ความรู้ในการเก็บรักษาที่เหมาะสม (Gupta *et al.*, 2012) ประกอบกับปัจจุบันผู้บริโภคนิยมการใช้วัสดุและบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยมีการเพิ่มสารสกัดจากธรรมชาติในบรรจุภัณฑ์เพื่อประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บรักษาของผลิตผลทางการเกษตรมากขึ้น (Srilakshmi, 2003) กระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวโดยการเคลือบผิวของผลิตผลจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ยอมรับเนื่องจากสามารถชะลอกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทางกายภาพ และชะลอกระบวนการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวที่เกิดขึ้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากสารเคลือบผิวจะช่วยทดแทนสารเคลือบผิวตามธรรมชาติที่สูญเสียไปจากการล้างทำความสะอาด โดยสารเคลือบผิวจะไปช่วยปิดรอยเปิดตามธรรมชาติ ตลอดจนบาดแผลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว ทั้งนี้สารเคลือบผิวจะช่วยชะลออัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีน เนื่องจากสารเคลือบผิวไปจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สส่งผลให้ภายในผลผลิตมีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง ส่งผลให้กระบวนการทำงานของแก๊สเอทิลีนหยุดชะงัก (दनัย และนิธิยา, 2548) ปัจจุบันการนำสารสกัดจากพืชมาใช้เพื่อเป็นทางเลือกในการเคลือบผิวผลิตผลทางการเกษตรเพื่อทดแทนสารสังเคราะห์ซึ่งมาจากสารเคมีที่อาจจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและช่วยลดต้นทุนการนำเข้าของสารเคลือบผิวจากต่างประเทศจะช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลิตโดยเฉพาะผลิตผลพืชสวนที่มีการเน่าเสียได้ง่าย (perishable crop) ต้นบุกไข่จัดเป็นไม้หัวที่มีการปลูกในหลายจังหวัดทั่วประเทศไทย โดยเฉพาะในเขตป่าสงวนและมีการพบมากในเขตป่าของทางภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ เนื้อของบุกมีสีขาวอมเหลือง เนื้อสามารถนำมารับประทานได้ โดยมีลักษณะเป็นเมือกกลื่น เนื่องจากมีสารที่เรียกว่ากลูโคแมนแนน (glucomanannan) ซึ่งเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีลักษณะขุ่นหนืด มีใยอาหารสูง มีน้ำหนักโมเลกุลมากและมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูง ดังนั้นเมื่อละลายน้ำแล้วจึงมีลักษณะเป็นเจลและมีความคงตัวสูง (Cheng *et al.*, 2002) การใช้สารเคลือบผิวที่สามารถรับประทานได้นี้เป็นการช่วยปกป้องชั้นของการผลิตสารที่ก่อให้เกิดความเครียดในพืช และลดการแลกเปลี่ยนแก๊สและอัตราการหายใจเพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาของพืชโดยเฉพาะในกลุ่มของพืชสวนได้ดี (Rodsamran and Sothornvit, 2018) นอกจากนี้สารเคลือบที่รับประทานได้ยังไม่มีความเป็นพิษ ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่จะช่วยป้องกันความเสียหายของผลิตผลที่มาจากพฤติกรรมการหลังการเก็บเกี่ยวได้ดีโดยไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (Xavier *et al.*, 2021) มะรุมจัดเป็นต้นไม้ที่มีคุณประโยชน์ทั่วทั้งต้นต่อมนุษย์และสัตว์ ใบมีโปรตีนและสารต้านอนุมูลอิสระสูง ในขณะที่เมล็ดมีปริมาณน้ำมันมากถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยกรดโอเลอิก (oleic acid) สูงเกิน 70 เปอร์เซ็นต์ นิยมนำมาใช้ทางการแพทย์และทางเภสัชวิทยา เนื่องจากน้ำมันสกัดจากเมล็ดมะรุมช่วยป้องกันการอักเสบ และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด ป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง และป้องกันการเกิดโรคหัวใจในมนุษย์ได้ (Farooq *et al.*,

2012) ในหลาย ๆ งานวิจัยพบว่าน้ำมันสกัดจากเมล็ดมะรุมยังมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยยับยั้งการทำงานของเชื้อรา และเชื้อแบคทีเรีย อาทิเช่น *Staphylococcus aureus* *Bacillus subtilis* *Escherichia coli* และ *Pseudomonas aeruginosa* (Saadabi and Zaid, 2011) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาการใช้สารเคลือบผิวที่ผลิตจากสารสกัดจากพืชที่รับประทานได้ (edible coating) ซึ่งต้องสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ทั้งยังสามารถป้องกันการสูญเสีย การก่อโรคที่อาจเกิดขึ้นจากการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและยืดอายุการเก็บรักษาของมะเขือเทศเชอร์รี่ได้ ทั้งนี้เนื่องจากหลายประเทศทั่วโลกได้มีการร่วมรณรงค์การลดการใช้สารเคมีในการผลิตผลทางการเกษตรตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตจนกระทั่งถึงการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้บริโภคเป็นหลัก เนื่องจากสารเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่าง ๆ อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคในระยะยาว ประกอบกับกระแสของการบริโภคผลผลิตทางการเกษตรที่เน้นความปลอดภัย ปราศจากสารเคมี ดังนั้นผลผลิตอินทรีย์จึงเป็นที่นิยมเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นหากการใช้สารเคลือบผิวที่มาจากธรรมชาติร่วมกับน้ำมันสกัดจากเมล็ดมะรุมจะสามารถช่วยยับยั้งการทำงานและการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคระหว่างและหลังกระบวนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวกับผลผลิตทางการเกษตรได้ (Xavier *et al.*, 2021) สารเคลือบผิวนี้จึงอาจจะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรที่เน่าเสียได้ง่าย นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าทางการเกษตรอินทรีย์เพื่อการจัดการที่เหมาะสม และเป็นการสนับสนุนผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติเพื่อยกระดับความเป็นอยู่ของคนในชุมชน เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตสินค้าทางการเกษตรที่คำนึงถึงผู้บริโภคเป็นหลัก โดยยึดหลักการผลิตสินค้าเกษตรที่เป็นมิตรต่อผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

คัดขนาดผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่มีขนาดผลเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-3 เซนติเมตร จากสวนเกษตรที่ปลูกทางการค้า อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ที่ระดับความสูงหรือผิวของผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ระยะผิวสีแดง (red) 70-75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระยะความแก่ทางการค้า ผงบุกที่ใช้ได้จากต้นบุกใหม่ที่ปลูกในจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยการคัดหัวบุกที่มีความแก่เต็มที่ จากนั้นล้างทำความสะอาดนำไปสไลด์เพื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง อบจนแห้ง (ความชื้น 13.12 เปอร์เซ็นต์) จากนั้นนำมาปั่นให้ละเอียดเป็นผง ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 60 เมช (mesh) เพื่อใช้ในการทำสารเคลือบ น้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดเย็นที่ได้จากเมล็ดทางการค้าเพื่อใช้ผสมกับสารเคลือบผงบุกวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) โดยใช้ผลมะเขือเทศเชอร์รี่ จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 กิโลกรัม ทำการเคลือบสารเคลือบผิวบุก (Konjac) 10 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันมะรุมสกัด (MSO) ต่อปริมาตร 1 ลิตร ตามความเข้มข้นต่อไปนี้

- กรรมวิธีที่ (1) สารเคลือบผิวบุกและน้ำมันมะรุมสกัด 10 มิลลิลิตร
- กรรมวิธีที่ (2) สารเคลือบผิวบุกและน้ำมันมะรุมสกัด 15 มิลลิลิตร
- กรรมวิธีที่ (3) สารเคลือบผิวบุกและน้ำมันมะรุมสกัด 20 มิลลิลิตร
- กรรมวิธีที่ (4) สารเคลือบผิวบุกและน้ำมันมะรุมสกัด 25 มิลลิลิตร
- กรรมวิธีที่ (5) ไม่เคลือบผิว (ชุดควบคุม)

วิธีการเคลือบผิวมะเขือเทศเชอร์รี่ โดยนำผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ผ่านการคัดเลือกโดยปราศจากการทำลายของโรคและแมลงมาล้างทำความสะอาด ใช้ผ้าแห้งซับ จากนั้นนำมาเคลือบผิวโดยการจุ่มผลมะเขือเทศเชอร์รี่ลงในสารเคลือบแต่ละกรรมวิธีประมาณ 5 วินาที แล้วใช้มือที่สวมถุงมือลูบเกลี่ยให้สารเคลือบผิวทั่วทั้งผล ผึ่งในแห้ง บรรจุผลมะเขือเทศเชอร์รี่ในกล่องพลาสติกใสประมาณ 250 กรัม จากนั้นเรียงลงในกล่องกระดาษ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 72-78 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบผลการทดลองกับชุดควบคุมคือไม่ได้เคลือบผิว บันทึกลักษณะที่ปรากฏ การสูญเสียน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวโดยการสุ่มผลมะเขือเทศเชอร์รี่ซ้ำละ 250 กรัม วิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและทางเคมี เป็นระยะเวลา 15 วัน ดังนี้

1. การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)

ชั่งน้ำหนักผลมะเขือเทศเชอร์รี่เมื่อวันเริ่มต้นการทดลอง แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และชั่งน้ำหนักผลมะเขือเทศเชอร์รี่ซ้ำทุก 2 วัน โดยแต่ละกรรมวิธีใช้ผลมะเขือเทศเชอร์รี่ชุดเดิมจนหมดอายุการเก็บรักษา โดยเครื่องชั่งละเอียดแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด} = \frac{\text{น้ำหนักผลก่อนการเก็บรักษา} - \text{น้ำหนักผลหลังการเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักผลก่อนเก็บรักษา}} \times 100$$

2. การวัดสีผิว (peel colour)

โดยใช้เครื่อง Chroma Meter รุ่น CR-400 หัววัด CR310 ของบริษัท Minolta โดยวัดสีผิวภายนอกบริเวณขั้วของผล และกึ่งกลางของผล จำนวนทั้งหมด 2 จุด ค่าที่ได้แสดงเป็น L^* a^* b^* Chroma และ hue angle โดยค่า L^* บ่งบอกถึงความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว ค่า a^* แสดงผลการเปลี่ยนสีจากสีเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงสีแดง ($+a^*$) และค่า b^* แสดงผลการเปลี่ยนสีน้ำเงิน ($-b^*$) ไปจนถึงสีเหลือง ($+b^*$)

3. ความแน่นเนื้อ (fruit firmness)

โดยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro System, UK รุ่น TA.XT Plus 6 mm Cylinder stainless ค่า test speed 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ค่าระยะทางในการกด 10 มิลลิเมตร รายงานค่าแรงกดสูงสุดในหน่วยนิวตัน (Sirijariyawat and Charoenrein, 2014)

4. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid: TSS)

นำผลมะเขือเทศเชอร์รี่มาคั้นน้ำแล้วกรองด้วยผ้าขาวบางแล้ววัดด้วยเครื่อง refractometer รุ่น RX-5000 Lapha โดยอ่านค่าจากน้ำมะเขือเทศเชอร์รี่คั้นซ้ำ 3 ครั้ง หน่วยเป็น องศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{Brix}$) แล้วหาค่าเฉลี่ย

5. ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity: TA) ประยุกต์จาก AOAC (1984)

นำน้ำคั้นมะเขือเทศเชอร์รี่ปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร หยด 0.1 เปอร์เซ็นต์ ไทมอลบูล (thymol blue) จำนวน 2 หยด แล้วจึงไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (N) จนถึงจุดยุติคือสารละลาย

เปลี่ยนเป็นสีฟ้าคงตัวนานประมาณ 30 วินาที แล้วจึงคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์กรดทั้งหมดที่ไทเทรต} = \frac{\text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)} \times \text{ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ } 0.10 \text{ นอร์มัล} \times 0.07 \times 100}{\text{ปริมาตรมะเขือเทศเชอร์รี่ } 10 \text{ มิลลิลิตร}}$$

6. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วัดค่าความเป็นกรดต่างโดยเครื่องวัด pH Meter ยี่ห้อ Seven Compact™ S220 จำนวน 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

7. ปริมาณวิตามินซี (ascorbic acid)

วิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในน้ำคั้นมะเขือเทศเชอร์รี่ด้วยวิธีการไทเทรชันด้วยอินโดฟีนอล (indophenol) โดยการปิเปตน้ำคั้นมะเขือเทศเชอร์รี่มา 10 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดออกซาลิก (oxalic acid) ความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร แล้วกรองด้วยกระดาษ Whatman no.1 ปิเปตสารละลายที่กรองได้มา 10 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปไทเทรตกับสารละลาย 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล (2,6-dichlorophenol indophenol) ความเข้มข้น 0.04 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จนถึงจุดยุติ ซึ่งสารละลายที่ได้มีสีชมพู คงตัวนานประมาณ 30 วินาที แล้วคำนวณหาปริมาณวิตามินซี โดยใช้ปริมาตร 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ที่ใช้ไทเทรตกับสารละลายวิตามินซีมาตรฐาน โดยคำนวณตามสูตรดังนี้ (Ranganna, 1997)

ปริมาตร indophenol dye a มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดวิตามินซีเท่ากับ 1 มิลลิกรัม (จากมาตรฐาน)

$$\text{ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด)} = \frac{\text{ปริมาตร 2, 6- ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ที่ใช้ในการไทเทรตกับสารตัวอย่าง} \times 0.001 \times 100 \times 1,000}{\text{ปริมาตร 2, 6- ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ที่ใช้ในการไทเทรตกับวิตามินซีมาตรฐาน} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง } 10 \text{ มิลลิลิตร}}$$

นำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางเคมี ตลอดจนอายุการเก็บรักษาของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวบุกและน้ำมันมะรุมสกัดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวบุกและน้ำมันมะรุมสกัดที่ 25 มิลลิลิตร สามารถช่วยชะลอกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ซึ่งได้แก่ปริมาณการสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะเขือเทศเชอร์รี่ได้ดีกว่าสารเคลือบผิวบุกและน้ำมันมะรุมสกัดที่ความเข้มข้น 10 15 20 มิลลิลิตร และชุดควบคุม (ไม่เคลือบผิว) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 1) แต่ทุกกรรมวิธีของการเคลือบผิวด้วยบุกและ

น้ำมันมะรุมสกัดมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว ทั้งนี้เนื่องจากสารเคลือบผิวสามารถลดการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างภายในผลผลิตกับบรรยากาศภายนอกได้ ส่งผลให้ช่วยลดอัตราการหายใจของผลผลิตลงได้ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลมะเขือเทศเชอร์รี่ซึ่งได้แก่ ความสว่าง (L^*) ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีแดง (a^*) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเหลือง (b^*) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ใช้ในงานทดลองมีระยะการเก็บเกี่ยวที่สีแดงที่ 70-75 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของสีจึงอาจจะเกิดขึ้นได้ไม่มากจึงไม่แสดงค่าความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะเขือเทศเชอร์รี่ซึ่งได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และความเป็นกรด-ด่าง ของมะเขือเทศเชอร์รี่ในทุกกรรมวิธี พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 15 วัน (ตารางที่ 2) โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้นมะเขือเทศเชอร์รี่จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ในผลมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษามะเขือเทศเชอร์รี่ไว้เป็นเวลา 15 วัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลให้รสชาติของมะเขือเทศเชอร์รี่มีรสชาติที่กลมกล่อมขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ในขณะที่ค่าความแน่นเนื้อของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบด้วยขุบกและน้ำมันมะรุมที่ 10 15 20 และ 25 มิลลิลิตร มีค่าความแน่นเนื้อมากกว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามะเขือเทศเชอร์รี่ที่เพิ่มขึ้นผลของมะเขือเทศเชอร์รี่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาได้ 5 วัน โดยผลของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวจะมีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุดและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์กับมะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบผิวร่วมกับน้ำมันมะรุมสกัดในทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 2) โดยแนวโน้มของค่าความแน่นเนื้อของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวจะมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง 15 วัน ลักษณะปรากฏของผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิวจะมีลักษณะเหี่ยวยุบตรงบริเวณขั้วผลมากกว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ได้รับการเคลือบผิวร่วมกับน้ำมันมะรุมสกัดในทุกกรรมวิธี เช่นเดียวกับปริมาณการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่พบว่าเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน โดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบผิวด้วยขุบกและน้ำมันมะรุมสกัดที่ 20 และ 25 มิลลิลิตรต่อลิตร จะมีค่าปริมาณวิตามินซีในผลมากที่สุดเมื่อเทียบกับมะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบผิวด้วยขุบกและน้ำมันมะรุมสกัดที่ 10 15 มิลลิลิตรต่อลิตร และมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ผลการทดลองยังพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้น มะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวจะมีปริมาณวิตามินซีลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกรรมวิธีของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ทำการเคลือบผิวด้วยขุบกและน้ำมันมะรุมสกัด

ตารางที่ 1 ผลของสารเคลือบผิวบุกและน้ำมันมะรุมสกัดต่อการเปลี่ยนแปลงของสีและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 15 วัน

ระยะการเก็บรักษา (วัน)	กรรมวิธีที่	L*	a*	b*	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก
0	(1)	43.24 ^a	25.13 ^a	21.64 ^a	-
	(2)	43.23 ^a	25.10 ^a	21.74 ^a	-
	(3)	43.25 ^a	24.97 ^a	21.76 ^a	-
	(4)	42.98 ^a	25.45 ^a	21.80 ^a	-
	(5)	43.21 ^a	25.36 ^a	21.68 ^a	-
3	(1)	41.98 ^a	25.12 ^a	20.78 ^a	1.90 ^b
	(2)	42.39 ^a	25.26 ^a	20.80 ^a	1.75 ^b
	(3)	42.23 ^a	24.98 ^a	21.01 ^a	1.87 ^b
	(4)	42.54 ^a	24.89 ^a	21.05 ^a	1.88 ^b
	(5)	42.36 ^a	25.12 ^a	20.97 ^a	2.24 ^a
5	(1)	41.33 ^a	25.14 ^a	19.50 ^a	2.54 ^b
	(2)	41.41 ^a	25.22 ^a	19.87 ^a	2.22 ^b
	(3)	41.56 ^a	25.32 ^a	19.74 ^a	2.35 ^b
	(4)	41.65 ^a	25.45 ^a	20.12 ^a	2.12 ^{bc}
	(5)	42.01 ^a	26.12 ^a	19.75 ^a	3.22 ^a
7	(1)	42.03 ^a	25.41 ^a	19.75 ^a	3.75 ^b
	(2)	41.68 ^a	25.55 ^a	19.74 ^a	3.52 ^b
	(3)	41.66 ^a	25.48 ^a	19.81 ^a	3.45 ^b
	(4)	41.75 ^a	25.62 ^a	19.82 ^a	3.25 ^b
	(5)	41.65 ^a	25.27 ^a	19.78 ^a	5.18 ^a
9	(1)	40.87 ^a	24.12 ^a	18.45 ^a	6.35 ^b
	(2)	40.65 ^a	24.32 ^a	18.73 ^a	6.22 ^b
	(3)	40.58 ^a	24.26 ^a	18.64 ^a	5.90 ^c
	(4)	40.48 ^a	25.13 ^a	18.58 ^a	5.95 ^c
	(5)	40.74 ^a	25.12 ^a	18.74 ^a	8.89 ^a
11	(1)	39.25 ^a	24.56 ^a	17.77 ^a	9.76 ^b
	(2)	38.98 ^a	24.36 ^a	17.87 ^a	9.51 ^b
	(3)	38.88 ^a	24.47 ^a	18.23 ^a	9.42 ^b
	(4)	38.87 ^a	24.58 ^a	18.12 ^a	9.08 ^c
	(5)	38.60 ^a	24.50 ^a	18.16 ^a	11.54 ^a
13	(1)	37.89 ^a	24.23 ^a	17.98 ^a	11.78 ^b
	(2)	37.85 ^a	24.12 ^a	17.85 ^a	11.95 ^b
	(3)	38.25 ^a	24.15 ^a	17.75 ^a	10.89 ^{bc}
	(4)	38.41 ^a	24.23 ^a	17.69 ^a	10.58 ^c
	(5)	37.89 ^a	23.98 ^a	17.82 ^a	14.58 ^a

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ระยะการ เก็บรักษา (วัน)	กรรมวิธีที่	L*	a*	b*	เปอร์เซ็นต์การ สูญเสียน้ำหนัก
15	(1)	38.15 ^a	23.03 ^a	17.56 ^a	15.11 ^b
	(2)	37.68 ^a	23.12 ^a	17.42 ^a	14.56 ^c
	(3)	38.56 ^a	23.15 ^a	17.23 ^a	14.45 ^c
	(4)	37.45 ^a	23.14 ^a	17.52 ^a	13.16 ^d
	(5)	37.58 ^a	23.22 ^a	16.88 ^a	18.56 ^a

หมายเหตุ: - ในสดมภ์เดียวกัน เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาเดียวกัน ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 2 ผลของสารเคลือบผิวบุกและน้ำมันมะรุมสกัดต่อการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณวิตามินซีของผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 15 วัน

ระยะการ เก็บรักษา (วัน)	กรรมวิธี	ความแน่นเนื้อ (กิโลกรัมต่อ ตาราง เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์ กรดที่ ไทเทรตได้	ปริมาณ ของแข็งที่ ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)	ความเป็น กรด-ด่าง	ปริมาณ วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)
0	(1)	0.33 ^a	1.72 ^a	6.67 ^a	4.35 ^a	11.25 ^a
	(2)	0.35 ^a	1.65 ^a	6.52 ^a	4.37 ^a	11.30 ^a
	(3)	0.31 ^a	1.76 ^a	6.44 ^a	4.41 ^a	11.32 ^a
	(4)	0.37 ^a	1.80 ^a	6.78 ^a	4.38 ^a	11.33 ^a
	(5)	0.34 ^a	1.76 ^a	6.50 ^a	4.40 ^a	11.25 ^a
3	(1)	0.24 ^a	1.98 ^a	6.78 ^a	4.22 ^a	10.39 ^a
	(2)	0.26 ^a	2.01 ^a	6.68 ^a	4.35 ^a	10.40 ^a
	(3)	0.24 ^a	1.95 ^a	6.94 ^a	4.30 ^a	10.41 ^a
	(4)	0.28 ^a	1.93 ^a	6.96 ^a	4.33 ^a	10.42 ^a
	(5)	0.21 ^a	1.89 ^a	6.86 ^a	4.23 ^a	10.41 ^a
5	(1)	0.22 ^a	1.72 ^a	7.61 ^a	3.95 ^a	9.66 ^{ab}
	(2)	0.23 ^a	1.66 ^a	7.58 ^a	3.86 ^a	9.60 ^{ab}
	(3)	0.25 ^a	1.66 ^a	7.42 ^a	3.76 ^a	10.12 ^a
	(4)	0.26 ^a	1.65 ^a	7.48 ^a	3.79 ^a	10.15 ^a
	(5)	0.18 ^b	1.56 ^a	7.33 ^a	3.68 ^a	8.78 ^c
7	(1)	0.14 ^a	1.10 ^a	7.35 ^a	3.71 ^a	8.55 ^b
	(2)	0.16 ^a	1.15 ^a	7.79 ^a	3.72 ^a	9.05 ^{ab}
	(3)	0.15 ^a	1.15 ^a	7.58 ^a	3.75 ^a	9.58 ^a
	(4)	0.18 ^a	1.12 ^a	7.44 ^a	3.68 ^a	9.67 ^a
	(5)	0.11 ^b	0.98 ^a	7.56 ^a	3.83 ^a	7.86 ^c

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ระยะการเก็บรักษา (วัน)	กรรมวิธี	ความแน่นเนื้อ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)	ความเป็นกรดต่าง	ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)
9	(1)	0.21 ^a	0.78 ^a	7.96 ^a	3.70 ^a	8.83 ^b
	(2)	0.19 ^a	0.72 ^a	7.89 ^a	3.75 ^a	9.18 ^{ab}
	(3)	0.16 ^a	0.68 ^a	7.98 ^a	3.83 ^a	9.23 ^a
	(4)	0.17 ^a	0.72 ^a	8.01 ^a	3.92 ^a	9.50 ^a
	(5)	0.12 ^b	0.69 ^a	7.85 ^a	3.69 ^a	6.77 ^c
11	(1)	0.17 ^a	0.38 ^a	7.65 ^a	3.24 ^a	7.58 ^a
	(2)	0.16 ^a	0.34 ^a	7.45 ^a	3.51 ^a	6.53 ^b
	(3)	0.18 ^a	0.31 ^a	7.36 ^a	3.62 ^a	7.42 ^a
	(4)	0.19 ^a	0.36 ^a	7.54 ^a	3.55 ^a	7.77 ^a
	(5)	0.10 ^b	0.33 ^a	7.42 ^a	3.58 ^a	5.53 ^c
13	(1)	0.12 ^a	0.26 ^a	7.29 ^a	2.61 ^a	5.62 ^b
	(2)	0.11 ^a	0.23 ^a	7.34 ^a	2.64 ^a	5.51 ^b
	(3)	0.13 ^a	0.29 ^a	7.45 ^a	2.65 ^a	6.78 ^a
	(4)	0.12 ^a	0.21 ^a	7.35 ^a	2.70 ^a	6.85 ^a
	(5)	0.09 ^b	0.23 ^a	7.52 ^a	2.72 ^a	4.39 ^c
15	(1)	0.10 ^a	0.18 ^a	7.45 ^a	2.44 ^a	4.57 ^b
	(2)	0.09 ^a	0.22 ^a	7.36 ^a	2.43 ^a	4.55 ^b
	(3)	0.08 ^a	0.24 ^a	7.51 ^a	2.41 ^a	5.82 ^a
	(4)	0.11 ^a	0.22 ^a	7.48 ^a	2.39 ^a	5.71 ^a
	(5)	0.06 ^b	0.19 ^a	7.47 ^a	2.38 ^a	3.85 ^c

หมายเหตุ: - ในสดมภ์เดียวกัน เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาเดียวกัน ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

การอภิปรายผลการวิจัย

1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

จากการทดลองพบว่าผลของสารเคลือบผิวบุกและน้ำมันสกัดจากเมล็ดมะรุมทุกความเข้มข้นส่งผลต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพซึ่งได้แก่ เปอร์เซนต์การสูญเสียน้ำหนัก และความแน่นเนื้อของมะเขือเทศเชอร์รี่ได้ดีกว่าชุดควบคุม (ไม่เคลือบผิว) และส่งผลต่อคุณภาพและการยืดอายุการเก็บรักษาสลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวของมะเขือเทศเชอร์รี่ได้ โดยสารเคลือบผิวมีผลช่วยลดการแลกเปลี่ยนแก๊สภายในผลติดกับบรรยากาศภายนอกได้ดี โดยสารเคลือบผิวจะช่วยสร้างสภาพที่สมดุลสำหรับการเก็บรักษาของผลผลิตด้วยการลดปริมาณออกซิเจนภายในผลลง ในขณะเดียวกันก็เพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในผลให้สูงขึ้น ซึ่งการสร้างสภาพบรรยากาศแบบนี้จะส่งผลให้

ผลผลิตที่ได้รับการเคลือบผิวสามารถชะลออัตราการหายใจให้เกิดขึ้นได้ช้าลง (दनัย และนิธยา, 2548) นอกจากนี้สารออกฤทธิ์ที่มีการผสมในการเคลือบผิวซึ่งจะช่วยในการป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์จะส่งผลให้สารเคลือบมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

โดยสารเคลือบผิวของการทดลองนี้มีการผสมน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดเข้ากับสารเคลือบผิวบุก โดยสารเคลือบผิวนี้อาจจะช่วยยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ได้ตามคุณสมบัติทางเภสัชวิทยาของน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดที่พบว่าช่วยป้องกันและยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ (Leone *et al.*, 2016) ส่งผลให้ผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ทำการเคลือบผิวในทุกกรรมวิธีสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว เนื่องจากสารที่ใช้เป็นสารเคลือบผิวที่สามารถบริโภคได้จะไปช่วยป้องกันการแลกเปลี่ยนแก๊ส และลดการหายใจในผลิตผลลง จึงช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษาและยืดอายุคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลพืชสวนได้ (Zam, 2019) จากการเก็บรักษามะเขือเทศเชอร์รี่ไว้ที่อุณหภูมิห้องพบว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้เคลือบผิวไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ของการเก็บรักษา เนื่องจากมีลักษณะเหี่ยวมากกว่า และมีการเข้าทำลายของโรคในมะเขือเทศเชอร์รี่มากกว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ได้รับการเคลือบผิวในทุกกรรมวิธี ทั้งนี้ อาจเนื่องจากสารเคลือบผิวจะไปขัดขวางการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำของผลิตผล รวมถึงกระบวนการสร้างโพลีฟีนอลออกซิเดชั่น และควบคุมการสร้างและการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งกระบวนการเสื่อม (Shamloo *et al.*, 2013; Maftoonazad and Ramaswamy, 2019) สอดคล้องกับการทดลองของ Oniha *et al.* (2021) ทดลองใช้สารสกัดจากใบมะรุมในการต้านการเกิดโรคของเชื้อราหลายชนิด อาทิเช่น *Aspergillus Penicillium Rhizopus* และ *Trichoderma* ของมะละกอในห้องปฏิบัติการ พบว่าสารสกัดจากใบมะรุมช่วยป้องกันการเกิดโรคที่เกิดจากเชื้อราในพืชได้ สอดคล้องกับการเปรียบเทียบการใช้สารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของมะรุมซึ่งได้แก่ เมล็ด ราก และใบของมะรุมกับการทดสอบการต้านเชื้อโรคของพืชที่เกิดจากเชื้อราชนิดต่าง ๆ ในผลมะเขือเทศเชอร์รี่ ถั่วแขก และมันฝรั่งในห้องปฏิบัติการ พบว่าสารสกัดจากทุกส่วนของต้นมะรุมที่ความเข้มข้นจากใบ 50 เปอร์เซ็นต์ จากราก 20 เปอร์เซ็นต์ และจากเมล็ด 3 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการยับยั้งการเกิดโรค การสร้างสปอร์ และการงอกของเชื้อราได้หลายชนิด ได้แก่ *Fusarium oxysporum* *F. solani* และ *Alternaria solani* (El-Mohamedy and Mohamed, 2018) เช่นเดียวกับ Ayirezang *et al.* (2020) ศึกษาผลของสารสกัดของมะรุมจากใบและเมล็ดพบว่าสารสกัดจากใบและเมล็ดที่ปริมาณขั้นต่ำ 25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ช่วยลดและยับยั้งอาการของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสียของอาหารได้ นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดจากมะรุมยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารต่าง ๆ ได้ด้วย

2. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีพบว่าสารเคลือบผิวบุกผสมน้ำมันมะรุมสกัดทุกความเข้มข้นและชุดควบคุมที่ไม่ได้เคลือบผิวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ทั้งนี้พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษาที่นานขึ้น อาจเนื่องมาจากผลิตผลที่เก็บมาแล้วยังมีการหายใจอยู่ตลอดเวลา และปริมาณกรดถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ โดยกรดจะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล หรือใช้เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาต่าง ๆ จึงส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (Siripanich, 2006)

ในขณะที่ปริมาณกรดอินทรีย์จากการทดลองของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวบุกและน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดลดลงเรื่อย ๆ ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่มาจากความเสียหายของผลผลิต โดยการหายใจของผลผลิตจำเป็นต้องมีการเผาผลาญสารอาหารในเซลล์เพื่อให้ได้พลังงานในการดำรงชีพ (จริงแท้, 2549) เมื่อผลผลิตผลเข้าสู่ระยะการสุกแก่เต็มที่ (full ripe stage) ปริมาณกรดจะลดลง (El-Anany *et al.*, 2009) การใช้สารเคลือบผิวผลผลิตจะชะลอกระบวนการสังเคราะห์กรดซิตริก (citric acid) ระหว่างการสุกแก่ และการที่ผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบผิวยังมีปริมาณกรดสะสมมาก อธิบายได้ว่าสารเคลือบผิวช่วยชะลอกระบวนการสุก โดยทำหน้าที่ขัดขวางการนำเข้าของแก๊สออกซิเจนในผลผลิตส่งผลให้ปริมาณกรดไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (Tanada-Palmu and Grosso, 2005) สอดคล้องกับการทดลองของ Kumar *et al.* (2021) ที่ต้องการพัฒนาการยืดอายุการเก็บรักษาและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะเขือเทศเชอร์รี่โดยใช้สารเคลือบผิวที่รับประทานได้โคโคซาน ผสมด้วยสารสกัดจากผิวทับทิม พบว่าสารเคลือบผิวทุกกรรมวิธีสามารถช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาของมะเขือเทศเชอร์รี่ได้นานถึง 18 วัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 23 และ 4 องศาเซลเซียสตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าสารเคลือบผิวจะช่วยชะลอปริมาณการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี ในขณะเดียวกันรักษาปริมาณการเปลี่ยนแปลงของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดต่าง ปริมาณฟีนอลิก ปริมาณฟลาโวนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระให้คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามะเขือเทศเชอร์รี่เมื่อเทียบกับมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้เคลือบผิว ปฏิกริยานี้อธิบายได้ว่าอัตราการหายใจและปฏิกริยาฟีนอลิกออกซิไดซ์ของผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลผลิตมีอายุการเก็บรักษาที่มากขึ้น (Eshetu *et al.*, 2019) ดังนั้นการเคลือบผิวจะสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดและปฏิกริยาทางเคมีในมะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบผิวได้ ในขณะที่มะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวบุกและน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดช่วยลดการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีได้เมื่อเทียบกับชุดควบคุม สอดคล้องกับการทดลองของ El-Anany *et al.* (2009) ที่กล่าวว่ากรดอินทรีย์ (กรดซิตริก หรือกรดมาลิก) จัดเป็นสารตั้งต้นที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจของผลไม้บ่มสุก (climacteric fruits) ปริมาณกรดต่าง ๆ ที่ลดลงจึงมักจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อผลไม้ไม่มีการสุกแก่เต็มที่ ดังนั้นหากต้องการลดอัตราการใช้กรดอินทรีย์ภายในผลผลิตจึงจำเป็นต้องมีการจำกัดกระบวนการหายใจและการแลกเปลี่ยนแก๊สภายในผลผลิตกับบรรยากาศภายนอก โดยการใช้สารเคลือบชนิดต่าง ๆ ในการป้องกัน การลดลงของปริมาณวิตามินซีในผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวมากกว่าผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ได้รับการเคลือบผิวในทุกกรรมวิธี ทั้งนี้เนื่องจากการผ่านเข้าออกของปริมาณออกซิเจนภายในผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวมากกว่าผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ได้เคลือบผิว ปกติวิตามินซีเป็นสารเคมีที่สามารถสลายตัวได้ง่าย เมื่อได้รับความร้อนและแสงแดด (Mditshwa *et al.*, 2017) ดังนั้นการที่ผลมะเขือเทศเชอร์รี่ได้รับการเคลือบผิวทำให้การเข้าออกของอากาศโดยเฉพาะแก๊สออกซิเจนต่ำลงจึงช่วยให้อัตราการหายใจเกิดขึ้นได้ช้าส่งผลต่อกระบวนการยับยั้ง การชะลอการสุกแก่ของผลผลิตได้ (Gol and Rao, 2014)

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาผลของสารเคลือบผิวบุกและน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 72-78 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 15 วัน พบว่าสารเคลือบผิวบุกร่วมกับน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดที่ 10 15 20 และ 25 มิลลิลิตร

ต่อลิตร สามารถชะลอเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะเขือเทศเชอร์รี่ได้ดีกว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว 15.11 14.56 14.45 13.16 และ 18.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ มะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบผิวบ่มร่วมกับน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดทุกกรรมวิธียังสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ และปริมาณวิตามินซีของผลได้ดีกว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงค่าสี ($L^* a^* b^*$) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิว ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานเป็นเวลา 15 วัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อและสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จริงแท้ ศิริพานิช. (2549). *ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช (postharvest biology and plant senescence)*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรวิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- दनัย บุญยเกียรติ และนิธิยา รัตนปนนท์. (2548). *การปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- Alba, R., Cordonnier-Pratt, M.M. and Pratt, L.H. (2000). Fruit-localized phytochromes regulate lycopene accumulation independently of ethylene production in tomato. *Plant Physiology*, 123(1), 363-370, doi: <https://doi.org/10.1104/pp.123.1.363>.
- AOAC. (1984). *Methods of Analysis*. (14th ed.). Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists.
- Ayirezang, F.A., Azumah, B.K. and Achio, S. (2020). Effects of *Moringa oleifera* leaves and seeds extracts against food spoilage fungi. *Advances in Microbiology*, 10(1), 27-38, doi: <https://doi.org/10.4236/aim.2020.101003>.
- Cheng, L.H., Abd Karim, A., Norziah, M.H. and Seow, C.C. (2002). Modification of the microstructural and physical properties of konjac glucomannan-based films by alkali and sodium carboxymethylcellulose. *Food Research International*, 35(9), 829-836, doi: [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00086-8](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00086-8).
- El-Anany, A.M., Hassan, G.F.A. and Ali, F.R. (2009). Effects of edible coatings on the shelf-life and quality Anna apple (*Malus domestica* Borkh) during cold storage. *Journal of Food Technology*, 7(1), 5-11.
- El-Mohamedy, R.S.R. and Mohamed, S.K. (2018). Effect of *Moringa oleifera* seed oil, root and leave on growth of major pathogenic fungi of tomato, green bean and potato in vitro. *International Journal of Agricultural Technology*, 14(2), 505-520.

- El-Ramady, H.R., Domokos-Szabolcsy, E., Abdalla, N.A., Taha, H.S. and Fári, M. (2015). Postharvest management of fruits and vegetables storage. *Sustainable Agriculture Reviews*, 65-152, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7_2.
- Eshetu, A., Ibrahim, A.M., Forsido, S.F. and Kuyu, C.G. (2019). Effect of beeswax and chitosan treatments on quality and shelf life of selected mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Heliyon*, 5(1), doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e01116>.
- Farooq, F., Rai, M., Tiwari, A., Khan, A.A. and Farooq, S. (2012). Medicinal properties of *Moringa oleifera*: An overview of promising healer. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(27), 4368-4374, doi: <https://doi.org/10.5897/JMPR12.279>.
- Gol, N.B. and Rao, T.V.R. (2014). Influence of zein and gelatin coatings on the postharvest quality and shelf life extension of mango (*Mangifera indica* L.). *Fruits*, 69(2), 101-115, doi: <https://doi.org/10.1051/fruits/2014002>.
- Gupta, S., Cox, S., Rajauria, G., Jaiswal, A.K. and Abu-Ghannam, N. (2012). Growth inhibition of common food spoilage and pathogenic microorganisms in the presence of brown seaweed extracts. *Food and Bioprocess Technology*, 5(5), 1907-1916, doi: <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0502-6>.
- Kumar, N., Pratibha, N. and Petkoska, A.T. (2021). Improved shelf life and quality of tomato *Solanum lycopersicum* L.) by using chitosan-pullulan composite edible coating enriched with pomegranate peel extract. *ACS Food Science & Technology*, 1(4), 500-510, doi: <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.0c00076>.
- Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J. and Bertoli S. (2016). *Moringa oleifera* seeds and oil: Characteristics and uses for human health. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(12), doi: <https://doi.org/10.3390/ijms17122141>.
- Maftoonazad, N. and Ramaswamy, H.S. (2019). Application and evaluation of a pectin-based edible coating process for quality change kinetics and shelf-life extension of lime fruit (*Citrus aurantifolium*). *Coatings*, 9(5), doi: <https://doi.org/10.3390/coatings9050285>.
- Mditshwa, A., Magwaza, L.S., Tesfay, S.Z. and Opara, U.L. (2017). Postharvest factors affecting vitamin c content of citrus fruits: A review. *Scientia Horticulturae*, 218, 95-104, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.024>.
- Oniha, M., Eni, A., Akinola, O., Omonigbehin, E.A., Ahuekwe, E.F. and Olorunshola, J.F. (2021). In vitro antifungal activity of extracts of *Moringa oleifera* on phytopathogenic fungi affecting *Carica papaya*. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 9(A), 1081-1085, doi: <https://doi.org/10.3889/oamjms.2021.6794>.
- Ranganna, S. (1997). *Manual of analysis of fruit and vegetables products*. New Delhi: Tats Mcgraw-Hill Publishing Company Limited.

- Rodsamran, P. and Sothornvit, R. (2018). Carboxymethyl cellulose from renewable rice stubble incorporated with Thai rice grass extract as a bioactive packaging film for green tea. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(9), doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13762>.
- Saadabi, A.M. and Zaid, I.A. (2011). An in vitro antimicrobial activity of *Moringa oleifera* L. seed extracts against different groups of microorganisms. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(5), 129-134.
- Shamloo, M., Sharifani, M., Gramakhany, A.D. and Seifie, E. (2013). Alternation of flavonoid compounds in Valencia orange fruit (*Citrus sinensis*) peel as a function of storage period and edible covers. *Minerva Biotechnologica*, 25(3), 191-197.
- Sirijariyawat, A and Charoenrein, S. (2014). Texture and pectin content of four frozen fruits treated with calcium. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 1346-1355, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12096>.
- Siripanich, J. (2006). Postharvest biology and plant senescence (2nd ed.). Bangkok: Kasetsart University Press.
- Srilakshmi, B. (2003). *Food science*. New Delhi: New Age International.
- Tanada-Palmu, P.S. and Grosso, C.R. (2005). Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology*, 36(2), 199-208, doi: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.12.003>.
- Xavier, L.O., Sganzerla, W.G., Rosa, G.B., da Rosa, C.G., Agostinetto, L., de Lima Veeck, A.P. and Nunes, M.R. (2021). Chitosan packaging functionalized with *Cinnamodendron dinisii* essential oil loaded zein: A proposal for meat conservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 183-193, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.093>.
- Zam, W. (2019). Effect of alginate and chitosan edible coating enriched with olive leaves extract on the shelf life of sweet cherries (*Prunus avium* L.). *Journal of Food Quality*, doi: <https://doi.org/10.1155/2019/8192964>.

การคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่มีความสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้าข้าว

Screening for Phosphate Solubilizing Bacteria Capable of Enhancing Rice Seedling Growth

สรลณี พรหมมาเยกุล¹ อรุพงษ์ เดียวก็¹ ศศิพร จอมคำ¹ และจุฑามาศ อาจนาลีเยว^{1*}
Saralee Prommayakul¹ Arupong Deawkee¹ Sasipron Jomkham¹ and
Chuthamat Atnaseo^{1*}

บทคัดย่อ

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการทำงานของระบบต่าง ๆ ของพืช แต่ในสภาพดินที่ไม่เหมาะสมพืชสามารถนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้น้อย แบคทีเรียละลายฟอสเฟตสามารถช่วยให้พืชใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในดินได้มากขึ้นโดยการเปลี่ยนฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เพื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวในสภาพฟอสฟอรัสต่ำ จึงคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตจำนวน 10 ไอโซเลต และทดสอบผลที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยให้แบคทีเรีย 3 วิธี คือ การแช่ข้าว การแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดต้นกล้าข้าว และการรดต้นกล้าข้าว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 4 ซ้ำ เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นข้าวที่อายุ 14 21 และ 28 วันหลังปลูก การวิจัยให้ผลว่าการแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดแบคทีเรียให้ต้นกล้าข้าวส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและรวดเร็วกว่าวิธีการอื่น ในขณะที่การรดต้นกล้าข้าวเพียงอย่างเดียวไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว ทั้งนี้ไอโซเลต C13 สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้าข้าวได้ดีที่สุดในทุกวิธีการ การแช่เมล็ดข้าวด้วยไอโซเลต C13 ทำให้น้ำหนักสดราก น้ำหนักสดรวม และน้ำหนักแห้งรวมของกล้าข้าวอายุ 28 วัน มีค่าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 85.82 57.77 และ 49.19 ตามลำดับ ในขณะที่การแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดต้นกล้าข้าวทำให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวทุกค่าของกล้าข้าวอายุ 14 วันสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยเฉพาะการเจริญเติบโตของรากที่เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 60 การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการให้แบคทีเรียและชนิดของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตมีผลต่อประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว

คำสำคัญ: แบคทีเรียละลายฟอสเฟต แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ข้าว ปุ๋ยชีวภาพ

¹ สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

* Corresponding author e-mail: chuthamat@mju.ac.th

Received: 8 April 2022, Revised: 10 June 2022, Accepted: 17 June 2022

Abstract

Phosphorus is a plant nutrient essential for normal plant functions but in problematic soil, phosphorus becomes less available for plants use. Phosphate solubilizing bacteria can enable plants to use more soil phosphorus by changing it to available forms for plant absorption. In order to select for bacterial isolate with potential to enhance rice growth under low phosphorus, 10 isolates of phosphate solubilizing bacteria were selected and evaluated for their growth promoting abilities in rice cultivar KDML 105 grown by using rock phosphate as a phosphorus supplement. Bacteria were applied using 3 different methods, which were seed soaking, seed soaking with soil drenching, and soil drenching alone. Each experiment was arranged in CRD with 4 replications and plant growth parameters were collected at 14, 21 and 28 days after sowing. Results indicated that seed soaking with soil drenching elicited stronger growth enhancing response in shorter time, while soil drenching alone had no effect on seedling growth. Seedlings received isolate C13 performed best in all tested methods. Soaking rice seeds with isolate C13 resulted in increasing root fresh weight, total fresh weight, and total dry weight of 28 days old plants by 85.82, 57.77 and 49.19%, respectively. When given by seed soaking with soil drenching, it increased all parameters of fresh weight, dry weight, and plant length of 14 days old plants, especially root growth by more than 60%. This result suggests that both the method of bacterial applications and the type of phosphate solubilizing bacteria contribute to the effectiveness of a bacterium to enhance rice seedling growth.

Keywords: Phosphate solubilizing bacteria, Plant growth promoting bacteria, Rice, Biofertilizer

บทนำ

ข้าวถือเป็น 1 ใน 3 ของพืชอาหารหลักที่สำคัญของโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย และในประเทศไทยที่ข้าวนอกจากจะเป็นแหล่งอาหารหลักแล้วยังเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ในปี พ.ศ. 2564 ไทยมีการส่งออกข้าวมากถึง 2,167,591 ตัน คิดเป็นมูลค่า 41,506.52 ล้านบาท (สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม, 2564) ในกระบวนการผลิตข้าวนั้นจำเป็นต้องให้ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยฟอสฟอรัสมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช การแบ่งเซลล์ การถ่ายทอดและการถอดรหัสทางพันธุกรรม เพราะพบได้ในโมเลกุลสำคัญต่าง ๆ เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) ฟอสโฟลิพิด กรดนิวคลีอิก และโปรตีน (Heuer *et al.*, 2017) และถึงแม้ว่าภายในดินจะมีฟอสฟอรัสอยู่เพียงพอนานหลายพื้นที่ แต่ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ และเป็นประโยชน์ต่อพืชได้นั้นมีปริมาณที่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของปริมาณที่มีอยู่ในดิน (Bünemann, 2015) การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายได้ เช่น ซูเปอร์ฟอสเฟต สามารถทดแทนฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินน้อยได้ (สุภาพร และคณะ, 2553) แต่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายได้สามารถทำปฏิกิริยากับไอออนในดินได้อย่างรวดเร็ว และถูกเปลี่ยนรูปเป็นฟอสฟอรัสที่พืช

ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Stevenson, 1986; Mclaughlin *et al.*, 1988) ทำให้พื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกรมีปริมาณฟอสฟอรัสสะสมเพิ่มขึ้น แต่พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ (Lindsay *et al.*, 1989) เช่น ในรูปของไตรแคลเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) เฟอริกฟอสเฟต (FePO_4) หรืออลูมินัมฟอสเฟต (AlPO_4) เป็นต้น (สุภาพร และคณะ, 2553) ด้วยเหตุนี้การแก้ปัญหาคาดฟอสฟอรัสในพืชด้วยการให้ปุ๋ยจึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพต่ำ ทำให้ใช้ปุ๋ยในปริมาณเกินความจำเป็น ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ

แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth-promoting bacteria: PGPB) สามารถพบได้ทั้งในดินรอบรากพืชและภายในเนื้อเยื่อของพืช และมีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่หลากหลาย เช่น การละลายฟอสเฟต การตรึงไนโตรเจน การสร้างฮอร์โมนพืช การเพิ่มความทนทานต่อสภาพความเครียดที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต (Glick, 2012) การใช้ประโยชน์จาก PGPB ที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต (phosphate-solubilizing bacteria) เป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาคาดฟอสฟอรัสในพืช โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้หลังกรดอินทรีย์ เช่น กรดกลูโคนิก (gluconic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กรดซิตตริก (citric acid) และกรดซัคซินิก (succinic acid) ซึ่งมีบทบาทในการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสจาก PO_4^{3-} ที่ไม่ละลายน้ำเป็นรูป HPO_4^{2-} หรือ H_2PO_4^- ซึ่งพืชสามารถใช้ได้ (Rawat *et al.*, 2021) แบคทีเรียที่มีคุณสมบัติในการละลายฟอสเฟตที่มีการศึกษามากที่สุด ได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Pseudomonas* *Bacillus* *Azotobacter* และ *Rhizobium* (Alori *et al.*, 2017) โดยมีการศึกษาพบว่าแบคทีเรียละลายฟอสเฟตสามารถส่งเสริมการเติบโตของพืชได้ เช่น ข้าวพันธุ์ กข47 ที่ได้รับแบคทีเรียกลุ่ม *Burkholderia* sp. และ *Pantoea dispersa* ซึ่งแยกจากดินนาข้าวที่มีประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟตได้สูง ให้การเจริญเติบโตด้านความสูง จำนวนใบ ความยาวของราก และน้ำหนักแห้งของลำต้นสูงขึ้น เมื่อทำการให้ด้วยการผสมแบคทีเรียในดิน (เกตุณณินา และสมพร, 2557) ข้าวพันธุ์ Jyothi PTB 39 ที่ได้รับแบคทีเรียละลายฟอสเฟต *Gluconacetobacter* sp. ร่วมกับ *Burkholderia* sp. ซึ่งแยกได้จากดินบริเวณรอบรากข้าว ด้วยการผสมในดินและย้ายกล้าปลูก มีระดับการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงขึ้น ส่งผลให้มีผลผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย (Stephen *et al.*, 2015) การแช่เมล็ดข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ในแบคทีเรียที่แยกจากดินรอบรากข้าว ที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนและละลายฟอสเฟต ส่งผลให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสและการเติบโตของต้นกล้าข้าวเพิ่มขึ้น (อนุสร และอรรณ, 2562) นอกจากข้าวแล้ว อ้อยที่ได้รับแบคทีเรียละลายฟอสเฟต *Kosakonia radicincitans* และ *B. subtilis* ซึ่งแยกจากดินบริเวณรอบรากอ้อยทำให้อ้อยมีความสูง น้ำหนักสดลำ จำนวนลำ ความยาวปล้อง ความยาวลำ และเส้นผ่านศูนย์กลางลำเพิ่มขึ้น เมื่อให้แบคทีเรียด้วยการราดท่อนพันธุ์อ้อยร่วมกับรดต้นกล้า (เพชรดา และคณะ, 2564) จากศักยภาพในการส่งเสริมการเติบโตของพืชของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตดังกล่าว การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความสามารถในการส่งเสริมการเติบโตของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต ที่แยกได้จากดินบริเวณรอบราก และภายในรากพืช เพื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์ต่อไป ตลอดจนทดสอบวิธีการที่เหมาะสมในการให้แบคทีเรียต่อข้าวซึ่งจะทำให้ได้ผลในการส่งเสริมการเติบโตของต้นกล้าข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษาและการตรวจสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟต

แบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวน 10 ไอโซเลต ซึ่งคัดแยกได้จากดินบริเวณรอบรากและจากภายในราก (เอนโดไฟต์) ของข้าวโพด ข้าวสาลี หรือบักวีต แบคทีเรียทั้งหมดถูกประเมิน

ความสามารถในการละลายฟอสเฟต โดยสังเกตจากความสามารถในการทำให้เกิดวงใสเมื่อเลี้ยงบนอาหาร Pikovskaya's agar (Himedia, India) ที่มีฟอสฟอรัสในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต หลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน ประเมินระดับความสามารถในการละลายฟอสเฟตโดยใช้ค่าดัชนีการละลายฟอสเฟต (phosphate solubilization index: PSI) ซึ่งคำนวณจากขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสซึ่งรวมกับเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีแล้วหารด้วยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี (Oves *et al.*, 2017) แบบที่เรียกว่าถูกคัดเลือกมาใช้ในการศึกษามีค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตเท่ากับ 2 ขึ้นไป

2. การเตรียมแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว

เลี้ยงแบคทีเรียในอาหาร tryptic soy broth (TSB) (Himedia, India) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงตกตะกอนเซลล์และล้างเซลล์ด้วยโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 0.85 เปอร์เซ็นต์ ปรับความเข้มข้นของแขวนลอยแบคทีเรียด้วยโซเดียมคลอไรด์ 0.85 เปอร์เซ็นต์ ให้ได้ 2×10^8 CFU ต่อมิลลิลิตร โดยการเปรียบเทียบกับการวัดค่าความขุ่นของเซลล์ที่วัดได้จากเครื่อง spectrophotometer (Metertech, SP8001, Taiwan) ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (OD_{600})

3. การเตรียมเมล็ดข้าว วัสดุปลูก และการปลูก

ขั้นตอนการเตรียมเมล็ดข้าวโดยการทำความสะอาดเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยการล้างด้วยน้ำนิ่งฆ่าเชื้อที่มีการเติม triton x 0.02 เปอร์เซ็นต์ คัดเลือกเมล็ดข้าวที่เสียออกล้างต่อด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) 2 เปอร์เซ็นต์ นาน 3 นาที และน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยเอทานอล (ethanol) 70 เปอร์เซ็นต์ นาน 3 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อจนกว่าจะสะอาด ซับเมล็ดข้าวให้แห้งด้วยกระดาษที่นิ่งฆ่าเชื้อแล้ว

ขั้นตอนการเตรียมวัสดุปลูก โดยผสมขุยมะพร้าวและดินอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร และเติมฟอสฟอรัสในรูปของหินฟอสเฟตในปริมาณเทียบเท่ากับ 50 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วนำไปนิ่งฆ่าเชื้อ 2 ครั้ง เพาะเมล็ดข้าวในถาดหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลุม 5 เซนติเมตร ลึก 4.2 เซนติเมตร

ขั้นตอนการปลูก โดยรดน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อให้ต้นกล้าข้าวทุกวัน วันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น ครั้งละ 6 มิลลิลิตรต่อหลุม และให้สารละลายธาตุอาหารพืชที่ดัดแปลงจากสูตรของ Insalud *et al.* (2006) โดยปรับลดระดับฟอสเฟตลงเหลือ 2 ไมโครโมลาร์ หรือลดลง 100 เท่าของสูตรปกติ (KNO_3 3,750.0 ไมโครโมลาร์ KH_2PO_4 2.0 ไมโครโมลาร์ $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 312.5 ไมโครโมลาร์ $(NH_4)_2 SO_4$ 312.5 ไมโครโมลาร์ $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 400.0 ไมโครโมลาร์ $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 1,187.5 ไมโครโมลาร์ NaCl 50.0 ไมโครโมลาร์ $MnSO_4 \cdot H_2O$ 2.0 ไมโครโมลาร์ $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 2.0 ไมโครโมลาร์ $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ 1.0 ไมโครโมลาร์ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.5 ไมโครโมลาร์ $NaMoO_4 \cdot H_2O$ 0.5 ไมโครโมลาร์ $H_3B_3O_3$ 25.0 ไมโครโมลาร์ Fe-EDTA 50.0 ไมโครโมลาร์ ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็น 6.5 โดยให้ครั้งละ 6 มิลลิลิตร แทนการให้น้ำในช่วงเช้า เมื่อต้นกล้าข้าวอายุ 7 14 และ 21 วัน

4. การทดสอบผลของการแช่เมล็ดข้าวด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของข้าว (การทดลองที่ 1)

แช่เมล็ดข้าวที่เตรียมไว้ข้างต้นในแขวนลอยแบคทีเรียที่ความเข้มข้น 2×10^8 CFU ต่อ มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับกรรมวิธีควบคุม เมล็ดข้าวถูกแช่ในโซเดียมคลอไรด์ 0.85 เปอร์เซ็นต์ และบ่มในสภาวะเดียวกัน ก่อนที่จะนำลงเพาะในถาดหลุม

5. การทดสอบผลของการแช่เมล็ดข้าวและการรดต้นกล้าข้าวด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของข้าว (การทดลองที่ 2)

ปฏิบัติกับเมล็ดข้าวเช่นเดียวกับการแช่เมล็ดข้าวในแขวนลอยแบคทีเรีย เมื่อต้นข้าวมีอายุ 10 วัน ทำการรดด้วยแขวนลอยแบคทีเรีย ความเข้มข้น 2×10^8 CFU ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 3 มิลลิลิตรต่อหลุม สำหรับกรรมวิธีควบคุมรดด้วยโซเดียมคลอไรด์ 0.85 เปอร์เซ็นต์

6. การทดสอบผลของการรดต้นกล้าข้าวด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของข้าว (การทดลองที่ 3)

แช่เมล็ดข้าวที่ผ่านการล้างแล้วในโซเดียมคลอไรด์ 0.85 เปอร์เซ็นต์ นำไปบ่มในตูบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปเพาะในถาดหลุม เมื่อต้นข้าวมีอายุ 10 วัน ทำการรดด้วยแขวนลอยแบคทีเรีย ความเข้มข้น 2×10^8 CFU ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 3 มิลลิลิตรต่อหลุม หรือรดด้วยโซเดียมคลอไรด์ 0.85 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกรรมวิธีควบคุม

7. แผนการทดลองและวิเคราะห์

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) ทำการทดลองทั้งหมด 4 ซ้ำ 11 กรรมวิธี (แบคทีเรีย 10 ชนิด และ 1 กรรมวิธีควบคุม) เก็บตัวอย่างเมื่อต้นข้าวมีอายุ 14 21 และ 28 วัน เก็บ 2 ต้นต่อซ้ำต่อกรรมวิธี โดยเก็บข้อมูลความยาวต้นและราก จำนวนราก น้ำหนักสดต้นและราก และน้ำหนักแห้งต้นและราก โดยอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น $p < 0.05$ โดยใช้โปรแกรม R

ผลการวิจัย

1. ความสามารถในการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรียที่ศึกษา

จากการตรวจสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟตโดยการเลี้ยงบนอาหาร Pikovskaya's agar และสังเกตการเกิดวงใสรอบโคโลนีของแบคทีเรียหลังจากบ่มนาน 7 วัน พบว่าสามารถจัดกลุ่มแบคทีเรียที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตได้ 2 กลุ่ม ประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตตั้งแต่ 4 ขึ้นไป จำนวน 4 ไอโซเลต คือ CR02 C02 C20 และ W12 และแบคทีเรียที่มีค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตระหว่าง 2.00-2.71 จำนวน 6 ไอโซเลต คือ B11 B09 WR06 C13 C16 และ C15 (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ดัชนีการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ 10 ไอโซเลตซึ่งประเมินจากการสร้างวงใสบนอาหาร Pikovskaya's agar หลังจากบ่มนาน 7 วัน

ไอโซเลต	ดัชนีการละลายฟอสเฟต	ไอโซเลต	ดัชนีการละลายฟอสเฟต
CR02	4.68±0.14 ^a	B09	2.67±0.33 ^b
C02	4.60±0.00 ^a	WR06	2.66±0.00 ^b
C20	4.40±0.00 ^a	C13	2.37±0.55 ^b
W12	4.00±0.07 ^a	C16	2.22±0.36 ^b
B11	2.71±0.00 ^b	C15	2.00±0.25 ^b

หมายเหตุ: - ระดับนัยสำคัญของ F-test $p \leq 0.001$ CV 16.38% mean±SE ที่กำกับด้วยตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

2. ผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของข้าว

จากการทดสอบผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่แตกต่างกันจำนวน 10 ไอโซเลตต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีการให้แบคทีเรียด้วยวิธีการต่างกัน 3 วิธีการ คือ การแช่เมล็ดข้าวร่วมกับแบคทีเรีย การแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดแบคทีเรียให้กับต้นกล้าข้าว และการรดแบคทีเรียให้กับต้นกล้าข้าว พบว่าวิธีการที่แตกต่างกันในการให้แบคทีเรียกับข้าวให้ผลที่แตกต่างต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว (ตารางที่ 2) การแช่เมล็ดข้าวเพียงอย่างเดียว และการแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดแบคทีเรียให้กับต้นกล้าข้าว มีผลทำให้การเจริญเติบโตของข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่การรดแบคทีเรียให้กับต้นกล้าข้าวเพียงอย่างเดียวไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว (ตารางที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เมล็ดข้าวร่วมกับแบคทีเรีย และการแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดแบคทีเรียให้กับต้นกล้าข้าว พบว่าการแช่เมล็ดข้าวอย่างเดียวมีผลทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวแตกต่างกันในทุกระยะการเจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อข้าวอายุ 21 วัน ในขณะที่การแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดแบคทีเรียให้กับต้นกล้าข้าว มีผลทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวแตกต่างกันมากที่สุดเมื่อข้าวมีอายุ 14 วัน แต่เห็นผลลดลงเมื่อข้าวอายุ 21 วัน และไม่พบความแตกต่างของการเจริญเติบโตเมื่อข้าวอายุ 28 วัน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 สรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับแบคทีเรียละลายฟอสเฟต ด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธีการ เมื่อข้าวอายุ 14 21 และ 28 วัน

	น้ำหมักสด			น้ำหมักแห้ง			ความยาว			จำนวนราก
	ต้น	ราก	รวม	ต้น	ราก	รวม	ต้น	ราก	รวม	
การทดลองที่ 1										
14 วัน	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***
21 วัน	**	***	***	*	***	***	ns	ns	ns	***
28 วัน	ns	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
การทดลองที่ 2										
14 วัน	**	***	**	**	**	**	*	***	**	ns
21 วัน	**	***	***	**	ns	***	ns	ns	ns	ns
28 วัน	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
การทดลองที่ 3										
14 วัน	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
21 วัน	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
28 วัน	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ: - * ** *** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ 0.01 และ 0.001 ตามลำดับ

- ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

- การทดลองที่ 1 ให้แบคทีเรียโดยการแช่เมล็ดข้าว

- การทดลองที่ 2 ให้แบคทีเรียโดยการแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดต้นกล้าข้าว

- การทดลองที่ 3 ให้แบคทีเรียโดยการรดแบคทีเรียต้นกล้าข้าว

2.1 ผลของการแช่เมล็ดข้าวด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของข้าว

เมื่อประเมินการเติบโตของต้นกล้าข้าวที่เมล็ดข้าวผ่านการแช่ในแขวนลอยแบคทีเรีย เมื่อข้าวอายุ 14 และ 21 วัน พบว่าการเจริญเติบโตของข้าวที่เมล็ดข้าวผ่านการแช่ร่วมกับไอโซเลต WR06 ให้ค่าที่ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม แต่การแช่ในแบคทีเรียไอโซเลตอื่น ๆ ให้ผลไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม (ไม่แสดงข้อมูล) ในขณะที่เมื่อข้าวอายุ 28 วัน พบว่าการแช่เมล็ดข้าวร่วมกับไอโซเลต C13 มีผลทำให้ต้นกล้าข้าวมีน้ำหนักสดราก น้ำหนักสดรวม และน้ำหนักแห้งรวมเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 85.82 57.77 และ 49.19 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการแช่เมล็ดข้าวในสารละลายที่ไม่มีแบคทีเรีย นอกจากไอโซเลต C13 แล้ว ไอโซเลต C02 B11 และ C16 ยังมีผลในการกระตุ้นการสร้างน้ำหนักสดรากเช่นกัน ในขณะที่การแช่เมล็ดข้าวด้วยไอโซเลต C16 ส่งผลให้ต้นกล้าข้าวมีน้ำหนักสดรวมสูงขึ้น เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลของการแช่เมล็ดข้าวด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อน้ำหนักสดราก น้ำหนักสดรวม และน้ำหนักแห้งรวมของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อข้าวอายุ 28 วัน

กรรมวิธี	น้ำหนักสดราก (มิลลิกรัมต่อต้น)	น้ำหนักสดรวม (มิลลิกรัมต่อต้น)	น้ำหนักแห้งรวม (มิลลิกรัมต่อต้น)
control	671.2±96.89 ^{bc}	1201.6±126.97 ^{bc}	184.6±18.32 ^{bc}
CR02	926.6±92.63 ^{abc}	1516.4±133.73 ^{ab}	214.5±14.31 ^{abc}
C02	1143.8±146.80 ^a	1733.1±222.97 ^{ab}	233.1±36.02 ^{ab}
C20	1075.9±87.38 ^{ab}	1676.9±123.97 ^{ab}	231.0±16.45 ^{abc}
W12	1103.4±147.09 ^{ab}	1743.8±150.97 ^{ab}	252.5±14.53 ^{ab}
B11	1128.6±227.68 ^a	1672.4±300.54 ^{ab}	233.7±35.47 ^{ab}
B09	937.7±59.53 ^{abc}	1435.9±101.07 ^{abc}	194.8±18.89 ^{bc}
WR06	526.1±151.73 ^c	891.6±222.94 ^c	138.5±37.12 ^c
C13	1247.2±91.24 ^a	1895.8±102.83 ^a	275.4±12.21 ^a
C16	1235.7±85.09 ^a	1866.5±81.27 ^a	261.6±3.07 ^{ab}
C15	952.6±166.69 ^{abc}	1488.1±231.62 ^{ab}	215.3±33.65 ^{abc}
F-test	*	*	*
CV (%)	26.47	21.82	22.62

หมายเหตุ: - mean±SE ที่กำกับด้วยตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

- * ** *** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ 0.01 และ 0.001 ตามลำดับ

2.2 ผลของการแช่เมล็ดข้าวและการรดต้นกล้าข้าวด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของข้าว

การแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดแบคทีเรียให้กับต้นกล้าข้าว นั้น พบว่าแบคทีเรียส่วนใหญ่ทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ตลอดจนความยาวต้นสูงขึ้น แต่ไม่แตกต่างจากต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับแบคทีเรีย (กรรมวิธีควบคุม) มีเพียงไอโซเลต C13 เท่านั้นที่ส่งผลต่อค่าการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวทุกดัชนีที่ทำการประเมิน ยกเว้นจำนวนราก เมื่อข้าวอายุ 14 วัน (ตารางที่ 4 5 และ 6) ทั้งนี้การแช่เมล็ดข้าวและรดต้นกล้าข้าวด้วยไอโซเลต C13 ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดต้น

น้ำหนักสดราก และน้ำหนักสดรวมของต้นกล้าข้าว คิดเป็นร้อยละ 30.03 91.78 และ 49.45 ของกรรมวิธีควบคุม ตามลำดับ (ตารางที่ 4) สำหรับค่าน้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งรวมของต้นกล้าข้าว การได้รับไอโซเลต C13 ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 34.98 68.75 และ 40.57 ของกรรมวิธีควบคุม ตามลำดับ (ตารางที่ 5) เมื่อพิจารณาการเติบโตด้านการยืดของต้นและรากพบว่าต้นกล้าข้าวที่ได้รับแบคทีเรียไอโซเลต C13 มีความยาวต้น ความยาวราก และความยาวรวมมากกว่าต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับแบคทีเรีย โดยมีการเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 24.96 63.73 และ 33.01 ตามลำดับ นอกจากนี้ไอโซเลต C13 แล้ว แบคทีเรียไอโซเลต CR02 และ C16 ยังสามารถส่งเสริมการยืดยาวของต้นกล้าข้าวได้ ส่งผลให้ต้นกล้าข้าวมีความยาวต้นที่สูงขึ้น ในขณะที่ไอโซเลต C20 และ B11 ส่งผลให้ต้นกล้าข้าวมีความยาวรากที่สูงขึ้น และไอโซเลต CR02 และ C20 ส่งผลให้ต้นกล้าข้าวมีความยาวรวมที่สูงขึ้นกว่าต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับแบคทีเรีย (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 4 ผลของการแช่เมล็ดข้าวและรดต้นกล้าข้าวด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อน้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดราก และน้ำหนักสดรวมของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อข้าวมีอายุ 14 วัน

กรรมวิธี	น้ำหนักสด (มิลลิกรัมต่อต้น)		
	ต้น	ราก	รวม
control	186.5±10.93 ^{bcd}	85.2±7.29 ^{bc}	271.6±18.10 ^b
CR02	225.8±8.57 ^{ab}	138.0±29.95 ^{abc}	363.8±25.58 ^{ab}
C02	160.6±9.63 ^{cd}	99.4±11.45 ^{abc}	259.9±19.73 ^{bc}
C20	195.4±15.17 ^{abc}	150.7±22.59 ^{ab}	346.1±36.47 ^{ab}
W12	202.3±19.02 ^{abc}	83.7±11.04 ^c	286.0±28.36 ^b
B11	187.5±20.14 ^{bc}	125.9±27.4 ^{abc}	313.4±46.86 ^{ab}
B09	199.5±16.15 ^{abc}	113.1±16.93 ^{abc}	312.5±32.34 ^{ab}
WR06	123.8±8.59 ^d	42.6±4.39 ^d	166.4±12.16 ^c
C13	242.5±6.22 ^a	163.4±19.87 ^a	405.9±25.51 ^a
C16	195.7±14.01 ^{abc}	107.2±12.73 ^{abc}	302.9±25.82 ^{ab}
C15	175.3±23.88 ^{bcd}	98.1±9.79 ^{abc}	273.4±31.59 ^b
F-test	**	***	**
CV (%)	32.42	35.92	22.11

หมายเหตุ: - mean±SE ที่กำกับด้วยตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

- * ** *** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ 0.01 และ 0.001 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลของการแช่เมล็ดข้าวและรดต้นกล้าข้าวด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อน้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งรวมของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อข้าวมีอายุ 14 วัน

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัมต่อต้น)		
	ต้น	ราก	รวม
control	32.3±2.14 ^{bcd}	6.4±0.66 ^{cd}	38.7±2.7 ^{bc}
CR02	41.1±1.52 ^{ab}	8.3±0.67 ^{abc}	49.4±1.95 ^{ab}
C02	29.2±1.37 ^{cd}	6.4±0.12 ^{cd}	35.7±1.34 ^{cd}
C20	35.7±2.86 ^{abc}	10.6±1.23 ^{ab}	46.3±4.05 ^{abc}

ตารางที่ 5 (ต่อ)

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัมต่อต้น)		
	ต้น	ราก	รวม
W12	36.7±2.85 ^{abc}	6.8±0.73 ^{cd}	43.5±3.54 ^{abc}
B11	34.9±3.61 ^{bc}	8.2±1.11 ^{abc}	43.1±4.72 ^{abc}
B09	36.7±2.29 ^{abc}	7.9±0.93 ^{abc}	44.5±3.17 ^{abc}
WR06	21.9±1.50 ^d	4.0±0.44 ^d	25.9±1.88 ^d
C13	43.6±1.22 ^a	10.8±1.31 ^a	54.4±2.47 ^a
C16	35.3±1.66 ^{bc}	7.3±0.8 ^{bc}	42.7±2.26 ^{abc}
C15	32.5±4.62 ^{bc}	8.0±1.04 ^{abc}	40.5±5.30 ^{bc}
F-test	**	**	**
CV (%)	16.27	26.46	17.31

หมายเหตุ: - mean±SE ที่กำกับด้วยตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

- * ** *** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ 0.01 และ 0.001 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลของการแช่เมล็ดข้าวและรดต้นกล้าข้าวด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อความยาวต้น ความยาวราก และความยาวรวมของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อข้าวมีอายุ 14 วัน

กรรมวิธี	ความยาว (เซนติเมตร)		
	ต้น	ราก	รวม
control	30.29±1.85 ^d	7.94±1.19 ^c	38.23±2.81 ^{cd}
CR02	36.33±0.41 ^{ab}	10.67±0.65 ^{abc}	47.00±1.05 ^{ab}
C02	32.09±0.89 ^{bcd}	8.56±1.01 ^c	40.65±0.99 ^{bcd}
C20	33.38±1.61 ^{abcd}	14.25±1.95 ^a	47.63±3.43 ^{ab}
W12	33.98±1.60 ^{abcd}	8.81±0.84 ^c	42.79±2.27 ^{bcd}
B11	32.88±0.92 ^{bcd}	12.96±1.03 ^{ab}	45.84±1.53 ^{abc}
B09	34.10±1.15 ^{abcd}	9.88±0.87 ^{bc}	43.98±2.01 ^{abcd}
WR06	30.56±1.19 ^{cd}	6.81±0.39 ^c	37.38±0.95 ^d
C13	37.85±0.08 ^a	13.00±0.84 ^{ab}	50.85±0.82 ^a
C16	35.40±1.11 ^{abc}	8.21±0.81 ^c	43.61±1.77 ^{abcd}
C15	34.17±1.52 ^{abcd}	8.75±0.59 ^c	42.92±2.01 ^{bcd}
F-test	*	***	**
CV (%)	8.42	23.53	10.38

หมายเหตุ: - mean±SE ที่กำกับด้วยตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

- * ** *** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ 0.01 และ 0.001 ตามลำดับ

เมื่อข้าวมีอายุ 21 วัน พบว่าการแช่เมล็ดข้าวและรดต้นกล้าข้าวด้วยแบคทีเรีย ไอโซเลต CR02 C20 W12 B11 B09 และ C13 ส่งผลให้ต้นกล้าข้าวมีน้ำหนักสดรากมากกว่าต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับแบคทีเรีย โดยต้นข้าวที่ได้รับไอโซเลต C20 ให้น้ำหนักสดรากเพิ่มขึ้นสูงที่สุดคิดเป็น 85.98

เปอร์เซ็นต์ ของต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับแบคทีเรีย ไอโซเลต CR02 C20 และ B11 ส่งผลให้ต้นกล้าข้าวมีน้ำหนักสดรวมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับแบคทีเรีย โดยต้นข้าวที่ได้รับไอโซเลต B11 ให้น้ำหนักสดรวมเพิ่มขึ้นสูงที่สุดคิดเป็น 33.73 เปอร์เซ็นต์ ของต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับแบคทีเรีย (ตารางที่ 7) เมื่อพิจารณาการเติบโตด้านน้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งรวมของต้นกล้าข้าว ที่แม้จะมีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบทุกกรรมวิธี แต่ไม่พบว่าต้นกล้าข้าวที่ได้รับแบคทีเรียชนิดใดมีค่าดังกล่าวที่มากกว่าต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับแบคทีเรีย (ไม่แสดงข้อมูล)

เมื่อพิจารณาทั้งสองการทดลองร่วมกัน พบว่าแบคทีเรียไอโซเลต C13 มีผลทำให้การเติบโตของต้นกล้าข้าวทั้งในด้านน้ำหนักและความยาวมีค่าสูงกว่าเมื่อต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับแบคทีเรีย ไม่ว่าจะทดสอบด้วยวิธีการแช่เมล็ดข้าวเพียงอย่างเดียวหรือแช่ร่วมกับบรดให้กับต้นกล้าข้าวก็ตาม ในขณะที่แบคทีเรียส่วนใหญ่มีผลต่อการเติบโตของกล้าข้าวไม่แตกต่างจากไอโซเลต C13 แม้ว่าบางไอโซเลตจะทำให้การเติบโตของต้นกล้าข้าวดีขึ้นในบางดัชนีและในบางวิธีการ ทั้งนี้ในทุกการทดสอบ ไอโซเลต WR06 มีผลทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวมีค่าน้อยที่สุดอย่างสม่ำเสมอ แสดงให้เห็นว่าข้าวมีการตอบสนองต่อการทดสอบในทิศทางเดียวกันไม่ว่าจะทดสอบด้วยวิธีการใด

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการละลายฟอสเฟตและการเจริญเติบโตของต้นข้าว พบว่าแบคทีเรียที่ให้ค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตที่ระดับ 4 ขึ้นไป คือ ไอโซเลต CR02 C02 C20 และ W12 ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวดีกว่าชุดควบคุมในบางค่า แต่ในภาพรวมมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวน้อยกว่าแบคทีเรียไอโซเลต C13 ซึ่งมีการละลายฟอสเฟตที่ต่ำกว่าที่ 2.37 แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการละลายฟอสเฟตที่ทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการของแบคทีเรีย และความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตในสภาพการทดสอบปลูกในระดับโรงเรือนไม่สัมพันธ์กัน

ตารางที่ 7 ผลของการแช่เมล็ดข้าวและรดต้นกล้าข้าวด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อน้ำหนักสดราก และน้ำหนักสดรวมของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เมื่อข้าวมีอายุ 21 วัน

กรรมวิธี	น้ำหนักสด (มิลลิกรัมต่อต้น)	
	ราก	รวม
control	466.6±21.48 ^c	992.3±7.58 ^{bc}
CR02	803.2±53.06 ^a	1270.8±51.69 ^a
C02	442.4±45.39 ^c	933.2±59.04 ^c
C20	867.8±63.41 ^a	1324.6±86.33 ^a
W12	728.5±13.12 ^{ab}	1181.4±18.77 ^{ab}
B11	841.0±54.08 ^a	1327.0±85.11 ^a
B09	674.7±47.82 ^{ab}	1164.3±52.31 ^{ab}
WR06	527.4±104.7 ^{bc}	905.9±97.58 ^c
C13	672.3±24.03 ^{ab}	1185.6±25.18 ^{ab}
C16	561.2±61.31 ^{bc}	979.1±60.15 ^{bc}
C15	401.5±48.54 ^c	864.6±58.62 ^c
F-test	***	***
CV (%)	20.01	13.03

หมายเหตุ: - mean $\pm$ SE ที่กำกับด้วยตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT
 - * ** *** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ 0.01 และ 0.001 ตามลำดับ

การอภิปรายผลการวิจัย

แบคทีเรียที่พบในดินรอบรากและแบคทีเรียเอนโดไฟต์ที่อาศัยอยู่ในรากของพืชมีศักยภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในหลาย ๆ ด้าน รวมถึงความสามารถในการละลายฟอสเฟต ทำให้แบคทีเรียเหล่านี้มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพ (biofertilizer) โดยในการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบแบคทีเรียที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตที่คัดเลือกโดยพิจารณาจากการให้ค่า PSI มากกว่า 2 ซึ่งทำให้ได้แบคทีเรียทั้งหมดจำนวน 10 ไอโซเลต ที่แยกได้จากดินบริเวณรอบรากพืช และจากภายในรากของพืช 3 ชนิด ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกโดยการให้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสหลัก ทั้งนี้เพื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการส่งเสริมการเติบโตของต้นกล้าข้าว โดยมีการทดสอบการให้แบคทีเรียแก่พืชด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธีการ คือ การแช่เมล็ดข้าวในแบคทีเรียเพียงอย่างเดียว การแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดแบคทีเรียให้ต้นกล้าข้าว และการรดแบคทีเรียให้ต้นกล้าข้าวเพียงอย่างเดียว

การแช่เมล็ดข้าวในแบคทีเรียละลายฟอสเฟต (อนุสร และอรวรรณ, 2562; Bakhshandeh *et al.*, 2015) และการให้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตในดินที่ใช้ในการปลูกข้าว (เกตนันธินา และสมพร, 2557; Stephen *et al.*, 2015) เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต ซึ่งสามารถช่วยในการคัดเลือกแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ดี อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้พบว่า การให้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตด้วยการรดต้นกล้าข้าวไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว ในขณะที่การแช่เมล็ดข้าวและการแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดต้นกล้าข้าวด้วยแบคทีเรียมีผลทำให้ต้นกล้าข้าวที่ได้รับแบคทีเรียบางไอโซเลตเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับแบคทีเรีย นอกจากนี้การแช่เมล็ดข้าวร่วมกับแบคทีเรียมีผลทำให้ต้นกล้าข้าวมีการเติบโตที่ดีกว่าต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับแบคทีเรียเมื่อข้าวมีอายุ 28 วัน ซึ่งช้ากว่าการแช่ร่วมกับการรดต้นกล้าข้าวซึ่งให้ผลเมื่อต้นกล้าข้าวมีอายุ 14 และ 21 วัน ตลอดจนการแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดต้นกล้าข้าวด้วยแบคทีเรียยังมีผลต่อการเติบโตด้านความยาวของต้นและราก ซึ่งไม่พบในการแช่เมล็ดข้าวเพียงอย่างเดียว ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าวิธีการในการให้แบคทีเรียแก่พืชมีอิทธิพลต่อการเกิดกิจกรรมของแบคทีเรีย ทั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาการให้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตด้วยวิธีการแช่เปรียบเทียบกับวิธีการฉีดพ่นเมล็ดข้าวที่กำลังงอก ซึ่งพบว่า การฉีดพ่นเมล็ดข้าวขณะงอกมีผลในการกระตุ้นการเติบโตของต้นข้าวที่ดีกว่า (ฤชญา และคณะ, 2560) การที่วิธีการที่แตกต่างกันในการให้แบคทีเรียแก่พืชส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ต่างกัน อาจเป็นผลมาจากความเหมาะสมของปริมาณแบคทีเรียที่พืชได้รับ ความสามารถในการคงอยู่ของแบคทีเรียในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ หรือความเหมาะสมของช่วงเวลาให้แบคทีเรีย ซึ่งมีผลต่อการเกิดกิจกรรมทางเคมีระหว่างพืชกับแบคทีเรียได้ การแช่เมล็ดข้าวในแบคทีเรียเพียงอย่างเดียวอาจทำให้เมล็ดข้าวได้รับแบคทีเรียเริ่มต้นที่น้อยกว่า ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาที่นานกว่าในการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียให้มากเพียงพอต่อการเกิดกิจกรรมในระดับที่มีผลต่อพืชได้ ในขณะที่การแช่ร่วมกับการรดเพิ่มปริมาณแบคทีเรียและโอกาสให้กับแบคทีเรียได้มีการสัมผัสกับเมล็ดข้าวและต้นกล้าข้าวมากขึ้น ซึ่งทำให้เห็นผลได้รวดเร็วกว่าและพืชมีการตอบสนองที่สูงกว่า ทั้งนี้ปริมาณแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชส่งผลต่อความสามารถในการส่งเสริมการเติบโตของพืชนั่นเอง (Banik *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2022)

ถึงแม้ว่าวิธีการในการให้แบคทีเรียที่แตกต่างกันมีผลต่อการแสดงออกของประสิทธิภาพของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต แต่ในทุกวิธีการให้ผลสรุปที่สอดคล้องกันคือไอโซเลต C13 เป็นแบคทีเรียที่มีความสามารถในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวได้ในระดับที่สูงที่สุดในภาพรวม โดยในการทดสอบด้วยการแช่เมล็ดข้าวในไอโซเลต C13 ซึ่งมีผลชัดเจนที่สุดเมื่อข้าวมีอายุ 28 วัน มีผลทำให้น้ำหนักกรรมของต้นกล้าข้าว ทั้งน้ำหนักสดและแห้ง มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมมากกว่า 1.5 เท่า และโดยเฉพาะน้ำหนักสดรากของข้าวที่ได้รับไอโซเลต C13 มีค่ามากกว่าข้าวที่ไม่ได้รับแบคทีเรียถึง 1.9 เท่า ในทางเดียวกันการแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดต้นกล้าข้าวด้วยไอโซเลต C13 ซึ่งมีผลชัดเจนที่สุดเมื่อข้าวมีอายุ 14 วัน ส่งผลให้การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักทุกค่าสูงกว่าชุดควบคุม โดยน้ำหนักสดรวมและน้ำหนักแห้งรวมมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 1.4 เท่า ตลอดจนมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักรากมากกว่า 1.7 เท่า แสดงให้เห็นว่าไอโซเลต C13 มีผลในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของรากอย่างชัดเจน ซึ่งอาจมีผลให้ต้นกล้าข้าวที่ได้รับแบคทีเรียชนิดนี้มีความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของราก ได้ดีกว่าต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับแบคทีเรีย จึงมีผลต่อเนื่องทำให้การเจริญเติบโตด้านลำต้นเพิ่มขึ้น ตลอดจนส่งผลถึงความสามารถในการสร้างมวลรวมของต้นที่เพิ่มขึ้นของต้นกล้าข้าวที่ได้รับไอโซเลต C13 ทั้งนี้ฟอสฟอรัสมีความจำเป็นต่อการพัฒนาระบบรากของพืช ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสมากขึ้นมีพัฒนาการของระบบรากที่ดีขึ้น มีจำนวนและมวลของรากมากกว่าข้าวที่ขาดฟอสฟอรัส (ทศพร และคณะ, 2560) เช่นเดียวกันกับการศึกษาในข้าวสาลีที่แสดงว่าแบคทีเรียละลายฟอสเฟตส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของต้น โดยผ่านการส่งเสริมการสร้างรากและการทำงานของระบบรากที่ดีขึ้น (Elhaissofi *et al.*, 2020) การเจริญเติบโตของรากที่มากขึ้นประกอบกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่มากขึ้น เป็นผลให้น้ำหนักต้นและผลผลิตที่ดีขึ้นด้วย (Panhwar *et al.*, 2011; Stephen *et al.*, 2015; Bakhshandeh *et al.*, 2015)

เมื่อพิจารณาความสามารถในการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรียทั้ง 10 ไอโซเลต พบว่าความสามารถในการละลายฟอสเฟตมีความแตกต่างกัน โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่มีค่า PSI มากกว่า 4 และกลุ่มที่มีค่า PSI น้อยกว่า 4 ซึ่งมีผลต่อการเติบโตของต้นกล้าข้าวในระดับที่ต่างกันด้วย โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่มีผลต่อการเติบโตของต้นกล้าข้าวไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม ยกเว้นไอโซเลต C13 ที่มีผลทำให้การเติบโตของต้นกล้าข้าวดีขึ้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม แม้ว่าจะให้ผลไม่แตกต่างจากไอโซเลตอื่น ๆ และไอโซเลต WR06 ที่มีผลทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างข้าวและแบคทีเรียต่างชนิดกัน ที่อาจส่งผลทั้งในเชิงบวกและลบต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ทั้งนี้ไอโซเลต C13 และ WR06 มีค่า PSI ที่ใกล้เคียงกันแต่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวต่างกัน นอกจากนี้แบคทีเรียที่มีระดับความสามารถในการละลายฟอสเฟตมากกว่า 4 ส่วนมากมีผลต่อการเติบโตของต้นกล้าข้าวไม่แตกต่างจากไอโซเลต C13 แสดงให้เห็นว่าระดับความสามารถในการละลายฟอสฟอรัส ซึ่งทดสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยไม่มีปัจจัยของพืชและสิ่งแวดล้อมมาเกี่ยวข้อง อาจไม่สัมพันธ์กับความสามารถของแบคทีเรียในการส่งเสริมการเติบโตของพืชในสภาพของการปลูกพืชได้ ตลอดจนแบคทีเรียส่งเสริมการเติบโตของพืชอาจมีคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น การผลิตฮอร์โมนพืช และการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารชนิดอื่น ๆ ที่อาจมีผลทำให้แบคทีเรียแต่ละชนิดส่งผลต่อการเติบโตของพืชต่างกัน ดังรายงานของ Elhaissofi *et al.* (2020) ที่ทำการทดสอบการเจริญเติบโตของข้าวสาลีที่ได้รับแบคทีเรียละลายฟอสเฟต และพบว่าความสามารถในการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรียอาจไม่มีผลโดยตรงต่อความสามารถในการกระตุ้นการเติบโตของข้าวสาลี แต่ความสามารถในการกระตุ้นการสร้างรากอาจ

เป็นปัจจัยที่ทำให้พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารจากดินได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี เมื่ออยู่ในสภาวะที่ในดินมีฟอสฟอรัสต่ำ นอกจากนี้ความสามารถในการอยู่รอดในดิน ตลอดจนความสามารถที่ต่างกันในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสต่างรูปแบบกันของของแบคทีเรียแต่ละชนิด (Chen and Liu, 2019) ยังอาจเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบคทีเรียได้เช่นกัน

สรุปผลการวิจัย

การคัดเลือกแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการส่งเสริมการเติบโตของต้นกล้าข้าว โดยมีวิธีการให้แบคทีเรียที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ การแช่เมล็ดข้าวร่วมกับแบคทีเรีย การแช่เมล็ดข้าวร่วมกับการรดแบคทีเรียให้กับต้นกล้าข้าว และการรดแบคทีเรียให้กับต้นกล้าข้าว แสดงให้เห็นว่าวิธีการให้แบคทีเรียมีผลต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว ทั้งนี้วิธีการแช่เมล็ดข้าวร่วมกับรดแบคทีเรียให้กับต้นกล้าข้าวให้ผลที่ดีที่สุด นอกจากนี้ไม่ว่าจะให้แบคทีเรียด้วยวิธีการใด ไอโซเลต C13 ก็มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวที่เด่นชัดกว่าแบคทีเรียไอโซเลตอื่น แม้ว่าจะมีค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตน้อยกว่าก็ตาม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากคุณสมบัติอื่น ๆ ของแบคทีเรียร่วมด้วย ซึ่งเป็นประเด็นหนึ่งที่ต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม ตลอดจนความจำเพาะของชนิดของแบคทีเรียแต่ละชนิดที่มีผลต่อความสามารถในการทำให้เกิดกิจกรรมการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้แตกต่างกันออกไปตามชนิดของพืช อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่แยกได้จากดินบริเวณรอบรากพืชมีศักยภาพในการพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ได้ แต่จำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมทั้งในประเด็นที่ได้กล่าวไปแล้ว และประเด็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต รวมทั้งช่วงเวลาและอัตราการใส่เชื้อที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กฤษฎา ปัญญา เนตรนภา อินสลุต และสายสมร ล้ายอง. (2560). ผลของการใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวในสภาพแอโรบิก. *แก่นเกษตร*, 45(1), 1093-1098.
- เกตนันนิภา วันชัย และสมภาพ เรืองสังข์. (2557). ผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่ตรึงอยู่บนขี้เถ้ากลบต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข47. *วิทยาศาสตร์เกษตร*, 45(2), 513-516.
- ทศพร บ่อบัวทอง เนตรนภา อินสลุต วิษณุภาส สังพาลี และจุฑามาศ อาจนาสีว. (2560). ผลของระดับฟอสฟอรัสต่อการพัฒนาระบบรากข้าว. *แก่นเกษตร*, 45(1), 997-1002.
- เพชรดา ปินใจ ฉัตรารณณ์ ทองปนแก้ว และชนิดาภา ธนะศรีราษฎร์. (2564). การศึกษาความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและการส่งเสริมการเจริญเติบโตของอ้อยโดยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในสภาพโรงเรือนเพื่อการพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 39(2), 109-118.
- สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม. (2564). *ข้าว*. สืบค้นเมื่อ 2 มิถุนายน 2565, จาก: https://www.ditp.go.th/contents_attach/750851/750851.pdf.
- สุภาพร จันรุ่งเรือง เบญจมาศ รสโสภา และกรณิการ์ สัจจาพันธ์. (2553). ผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต *Burkholderia* sp. สายพันธุ์ Rs01 ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2. *วิทยาสารกำแพงแสน*, 8(1), 1-14.
- อนุสรณ์ พิคน้อย และอรรณณ ฉัตรสีรุ่ง. (2562). การคัดกรองและการประเมินประสิทธิภาพของไรโซแบคทีเรีย เพื่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว. *วารสารเกษตร*, 35(3), 461-473.

- Alori, E.T., Glick, B.R. and Babalola, O.O. (2017). Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 8, doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>.
- Bakhshandeh, E., Rahimian, H., Pirdashti, H. and Nematzadeh, G.A. (2015). Evaluation of phosphate solubilizing bacteria on the growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in northern Iran. *Journal of Applied Microbiology*, 119(5), 1371-1382, doi: <https://doi.org/10.1111/jam.12938>.
- Banik, A., Dash, G.K., Swain, P., Kumar, U., Mukhopadhyay, S.K. and Dangar, T.K. (2019). Application of rice (*Oryza sativa* L.) root endophytic diazotrophic *Azotobacter* sp. strain Avi2 (MCC 3432) can increase rice yield under green house and field condition. *Microbiological Research*, 219, 56-65, doi: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.11.004>.
- Bünemann, E.K. (2015). Assessment of gross and net mineralization rates of soil organic phosphorus-A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 89, 82-98, doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.06.026>.
- Chen, Q. and Liu, S. (2019). Identification and characterization of the phosphate-solubilizing bacterium *Pantoea* sp. S32 in reclamation soil in Shanxi, China. *Frontiers in microbiology*, 10, doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02171>.
- Elhaissofi, W., Khourchi, S., Ibnyasser, A., Ghoulam, C., Rchiad, Z., Zeroual, Y., Lyamlouli, K. and Bargaz, A. (2020). Phosphate solubilizing rhizobacteria could have a stronger influence on wheat root traits and aboveground physiology than rhizosphere P solubilization. *Frontiers in Plant Science*, 11, doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00979>.
- Glick, B.R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012, doi: <https://doi.org/10.6064/2012/963401>.
- Heuer, S., Gaxiola, R., Schilling, R., Herrera-Estrella, L., López-Arredondo, D., Wissuwa, M., Delhaize, E. and Rouached, H. (2017). Improving phosphorus use efficiency: A complex trait with emerging opportunities. *The Plant Journal*, 90(5), 868-885, doi: <https://doi.org/10.1111/tpj.13423>.
- Insalud, N., Bell, R.W., Colmer, T.D. and Rerkasem, B. (2006). Morphological and physiological responses of rice (*Oryza sativa*) to limited phosphorus supply in aerated and stagnant solution culture. *Annals of Botany*, 98(5), 995-1004, doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcl194>.
- Lindsay, W.L., Vlek, P.L. and Chien, S.H. (1989). Phosphate minerals. In Dixon, J.B. and Weed, S.B. (Eds.). *Minerals in Soil Environment*, pp. 1089-1130. Wisconsin: Soil Science Society of America Inc.

- Liu, Z., Zhang, X., Li, L., Xu, N., Hu, Y., Wang, C., Shi, Y. and Li, D. (2022). Isolation and characterization of three plant growth-promoting rhizobacteria for growth enhancement of rice seedling. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41, 1382-1393, doi: <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10393-4>.
- McLaughlin, M.J., Alston A.M. and Martin J.K. (1988). Phosphorus cycling in wheat-pasture rotations. I. The source of phosphorus taken up by wheat. *Australian Journal of Soil Research*, 26(2), 323-331, doi: <https://doi.org/10.1071/SR9880323>.
- Oves, M., Khan, M.S. and Qari, H.A. (2017). *Ensifer adhaerens* for heavy metal bioaccumulation, biosorption, and phosphate solubilization under metal stress condition. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 80, 540-552, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.08.026>.
- Panhwar, Q.A., Radziah, O., Zaharah, A.R., Sariah, M. and Razi, I.M. (2011). Role of phosphate solubilizing bacteria on rock phosphate solubility and growth of aerobic rice. *Journal of Environmental Biology*, 32(5), 607-617.
- Rawat, P., Shankhdhar, D. and Shankhdhar, S.C. (2021). Synergistic impact of phosphate solubilizing bacteria and phosphorus rates on growth, antioxidative defense system, and yield characteristics of upland rice (*Oryza sativa* L.). *Journal Plant Growth Regulation*, 41, 2449-2461, doi: <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10458-4>.
- Stephen, J., Shabanamol, S., Rishad, K.S. and Jisha, M.S. (2015). Growth enhancement of rice (*Oryza sativa*) by phosphate solubilizing *Gluconacetobacter* sp. (MTCC 8368) and *Burkholderia* sp. (MTCC 8369) under greenhouse conditions. *3 Biotech*, 5(5), 831-837, doi: <https://doi.org/10.1007/s13205-015-0286-5>.
- Stevenson, F.J. (1986). *Cycles of soil, carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. New York: John Wiley.

การศึกษาระดับความสำคัญขององค์ประกอบของทุนมนุษย์วิศวกรโยธาและ วิศวกรชลประทาน กรณีศึกษาของกรมชลประทาน

A Study of the Importance Levels of Human Capital Components of Civil Engineers and Irrigation Engineers: The Case of the Royal Irrigation Department

พรเทพ วุฒิวงศ์^{1*} และนคร กกแก้ว¹

Pornthep Wuthiwong^{1*} and Nakhon Kokkaew¹

บทคัดย่อ

“ทุนมนุษย์” ได้กลายเป็นหนึ่งในสินทรัพย์ที่สำคัญขององค์กรในปัจจุบัน การศึกษานี้ใช้แนวคิดของการพัฒนาทุนมนุษย์ที่เน้นการพัฒนาในด้าน “ความรู้ ทักษะ และความสามารถ” นอกจากการพัฒนาทุนมนุษย์แล้ว การรักษาบุคลากรที่ได้รับการพัฒนาแล้วก็มีความสำคัญไม่น้อย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) วิเคราะห์หาระดับความสำคัญขององค์ประกอบหลักของทุนมนุษย์ และปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการรักษาวิศวกรในแต่ละตำแหน่งงานของกรมชลประทาน โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา และ 2) วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อความแตกต่างของระดับความสำคัญขององค์ประกอบ และปัจจัยในการรักษาวิศวกรในแต่ละตำแหน่งงาน โดยใช้สถิติเชิงอนุมานวิธี one-way ANOVA โดยกลุ่มตัวอย่าง คือ วิศวกรของกรมชลประทาน 264 คน ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างให้ระดับความสำคัญลำดับสูงสุดกับองค์ประกอบของทุนมนุษย์ต่อไปนี้ 1) ความรู้พื้นฐานด้านวิศวกรรมศาสตร์ 2) ทักษะด้านมนุษย์ และ 3) ความสามารถในการแยกแยะ กำหนด และหาทางแก้ปัญหาโดยใช้หลักความรู้ด้านวิศวกรรม

คำสำคัญ: ทุนมนุษย์ ความรู้ ทักษะ ความสามารถ วิศวกรชลประทาน

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Received: 27 May 2022, Revised: 5 July 2022, Accepted: 5 July 2022

Abstract

“Human capital or HC” has become one of the organization’s most important assets today. This study refers to the concept of human capital that focuses on the development of “knowledge, skills and abilities”. Retention of human capital developed personnel is also important because personnel can apply their knowledge, skills and abilities to the operations of the organization. The objectives of this research are (1) to find the important levels of the HC components and factors affecting the retainment of civil and irrigation engineers of the Royal Irrigation Department, and (2) to analyze the factors differentiating the importance levels of the HC components and retainment of the engineers in different positions. Descriptive statistics were used to analyze the key components of HC and the factors affecting the development and retainment of engineers. One-way ANOVA was then used as the inferential statistics to analyze the key factors affecting the differences in the importance levels of key components of HC and the retainment of engineers in each job position. The sample group consisted of 264 Royal Irrigation Department engineers. The results showed that the sample group put the highest score on the following HC components: 1) basic engineering knowledge, 2) human skills, and 3) the ability to define and solve the problems using engineering knowledge.

Keywords: Human capital, Knowledge, Skill, Ability, Irrigation engineer,

บทนำ

กรมชลประทานเป็นหนึ่งในหน่วยงานสำคัญของภาครัฐที่มีบทบาทสำคัญในการบริหารจัดการน้ำและการชลประทานของประเทศ จากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจได้ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณความต้องการใช้น้ำ การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านน้ำให้มีความมั่นคง ทัวถึง และเท่าเทียม ถือเป็นภารกิจที่สำคัญในการสนับสนุนกิจกรรมทางเศรษฐกิจและสังคม จึงได้กำหนดแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาของกรมชลประทาน (พ.ศ. 2560-2579) ประกอบด้วย 5 ยุทธศาสตร์ ซึ่งในยุทธศาสตร์ที่ 5 มุ่งเน้นการพัฒนาองค์ความรู้ ศักยภาพบุคลากร ระบบงาน และการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการชลประทาน เพื่อก้าวไปสู่องค์กรอัจฉริยะ (intelligent organization) ตลอดจนการพัฒนาสมรรถนะขององค์การและบุคลากรเพื่อการเป็นองค์กรอัจฉริยะ พร้อมสรรหาบุคลากรรุ่นใหม่เพื่อขับเคลื่อนองค์การในอนาคต และปรับปรุงระบบการบริหารทรัพยากรบุคคลให้รับกับบริบทและพลวัตการเปลี่ยนแปลงของโลก เช่น ผลกระทบจากสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ต้องปรับเปลี่ยนเนื่องจากการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (covid-19) เป็นต้น

สำหรับการพัฒนาองค์ความรู้และศักยภาพบุคลากรให้บรรลุเป้าประสงค์ของแผนยุทธศาสตร์นั้น จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์ในการทำงาน (mindsets) เพื่อให้บุคลากรเป็นผู้ใฝ่รู้

มีองค์ความรู้ใหม่ ๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนากระบวนการ (processes) ตลอดจนการพัฒนา กลุ่มทักษะ (skill sets) ที่เหมาะสมกับระดับงาน เช่น ทักษะเชิงเทคนิค ทักษะในการทำงานร่วมกันกับผู้อื่น รวมถึงทักษะการบริหารจัดการ เป็นต้น (กรมชลประทาน, 2560) ซึ่งเป็นมุมมองจากการบริหารทรัพยากรมนุษย์สู่การพัฒนาทุนมนุษย์ในระดับองค์การ

นอกจากเงินทุนหรืองบประมาณแล้ว “ทุนมนุษย์” ได้กลายเป็นหนึ่งในสินทรัพย์เชิงกลยุทธ์ที่สำคัญในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของทุกองค์การในปัจจุบัน และในระดับประเทศเอง ก็มีตัวอย่างให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้ายทุนมนุษย์ เช่น การอพยพของนักวิชาการชาวเวียดนามจากสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีไปประเทศสหรัฐอเมริกาในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งส่งผลต่อการพัฒนาความก้าวหน้าด้านงานวิจัยของมหาวิทยาลัยชั้นนำของประเทศสหรัฐอเมริกาในช่วงหลังจากนั้น (Cole, 2016)

ที่ผ่านมาคำว่า “ทุนมนุษย์” นั้นมีนิยามและองค์ประกอบของทุนมนุษย์ที่แตกต่างกันออกไป โดยการศึกษาที่ใช้แนวคิดของการพัฒนาทุนมนุษย์ที่เน้นการพัฒนาใน 3 ด้าน ได้แก่ ความรู้ ทักษะ และความสามารถ นอกจากความจำเป็นที่องค์การต้องมีการลงทุนพัฒนาทุนมนุษย์อย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีขีดความสามารถที่เหมาะสมกับการดำเนินงานขององค์การในแต่ละช่วงเวลา การรักษาบุคลากรที่ได้รับการพัฒนาทุนมนุษย์แล้วให้อยู่กับองค์การนั้น ๆ ก็มีความสำคัญไม่แพ้กัน ทั้งนี้เพื่อให้บุคลากรที่ได้รับการพัฒนามีคุณสมบัติความรู้ ทักษะ และความสามารถ นำสิ่งเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ในการดำเนินงานขององค์การให้มีขีดความสามารถในการแข่งขันที่สูงขึ้น แม้ว่าการพัฒนาความรู้จะเป็นภารกิจหลักของหน่วยงานด้านการศึกษา ความรู้บางอย่างก็มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือหากไม่ได้นำไปใช้งานอย่างต่อเนื่องก็มีแนวโน้มที่จะลดลงตามเวลา (Machado and Davim, 2014)

ในส่วนของทักษะและความสามารถนั้น แม้จะมีทฤษฎีและการศึกษาอย่างแพร่หลาย เช่น งานศึกษาของ Katz (1974) เป็นต้น ที่ระบุถึงความสำคัญของทักษะในแต่ละด้านของแต่ละระดับงาน แต่องค์ประกอบของทักษะและความสามารถที่สำคัญในแต่ละบริบทขององค์การอาจมีความแตกต่างกัน เช่น โครงสร้างองค์การ วัฒนธรรมองค์การ เป็นต้น อีกทั้งการศึกษาทางด้านวิทยาการจัดการ (management science) ที่มีตัวแปรด้านมนุษย์หรือปัจเจกบุคคลนั้นมีความซับซ้อนและยากที่จะสร้างตัวแบบให้ได้ข้อมูลที่แท้จริงเหมือนการศึกษาเหมือนด้านวิทยาศาสตร์กายภาพและเทคโนโลยี (Hendry, 2013) นั่นจึงเป็นที่มาของการศึกษาที่ต้องการศึกษาถึงการพัฒนาและรักษาทุนมนุษย์ในบริบทของกรมชลประทานของไทย เพื่อให้หน่วยงานได้นำผลการศึกษาไปใช้เป็นข้อมูลและแนวทางในการพัฒนาบุคลากรให้เหมาะสมตามแผนยุทธศาสตร์ที่ได้วางไว้

จากที่ได้กล่าวมา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ 1) เพื่อวิเคราะห์หาระดับความสำคัญ (importance level) ขององค์ประกอบหลักของทุนมนุษย์ (knowledge skills and abilities: KSAs) และปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการรักษาของวิศวกรในแต่ละตำแหน่งงาน โดยใช้บริบทของกรมชลประทานเป็นองค์การกรณีศึกษา โดยใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่อวิเคราะห์หาระดับความสำคัญขององค์ประกอบและปัจจัยที่มีผลต่อการรักษาทุนมนุษย์ และ 2) เพื่อวิเคราะห์ถึงปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความแตกต่างของระดับความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบของทุนมนุษย์และปัจจัยที่ส่งผลต่อการรักษาวิศวกรในแต่ละระดับตำแหน่งงาน โดยใช้สถิติเชิงอนุมานโดยวิธี one-way ANOVA

โครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านน้ำในความรับผิดชอบของกรมชลประทานมีหลายอย่าง เช่น เขื่อน อ่างเก็บน้ำ ฝาย ประตูระบายน้ำ และคลองส่งน้ำ การก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านน้ำเหมือนกับโครงการก่อสร้างอื่น ๆ ที่ต้องใช้ทรัพยากรในการผลิต ทรัพยากรที่สำคัญในการผลิตประกอบด้วย แรงงานและบุคลากร (men) วิธีการ (method หรือ management) เครื่องจักร (machines) และวัสดุ (materials) หรือที่เรียกว่า 4Ms (Favi *et al.*, 2017) โดยทั้ง 4 ปัจจัยที่กล่าวมาล้วนมีต้นทุนและค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น ที่ผ่านมากกรมชลประทานได้รับการจัดสรรงบประมาณเพื่อพัฒนาและบริหารโครงสร้างพื้นฐานทางด้านน้ำ ซึ่งมีแนวโน้มของการได้รับการจัดสรรงบประมาณที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี โดยในปีงบประมาณ 2560 ได้รับงบประมาณ 52,919 ล้านบาท และเพิ่มขึ้นเป็น 75,583 ล้านบาทในปี 2564 ซึ่งงบประมาณส่วนใหญ่เป็นงบลงทุน 67,937 ล้านบาท (90 เปอร์เซ็นต์) แม้ว่าการก่อสร้างของกรมชลประทานส่วนใหญ่ในปัจจุบันได้ใช้วิธีออกแบบ ประมูลงาน และก่อสร้าง หรือที่เรียกว่า design-bid-build (DBB) โดยกรมชลประทานเป็นผู้ออกแบบ และเชิญชวนให้เอกชนมาประมูลงานก่อสร้าง และใช้สัญญาก่อสร้างในการบริหารโครงการ แต่บุคลากรของกรมชลประทานก็ยังต้องรับผิดชอบในงานก่อสร้างอื่น ๆ ควบคุมและตรวจการจ้างโครงการก่อสร้างที่ใช้สัญญาก่อสร้าง ทำให้บุคลากรของกรมชลประทานส่วนหนึ่ง ซึ่งได้แก่วิศวกรที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างของชลประทานมีความสำคัญต่อการพัฒนากรมชลประทาน

ในอดีตมีแนวคิดการบริหารทรัพยากรมนุษย์มักมองว่า “บุคลากร” คือ ค่าใช้จ่ายที่จำเป็นขององค์กร ซึ่งอาจเป็นมุมมองที่ค่อนข้างเป็นลบ เพราะบุคลากรในปัจจุบันมีทั้ง “ความรู้ และทักษะในการทำงาน” ซึ่งถือเป็นทุนมนุษย์ (human capital) ตามแนวคิดของ Schultz (1961) อีกทั้งยังสามารถพัฒนาต่อไปได้โดยการลงทุนในการเรียนรู้และฝึกฝน แม้ว่าทุนมนุษย์เองจะเป็นสินทรัพย์ที่ไม่สามารถจับต้องเหมือนกับทุนอื่น ๆ เช่น เงินทุน และที่ดิน ทฤษฎีด้านทุนมนุษย์เริ่มต้นจากการศึกษาตัวแปรด้านมนุษย์ (human as production variables) ที่ส่งผลต่อผลการดำเนินงานขององค์กร เช่น การศึกษาของ Maslow (1943) ที่เน้นเรื่องความต้องการของมนุษย์ และงานศึกษาของ Argyris (1960) ที่ศึกษาถึงผลของการพัฒนาบุคลากรที่เป็นรูปธรรมในองค์กร เป็นต้น

สำหรับนิยามของคำว่า “ทุนมนุษย์” พบว่ามีนิยามที่แตกต่างกัน โดย Becker (1964) ซึ่งเป็นผู้บุกเบิกคนหนึ่งในการศึกษาเรื่องทุนมนุษย์ ได้ให้ความหมายของ “ทุนมนุษย์” ว่าเป็นองค์ความรู้ ทักษะ และความสามารถซึ่งฝังอยู่ในแต่ละบุคคลที่เกิดจากการลงทุนในการการศึกษาอบรม และประสบการณ์ ส่วนการพัฒนาทุนมนุษย์ Becker (1964) มองว่าเป็นการตัดสินใจเลือกการพัฒนาตนเองที่เน้นการพิจารณาจากผลประโยชน์ที่จะได้รับและต้นทุนของการลงทุน โดยผลประโยชน์อาจอยู่ในรูปที่เป็นตัวเงินและไม่เป็นตัวเงิน

ในประเทศไทยพบว่ามีนักวิชาการหลายท่านได้ให้นิยามไว้ ตัวอย่างเช่น อารงค์ดี (2550) ที่นิยามความหมายของทุนมนุษย์ ว่าเป็นความรู้ ทักษะ และความสามารถ ที่ก่อให้เกิดความชำนาญขึ้นกับบุคคลนั้น ๆ ผ่านประสบการณ์และวิธีต่าง ๆ จนเกิดเป็นสิ่งที่มีความสามารถนำไปสร้างความได้เปรียบเหนือคนอื่น ๆ ส่วนศิริชัย (2552) นิยามทุนมนุษย์ว่าเป็น ผลรวมของทักษะ ความรู้ ความสามารถ และคุณสมบัติเฉพาะส่วนบุคคล โดยเกิดจากการเสริมสร้าง สั่งสม และรวบรวมมาตั้งแต่เยาว์วัย เริ่มจากครอบครัว สังคม โรงเรียน และสถาบันการศึกษาในระดับต่าง ๆ รวมถึงการเรียนรู้จากประสบการณ์ผ่านกิจกรรมทั้งแบบที่เป็นทางการและไม่เป็นทางการ เป็นต้น

สำหรับองค์ประกอบของ “ทุนมนุษย์” ที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้ตามแนวคิดของ Becker (1964) และอาร์รงค์ดี (2550) ซึ่งประกอบด้วย ความรู้ ทักษะ และความสามารถของบุคลากรในองค์กรนั้น ๆ รายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบของทุนมนุษย์ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นดังต่อไปนี้

ความรู้ (knowledge) ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มนุษย์ให้ความสำคัญมาอย่างยาวนานแม้จะไม่สามารถจับต้องได้ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตลอดเวลาในปัจจุบัน ซึ่ง Drucker (1999) ได้มองว่าความรู้จะกลายเป็นทรัพยากรที่สำคัญของการทำงานในทศวรรษที่ 21 มุมมองนี้ได้รับการยอมรับเป็นวงกว้าง ผู้บริหารหลายองค์การได้นำแนวคิดนี้ในการสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน

ราชบัณฑิตยสถาน (2546) ได้ให้นิยามว่าความรู้เป็นข้อมูลที่สะสม ผสมผสาน จากการศึกษาเล่าเรียน การค้นคว้า ประสบการณ์ การได้ยิน ได้ฟัง และนำมาผ่านกระบวนการทางความคิดของแต่ละบุคคล ส่วนนักวิชาการ เช่น ทิพวรรณ (2548) กล่าวว่า ความรู้เป็นกรอบของการประสมประสานระหว่างสถานการณ์ ค่านิยม ความรู้ในบริบท และความรู้แจ้งอย่างชัดเจน ซึ่งโดยทั่วไปความรู้จะอยู่ใกล้ชิดกับกิจกรรมมากกว่าข้อมูล ส่วนอลิศรา (2546) มองว่า ความรู้ คือ ข้อเท็จจริงซึ่งแต่ละบุคคลได้มาจากการสะสมประสบการณ์ การรับรู้ ความคุ้นเคย ความเข้าใจ โดยที่แต่ละบุคคลอาจมีความรู้แตกต่างกันออกไป

องค์ประกอบของความรู้ที่จำเป็นในการทำงาน (working knowledge) โดยเฉพาะในสาขาวิศวกรรมศาสตร์นั้น ประกอบด้วย ความรู้พื้นฐาน และความรู้เทคนิคเฉพาะทาง ความรู้พื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการวิศวกรรมนั้น Mitcham (1998) อ้างถึงการแบ่งประเภทขององค์ความรู้ของ accreditation board for engineering and technology (ABET) ที่รับรองหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ของประเทศสหรัฐอเมริกา ว่าองค์ความรู้ที่จำเป็นสำหรับหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ ประกอบด้วย 1) องค์ความรู้พื้นฐานทางด้านวิทยาศาสตร์ (mathematics and basic sciences) 2) องค์ความรู้ด้านมนุษยและสังคมศาสตร์ (humanities and social sciences) และ 3) องค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรม โดยองค์ความรู้ด้านวิศวกรรม (engineering topics) ยังแบ่งออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ 3.1) ความรู้วิทยาศาสตร์เชิงวิศวกรรม (engineering sciences) และ 3.2) ความรู้ที่เกี่ยวกับการออกแบบทางวิศวกรรมศาสตร์ (engineering designs) ในทำนองเดียวกัน ตามระเบียบคณะกรรมการสภาวิศวกรว่าด้วยองค์ความรู้พื้นฐานทางด้านวิทยาศาสตร์ องค์ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม และองค์ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรม ที่สภาวิศวกรจะให้การรับรองปริญญา ประกาศนียบัตร หรือวุฒิบัตรในการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม พ.ศ. 2562 ได้กำหนดองค์ความรู้พื้นฐานสาขาวิศวกรรมของหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ ประกอบด้วย 1) องค์ความรู้พื้นฐานทางด้านวิทยาศาสตร์ 2) องค์ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม และ 3) องค์ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรม โดยในการศึกษานี้ได้ใช้องค์ประกอบของความรู้ที่ประกอบด้วย 1) พื้นฐานความรู้วิทยาศาสตร์เชิงวิศวกรรม 2) องค์ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม และ 3) องค์ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรม

สำหรับองค์ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรมที่จำเป็นสำหรับวิศวกรของกรมชลประทานที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างนั้น การศึกษานี้ใช้วิธีรวบรวมข้อมูลจากการศึกษาที่ผ่านมา เช่น การศึกษาของ Makulsawatudom *et al.* (2004) Hughes and Thrope (2014) Dixit *et al.* (2017) และ Tilley and Mcfallan (2000) เป็นต้น โดยแบ่งองค์ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรมที่จำเป็นสำหรับวิศวกรของกรมชลประทานที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างออกเป็น 1) ความรู้การจัดการเครื่องมือและเครื่องจักร

ในการก่อสร้าง 2) ความรู้ด้านการบริหารงานก่อสร้าง 3) ความรู้ด้านการวางแผนงานก่อสร้าง และ 4) ความรู้ด้านเทคนิคการก่อสร้าง

ทักษะ (skills) เป็นสิ่งที่มนุษย์ต่างเข้าใจถึงความสำคัญมาตลอดเพราะเป็นสิ่งที่พัฒนาต่อจากความรู้ เป็นการนำความรู้มาพัฒนาให้เหมาะสมกับงานที่ได้รับมอบหมาย และสามารถพัฒนาได้มากขึ้นหากมีการฝึกปฏิบัติ เช่น ทักษะในการพูด ทักษะในการเขียน เป็นต้น

สำหรับนิยามของทักษะ Odusami (2002) นิยามว่าเป็นการทำงานให้ดีขึ้นกว่าคนทั่วไปและความสามารถในการนำความรู้มาเปลี่ยนเป็นการกระทำ เช่น การสื่อสาร การมีปฏิสัมพันธ์อย่างมีประสิทธิภาพในทุกระดับขององค์กร ส่วนนพรัตน์ (2547) นิยามว่าเป็นความชำนาญ ความถูกต้องและความรวดเร็วในการปฏิบัติงานอย่างใดอย่างหนึ่งของบุคคล ซึ่งแสดงออกได้อย่างชำนาญในรูปแบบของความคล่องแคล่ว ถูกต้อง และเหมาะสม จนเกิดเป็นการยอมรับของบุคคลทั่วไป และฉันทนา (2544) มองว่า ทักษะ คือ ความรู้ในการกระทำ ที่ก่อให้เกิดไหวพริบและความฉลาดในการปฏิบัติงานนั้นได้ดีจนสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ทักษะสำหรับการทำงานนั้นยังแบ่งออกได้หลายรูปแบบ Katz (1974) ได้แบ่งกลุ่มของทักษะออกเป็น 1) ทักษะด้านความคิด (conceptual skills) 2) ทักษะทางด้านมนุษย์ (human skills) และ 3) ทักษะด้านเทคนิค (technical skills)

นอกจากนี้ยังมีจากการศึกษาของ Zaharim *et al.* (2009) ที่ได้ศึกษาองค์ประกอบด้านทักษะที่จำเป็นของวิศวกรของหลายประเทศในทวีปเอเชีย เช่น ประเทศมาเลเซีย ญี่ปุ่น ฮองกง และสิงคโปร์ โดยได้ศึกษาทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานของวิศวกรในด้านการสื่อสาร ด้านการแก้ปัญหา ด้านมนุษยสัมพันธ์ ในประเทศญี่ปุ่น จากการศึกษาของ Nguyen *et al.* (2005) พบว่าทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ก็เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของทักษะที่จำเป็นในการทำงาน โดยในสถานการณ์ปัจจุบันที่ได้รับผลกระทบจากการระบาดของโรค covid-19 ทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศจึงถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำงานและติดต่อสื่อสาร

นอกจากบริบทหรือสถานที่ในการทำงานที่แตกต่างกันซึ่งส่งผลต่อความจำเป็นของทักษะที่แตกต่างกัน การศึกษาของ Katz (1974) ยังแสดงให้เห็นถึงความต้องการของทักษะที่แตกต่างกันของแต่ละระดับงาน ตัวอย่างเช่น ระดับงานในระดับผู้จัดการระดับล่าง (junior managers) อาจจะต้องการทักษะด้านเทคนิคที่มากกว่าผู้จัดการระดับกลาง (middle managers) เป็นต้น

ในการศึกษานี้ใช้องค์ประกอบของทักษะที่ได้ศึกษารวบรวมจากการศึกษาของ Katz (1974) Zaharim *et al.* (2009) และ Nguyen *et al.* (2005) ซึ่งประกอบด้วย 1) ทักษะด้านการสื่อสาร (communication skills) 2) ทักษะด้านการแก้ปัญหา (problem solving skills) 3) ทักษะด้านมนุษย์ และแบ่งระดับของระดับงานออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ วิศวกรปฏิบัติการ (P1) วิศวกรชำนาญการ (P2) และวิศวกรชำนาญการพิเศษ (P3) ตามแนวคิดของ Katz (1974)

ความสามารถ (abilities) ของมนุษย์นั้นเป็นสิ่งที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม Schultz (1975) ได้พยายามให้นิยามว่า ความสามารถเป็นหลาย ๆ อย่างที่อยู่ในตัวคนทั้งที่ติดตัวมาแต่กำเนิด หรือเกิดจากการเรียนรู้สะสม คุณลักษณะเหล่านี้เป็นคุณลักษณะที่มีค่า เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่ทำให้มนุษย์โดดเด่นกว่าสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ และอาจเป็นลักษณะพิเศษแล้วแต่บุคคล

ราชบัณฑิตยสถาน (2539) ให้ความหมายว่า ความสามารถเป็นคุณลักษณะที่เหมาะสมต่อการกระทำสิ่งใดสิ่งหนึ่ง เป็นการปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ หรือหน้าที่การทำงานที่ได้รับมอบหมายของแต่ละบุคคลให้ประสบผลสำเร็จ โดยขึ้นอยู่กับพื้นฐาน ความรู้ ทักษะ และประสบการณ์เรียนรู้ของแต่ละบุคคลในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

ในส่วนความสามารถสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการทำงานด้านวิศวกรรมนั้น Mitcham (1998) ได้อ้างถึงเกณฑ์ของ ABET ประกอบด้วย 1) ความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้พื้นฐานที่จำเป็นในทางวิศวกรรม 2) ความสามารถในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีความรู้ด้านวิศวกรรม 3) ความสามารถในการทำงานเป็นทีมซึ่งต้องทำงานกับคนหลากหลายสาขาอาชีพ 4) ความสามารถในการแยกแยะกำหนด และหาทางแก้ไขปัญหโดยใช้หลักความรู้ด้านวิศวกรรม 5) ความสามารถในการสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ 6) ความสามารถในการใช้เทคนิคและทักษะทางวิศวกรรมสมัยใหม่

นอกจากนี้จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมายังพบว่าองค์ประกอบของความสามารถที่น่าสนใจอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง เช่น ความสามารถดูแลบุคลากรในด้านสุขภาพและความปลอดภัย และความสามารถในการตัดสินใจ (Soekiman *et al.*, 2011; Dixit *et al.*, 2017) เป็นต้น องค์ประกอบที่สำคัญของความรู้ ทักษะ และความสามารถ สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของ KSAs ของวิศวกรที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างของกรมชลประทาน

มิติของ ทฤษฎี	องค์ประกอบ	ที่มาและเอกสารอ้างอิง
ความรู้	K1: ความรู้วิทยาศาสตร์เชิงวิศวกรรม	Mitcham (1998)
	K2: ความรู้พื้นฐานด้านวิศวกรรมศาสตร์	ระเบียบคณะกรรมการสภา
	K3: ความรู้การจัดการเครื่องมือและเครื่องจักรในการก่อสร้าง	วิศวกร (2562)
	K4: ความรู้ด้านการบริหารงานก่อสร้าง	Hughes and Thorpe (2014)
	K5: ความรู้ด้านการวางแผนงานก่อสร้าง	Dixit <i>et al.</i> (2017)
	K6: ความรู้ด้านเทคนิคการก่อสร้าง	Tilley and Mcfallan (2000)
ทักษะ	S1: ทักษะด้านการสื่อสาร	Katz (1974)
	S2: ทักษะด้านการแก้ปัญหา	Zaharim <i>et al.</i> (2009)
	S3: ทักษะด้านมนุษย์	Nguyen <i>et al.</i> (2005)
ความสามารถ	A1: ความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้พื้นฐานที่จำเป็นในทางวิศวกรรม	Mitcham (1998)
	A2: ความสามารถในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีความรู้ด้านวิศวกรรม	Soekiman <i>et al.</i> (2011)
	A3: ความสามารถในการทำงานเป็นทีมซึ่งต้องทำงานกับคนหลากหลายสาขาอาชีพ	Dixit <i>et al.</i> (2017)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

มิติของ ทุนมนุษย์	องค์ประกอบ	ที่มาและเอกสารอ้างอิง
	A4: ความสามารถในการแยกแยะ กำหนด และ หาทางแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักความรู้ด้าน วิศวกรรม	
	A5: ความสามารถในการสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ	
	A6: ความสามารถในการใช้เทคนิคทางวิศวกรรม	
	A7: ความสามารถดูแลบุคลากรในด้านสุขภาพและ ความปลอดภัย	
	A8: ความสามารถในการตัดสินใจ	

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาและการเก็บรวบรวมข้อมูลจัดทำโดยใช้แบบสอบถามซึ่งเป็นข้อคำถามแบบตัวเลือก (checklist) และใช้มาตรวัดแบบ likert scale 5 ระดับ วัดระดับความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม มีการทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (content validity) ของแบบสอบถาม เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (index of item-objective congruence: IOC) ระหว่างข้อคำถามกับคุณลักษณะตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยทำการทดสอบกับผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน และทดสอบความเชื่อมั่น (reliability) โดยการนำผลการตอบแบบสอบถามมาวิเคราะห์หาค่าความสอดคล้องภายในด้วยค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (cronbach's alpha coefficient) โดยปัจจัยที่มีค่าตั้งแต่ 0.70 ขึ้นไป ถือว่าปัจจัยนั้นมีความเชื่อมั่น ซึ่งข้อคำถามทั้งหมดมีค่ามากกว่า 0.70

ผู้วิจัยได้คำนวณกำหนดจำนวนของกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการกำหนดกลุ่มตัวอย่างตามข้อเสนอของ Yamane (1967) ที่ระดับค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ร้อยละ 5 ซึ่งขนาดของกลุ่มตัวอย่างต่ำสุดที่มีความเหมาะสมและเพียงพอ ต้องไม่น้อยกว่า 196 ตัวอย่าง ($n = 196$) การวิจัยครั้งนี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากข้าราชการตำแหน่งวิศวกรโยธาและตำแหน่งวิศวกรชลประทานของกรมชลประทาน 306 ท่าน มีการตอบกลับมารวม 264 ท่าน คิดเป็นร้อยละ 86.27 ของจำนวนแบบสอบถามที่ส่งไปทั้งหมด

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้ 1) ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) โดยใช้ค่าความถี่ (frequency) ร้อยละ (percentage) ค่าเฉลี่ย (average) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อวิเคราะห์ระดับความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบ และระดับความสำคัญของปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการพัฒนาทุน และ 2) ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงอนุมาน (inferential statistics) เพื่อทดสอบสมมติฐานด้วยวิธี one-way ANOVA โดยใช้การทดสอบ F-test และการทดสอบ t-test เนื่องจากผู้วิจัยไม่ทราบถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและความแปรปรวนในระดับประชากร จึงได้ทำการทดสอบ F-test เพื่อใช้ในการอนุมานความแปรปรวนในระดับประชากรด้วย

ผลการวิจัย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลบุคลากรกรมชลประทานจำนวนทั้งสิ้น 305 ท่าน มีการตอบแบบสอบถามทั้งหมด 264 ท่าน คิดเป็นร้อยละ 86.56 ของจำนวนแบบสอบถามทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิหลังของกลุ่มตัวอย่าง (n = 264)

รายการ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1. เพศ		
ชาย	233	88.26
หญิง	31	11.74
รวม	264	100.00
2. ระดับการศึกษา		
ปริญญาตรี	179	67.80
ปริญญาโท	82	31.06
ปริญญาเอก	3	1.14
รวม	264	100.00
3. อายุ		
ข้าราชการที่มีอายุ 21-30 ปี	66	25.00
ข้าราชการที่มีอายุ 31-40 ปี	106	40.15
ข้าราชการที่มีอายุ 41-50 ปี	73	27.65
ข้าราชการที่มีอายุ 51-60 ปี	19	7.20
รวม	264	100.00
4. ระดับ		
วิศวกรปฏิบัติการ	158	59.85
วิศวกรชำนาญการ	69	26.14
วิศวกรชำนาญการพิเศษ	37	14.01
รวม	264	100.00

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเห็นด้านความรู้ที่จำเป็นสำหรับการก่อสร้างงานชลประทานจำแนกตามตำแหน่งงาน เป็นดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเห็นด้านความรู้

องค์ประกอบ	ระดับ					
	P1		P2		P3	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD
K1: ความรู้วิทยาศาสตร์เชิงวิศวกรรม	3.83	1.17	3.94	1.03	4.14	0.79
K2: ความรู้พื้นฐานด้านวิศวกรรมศาสตร์	4.11	1.17	4.22	1.10	4.49	0.77
K3: ความรู้การจัดการเครื่องมือและ เครื่องจักรในการก่อสร้าง	3.73	1.15	3.87	1.04	3.76	1.09
K4: ความรู้ด้านการบริหารงานก่อสร้าง	3.91	1.22	4.11	1.08	4.00	0.99
K4.1: ความรู้ด้านการประมาณและ ควบคุมต้นทุนและราคางาน ก่อสร้าง	3.89	1.22	4.06	1.12	3.76	1.06
K4.2: ความรู้ด้านการบริหารแผนงาน ก่อสร้าง	3.89	1.22	4.10	1.06	3.81	1.00
K4.3: ความรู้ด้านการควบคุมคุณภาพ งานก่อสร้าง	3.98	1.25	4.19	1.06	4.19	0.81
K4.4: ความรู้ด้านการบริหารความเสี่ยง โครงการ (risk management)	3.84	1.17	4.00	1.06	4.00	1.00
K4.5: ความรู้ด้านสัญญา ระเบียบ กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการ ก่อสร้าง	3.97	1.25	4.20	1.12	4.22	1.06
K5: ความรู้ด้านการวางแผนงานก่อสร้าง	3.79	1.18	3.91	1.03	3.46	1.13
K5.1: ความรู้ด้านเทคนิค วิธีในการ วางแผนงานก่อสร้าง เช่น วิธี critical path method (CPM) เป็นต้น	3.75	1.20	3.91	1.03	3.41	1.19
K5.2: ความรู้ด้านเทคนิค วิธีในการ วางแผนงบประมาณโครงการ เช่น วิธี s-curve เป็นต้น	3.82	1.16	3.91	1.03	3.51	1.07
K6: ความรู้ด้านเทคนิคการก่อสร้าง	3.82	1.18	4.12	1.06	4.00	1.08

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเห็นด้านทักษะที่จำเป็น
สำหรับการก่อสร้างงานชลประทานจำแนกตามตำแหน่งงาน เป็นดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเห็นด้านทักษะ

องค์ประกอบ	ระดับ					
	P1		P2		P3	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD
S1: ทักษะการสื่อสาร	3.89	1.05	4.05	0.89	4.09	0.82
S1.1: ทักษะในการฟัง	3.89	1.04	4.12	0.87	4.38	0.76
S1.2: ทักษะในการนำเสนองานเป็นกลุ่ม	3.85	1.05	3.93	0.99	4.11	0.81
S1.3: ทักษะในการพูดสื่อสาร	4.01	1.10	4.12	0.87	4.14	0.71
S1.4: ทักษะการสื่อสารด้วยภาษาเขียน	3.79	1.00	4.03	0.84	3.73	0.99
S2: ทักษะการแก้ปัญหา	3.93	1.08	4.10	1.00	4.16	0.78
S2.1: ทักษะด้านกาคิดเชิงกลยุทธ์	3.89	1.08	4.09	1.00	4.16	0.69
S2.2: ทักษะด้านการคิดวิเคราะห์	3.97	1.07	4.10	1.00	4.16	0.87
S3: ทักษะด้านมนุษย์	3.98	1.09	4.07	1.02	4.22	0.83
S3.1: ทักษะด้านความเป็นผู้นำ	3.99	1.07	4.12	1.04	4.32	0.85
S3.2: ทักษะด้านการปรับตัว	3.99	1.09	4.09	0.97	4.22	0.85
S3.3: ทักษะด้านความฉลาดทางอารมณ์	3.99	1.13	4.13	1.04	4.11	0.84
S3.4: ทักษะด้านการเจรจาต่อรอง	3.93	1.07	3.94	1.03	4.22	0.79

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเห็นด้านความสามารถที่จำเป็นสำหรับการก่อสร้างงานชลประทานจำแนกตามตำแหน่งงาน เป็นดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเห็นด้านความสามารถ

องค์ประกอบ	ระดับ					
	P1		P2		P3	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD
A1: ความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้พื้นฐานที่จำเป็นในทางวิศวกรรม	3.97	1.00	4.00	1.00	4.32	0.75
A2: ความสามารถในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีความรู้ด้านวิศวกรรม	3.85	1.05	3.99	0.96	4.24	0.76
A3: ความสามารถในการทำงานเป็นทีมซึ่งต้องทำงานกับคนหลากหลายสาขาอาชีพ	3.98	0.98	4.12	0.92	4.30	0.78
A4: ความสามารถในการแยกแยะ กำหนด และหาทางแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักความรู้ด้านวิศวกรรม	4.09	0.97	4.13	0.92	4.32	0.85
A5: ความสามารถในการสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ	4.02	0.95	4.12	0.95	4.05	0.91
A6: ความสามารถในการใช้เทคนิคทางวิศวกรรม	3.92	1.03	4.06	0.92	4.03	0.76

ตารางที่ 5 (ต่อ)

องค์ประกอบ	ระดับ					
	P1		P2		P3	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD
A7: ความสามารถแลบุคลากรในด้านสุขภาพและความปลอดภัย	4.03	0.98	3.99	0.98	4.16	0.90
A8: ความสามารถในการตัดสินใจ	4.06	1.02	4.16	0.99	4.27	0.90

การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ภูมิหลังของกลุ่มตัวอย่าง และผลการวิเคราะห์ระดับความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบและระดับความสำคัญของปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการรักษาชีวิตกรโยธาและวิศวกรชลประทาน กรมชลประทาน

1. การวิเคราะห์ภูมิหลังของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิหลังของกลุ่มตัวอย่างเป็นดังแสดงในตารางที่ 2 โดยพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชายร้อยละ 88.26 ส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 31-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 40.15 ด้านระดับการศึกษาส่วนใหญ่สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 67.80 ด้านระดับงาน พบว่าส่วนใหญ่เป็นวิศวกรปฏิบัติการ (P1) คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 59.85 รองลงมาเป็นวิศวกรชำนาญการ (P2) คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 26.14

2. ผลการวิเคราะห์ระดับความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบและระดับความสำคัญของปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการรักษาชีวิตกรโยธาและวิศวกรชลประทาน กรมชลประทาน

ผลการวิเคราะห์ระดับความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบและระดับความสำคัญของปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการพัฒนาชีวิตกรโยธาและวิศวกรชลประทาน กรมชลประทาน เป็นดังแสดงในตารางที่ 3-6

ผลการวิเคราะห์ระดับความเห็นด้านความรู้ที่จำเป็นสำหรับการก่อสร้างงานชลประทาน จำแนกตามตำแหน่งงาน (ตารางที่ 3) พบว่าวิศวกรระดับปฏิบัติการ (P1) ระดับชำนาญการ (P2) และระดับชำนาญการพิเศษ (P3) โดยเฉลี่ยให้ความสำคัญกับความรู้พื้นฐานด้านวิศวกรรมศาสตร์ (K2) มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.11 4.22 และ 4.49 ตามลำดับ ซึ่งเป็นองค์ความรู้ในขั้นปัดัน ๆ ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ ในส่วนองค์ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรม พบว่าความรู้ในการบริหารงานก่อสร้างที่เกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพงานก่อสร้างและสัญญา ระเบียบ กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง มีความสำคัญในลำดับต้น ๆ ดังนั้นในการอบรมพัฒนาบุคลากรของกรมชลประทาน (training and development) อาจมุ่งเน้นการอบรมที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพงานก่อสร้างและสัญญา ระเบียบ กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง ในส่วนของความรู้พื้นฐานด้านวิศวกรรมศาสตร์ อาจจะต้องปรับปรุงการดำเนินการสรรหาบุคลากร (recruitment) เพื่อให้ได้ผู้ที่มีความรู้พื้นฐานที่ดีเพียงพอต่อการทำงานในอนาคต

จากการวิเคราะห์ระดับความเห็นด้านทักษะที่จำเป็นสำหรับการก่อสร้างงานชลประทาน จำแนกตามตำแหน่งงาน (ตารางที่ 4) พบว่าวิศวกรระดับปฏิบัติการและระดับชำนาญการพิเศษ ให้ความสำคัญกับทักษะด้านมนุษย์ (S3) มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 3.98 และ 4.22 ตามลำดับ

และจากการวิเคราะห์ระดับความเห็นด้านความสามารถที่จำเป็นสำหรับการก่อสร้างงานชลประทานจำแนกตามตำแหน่งงาน (ตารางที่ 5) พบว่าวิศวกรระดับปฏิบัติการให้ความสำคัญกับความสามารถในการแยกแยะ กำหนด และหาทางแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักความรู้ด้านวิศวกรรม (A4) มากที่สุด วิศวกรระดับชำนาญการให้ความสำคัญกับความสามารถในการตัดสินใจ (A8) มากที่สุด และ วิศวกรระดับชำนาญการพิเศษให้ความสำคัญกับความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้พื้นฐานที่จำเป็นในทางวิศวกรรม (A1) และความสามารถในการแยกแยะ กำหนด และหาทางแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักความรู้ด้านวิศวกรรม (A4)

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านองค์ประกอบที่สำคัญทั้ง 3 ด้าน พบว่าวิศวกรข้าราชการทั้ง 3 ระดับตำแหน่งต่างให้ความสำคัญไปในทิศทางเดียวกัน โดยผู้วิจัยคาดว่าอาจเป็นวิศวกรทั้ง 3 ระดับ ตำแหน่งต่างทำงานด้วยกันไม่มีการแบ่งแยกหน้าที่ชัดเจนโดยมุ่งเน้นที่ผลสำเร็จของงานเท่านั้นจึงให้ความสำคัญไปในทิศทางเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (Thailand science research and innovation fund (TSRI) (CU_FRB640001_01_21_3)

เอกสารอ้างอิง

- กรมชลประทาน. (2560). *คู่มือการปฏิบัติงาน*. กรุงเทพฯ: กรมชลประทาน.
- ฉันทนา พินิจจันทร์. (2544). *การใช้ทักษะที่จำเป็นในการให้บริการส่งเสริมสุขภาพของพยาบาล ในโรงพยาบาลสังกัดกระทรวงสาธารณสุข เขต 2*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทิพวรรณ หล่อสุวรรณรัตน์. (2548). *องค์การแห่งการเรียนรู้ จากแนวคิดสู่การปฏิบัติ*. กรุงเทพฯ: แชนพรีพริ้นติ้ง.
- อัครศักดิ์ คงสวัสดิ์. (2550). *ทุนมนุษย์: การกำหนดตัวชี้วัดเพื่อพัฒนา*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- นพรัตน์ ศรีจันทร์. (2547). *ทักษะการบริหารงานของผู้บริหารโรงเรียน สังกัดสำนักงานเขต พื้นที่การศึกษาเลย เขต 1*. เลย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.
- ระเบียบคณะกรรมการสภาวิศวกร ว่าด้วยองค์ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ องค์ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม และองค์ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรม ที่สภาวิศวกรจะให้การรับรองปริญญา ประกาศนียบัตร หรือวุฒิบัตรในการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม พ.ศ. 2562. (2562, 18 ตุลาคม). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 136 ตอนพิเศษ 259. หน้า 1-4.

- ราชบัณฑิตยสถาน. (2539). *พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2539*. กรุงเทพฯ: อักษรเจริญทัศน์.
- ราชบัณฑิตยสถาน. (2546). *พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน*. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คส์พับลิเคชั่นส์.
- ศิริชัย กาญจนวาสี. (2552). *ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สยามรัฐ. (2563). *ปักหมุดงบประมาณปี 64 เพิ่มพื้นที่ชลประทาน หนุนประชาชนรับประโยชน์กว่า 2 ล้านครัวเรือน*. สืบค้นเมื่อ 3 ตุลาคม 2564, จาก: <https://siamrath.co.th/n/175737>.
- อลิศรา กฤษมาณิต. (2546). *ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติต่อเด็กตามอนุสัญญาว่าด้วยสิทธิเด็กของครูสังกัดสำนักงานการประถมศึกษาจังหวัดชลบุรี*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.
- Argyris, C. (1960). *Understanding organizational behavior*. Illinois: Dorsey Press.
- Becker, G.S. (1964). *Human capital: A theoretical and empirical analysis, with special reference to education*. New York: National Bureau of Economic Research.
- Cole, J.R. (2016). *Toward a more perfect university*. New York: Public Affairs.
- Dixit, S., Pandey, A.K., Mandal, S.N. and Bansal, S. (2017). A study of enabling factors affecting construction productivity: Indian scenario. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(6), 741-758.
- Drucker, P.F. (1999). Knowledge-worker productivity: The biggest challenge. *California Management Review*, 41, 79-94, doi: <https://doi.org/10.2307/41165987>.
- Favi, C., Germani, M. and Marconi M. (2017). A 4M approach for a comprehensive analysis and improvement of manual assembly lines. *Procedia Manufacturing*, 11, 1510-1518, doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.283>.
- Hendry, J. (2013). *Management: A very short introduction*. Oxford: Oxford University Press.
- Hughes, R. and Thrope, D. (2014). A review of enabling factors in construction industry productivity in an Australian environment. *Construction Innovation*, 14(2), 210-228, doi: <https://doi.org/10.1108/CI-03-2013-0016>.
- Katz, R. (1974). *Skills of an effective administrator*, Massachusetts: Harvard Business Review.
- Machado, C. and Davim, J.P. (2014). *Transfer and management of knowledge*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Makulsawatudom, A., Emsley, M. and Sinthawanarong, K. (2004). Critical factors influencing construction productivity in Thailand. *The Journal of King Mongkut's University of Technology Thonburi*, 14(3), 1-6.
- Maslow, A.H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50(4), 370-396, doi: <https://doi.org/10.1037/h0054346>.
- Mitcham, C. (1998). The importance of philosophy to engineering. *Journal of Philosophy*, 17(3), 27-47.

- Nguyen, D.N., Yoshinari, Y. and Shigeji. M. (2005). University education and employment in Japan students' perceptions on employment attributes and implications for university education. *Quality Assurance in Education*, 13(3), 202-218, doi: <https://doi.org/10.1108/09684880510607945>.
- Odusami, K.T. (2002). Perceptions of construction professionals concerning important skills of effective project leaders. *Journal of Management in Engineering*, 18(2), 61-67, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2002\)18:2\(61\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2002)18:2(61)).
- Schultz, T.W. (1961). Investment in human capital. *American Economic Review*, 51(1), 1-17.
- Schultz, T.W. (1975). The value of the ability to deal with disequilibrium. *Journal of Economic Literature*, 13(3), 827-846.
- Soekiman, A., Pribadi, K.S., Soemardi, B.W. and Wirahadikusumah, R.D. (2011). Factors relating to labor productivity affecting the project schedule performance in Indonesia. *Procedia Engineering*, 14, 865-873, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.110>.
- Tilley, P. and Mcfallan, S. (2000). Design and documentation quality survey. Melbourne: *CSIRO Building, Construction and Engineering*.
- Yamane, T. (1967). *Statistics: An introductory analysis*. (2nd ed). New York: Harper and Row Publishing.
- Zaharim, A., Mohamed, A., Yusoff, Y.M. and Muhamad, N. (2009). Engineering employability skills required by employers in Asia. In *proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Engineering Education*, pp. 195-201. Wisconsin: World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS).

การพัฒนาต้นแบบเครื่องผสมน้ำยางพารา กึ่งอัตโนมัติ Prototype Development of a Semi-automatic Latex Mixer

พัชรินทร์ อินทมาส¹ อภิคันย์ ศิริพันธ์¹ สมหมาย ศรีสุข² ธนาภรณ์ เมืองมุงคุณ¹
ณัฐพงศ์ สุขสวัสดิ์³ และพรหมพักตร์ บุญรักษา^{4*}
Patcharin Intamas¹ Apisan Siripan¹ Sommai Srisuk² Tanaporn Muangmongkul¹
Nattapong Sooksawat³ and Promphak Boonraksa^{4*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบเครื่องผสมน้ำยางพารา กึ่งอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดการใช้แรงงาน ลดเวลาการทำงานของชาวสวนยางพารา และเพิ่มความแม่นยำในการผสมน้ำยางพารา โดยระบบการทำงานของเครื่องผสมน้ำยางพาราเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติใช้หลักการตวงน้ำยางพารา น้ำ (H_2O) และกรดฟอร์มิก (CH_2O_2) ลงในถังผสม และเมื่อส่วนผสมต่าง ๆ มีปริมาณตามที่ผู้ใช้งานตั้งค่าไว้ คำสั่งจะถูกส่งไปที่มอเตอร์ (motor) ให้ปั่นส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน จากนั้นน้ำยางพาราที่ผสมแล้วจะถูกปล่อยลงมายังตะก (ถาดแม่พิมพ์) ที่เตรียมไว้ จากการทดสอบความแม่นยำในการวัดปริมาณในถังผสมน้ำยางพาราและน้ำในส่วนที่ 1 พบว่าถ้าปล่อยน้ำยางพาราลงในถังตวงของเครื่องผสมน้ำยางกึ่งอัตโนมัติปริมาณ 2.75 กิโลกรัม เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำยางพารามีค่าเท่ากับ 0.25 และถ้าน้ำลงในถังตวงของเครื่องผสมน้ำยางพารา กึ่งอัตโนมัติปริมาณ 2.25 กิโลกรัม เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำยางพารามีค่าเท่ากับ 1.18 ในส่วนที่ 2 เป็นการผสมกันของน้ำยางพาราและน้ำในปริมาณ 5 กิโลกรัม จากนั้นเครื่องจะปล่อยกรดฟอร์มิกปริมาณ 0.06 กิโลกรัม เมื่อทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.60 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนของเวลาที่ใช้ในการผสมขั้นตอนที่ 1 และ 2 เฉลี่ยอยู่ที่ 2.55 และ 2.57 วินาที ตามลำดับ ถือว่าใช้เวลาในการผสมน้อยและความคลาดเคลื่อนมีค่าที่สามารถยอมรับได้ ทำให้สามารถประหยัดเวลาในการทำงาน รวมไปถึงช่วยลดแรงงานในการผสมน้ำยางพาราอีกด้วย

คำสำคัญ: ยางพารา เครื่องผสมกึ่งอัตโนมัติ ค่าความแม่นยำ

¹ สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

² สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

³ บริษัท แคร่เน็ต อินเทอร์เน็ตเซ็นแนล จำกัด

⁴ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

* Corresponding author e-mail: promphak.boob@bkkthon.ac.th

Received: 1 May 2022, Revised: 11 July 2022, Accepted: 18 July 2022

Abstract

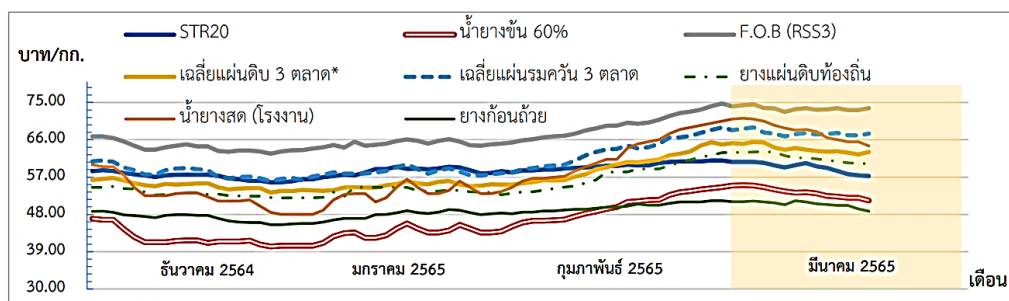
This research is to develop a prototype of a semi-automatic rubber latex mixer. The objective of this work aims to reduce labor usage and reduce the working time of rubber farmers. As well as increase the accuracy of mixing the rubber. The working system of the latex mixer is semi-automatic which uses the principle of measuring latex, water (H_2O), and formic acid (CH_2O_2) in the mixing tank with the ingredients. There is a quantity that the user has set. The command will be sent to the Motor to blend all the ingredients together. Then the mixed rubber latex will be released into Takong (Mold tray) prepared. From the test of the measurement accuracy in the mixing tank Part 1 in the test of the measurement accuracy in the rubber and water mixing tank, it was found that if the latex was released into the tank the volume. Volume of the semi-automatic latex mixer is 2.75 kg percent, the tolerance of the Para rubber will be 0.25 and if water is put into the 2.25 kg of the semi-automatic latex mixer, the percentage tolerance of the rubber will be equal to 1.18. Part 2 is a mixture of latex and water. In the amount equal to 5 kg, then 0.06 kg of formic acid was released and the experiment was carried out 10 times and the percentage tolerance was 0.60%. 1st and 2nd place averaged 2.55 s and 2.57 s, respectively. It takes less time to mix and tolerance is an acceptable value making it possible to save time in working, including helping to reduce labor in mixing parasol as well.

Keywords: Rubber, Semi-automatic mixer machine, Accuracy

บทนำ

ยางพารานับเป็นสินค้าการเกษตรที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งสร้างรายได้มากกว่า 2 แสนล้านบาทต่อปี และเชื่อมโยงต่อการพัฒนาเศรษฐกิจระดับชุมชน อันเป็นรากฐานสำคัญต่อความมั่นคงด้านเศรษฐกิจของประเทศ (คณะกรรมการนโยบายยางธรรมชาติ, 2552; คณะกรรมาธิการการเกษตรและสหกรณ์สภานิติบัญญัติแห่งชาติ, 2562; นิภาส และคณะ, 2562) ในประเทศไทยพบว่า มีเกษตรกรตลอดจนผู้ที่ทำธุรกิจเกี่ยวข้องกับยางพาราประมาณ 1 ล้านครอบครัว คิดเป็นจำนวนไม่น้อยกว่า 6 ล้านคน และเป็นประเทศที่ส่งออกยางพาราและผลิตภัณฑ์ยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก นับตั้งแต่พ.ศ. 2534 เป็นต้นมา (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน), 2552) จากข้อมูลการผลิตยางแปรรูปและผลิตภัณฑ์ยางพาราปีพ.ศ. 2564 ไตรมาสที่ 3 (กรกฎาคม-กันยายน) พบว่าไทยผลิตยางพาราแปรรูป 498,874 ตัน เพิ่มขึ้นจากไตรมาสที่ 2 ของปีพ.ศ. 2564 ร้อยละ 22.15 และเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.40 เมื่อเทียบกับปีพ.ศ. 2563 ในช่วงเวลาเดียวกัน (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2564) ในส่วนสถานการณ์ราคายางพาราเมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2565 ราคายางพาราภาพรวมปรับตัวเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ผ่านมา โดยราคาประมูลยางแผ่นดิบเฉลี่ยอยู่ที่ 63.88 บาทต่อ

กิโลกรัม ปรับตัวเพิ่มขึ้น 3.67 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 5.10 และราคายางแผ่นรมควันอยู่ที่ 67.63 บาทต่อกิโลกรัม ปรับตัวเพิ่มขึ้น 3.68 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 5.75 ราคายางพารา ท้องถิ่นเฉลี่ยอยู่ที่ 61.76 บาทต่อกิโลกรัม ปรับตัวเพิ่มขึ้น 3.69 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 6.35 ราคาน้ำยางพาราสดอยู่ที่ 68.20 บาทต่อกิโลกรัม ปรับตัวเพิ่มขึ้น 4.42 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 6.93 และราคายางก้อนถ้วย 100 เปอร์เซ็นต์ อยู่ที่ 50.43 บาทต่อกิโลกรัม ปรับตัวเพิ่มขึ้น 0.36 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.72 ดังแสดงในภาพที่ 1 (กองวิจัยเศรษฐกิจยาง ฝ่ายเศรษฐกิจยาง การยางแห่งประเทศไทย, 2565)



ภาพที่ 1 สถานการณ์ราคาน้ำยางพาราสดเดือนมีนาคม พ.ศ. 2565

ที่มา: กองวิจัยเศรษฐกิจยาง ฝ่ายเศรษฐกิจยาง การยางแห่งประเทศไทย, 2565

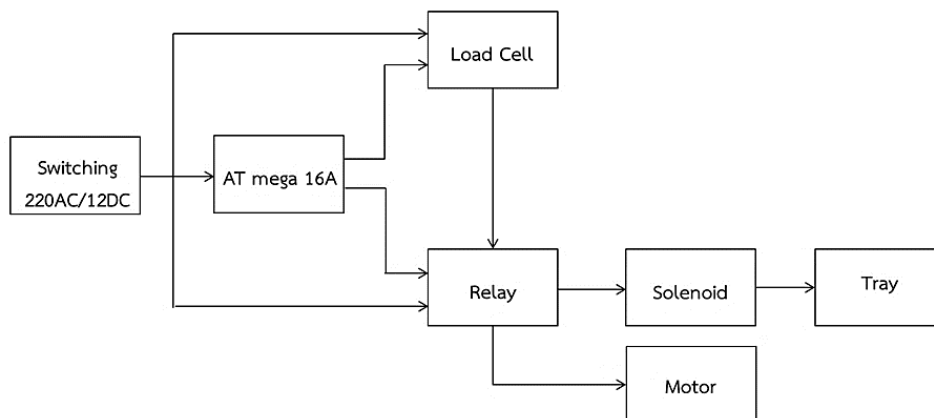
เนื่องจากความต้องการใช้ยางพาราในอุตสาหกรรมยานยนต์และอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากน้ำยางพารา ซึ่งได้ทำการผลิตออกขายทางการค้าในปัจจุบันนี้มีหลายชนิด เช่น ตี๊กต่ายาง ลูกโป่ง ลูกมียาง และกาว (adhesive) จากน้ำยางพารา เป็นต้น (สถาบันวิจัยยาง, 2554) ดังนั้นจึงต้องการให้น้ำยางพาราที่นำมาทำการผลิตเป็นวัตถุดิบต่าง ๆ มีความหนืดที่ดี หมายถึง น้ำยางพาราสดที่มีคุณภาพดี เพื่อให้สินค้ามีความทนทานสูง เนื่องจากภาคได้มียางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลัก ซึ่งมีวิธีการขายอยู่ 2 วิธีหลัก ๆ คือ การแปรรูปเป็นยางแผ่น และการขายน้ำยางพาราสด ในที่นี้จะพูดถึงการแปรรูปยางแผ่นดิบ โดยการแปรรูปเป็นยางแผ่นดิบนั้นมีการผสมน้ำของน้ำยางพารา น้ำ (H_2O) และน้ำกรดฟอร์มิค (CH_2O_2) แล้วนำส่วนผสมเทลงตะก (ถาดแม่พิมพ์) ปัญหาของเกษตรกรคือขั้นตอนการผสมน้ำยางพารานั้นไม่มีความแม่นยำ โดยบางครั้งส่วนผสมอาจจะขาดหรือเกิน ทำให้น้ำยางพาราในตะกแข็งตัวไม่พร้อมกันและขนาดแผ่นไม่เท่ากัน ทำให้ใช้เวลามากเนื่องจากต้องใช้หลายขั้นตอนในการแปรรูปยางแผ่นดิบ (ณัฐพงศ์ และคณะ, 2547)

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาและสร้างเครื่องผสมน้ำยางพาราแบบกึ่งอัตโนมัติซึ่งมีต้นทุนต่ำ เพื่อผสมน้ำยางพาราให้ได้มาตรฐานสำหรับใช้ในการแปรรูปยางแผ่นดิบ โดยเครื่องผสมน้ำยางพาราแบบกึ่งอัตโนมัตินี้จะช่วยให้เกษตรกรรายย่อยที่ผลิตยางแผ่นดิบผสมน้ำยางพาราได้อย่างแม่นยำ และช่วยประหยัดเวลาในการผสมน้ำยางพารา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบและสร้างเครื่องผสมน้ำยาพาราแบบกึ่งอัตโนมัติ

ในการออกแบบการทำงานของเครื่องผสมน้ำยาพาราแบบกึ่งอัตโนมัติ มีบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่อง แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องผสมน้ำยาพาราแบบกึ่งอัตโนมัติ

วงจรที่ใช้ในการสร้างเครื่องผสมน้ำยาแบบกึ่งอัตโนมัติ ประกอบไปด้วยวงจรต่าง ๆ ดังนี้

1.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ในส่วนของวงจรจะทำการแปลงไฟด้วยหม้อแปลง จากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 12 โวลต์ และผ่านวงจรเรกติไฟร์เออร์ (rectifier) เพื่อทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 12 โวลต์ เอาต์พุต 1 ในส่วนของวงจรจ่ายไฟฟ้า 12 โวลต์จะใช้ไอซี AVR ATMEGA 16 เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ ที่เข้ามาให้เหลือ 12 โวลต์



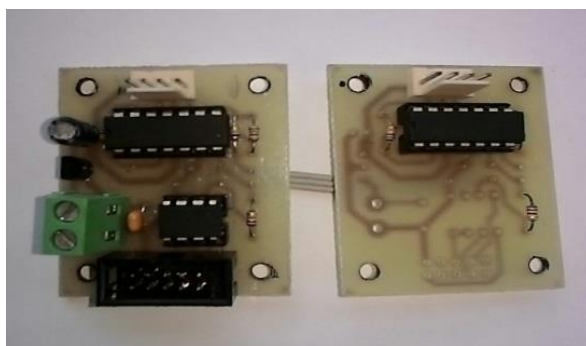
ภาพที่ 3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า

1.2 วงจรของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด AVR ATMEGA 16 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีขนาด 40 ขา มีขาสัญญาณที่สามารถนำมาใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตได้ทั้งหมด 30 ขา ซึ่งออกแบบไว้ตามลักษณะของกระบวนการทำงาน ซึ่งจะประกอบด้วยวงจรพื้นฐานที่จำเป็น เช่น แหล่งจ่ายไฟฟ้า วงจรรีเซ็ต วงจรกำเนิดความถี่สัญญาณนาฬิกา 10 เมกะเฮิร์ตซ์ วงจรสำหรับดาวน์โหลดโปรแกรม แบบ ICD2 โดยในส่วนของเอาต์พุตจะให้ LED เป็นตัวแสดงสถานการณ์ทำงาน เพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 4 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

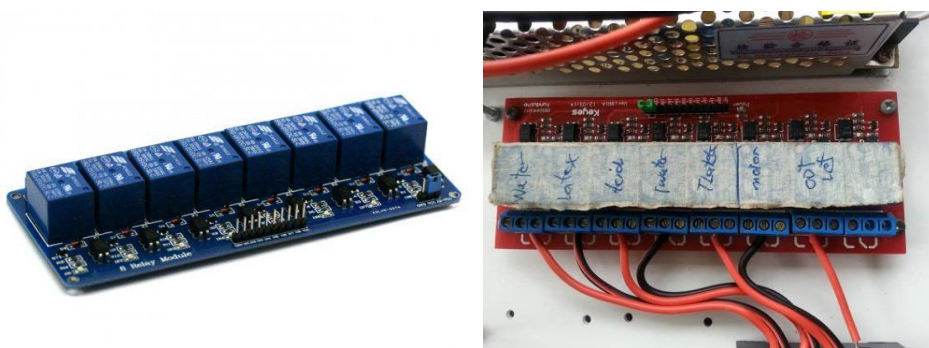
1.3 วงจรชั่งตวง เป็นวงจรที่สร้างขึ้นเพื่อชั่งตวงปริมาณน้ำอย่างพาราและน้ำให้ทำงานตามที่โปรแกรมตั้งเอาไว้ โดยใช้ไอซี LM 324 N เป็นตัวควบคุมการทำงานของโหนดเซลล์ หรือตาชั่งดิจิตอลในการประเมินค่าน้ำหนักของน้ำอย่างพาราและน้ำที่จะไหลลงสู่ถังตวง



ภาพที่ 5 วงจรถังตวงโดยใช้ไอซี LM 324 N

1.4 วงจรรีเลย์ 12 โวลต์ โดยควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้ากับอุปกรณ์ชิ้นต่าง ๆ ซึ่งรีเลย์รับคำสั่งจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้อุปกรณ์ชิ้นต่าง ๆ ทำงาน โดยใช้รีเลย์สั่งการ ทั้งหมด 7 ตัว คือ

- รีเลย์ตัวที่ 1 ควบคุมการทำงานโซลินอยด์ของน้ำ
- รีเลย์ตัวที่ 2 ควบคุมการทำงานโซลินอยด์ของน้ำยางพารา
- รีเลย์ตัวที่ 3 ควบคุมการทำงานโซลินอยด์ของกรดฟอร์มิก
- รีเลย์ตัวที่ 4 ควบคุมการทำงานโซลินอยด์ที่ถังตวงน้ำ
- รีเลย์ตัวที่ 5 ควบคุมการทำงานโซลินอยด์ที่ถังตวงน้ำยางพารา
- รีเลย์ตัวที่ 6 ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในถังผสม
- รีเลย์ตัวที่ 7 ควบคุมการทำงานโซลินอยด์ที่ถังผสม



ภาพที่ 6 วงจรรีเลย์

2. การควบคุมการทำงานของเครื่องผสมน้ำยางพาราแบบกึ่งอัตโนมัติ

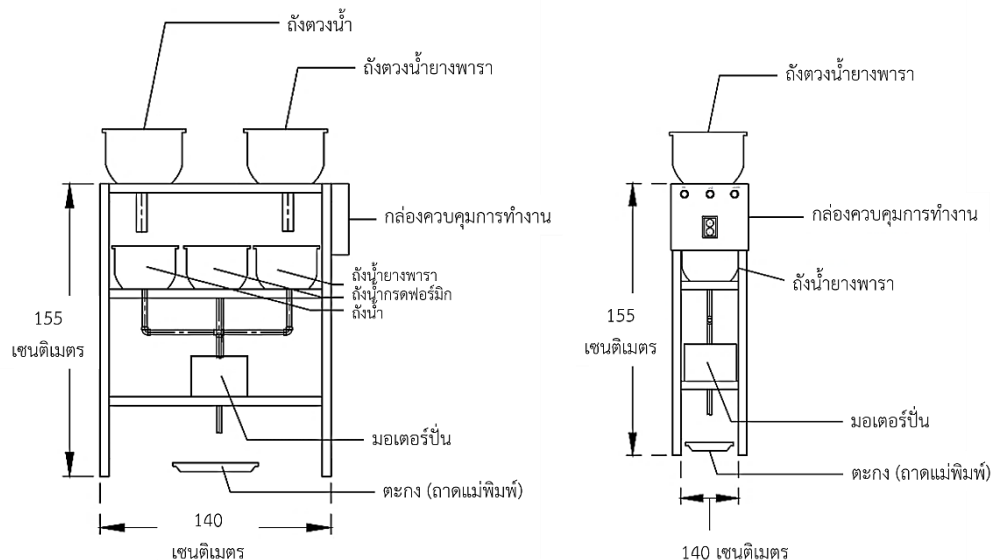
การควบคุมเริ่มต้นจากการรับค่าจากสวิตช์เพื่อเริ่มการทำงาน หากไม่ใช่จะทำการตรวจสอบการรับค่าจากสวิตช์ใหม่ ถ้าใช่จะทำการตรวจสอบน้ำยางพารา หากไม่มีน้ำยางพาราจะมีสัญญาณเตือนดังขึ้น จากนั้นเครื่องจะทำการตวงน้ำยางพาราปริมาณ 2.75 ลิตร น้ำปริมาณ 2.25 ลิตร และน้ำกรดฟอร์มิกปริมาณ 30 มิลลิลิตร ลงมายังถังตวงปริมาณแต่ละถังจนครบ หากถังใดถังหนึ่งมีไม่ตรงตามกำหนด กระบวนการทำงานจะทำการตรวจสอบปริมาณในถังตวงและทำงานจนกว่าส่วนผสมจะมีปริมาณตรงตามกำหนด แล้วจึงทำงานขั้นตอนต่อไป คือ การปล่อยส่วนผสมที่ได้ทั้งหมดลงมายังถังผสมเพื่อปั่นส่วนผสมให้เข้ากัน เมื่อกระบวนการปั่นเสร็จสิ้นจะมีสัญญาณเตือนเพื่อตรวจจับตะกบ และถ้าไม่มีตะกบ จะมีสัญญาณเตือนและกระบวนการจะหยุดจนกว่าจะตรวจสอบว่ามีตะกบหรือไม่ และถ้าไม่มีตะกบ กระบวนการจะไม่ทำงานต่อจนกว่าจะตรวจพบตะกบ เพื่อเทส่วนผสมในถังผสมลงไปที่ตะกบ เมื่อกระบวนการทั้งหมดเสร็จสิ้นจะมีสัญญาณเตือนอีกครั้ง และเริ่มต้นกระบวนการใหม่ต่อไป ขั้นตอนการควบคุมการทำงานของเครื่องผสมน้ำยางพาราแบบกึ่งอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการควบคุมการทำงานของเครื่องผสมน้ำยางพารากิ่งอัตโนมัติ

3. ออกแบบและสร้างโครงสร้างหลักของเครื่องผสมน้ำยาพาราแก๊สอัตโนมัติ

ในการออกแบบโครงสร้างหลักของเครื่องผสมน้ำยาพาราแก๊สอัตโนมัติได้คำนึงถึงการทำงานที่สะดวกสบายของผู้ใช้ และความคงทนแข็งแรงต่อสภาวะแวดล้อมในการทำงาน โดยโครงสร้างมีขนาดความสูง 155 เซนติเมตร กว้าง 40 เซนติเมตร และยาว 120 เซนติเมตร เพื่อให้กระบวนการทำงานทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์แบบที่สุด โดยมีอุปกรณ์หลัก ๆ ได้แก่ ถังพักน้ำยาพาราที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ความลึก 40 เซนติเมตร และบรรจุน้ำได้ 45 ลิตร ถังพักน้ำกรดฟอร์มิคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความลึก 28 เซนติเมตร และบรรจุน้ำได้ 18 ลิตร ซึ่งสามารถทนต่อปฏิกิริยาของน้ำกรดฟอร์มิคได้ ส่วนถังตวงน้ำยาพาราและถังตวงน้ำ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความลึก 25 เซนติเมตร และบรรจุน้ำได้ 18 ลิตร ถังผสมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร ความลึก 25 เซนติเมตร และบรรจุน้ำได้ 10 ลิตร ตะกั่ว มีความกว้าง 22 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร และมีความลึก 8 เซนติเมตร โดยบรรจุส่วนผสมได้ 5 ลิตร และกล่องควบคุมมีขนาดความกว้าง 29 เซนติเมตร ความลึก 12 เซนติเมตร และความสูง 39 เซนติเมตร ส่วนมอเตอร์ปั่นส่วนผสมมีขนาด 12 โวลต์ หมุน 100 รอบต่อนาที



ภาพที่ 8 โครงสร้างของเครื่องผสมน้ำยาพาราแก๊สอัตโนมัติจากโปรแกรม auto CAD



ภาพที่ 9 เครื่องผสมน้ำยางพาราแก๊สอัตโนมัติ

4. การวัดค่าความถูกต้องหรือความแม่นยำ (accuracy) ของการทำงานของเครื่องผสมน้ำยางพาราแก๊สอัตโนมัติ

โดยค่าความแม่นยำหรือความถูกต้องของการทำงานนั้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการทำงานของเครื่องมือ โดยงานวิจัยนี้ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องจำนวน 10 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลดังสมการ (1) และคำนวณหาความแม่นยำ (accuracy) ของการทำงานของเครื่องผสมน้ำยางพาราแก๊สอัตโนมัติ ดังสมการ (2) ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมากแสดงว่าการทำงานของเครื่องไม่แม่นยำ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนน้อยแสดงว่าการทำงานของเครื่องมีความแม่นยำ โดยผู้วิจัยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้อยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ (วิเชียร, 2541; วิทยาลัยทองสุข, 2556)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (1)$$

โดยที่ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย
 N คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดสอบ
 X_i คือ ค่าที่ได้จากการทดสอบ

$$(\Delta x) = \left| \frac{X_b - X_a}{X_a} \right| \quad (2)$$

โดยที่ X_a คือ ค่าที่ต้องการ
 X_b คือ ค่าจริงที่วัดได้

ผลการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องผสมน้ำยางพาราแก๊สอัตโนมัติ ในงานวิจัยนี้ ใช้ค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดประสิทธิภาพ และทำการทดสอบซ้ำ 10 ครั้ง เพื่อยืนยันผลการทดสอบ โดยการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การทดสอบการทำงานในส่วนของการเติมน้ำยางพาราปริมาณ 2.75 กิโลกรัม และส่วนของน้ำปริมาณ 2.25 กิโลกรัม ลงในถังตวง เพื่อหาค่าเวลาของการตวง ปริมาณที่ได้จากการตวง และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการตวง ได้ผลการทดสอบความแม่นยำของการตวงน้ำยางพาราลงในถังตวง แสดงดังตารางที่ 3 แสดงดังตารางที่ 1 และผลการทดสอบความแม่นยำของการตวงน้ำลงในถังตวง แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ตารางการทดสอบความแม่นยำของการตวงน้ำยางพาราลงในถังตวง

ครั้งที่	เวลา (วินาที)	เติมส่วนผสมลงในถังตวง		ความคลาดเคลื่อน ของปริมาณ น้ำยางพารา (กิโลกรัม)	เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน ของปริมาณ น้ำยางพารา (เปอร์เซ็นต์)
		ปริมาณ น้ำยางพารา ที่ต้องการ (กิโลกรัม)	ปริมาณ น้ำยางพารา ที่วัดได้ (กิโลกรัม)		
1	2.3	2.75	2.75	0.00	0.00
2	2.3	2.75	2.75	0.00	0.00
3	2.4	2.75	2.75	0.00	0.00
4	2.3	2.75	2.77	0.02	0.72
5	2.5	2.75	2.75	0.00	0.00
6	2.5	2.75	2.76	0.01	0.36
7	2.7	2.75	2.78	0.03	1.09
8	2.9	2.75	2.75	0.00	0.00
9	2.9	2.75	2.75	0.00	0.00
10	2.7	2.75	2.76	0.01	0.36
เฉลี่ย	2.55	2.75	2.76	0.01	0.25

จากตารางที่ 1 เมื่อปล่อยน้ำยางพาราลงในถังตวงของเครื่องผสมน้ำยางพาราแก๊สอัตโนมัติ ปริมาณ 2.75 กิโลกรัม พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำยางพาราเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2 ตารางการทดสอบความแม่นยำของการตวงน้ำลงในถังตวง

ครั้งที่	เวลา (วินาที)	เติมส่วนผสมลงในถังตวง		ความคลาดเคลื่อน ของปริมาณน้ำ (กิโลกรัม)	เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน ของปริมาณน้ำ (เปอร์เซ็นต์)
		ปริมาณน้ำ ที่ต้องการ (กิโลกรัม)	ปริมาณน้ำ ที่วัดได้ (กิโลกรัม)		
1	2.3	2.25	2.29	0.04	1.70
2	2.3	2.25	2.27	0.02	0.80
3	2.4	2.25	2.28	0.03	1.30
4	2.3	2.25	2.29	0.04	1.70
5	2.5	2.25	2.28	0.03	1.30
6	2.5	2.25	2.26	0.01	0.40
7	2.7	2.25	2.27	0.02	0.80
8	2.9	2.25	2.27	0.02	0.80
9	2.9	2.25	2.28	0.03	1.30
10	2.7	2.25	2.26	0.01	0.40
เฉลี่ย	2.55	2.25	2.28	0.03	1.18

จากตารางที่ 2 เมื่อปล่อยน้ำลงในถังตวงของเครื่องผสมน้ำยางพาราถึงอัตโนมัติปริมาณ 2.25 กิโลกรัม พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำยางพาราเฉลี่ยเท่ากับ 1.18 เปอร์เซ็นต์

2. การทดสอบน้ำในถังผสมระหว่างน้ำยางพาราและน้ำปริมาณ 5 กิโลกรัม ผสมเข้ากับกรดฟอรั่มิก ปริมาณ 0.06 กิโลกรัม ทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดสอบน้ำในถังผสมระหว่างน้ำยางพาราและน้ำ ผสมเข้ากับกรดฟอรั่มิกในถังตวง

ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ส่วนผสมในถังผสม		ปริมาณ กรด ฟอรั่มิก (กิโลกรัม)	ความคลาด เคลื่อนของ น้ำหนักร ส่วนผสม (กิโลกรัม)	เปอร์เซ็นต์ ความ คลาดเคลื่อน ของน้ำหนักร ส่วนผสม (เปอร์เซ็นต์)
		ปริมาณ น้ำยางพารา ผสมกับน้ำใน ถังผสมที่ต้องการ (กิโลกรัม)	ปริมาณ น้ำยางพารา ผสมกับน้ำ ที่วัดได้ (กิโลกรัม)			
1	2.58	5.06	5.10	0.06	0.04	0.70
2	2.58	5.06	5.08	0.06	0.02	0.30
3	2.57	5.06	5.09	0.06	0.03	0.50
4	2.57	5.06	5.12	0.06	0.06	1.10
5	2.58	5.00	5.09	0.06	0.03	0.50
6	2.58	5.06	5.08	0.06	0.02	0.30
7	2.59	5.06	5.11	0.06	0.05	0.90

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ส่วนผสมในถังผสม		ปริมาณ กรด ฟอสฟอริก (กิโลกรัม)	ความคลาด เคลื่อนของ น้ำหนัก ส่วนผสม (กิโลกรัม)	เปอร์เซ็นต์ ความ คลาดเคลื่อน ของน้ำหนัก ส่วนผสม (เปอร์เซ็นต์)
		ปริมาณ น้ำยาพารา ผสมกับน้ำใน ถังผสมที่ต้องการ (กิโลกรัม)	ปริมาณ น้ำยาพารา ผสมกับน้ำ ที่วัดได้ (กิโลกรัม)			
8	2.57	5.06	5.08	0.06	0.02	0.30
9	2.58	5.06	5.09	0.06	0.03	0.50
10	2.58	5.06	5.11	0.06	0.05	0.90
เฉลี่ย	2.58	5.06	5.10	0.06	0.04	0.60

จากตารางที่ 3 เมื่อทำการทดสอบนำส่วนผสมระหว่างน้ำยาพารากับน้ำ ปริมาณ 5 กิโลกรัม เข้ากับกรดฟอสฟอริก ปริมาณ 0.06 กิโลกรัม ในเครื่องผสมน้ำยาพารากึ่งอัตโนมัติ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักส่วนผสมเฉลี่ยเท่ากับ 0.60 เปอร์เซ็นต์

การอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างเครื่องผสมน้ำยาพารากึ่งอัตโนมัติขึ้นมาเพื่อควบคุมปริมาณส่วนผสมของน้ำยาพาราให้แม่นยำ โดยการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนจะทำการทดสอบ 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย ขั้นตอนที่ 1 เป็นการทดสอบหาความแม่นยำในการตวงน้ำยาพาราและน้ำ พบว่าการตวงน้ำยาพาราปริมาณ 2.75 กิโลกรัม มีค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณน้ำยาพาราเท่ากับ 0.25 เปอร์เซ็นต์ และการตวงน้ำ ลงในถังของเครื่องผสมน้ำยาพารากึ่งอัตโนมัติในปริมาณ 2.25 กิโลกรัม พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำปริมาณน้ำยาพาราเท่ากับ 1.18 เปอร์เซ็นต์ ขั้นตอนที่ 2 เป็นการนำส่วนผสมระหว่างน้ำยาพาราและน้ำปริมาณ 5 กิโลกรัม ผสมเข้ากับกรดฟอสฟอริก ปริมาณ 0.06 กิโลกรัม โดยทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณส่วนผสมอยู่ที่ 0.60 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนของเวลาที่ใช้ในการผสม ขั้นตอนที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.55 และ 2.57 วินาที ตามลำดับ ถือว่าใช้เวลาในการผสมน้อย และค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ ถือว่าเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ เหมาะที่จะนำไปใช้งานเพื่อให้เกษตรกรชาวสวนยางพาราประหยัดเวลาในการผสมน้ำยาพารา และสามารถเพิ่มผลผลิต ทำให้มีรายได้เพิ่มขึ้น รวมไปถึงลดแรงงานในการผสมน้ำยาพาราอีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบทั้งสองขั้นตอนสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องผสมน้ำยาพารากึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นนั้น มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย จึงถือว่าเครื่องทำงานได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ และในส่วนของเวลาที่ใช้ในการผสม ขั้นตอนที่ 1 และ 2 ใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 2.55 และ 2.57 วินาที ตามลำดับ ถือว่าใช้เวลาในการผสมน้อย ซึ่งผลการทดสอบบรรลุตามวัตถุประสงค์

ของงานคือทำการศึกษาและสร้างเครื่องผสมน้ำยางพาราแบบกึ่งอัตโนมัติซึ่งมีต้นทุนต่ำ เพื่อผสมน้ำยางพาราให้ได้มาตรฐานสำหรับใช้ในการแปรรูปยางแผ่นดิบ โดยเครื่องผสมน้ำยางพารากึ่งอัตโนมัตินี้จะช่วยให้เกษตรกรรายย่อยที่ผลิตยางแผ่นดิบผสมน้ำจืดได้อย่างแม่นยำ และช่วยประหยัดเวลาในการผสมน้ำยางพารา

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช และมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการติดตั้งและบันทึกผลการวิจัย รวมทั้งสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กองวิจัยเศรษฐกิจยาง ฝ่ายเศรษฐกิจยาง การยางแห่งประเทศไทย. (2565). *สถานการณ์ยางพารา เดือนมีนาคม 2565*. สืบค้นเมื่อ 15 เมษายน 2565, จาก: http://www.raot.co.th/ewt_dl_link.php?nid=5659.
- คณะกรรมการนโยบายยางธรรมชาติ. (2552). *ยุทธศาสตร์พัฒนายางพารา*. สืบค้นเมื่อ 2 มิถุนายน 2565, จาก: http://rubber.oie.go.th/box/ELib_Document/2552-2556.pdf.
- คณะกรรมการการเกษตรและสหกรณ์สถานิติบัญญัติแห่งชาติ. (2562). ภาพรวมของยางพาราทั้งระบบ. *รายงานการพิจารณาศึกษา*. สำนักเลขาธิการวุฒิสภา.
- ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย นันทวัฒน์ ช่วยคำ และเสาวนีย์ ก่ออุทัยกุลรังษี. (2547). ผลความหนืดของน้ำยางพองน้ำ. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิภาส ลีนะธรรม วีระยุทธ สุดสมบูรณ์ ฉัตรชัย แก้วดี และอดิสร ไกรนรา. (2562). การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่งด้วยแนวคิดลีนซิกซ์ซิกมา: กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางแท่ง. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 38(2), 104-119.
- วิเชียร เกตุสิงห์. (2541). *สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย*. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- วิทยาลัยทองสุข. (2556). การหาค่าเฉลี่ย. *รายงานการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้บริการสารสนเทศสำหรับบุคลากร วิทยาลัยทองสุข ปีการศึกษา 2556*. วิทยาลัยทองสุข.
- สถาบันวิจัยยาง. (2554). *การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากน้ำยางพารา*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). (2552). *ฐานข้อมูลงานวิจัยยางพารา*. สืบค้นเมื่อ 12 เมษายน 2565, จาก: <http://agknowledge.arda.or.th/rubber>.
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2564). *สถานการณ์อุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยาง ไตรมาสที่ 3 (กรกฎาคม-กันยายน) ปี 2564*. สืบค้นเมื่อ 14 เมษายน 2565, จาก: https://www.raot.co.th/download/pdf/predict_rubber_economy_3_64.pdf.

การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะของต้นประ (Elateriospermum tapos) บริเวณ
เส้นทางศึกษาธรรมชาติที่มีภูมิประเทศแตกต่างกันในอุทยานแห่งชาติเขานัน
จังหวัดนครศรีธรรมราช

The Phenology of Parah Tree (*Elateriospermum tapos*) at the
Nature Trail with Different Terrain in Khao Nan National Park,
Nakhon Si Thammarat Province

จุฑามาศ ศุภพันธ์¹ พัฒนพร รินทจักร² วีระเกียรติ ทรัพย์มี³ และวรวิทู มีสุข^{3*}
Juthamas Suppapan¹ Phatthanaporn Rinthajak² Verakiat Supmee³
and Worawitoo Meesook^{3*}

บทคัดย่อ

ต้นประ (*Elateriospermum tapos*) เป็นไม้ต้นที่พบเฉพาะในภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งสามารถนำเมล็ดประมาใช้ประโยชน์ในการแปรรูปเป็นอาหารได้หลายชนิด ต้นประจะมีชีพลักษณะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลโดยปัจจัยหลักที่มีผลต่อชีพลักษณะ คือ การได้รับแสงของเรือนยอดซึ่งมีผลต่อการแตกตาดยอดและการเปลี่ยนสีใบ วัตถุประสงค์ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เพื่อศึกษาชีพลักษณะของต้นประในพื้นที่อำเภอนบพิตำและอำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งขึ้นอยู่ในสภาพภูมิประเทศที่มีผลต่อการได้รับแสงของเรือนยอดที่แตกต่างกัน โดยใช้ตัวอย่างต้นประที่ขึ้นตลอดพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขในอำเภอนบพิตำ (ระดับความสูงจากน้ำทะเลประมาณ 285 เมตร ความชันเฉลี่ย 30 องศา) และเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อในอำเภอนบพิตำ (ระดับความสูงจากน้ำทะเลประมาณ 455 เมตร ความชันเฉลี่ย 45 องศา) เป็นตัวแทนในการศึกษาเส้นทางละ 40 ต้น จากนั้นศึกษาชีพลักษณะเดือนละ 1 ครั้ง รวม 12 เดือน โดยเก็บข้อมูลการเปลี่ยนสีใบ การออกดอก การติดผล และน้ำหนักเมล็ด ผลการศึกษาพบว่าชีพลักษณะของต้นประมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างตามลักษณะภูมิประเทศที่ทำให้เรือนยอดของต้นประรับแสงต่างกัน โดยพื้นที่ศึกษาทั้งสองพื้นที่มีช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะเหมือนกัน 1 เดือน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เช่น การวัดปริมาณแสงบริเวณเรือนยอดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดยิ่งขึ้น ด้านปริมาณผลผลิตของเมล็ดประพบว่าทั้งสองพื้นที่มีปริมาณผลผลิตที่ไม่แตกต่างกัน การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีข้อเสนอแนะว่าควรมีการกำหนดช่วงเวลาในการเก็บผลผลิตในแต่ละพื้นที่เพื่อให้มีการใช้ประโยชน์จากต้นประได้อย่างยั่งยืน

¹ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

² อุทยานแห่งชาติเขานัน จังหวัดนครศรีธรรมราช

³ สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

* Corresponding author e-mail: worawitoo.m@mutsv.ac.th

Received: 28 May 2022, Revised: 6 July 2022, Accepted: 18 July 2022

คำสำคัญ: ชีพลักษณะ ต้นประ อุทยานแห่งชาติเขานัน

Abstract

Parah (*Elateriospermum tapos*) is native to Southern Thailand. The seeds can be used for several kinds of processed food. The phenology of parah features seasonal changes with the main factor of light exposure around their buds affecting budbursts and leaf color. The purpose of this study was to analyze the phenology of parah in Nopphitam district and Tha Sala district, Nakhon Si Thammarat province, which both districts have different conditions of light exposure. The samples of parah were collected in Huai Lek Nature Trail (285 meters above sea level, 30 degrees average slope) and Hin Thor Waterfall Nature Trail (455 meters above sea level, 45 degrees average slope). Forty trees of parah were the representative for each site, and then the phenological analysis was conducted monthly for twelve months consisting of leaf color, flower, and seed weight. The results showed that the different geographical conditions of the two sites affected light exposure of the budbursts having an impact on the phenology of parah. The two sites had different phenological periods of one month. Instead of seed production of parah in both sites, there were no differences in terms of production. This study suggested that a period of seed harvest for each area should be determined for the benefits of sustainability from parah. Therefore, there should be further analysis including measuring light exposure around budbursts to uncover additional data.

Keywords: Phenology, Parah tree, Khao Nan national park

บทนำ

ต้นประ (*Elateriospermum tapos*) จัดเป็นไม้ต้นในวงศ์ Euphorbiaceae เป็นพืชเฉพาะถิ่นที่พบในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้บริเวณป่าดิบชื้นและป่าเบญจพรรณ (Whitmore, 1972; Cranbrook and Edwards, 1994; Osada *et al.*, 2002) ในประเทศไทยพบการกระจายของต้นประเฉพาะในภาคใต้เท่านั้น (วิสุทธิ์ และรังสิมา, 2550) ประชาชนที่อาศัยรอบพื้นที่ป่าประมีการเก็บผลผลิตจากต้นประมาใช้ประโยชน์โดยการนำเมล็ดที่เกิดจากการแตกของผลประมาแปรรูปเป็นอาหาร เช่น เมล็ดประตอง เมล็ดประทอด และน้ำพริกเมล็ดประ จัดได้ว่าต้นประเป็นพืชเศรษฐกิจระดับชุมชนชนิดหนึ่ง (ปริญญ และคณะ, 2561) ต้นประเป็นพืชที่มีลักษณะพิเศษเฉพาะที่มีการเปลี่ยนแปลงสีไปตามฤดูกาล โดยเฉพาะการเปลี่ยนสีใบซึ่งเกิดจากการแตกตายอดใหม่และพัฒนาเปลี่ยนสีใบเป็นสีชมพู สีเขียวอ่อน และสีเขียวเข้ม ตามลำดับ เมื่อถึงฤดูกาลเปลี่ยนสีใบของต้นประจะทำให้เรือนยอดของต้นประทั่วบริเวณป่าประเปลี่ยนเป็นสีชมพู มีความสวยงาม การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทยจึงบรรจุกิจกรรมการท่องเที่ยวป่าประเปลี่ยนสีไว้ในปฏิทินการท่องเที่ยวของจังหวัดนครศรีธรรมราช

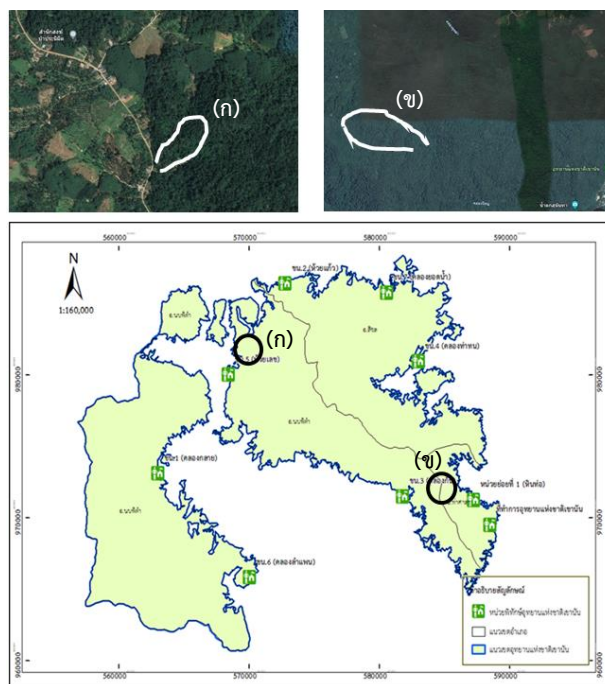
ต้นประมีการแตกตายอดใหม่และเปลี่ยนสีใบพร้อมกันเพื่อลดการสูญเสียน้ำในช่วงฤดูร้อน โดยไม่มีช่วงเวลาเฉพาะเจาะจงซึ่งขึ้นกับปัจจัยภายนอก โดยการแตกตายอดใหม่ในแต่ละปีจะขึ้นอยู่กับปริมาณแสง คือภายใต้แสงจ้าต้นประจะมีการแตกยอดอ่อนมากกว่าแสงน้อยซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเกี่ยวข้องของซีพลักษณะของต้นประที่ตอบสนองต่อปริมาณการได้รับแสงของเรือนยอด (Kuhapong *et al.*, 2011; Reich and Borchert, 1984; Borchert, 1994; Osada *et al.*, 2002) สำหรับการศึกษาซีพลักษณะของต้นประในประเทศไทยมีการรายงานโดย Chumkiew *et al.* (2007) ซึ่งเป็นการศึกษาการเปลี่ยนสีใบและการออกดอกของต้นประ นอกจากนั้นยังมีรายงานการศึกษาการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณะของต้นประในประเศมาเลเซียซึ่งพบว่าแสงมีผลต่อการเปลี่ยนสีของต้นประเช่นเดียวกัน (Riha *et al.*, 2003) ต้นประในจังหวัดนครศรีธรรมราชนั้นมีการแพร่กระจายในสภาพภูมิประเทศที่เป็นป่าดิบชื้นที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลและความชื้นของพื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อมุมและพื้นที่ของเรือนยอดที่ได้รับแสง ดังนั้นเพื่อเป็นการทดสอบสมมติฐานว่าปัจจัยของการได้รับแสงของเรือนยอดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณะของต้นประหรือไม่ การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกพื้นที่ศึกษาโดยเลือกต้นประที่ขึ้นอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลและระดับความชื้นที่ต่างกัน ได้แก่ ต้นประในเส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลข อำเภออบพิดำ และต้นประในเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ อำเภอท่าศาลา โดยทั้งความสูงจากระดับน้ำทะเลและความชื้นที่แตกต่างกันจะส่งผลให้เรือนยอดของต้นประในแต่ละพื้นที่ได้รับแสงที่แตกต่างกัน ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณะของต้นประที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิประเทศที่ส่งผลให้เรือนยอดได้รับแสงแตกต่างกันในเส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขและเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ ผลจากการศึกษานี้จะทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการใช้ทรัพยากรต้นประของทั้งสองพื้นที่ให้มีความยั่งยืนต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การคัดเลือกตัวอย่าง

คัดเลือกตัวอย่างต้นประที่ขึ้นตามแนวเส้นทางศึกษาธรรมชาติในพื้นที่อุทยานแห่งชาติเขานัน ได้แก่ เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลข (หน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติ ขน. 5) ตำบลกรุงชิง อำเภออบพิดำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งอยู่บนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง 240-330 เมตร มีความลาดชันเฉลี่ย 30 องศา (Google Earth, 2020) พื้นที่โดยรอบเป็นป่าที่มีแนวยอดเขาที่บดบังการได้รับแสงของเรือนยอดโดยจะได้รับแสงในช่วงเช้าได้ช้าแต่จะได้รับแสงเพิ่มขึ้นในช่วงบ่าย รวมระยะทาง 3.5 กิโลเมตร และเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ (หน่วยย่อยที่ 1 หินท้อ) ตำบลลี้ลงขัน อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง 420-490 เมตร มีความลาดชันเฉลี่ย 45 องศา (Google Earth, 2020) พื้นที่โดยรอบเป็นป่าโปร่งไม่มีแนวยอดเขาที่บดบังการได้รับแสงของเรือนยอด ซึ่งจะได้รับแสงได้เร็วในช่วงเช้าและได้รับแสงตลอดทั้งวันเนื่องจากเป็นป่าโปร่งและไม่มีภูเขาบัง รวมระยะทาง 2.5 กิโลเมตร (ภาพที่ 1) ในแต่ละพื้นที่ศึกษาทำการคัดเลือกต้นประเพื่อเป็นตัวแทนในการศึกษาซีพลักษณะเส้นทางละ 40 ต้น โดยคัดเลือกจากต้นประที่มีความโตระดับอก (DBH) มากกว่า 50 เซนติเมตร มีความสูงเกิน 20 เมตร เรือนยอดปกคลุมสมบูรณ์ มีความกว้างของเรือนยอดมากกว่า 10 เมตร และมีจำนวนกิ่งมากกว่า 10 กิ่ง จากนั้นระบุพิกัดของ

ต้นประทีเป็นตัวแทนศึกษาด้วยระบบพิกัดกริดแบบยูทีเอ็ม (Universal Transverse Mercator-UTM WGS84) พร้อมบันทึกความสูงจากระดับน้ำทะเล



ภาพที่ 1 แผนที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลข (ก) และเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ (ข)
ที่มา: ดัดแปลงจากจุฑามาศ และคณะ (2563); Google Earth (2020)

2. การศึกษาชีพลักษณะของต้นประ

ตัวอย่างต้นประทีที่เลือกจากทั้งสองพื้นที่ศึกษาจะเป็นตัวแทนเพื่อศึกษาชีพลักษณะตลอดทั้งปี เริ่มทำการศึกษาดังตั้งเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2563 โดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะทุกเดือน เดือนละ 1 ครั้ง รวมระยะเวลา 12 เดือน เก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

2.1 การเปลี่ยนสีใบ โดยประเมินการแตกตายนอดและการเปลี่ยนสีของใบของเรือนยอดทั้งหมด โดยการส่องด้วยกล้องส่องทางไกลตรวจสอบบริเวณเรือนยอดเพื่อประเมินสีใบจากกิ่งจำนวน 10 กิ่ง คัดเลือกกิ่งที่ประเมินให้กระจายครอบคลุมทั้งเรือนยอด บันทึกสีใบ ได้แก่ สีชมพู สีเขียวอ่อน และสีเขียวเข้ม โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละของใบที่มีสีแบบต่าง ๆ และบันทึกการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะของการเปลี่ยนสีใบในแต่ละรอบการประเมิน

2.2 การออกดอก โดยนับจำนวนช่อดอกจากกิ่งจำนวน 10 กิ่ง คัดเลือกกิ่งที่ประเมินให้กระจายครอบคลุมทั้งเรือนยอด โดยการส่องด้วยกล้องส่องทางไกลตรวจสอบบริเวณเรือนยอด จากนั้นประเมินการเกิดช่อดอกเทียบกับทั้งเรือนยอดโดยคิดเป็นร้อยละ และบันทึกการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะของการออกดอกในแต่ละรอบการประเมิน

2.3 การติดผล โดยทำการนับจำนวนช่อดอกที่ติดผลจากกิ่งจำนวน 10 กิ่งรอบ คัดเลือกกิ่งที่ประเมินให้กระจายครอบคลุมทั้งเรือนยอด โดยการส่องด้วยกล้องส่องทางไกลตรวจสอบบริเวณ

เรือนยอด จากนั้นประเมินการติดผลเทียบกับทั้งเรือนยอดโดยคิดเป็นร้อยละและบันทึกการเปลี่ยนแปลง
ชีพลักษณะของการติดผลในแต่ละรอบการประเมิน

2.4 น้ำหนักเมล็ดประ เกือบตัวอย่างเมล็ดประทุกต้น โดยการวางกระชัง ขนาด 1x1 เมตร
จำนวน 1 กระชัง ต่อ 1 ต้นในแนวรัศมี 1 เมตร ของต้นประ จากนั้นเก็บตัวอย่างเมล็ดประในกระชัง
ทุกเมล็ดในเดือนสิงหาคมและกันยายนมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักเฉลี่ยต่อเมล็ด สำหรับการประเมิน
น้ำหนักผลผลิตต่อต้นทำการประเมินดังนี้

น้ำหนักผลผลิตต่อต้น = น้ำหนักเมล็ดในกระชัง x จำนวนกิ่งของแต่ละต้น

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD) ตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลโดยใช้ข้อมูลการแจกแจงแบบปกติ โดยหากมีจำนวน
ข้อมูลมากตามทฤษฎีผู้เข้าจะใช้การทดสอบโดยการวิเคราะห์ t-test แต่หากข้อมูลแจกแจงแบบ
ผิดปกติจะใช้การทดสอบโดยการวิเคราะห์ Mann-Whitney U test เพื่อทดสอบความแตกต่างของ
ข้อมูลระหว่างสองพื้นที่

ผลการวิจัย

1. ชีพลักษณะของต้นประ

จากการศึกษาชีพลักษณะของต้นประในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขและ
เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ พบว่าทั้งสองพื้นที่มีลักษณะของชีพลักษณะที่เหมือนกัน โดยแบ่งเป็น 3
ระยะ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะดังนี้

1.1 การเปลี่ยนสีใบ ต้นประจะมีการถ่ายใบเป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน โดยช่วง
เริ่มต้นจะมีการแตกตายอดและมีการเปลี่ยนสีจากใบอ่อนเป็นใบแก่ โดยเริ่มจากสีชมพู สีเขียวอ่อน
และสีเขียวเข้ม ตามลำดับ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนสีของใบประสีชมพู (ก) ใบประสีเขียวอ่อน (ข) และใบประสีเขียวเข้ม (ค)

1.2 การออกดอก ในช่วงที่ต้นเปลี่ยนแปลงสีใบจากสีชมพูเป็นสีเขียวอ่อนจะเริ่มมีการแทงช่อดอกออกมาพร้อมกัน ลักษณะดอกค่อนข้างกลมมีสีครีมอมเหลือง ในช่อดอกจะมีดอกประมาณ 30-50 ดอก ดอกจะเริ่มบานจากดอกที่อยู่ด้านล่างของก้านช่อดอกขึ้นไปสู่ด้านบน โดยจะบานอยู่เป็นระยะเวลาประมาณ 15 วัน (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ลักษณะของช่อดอกของต้นประ

1.3 การติดผล จะเริ่มหลังจากดอกบาน 15 วัน ผลระยะแรกมีรูปร่างคล้ายดอกบัว ในช่อดอกจะติดผลประมาณ 5-10 ผล ในช่วงเดือนที่สองหลังจากติดผลจะมีผลที่ติดสมบูรณ์ประมาณ 3-5 ผล โดยผลจะมีสีเขียวและมีเส้นแบ่งผลเป็นพู 3-4 พู จากนั้นก้านช่อดอกจะเริ่มยาวขึ้นจนผลห้อยลงอยู่ด้านล่าง ในช่วงเดือนที่สามหลังจากติดผล ผลจะมีสีเขียวเข้ม มีเส้นแบ่งผลชัดเจนขึ้น และผลจะเป็นพูนูนขึ้นชัดเจน 4 พู เดือนที่สี่หลังจากติดผล ผลจะมีสีเขียวเข้มเป็นพูนูนโตเต็มที่ ในช่วงเดือนที่ 5 หลังจากติดผล เป็นระยะผลโตเต็มที่โดยจะมีสีเขียวเข้ม ด้านบนของผลที่ติดกับช่อดอกจะเริ่มมีสีส้มและพัฒนาเป็นสีส้มอมแดง ในช่วงเดือนที่หกหลังจากติดผล ผลที่แก่จัดจะมีสีน้ำตาลอ่อนไปจนถึงสีน้ำตาลเข้ม และผลจะเริ่มแตกในระยนี้ การแตกของผลประจะทำให้เมล็ดประที่อยู่ภายในหล่นลงมาด้านล่าง เมล็ดลูกประจะมีเปลือกแข็งสีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม ลักษณะผลยาวรีคล้ายกับรูปเรือ (ภาพที่ 4)

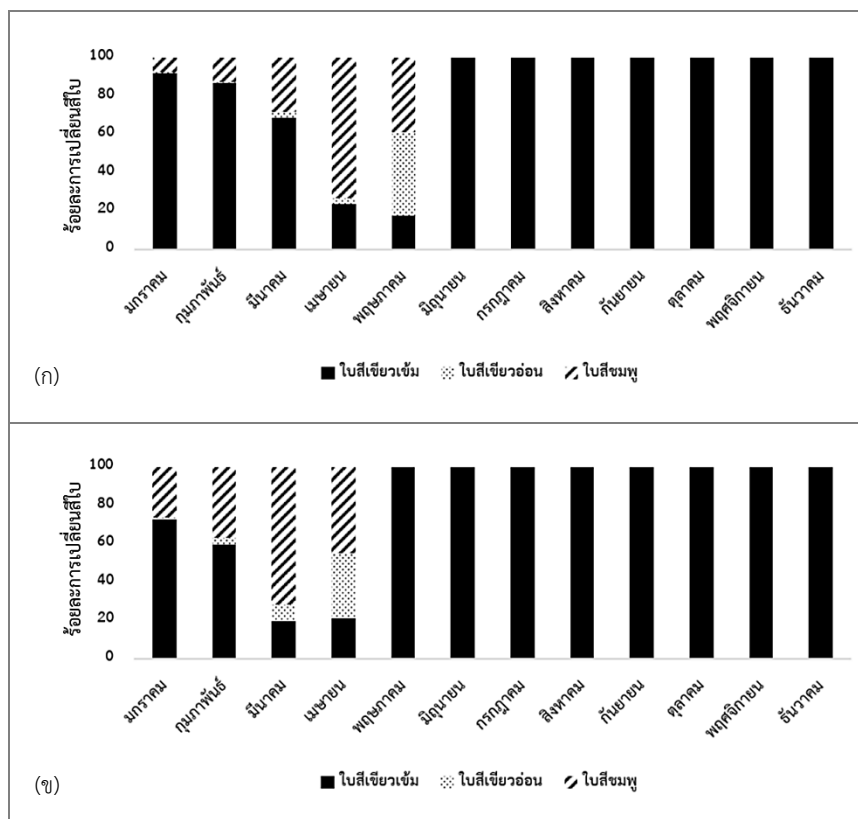


ภาพที่ 4 ลักษณะผลและเมล็ดของต้นประ ผลประอ่อนระยะ 15 วัน (ก) ผลประแก่ระยะ 3-4 เดือน (ข) ผลประแก่ระยะ 5-6 เดือน (ค) และเมล็ดประ (ง)

2. ช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงสีปลั๊กซ์

จากการศึกษาช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงสีปลั๊กซ์ของต้นประในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขและเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ พบว่าทั้งสองพื้นที่มีช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงสีปลั๊กซ์ที่ต่างกัน ดังนี้

2.1 การเปลี่ยนสีใบ รูปแบบการเปลี่ยนสีใบของต้นประจะเริ่มต้นเปลี่ยนสีจากเรือนยอดด้านบนสู่เรือนยอดด้านล่างทั้งพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขและเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ โดยพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลข พบว่าใบของต้นประเริ่มเปลี่ยนสีตั้งแต่เดือนมกราคม (สีเขียวอ่อนร้อยละ 0.50 และสีชมพูร้อยละ 7.75) มีการเปลี่ยนสีใบมากขึ้นเป็นลำดับในเดือนกุมภาพันธ์ และมีนาคม และมีการเปลี่ยนสีใบมากที่สุดในเดือนเมษายน (สีเขียวอ่อนร้อยละ 0.75 3.25 และ 3.00 ตามลำดับ สีชมพูร้อยละ 12.50 28.25 และ 73.25 ตามลำดับ) ในเดือนพฤษภาคมมีใบสีชมพูน้อยลง ขณะที่ใบสีเขียวย่อเพิ่มขึ้น (สีเขียวอ่อนร้อยละ 43.50 และสีชมพูร้อยละ 39.25) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงธันวาคม ใบของต้นประมีสีเขียวเข้มโดยไม่มีการเปลี่ยนสีใบ ดังภาพที่ 5 (ก) สำหรับพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ พบว่าใบของต้นประเริ่มเปลี่ยนสีตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเมษายน โดยเดือนมกราคมเป็นเดือนแรกที่ใบประเริ่มเปลี่ยนสี (สีเขียวอ่อนร้อยละ 1.00 และสีชมพูร้อยละ 26.25) มีการเปลี่ยนสีมากขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ (สีเขียวอ่อนร้อยละ 3.50 และสีชมพูร้อยละ 37.00) โดยมีสีชมพูมากที่สุดในเดือนมีนาคม (สีเขียวอ่อนร้อยละ 8.75 และสีชมพูร้อยละ 72.00) จากนั้นในเดือนเมษายน ใบสีชมพูมีจำนวนลดลงแต่มีใบสีเขียวย่อเพิ่มขึ้น (สีเขียวอ่อนร้อยละ 34.25 สีชมพูร้อยละ 45.00) ส่วนเดือนพฤษภาคมถึงธันวาคม ใบของต้นประมีสีเขียวเข้มโดยไม่มีการเปลี่ยนสีใบ ดังภาพที่ 5 (ข)



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนสปีของต้นประไในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลข (ก) และเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ (ข)

การเปรียบเทียบร้อยละของการเปลี่ยนสปีเป็นสีชมพูซึ่งเป็นระยะเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงสีพลักษณ์ พบว่าการเปลี่ยนสปีเป็นสีชมพูของต้นประไในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขและเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่ง ($p \leq 0.01$) ในเดือนมีนาคมและพฤษภาคม สำหรับร้อยละของการเปลี่ยนสปีเป็นสีชมพูในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และเมษายน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ร้อยละของการเปลี่ยนสปีเป็นสีชมพูของต้นประไแต่ละเดือนของพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขและเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ

เดือน	ร้อยละการเปลี่ยนสปีเป็นสีชมพู (mean±SD)		sig
	เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลข	เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ	
มกราคม	7.75±0.42	26.25±1.15	0.03*
กุมภาพันธ์	12.50±1.74	37.00±0.25	0.02*
มีนาคม	28.25±1.07	72.00±1.16	0.00**
เมษายน	73.25±1.32	45.00±2.51	0.03*
พฤษภาคม	39.25±2.36	0.00±0.00	0.01**

ตารางที่ 1 (ต่อ)

เดือน	ร้อยละการเปลี่ยนสีใบเป็นสีชมพู (mean±SD)		sig
	เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลข	เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ	
มิถุนายน	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
กรกฎาคม	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
สิงหาคม	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
กันยายน	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
ตุลาคม	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
พฤศจิกายน	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
ธันวาคม	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.

หมายเหตุ - * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

- ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่ง ($p \leq 0.01$)

- N.A. = ไม่เกี่ยวข้อง

2.2 การออกดอก จากการศึกษาในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขพบว่าต้นประมีการออกดอกตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงมิถุนายน โดยในเดือนกุมภาพันธ์มีการออกดอกร้อยละ 5.25 และมีการออกดอกมากขึ้นในเดือนมีนาคม (ร้อยละ 13.25) จนสูงสุดในเดือนเมษายน (ร้อยละ 75.75) จากนั้นลดลงในเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน (ร้อยละ 16.25 และ 1.75 ตามลำดับ) และไม่พบการออกดอกในเดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม ต้นประในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อออกดอกตั้งแต่เดือนมกราคมถึงพฤษภาคม โดยเดือนมกราคมมีการออกดอกร้อยละ 2.25 และมีการออกดอกมากขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ (ร้อยละ 20.45) โดยออกดอกมากที่สุดในเดือนมีนาคม (ร้อยละ 75.25) หลังจากนั้นเดือนเมษายนเริ่มมีการออกดอกลดลง (ร้อยละ 23.25) และลดลงในเดือนพฤษภาคม (ร้อยละ 3.25) จากนั้นไม่พบการออกดอกระหว่างเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม

การเปรียบเทียบร้อยละของการออกดอกระหว่างพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขและเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ พบว่าในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่ง ($p \leq 0.01$) ส่วนเดือนมกราคมและมิถุนายนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ร้อยละการออกดอกของต้นประในแต่ละเดือนในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขและเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ

เดือน	ร้อยละการออกดอก (mean±SD)		sig
	เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลข	เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ	
มกราคม	0.00±0.00	2.25±1.16	0.01*
กุมภาพันธ์	5.25±6.79	20.45±0.21	0.01**
มีนาคม	13.25±16.08	75.25±1.12	0.00**
เมษายน	75.75±9.31	23.25±3.91	0.00**

ตารางที่ 2 (ต่อ)

เดือน	ร้อยละการออกดอก (mean±SD)		sig
	เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลข	เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ	
พฤษภาคม	16.25±32.95	3.25±2.97	0.04**
มิถุนายน	1.75±5.01	0.00±0.00	0.02*
กรกฎาคม	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
สิงหาคม	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
กันยายน	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
ตุลาคม	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
พฤศจิกายน	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
ธันวาคม	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.

หมายเหตุ - * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

- ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่ง ($p \leq 0.01$)

- N.A. = ไม่เกี่ยวข้อง

2.3 การติดผล ต้นประเในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขมีการติดผลในเดือนมีนาคมถึงมิถุนายน โดยเดือนมีนาคมมีการติดผลร้อยละ 0.75 มีการติดผลมากขึ้นในเดือนเมษายนและพฤษภาคม (ร้อยละ 66.50 และ 73.50 ตามลำดับ) และติดผลมากที่สุดในเดือนมิถุนายน (ร้อยละ 99.25) และในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อพบต้นประเติดผลในเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม โดยเริ่มติดผลตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ (ร้อยละ 2.25) มีการติดผลเพิ่มขึ้นในเดือนมีนาคมและเมษายน (ร้อยละ 68.25 และ 76.75 ตามลำดับ) และติดผลสูงสุดในเดือนพฤษภาคม (ร้อยละ 99.50)

การเปรียบเทียบความแตกต่างของการติดผลระหว่างพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขและเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม ส่วนเดือนมิถุนายนพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่ง ($p \leq 0.01$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ร้อยละการติดผลของต้นประเในแต่ละเดือนในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขและเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ

เดือน	ร้อยละการติดผล (mean±SD)		sig
	เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลข	เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ	
มกราคม	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
กุมภาพันธ์	0.00±0.00	2.25±0.77	0.02*
มีนาคม	0.75±0.02	68.25±2.31	0.02*
เมษายน	66.50±1.24	76.75±1.57	0.03*
พฤษภาคม	73.50±1.33	99.50±0.34	0.03*
มิถุนายน	99.25±2.22	0.00±0.00	0.01**

ตารางที่ 3 (ต่อ)

เดือน	ร้อยละการติดผล (mean±SD)		sig
	เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลข	เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ	
กรกฎาคม	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
สิงหาคม	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
กันยายน	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
ตุลาคม	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
พฤศจิกายน	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.
ธันวาคม	0.00±0.00	0.00±0.00	N.A.

หมายเหตุ - * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

- ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่ง ($p \leq 0.01$)

- N.A. = ไม่เกี่ยวข้อง

2.4 น้ำหนักเมล็ด ผลการศึกษาน้ำหนักเมล็ดพบว่าต้นประในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขมีน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ย 4.98 กรัม โดยมีน้ำหนักเมล็ดมากที่สุด 6.43 กรัม และมีน้ำหนักเมล็ดน้อยที่สุด 3.24 กรัม น้ำหนักเมล็ดต่อต้นมีค่าเฉลี่ย 60.01 กิโลกรัม มีน้ำหนักเมล็ดต่อต้นมากที่สุด 68.18 กรัม และน้ำหนักเมล็ดต่อต้นน้อยที่สุด 44.24 กรัม ส่วนต้นประในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อมีน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ย 5.00 กรัม มีน้ำหนักเมล็ดมากที่สุด 6.24 กรัม และมีน้ำหนักเมล็ดน้อยที่สุด 4.02 กรัม น้ำหนักเมล็ดต่อต้นมีค่าเฉลี่ย 58.54 กิโลกรัม มีน้ำหนักเมล็ดต่อต้นมากที่สุด 65.72 กรัม และน้ำหนักเมล็ดต่อต้นน้อยที่สุด 38.64 กรัม (ตารางที่ 4)

การเปรียบเทียบน้ำหนักเมล็ดประระหว่างพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขและเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.198$) (ตารางที่ 4) และเมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักเมล็ดประต่อต้นระหว่างพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขและเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.247$) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 น้ำหนักเมล็ดประเฉลี่ยและน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยต่อต้นในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขและเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ

	น้ำหนักเมล็ดประเฉลี่ย (กรัม)		น้ำหนักเมล็ดประเฉลี่ยต่อต้น (กิโลกรัม)	
	เส้นทางศึกษา ธรรมชาติห้วยเลข	เส้นทางศึกษา ธรรมชาติหินท้อ	เส้นทางศึกษา ธรรมชาติห้วยเลข	เส้นทางศึกษา ธรรมชาติหินท้อ
	mean±SD	mean±SD	mean±SD	mean±SD
ค่าสูงสุด	6.43	6.24	68.18	65.72
ค่าต่ำสุด	3.24	4.02	44.24	38.64

การอภิปรายผลการวิจัย

1. ชีพลักษณะของต้นประ

จากการศึกษาชีพลักษณะของต้นประพบว่าต้นประในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติ ห้วยเลขและเส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อ มีระยะของการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะที่เหมือนกัน คือ มีการแตกตายอดเพื่อเปลี่ยนสีใบประมาณ 45 วัน และมีระยะเวลาในการออกดอกประมาณ 15 วัน ซึ่งเกิดพร้อมกับการเปลี่ยนสีใบ สอดคล้องกับการศึกษาของ Osada *et al.* (2002) โดยการเปลี่ยนสีใบจะมีการเปลี่ยนสีเป็นสีชมพู สีเขียวอ่อน และสีเขียวเข้ม ตามลำดับ เป็นผลมาจากการเพิ่มของรงควัตถุแอนโทไซยานินซึ่งมีสีแดงจากการกระตุ้นของแสง (dos Santos *et al.*, 2021; Ma *et al.*, 2019) รูปแบบการเปลี่ยนสีใบจะเริ่มเปลี่ยนสีใบจากด้านบนของเรือนยอดแล้วค่อย ๆ เปลี่ยนสีใบจนถึงบริเวณด้านล่างของเรือนยอด สอดคล้องกับการศึกษาของ Niinemets *et al.* (1999) และ Paker (1995) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยของแสงส่งผลต่อการเปลี่ยนสีของใบโดยใบที่ได้รับแสงก่อนจะเริ่มมีการเปลี่ยนสีก่อน หลังจากออกดอกแล้วจึงมีการติดผลและมีการพัฒนาของผลประโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 6 เดือน ผลจึงแตกร่วงลงมา โดยระยะของการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะในการศึกษารั้วนี้สอดคล้องกับรายงานของมานพ และคณะ (2550) ซึ่งได้รายงานว่าจะเริ่มผลัดใบประมาณเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม โดยมีระยะเวลาในการแตกตายอดและเปลี่ยนสีใบประมาณ 40 วัน และต้นประจะออกดอกประมาณเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม รวมระยะเวลาที่ออกดอกเป็นเวลา 15 วัน จากนั้นต้นประจะเริ่มติดผลประมาณเดือนเมษายน ผลจะเริ่มแก่ประมาณเดือนกรกฎาคม และผลสุกแตกประมาณเดือนสิงหาคมถึงกันยายน (Charoensuk *et al.*, 2018)

2. ช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะ

จากการศึกษาช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะพบว่าต้นประที่ขึ้นในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อมีการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะก่อนต้นประที่ขึ้นในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขประมาณ 1 เดือน โดยต้นประที่ขึ้นในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อเริ่มต้นแตกตายอดและเปลี่ยนสีใบในเดือนมกราคมจนถึงสิ้นสุดในเดือนเมษายน ส่วนต้นประที่ขึ้นในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลขเริ่มต้นแตกตายอดและเปลี่ยนสีใบในเดือนกุมภาพันธ์และสิ้นสุดในเดือนพฤษภาคม หลังจากนั้นระยะของการออกดอกและติดผลของต้นประทั้งสองพื้นที่จะมีการพัฒนาที่เหมือนกันประมาณ 1 เดือน แต่ในช่วงการแตกของผลจะมีช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันคือในเดือนสิงหาคมและสิ้นสุดพร้อมกันในเดือนกันยายน จากการที่มีความแตกต่างของช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะของต้นประทั้งสองพื้นที่อาจเป็นเพราะสภาพภูมิประเทศที่แตกต่างกัน โดยพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติหินท้อมีความชันมากกว่าและสภาพเรือนยอดมีความโปร่งแสงมากกว่าจึงทำให้เรือนยอดของต้นประมีพื้นที่รับแสงและความเข้มของแสงรวมถึงช่วงระยะเวลาที่ได้รับแสงมากกว่าต้นประที่ขึ้นในพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติห้วยเลข ส่งผลให้เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะก่อน ซึ่งสอดคล้องกับหลายรายงานที่พบว่าปัจจัยของแสงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะของต้นประ โดยเรือนยอดที่ได้รับแสงจ้าและความโปร่งของเรือนยอดมากกว่าจะทำให้มีการแตกตายอดได้ดี (Borchert, 1994; Charoensuk *et al.* 2012; Jantarit, *et al.*, 2009; Kuhapong *et al.*, 2011; Osada *et al.*, 2002; Reich and Borchert, 1982; Reich and Borchert, 1984)

เมื่อเปรียบเทียบช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ของต้นประไในพื้นที่เส้นทางศึกษารรรมาชาติห้วยเลและเส้นทางศึกษารรรมาชาติหินท่อกับผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ของต้นประไในประเทศมาเลเซีย (Osada *et al.*, 2002) พบว่าต้นประไในพื้นที่เส้นทางศึกษารรรมาชาติห้วยเลและเส้นทางศึกษารรรมาชาติหินท่อกมีการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ก่อนต้นประไในประเทศมาเลเซียประมาณ 1-2 เดือน โดยเริ่มการเปลี่ยนแปลงในเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ ในขณะที่ต้นประไที่ประเทศมาเลเซียเริ่มการเปลี่ยนแปลงในเดือนมีนาคมถึงเมษายน (Osada *et al.*, 2002; Riha *et al.*, 2003) อีกทั้งพบว่าช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ของต้นประไในพื้นที่เส้นทางศึกษารรรมาชาติห้วยเลและเส้นทางศึกษารรรมาชาติหินท่อกมีช่วงเวลาที่นานกว่าต้นประไที่ขึ้นในประเทศมาเลเซีย ซึ่งพบการเปลี่ยนสีใบในช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณ 15 วัน (Cranbrook and Edwards, 1994; Medway, 1972; Osada *et al.*, 2002; Whitmore, 1972) อาจเป็นเพราะต้นประไของแต่ละพื้นที่ที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิประเทศที่แตกต่างกัน อีกทั้งตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งละติจูดที่ต่างกันจึงมีความยาวของช่วงวันที่ต่างกันทำให้มีความต่างของช่วงเวลาที่ได้รับแสง ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของซีพลักษณ์ที่ต่างกัน หรือความแตกต่างของช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์อาจเกิดจากปัจจัยอื่น เช่น การมีลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างกัน ซึ่งเคยมีรายงานว่าต้นประไในประเทศไทยกับต้นประไในประเทศมาเลเซียมีความแตกต่างกันทางพันธุกรรม (Suppapan *et al.*, 2021) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเปรียบเทียบเพิ่มเติม

จากการศึกษาผลผลิตของต้นประไโดยศึกษาจากปริมาณเมล็ดประไที่เก็บผลผลิตได้ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทั้งน้ำหนักเมล็ดและผลผลิตเมล็ดประไต่อต้น แสดงให้เห็นว่าปัจจัยจากการได้รับปริมาณแสงที่ต่างกันไม่มีผลกับปริมาณผลผลิตเมล็ดประไ ผลการศึกษารั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของมานพ และคณะ (2550) ที่พบว่าผลผลิตเมล็ดประไในอำเภอนบพิตำมีปริมาณผลผลิตต่อต้นที่ใกล้เคียงกันกับผลการศึกษาในครั้งนี ต้นประไที่ขึ้นในพื้นที่เส้นทางศึกษารรรมาชาติหินท่อกมีการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์และมีการแตกของผลก่อนต้นประไที่ขึ้นในพื้นที่เส้นทางศึกษารรรมาชาติห้วยเล จึงควรมีการจัดระเบียบให้มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตให้เหมือนกัน 1 เดือนและจำกัดปริมาณการเก็บเมล็ดประไเพื่อรักษาไว้ซึ่งความยั่งยืนของต้นประไของทั้งสองพื้นที่ต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การศึกษารั้งนี้สรุปได้ว่าต้นประไที่ขึ้นในสภาพภูมิประเทศที่มีความชันและความสูงจากระดับน้ำทะเลที่แตกต่างกันมีผลทำให้มีช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ที่แตกต่างกันซึ่งเกิดจากปัจจัยของการได้รับแสงของเรือนยอดที่แตกต่างกัน โดยต้นประไในพื้นที่เส้นทางศึกษารรรมาชาติหินท่อกมีการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ก่อนต้นประไในพื้นที่เส้นทางศึกษารรรมาชาติห้วยเล และมีการพัฒนาของระยะต่าง ๆ ที่เหมือนกันประมาณ 1 เดือน แต่ทั้งสองพื้นที่ที่มีการให้ผลผลิตในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน และพบว่าทำให้ผลผลิตเมล็ดประไของทั้งสองพื้นที่ไม่มีความแตกต่างกัน การศึกษารั้งนี้แนะนำให้ควรมีการจัดระเบียบในการเก็บผลผลิตเมล็ดประไเพื่อคงไว้ซึ่งความยั่งยืนต่อไป

ข้อเสนอแนะ

เพื่อความสมบูรณ์ของการศึกษาในลำดับต่อไปควรมีการศึกษาปริมาณแสงที่ได้รับของเรือนยอดของต้นประไรวมถึงศึกษาปริมาณน้ำฝนเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ โดยหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) กับมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ขอขอบคุณหัวหน้าอุทยานแห่งชาติเขานัน ตลอดจนเจ้าหน้าที่อุทยานทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานและเก็บข้อมูล และ ดร.เพ็ญอ้อ ยี่สา ที่ให้คำปรึกษา ด้านสถิติในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จุฑามาศ ศุภพันธ์ วีระเกียรติ ทรัพย์มี วรวิฑู มีสุข จุติพร อศวโสวรรณ ปะกิต ไชยธาดา เบญจพร จันทรโคตร จริญญา ดั่งแว่น พัฒนพร รินทจักร พินิดา งามไตรโร และอชิวรธน์ บุญฤทธิ์. (2563). ลักษณะทางชีววิทยา ความหลากหลายทางพันธุกรรม และรูปแบบการกระจายพันธุ์ ของต้นประเในพื้นที่อำเภออบพิทา จังหวัดนครศรีธรรมราช. *รายงานวิจัย*. นครศรีธรรมราช.
- ปริญา ห่อมพิบูลย์ วันดี แก้วสุวรรณ อนุรักษ์ ตรีเพชร และธราดล วัฒนาวิน. (2561). แนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเมล็ดประเในเชิงพาณิชย์. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 37(พิเศษ), 113-128.
- มานพ แก้วชัด ณรงค์ รักเคียน วัชรพงศ์ ศรีแสง และศิริลักษณ์ ชุมเขียว (2550). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อต้นประเ. *รายงานวิจัย*. นครศรีธรรมราช.
- วิสุทธิ์ ใบไม้ และรังสิมา ตันทเลขา. (2550). *เขานัน-ป่าเมฆธรรมชาติกับภาวะโลกร้อน*. กรุงเทพฯ: กรุงเทพฯ จำกัด.
- Borchert, R. (1994). Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology*, 75(5), 1437-1449, doi: <https://doi.org/10.2307/1937467>.
- Charoensuk, A., Jaroensutasinee, M., Srisang, W. and Jaroensutasinee, K. (2012). Parah forest clusters at Khao Nan national park, Thailand. *Walailak Journal of Science and Technology*, 9(4), 475-480, doi: <https://doi.org/10.2004/wjst.v9i4.363>.
- Charoensuk, A., Tina, F.W., Jaroensuthasinee, M. and Jaroensutasinee, K. (2018). Predation and dispersal of Parah tree (*Elateriospermum tapos*) seeds by red spiny rats (*Maxomys surifer*) in Khao Nan national park. *Journal of Environmental Biology*, 39(1), 23-29, doi: <https://doi.org/10.22438/jeb/39/1/MRN-588>.
- Chumkiew, S., Srisang, W., Jaroensutasinee, K. and Jaroensutasinee, M. (2007). Phenology of the Parah tree (*Elateriospermum tapos*) using a GAPS model. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 32, 207-211.
- Cranbrook, E. and Edwards, D.S. (1994). *A tropical rainforest: The nature of biodiversity in Borneo at Belalong, Brunei*. London: The Royal Geographical Society and Sun Tree Publishing.
- dos Santos, G.F., Kuster, V.C., Silva, A.F.M., Faria, A.P. and Moreina, A.S.F.P. (2021). Changes in color during leaf development of *Eugenia uniflora* (Myrtaceae): Different strategies for integrity conservation of the photosynthetic apparatus. *Australian Journal of Botany*, 69(4), doi: <https://doi.org/10.1071/BT20145>.

- Google Earth. (2020). *Google Earth*. Retrieved 23 June 2020, from: <https://www.google.com/earth/>.
- Jantarit, S., Wattanasit, S. and Sotthibandhu, S. (2009). Canopy ants on the briefly deciduous tree (*Elateriospermum tapos* Blume) in a tropical rainforest, southern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 31(1), 21-28.
- Kuhapong, U., Sornkliang, W., Sookkhathon, W., Thaiphon, R., Jaroensutasinee, M. and Jaroensutasinee, K. (2011). A study of Parah (*Elateriospermum tapos*) phenology at park ranger station 5 Hui Lek. *Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, 30(1), 13-19.
- Ma, Y., Li, X., Gu, Z. and Li, J. (2019). Leaf color and growth change of *Sedum rubrotinctum* caused by two commercial chemical products. *Hort Science*, 54(3), 434-444, doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13557-18>.
- Medway, L. (1972). Phenology of a tropical rain forest in Malaya. *Biological Journal of Linnean Society*, 4(2), 117-146, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1972.tb00692.x>.
- Niinemets, U., Kull, O. and Tenhunen, J.D. (1999). Variability in leaf morphology and chemical composition as a function of canopy light environment in coexisting deciduous trees. *International Journal of Plant Sciences*, 160(5), 837-848, doi: <https://doi.org/10.1086/314180>.
- Osada, N., Takeru, H., Furukawa, A. and Awang, M. (2002). Ontogenetic changes in leaf phenology of a canopy species, *Elateriospermum tapos* (Euphorbiaceae), in a Malaysian rain forest. *Tropical Ecology*, 18(1), 91-105.
- Paker, G.G. (1995). Structure and microclimate of forest canopies. In Lowman, M.D. and Nadkarni, N.M. (Eds.). *Forest canopy*, pp. 73-106. California: Academic Press.
- Reich, P.B. and Borchert, R. (1982). Phenology and ecophysiology of the tropical tree, *Tabebuia neochrysantha* (Bignoniaceae). *Ecology*, 63(2), 294-299.
- Reich, P.B. and Borchert, R. (1984). Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology*, 72(1), 61-74, doi: <https://doi.org/10.2307/2260006>.
- Riha, S.J., Rossiter, D.G. and Simoends, P. (2003). *GAPS: General purpose atmosphere-plant-soil simulator*. New York: Cornell University.
- Suppapan, J., Supmee, V. and Rinthajak, P. (2021). Genetic diversity of Parah tree (*Elateriospermum tapos*) in Nopphitum district, Nakhon Si Thammarat province. *Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)*, 16(1), 115-126.
- Whitmore, T. C. (1972). Euphorbiaceae. In Whitmore, T.C. (Ed.). *Tree flora of Malaya* volume 2, pp. 34-136. Kuala Lumpur: Longman.

ผลของการอบดินแปลงแม่พันธุ์เบญจมาศด้วยไอน้ำต่อจุลินทรีย์ดิน Effects of Soil Steaming of Chrysanthemum Stock Cultivating Plots on Soil Microorganisms

กนกอร อัมพรายน¹ ศิริพร เปรมฤทธิ¹ และณัฐพงศ์ จันจุฬา^{1*}
Khanok-on Amprayn¹ Siriporn Premrit¹ and Nattapong Chanchula^{1*}

บทคัดย่อ

การเพาะปลูกเบญจมาศบนพื้นที่เดิมอย่างต่อเนื่องมักจะประสบปัญหาการสะสมของโรคพืชในดิน ซึ่งอาจสร้างความเสียหายให้กับการเพาะปลูกและผลผลิตได้ การกำจัดเชื้อก่อโรคทางดินด้วยการใช้ไอน้ำเป็นทางเลือกที่มีการรายงานว่าปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและค่อนข้างมีประสิทธิภาพในการศึกษานี้จึงนำวิธีการอบวัสดุอย่างง่ายด้วยไอน้ำแบบคลุมด้วยผ้าพลาสติก (sheet steaming) มาประยุกต์ใช้กับแปลงปลูกแม่พันธุ์เบญจมาศของเกษตรกรบ้านใหม่พัฒนา ตำบลแจ้ซ้อน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง ที่เคยพบปัญหาโรคทางดินของเบญจมาศ โดยคลุมแบบแปลงด้วยพลาสติกทนร้อนให้มีขนาดพื้นที่ขนาด 2x12 เมตร สอดท่อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำเข้าด้านหัวแปลงอบนาน 90 นาที หลังจากเริ่มต้มน้ำ อุณหภูมิดินหลังเดินเครื่อง 30 นาที อยู่ระหว่าง 57.5-61.8 องศาเซลเซียส การอบดังกล่าวสามารถลดปริมาณแบคทีเรียดินลงได้ 2 log cycle และลดปริมาณราดินลงได้มากกว่า 4 log cycle ตรวจไม่พบเชื้อรา *Pythium* จากดินที่สุ่มเก็บทุกจุด แต่ยังคงพบ *Fusarium* ในตัวอย่างดินที่ผ่านการอบในจุดที่ไกลจากท่อพ่นไอน้ำที่ระยะระหว่าง 9-12 เมตร

คำสำคัญ: อบดินด้วยไอน้ำ เบญจมาศ ราดิน พืชยาสูบ พืชเหี่ยว

¹ ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

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

Received: 5 August 2022, Revised: 20 September 2022, Accepted: 26 September 2022

Abstract

Cultivating chrysanthemum on the same land may cause an accumulation of soil-borne pathogens leading to troublesome production and significant loss of the yield. Soil steaming has been reported to be a safe and efficient alternative method for disinfection of the pathogenic fungi. Thus, this study introduced simple method of sheet steaming applied with chrysanthemum fields of a grower in BanMaiPattana, Chaeson, Muangpan, Lampang where cases of soil-borne diseases were found. Sheet steaming started with covering cultivating area (2x12 meter) with plastic sheet, putting a steam inlet hose of the tube steam generator under the field soil which was covered with the sheet. The steaming was done for 90 minutes after heating. After 30 minutes of heating, the soil temperature raised to 57.5-61.8 °C. The steamed soil revealed a decrease of total bacteria number for 2 log cycles. Similarly, total fungi decreased for more than 4 log cycles. The isolation and identification exhibited that there was no *Pythium* in the soil after steaming, while *Fusarium* was found in the steamed soil sample that was collected 9-12 meters away from the steam inlet.

Keywords: Soil steaming, Chrysanthemum, Soil fungi, *Fusarium*, *Pythium*

บทนำ

เชื้อก่อโรคทางดิน (soilborne pathogen) สร้างความเสียหายให้กับภาคการเกษตรด้วยการทำให้ผลผลิตลดลงและเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด การเพาะปลูกพืชบนพื้นที่เดิมอย่างต่อเนื่องอาจประสบปัญหาโรคทางดิน เช่น โรคเหี่ยวจากฟิวซาเรียม (*fusarium wilt*) ซึ่งมีรายงานว่า เป็นโรคที่สำคัญของเบญจมาศ มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Fusarium oxysporum* ที่มีชีวิตอยู่ในดินหรือเศษซากพืชหลายปี โดยเชื้อราเข้าสู่ต้นพืชทางรากและเจริญเติบโตอยู่ในเนื้อเยื่อท่อน้ำเลี้ยงและลำต้นพืชที่ติดเชื้อจะแสดงอาการเหี่ยวบางส่วนไปจนถึงเหี่ยวทั้งต้น (Inga, 2020) การแก้ปัญหานอกจากการใช้แม่พันธุ์ปลอดโรคแล้ว พื้นที่เพาะปลูกก็ต้องอยู่ในสภาพปลอดโรคด้วย นอกจากนี้การเปลี่ยนหรือฆ่าเชื้อวัสดุปลูกระหว่างฤดูการผลิตจะช่วยลดปัญหาจากโรคลงได้ (Inga, 2020; ธวัชชัย และศุภณัฐ, ม.ป.ป.)

การควบคุมโรคทางดินทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช การใช้ชีวภัณฑ์ การรมดิน รวมทั้งการให้ความร้อน ในวิธีการทั้งหลายการใช้สารเคมีค่อนข้างส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ใช้งาน การควบคุมด้วยวิธีทางกล เช่น การอบดินด้วยไอน้ำ เป็นทางเลือกที่ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและราคาเหมาะสม การอบฆ่าเชื้อดินและวัสดุปลูกไร้ดินด้วยไอน้ำเป็นกระบวนการที่ใช้กันทั่วไปเพื่อลดปัญหาเชื้อก่อโรคทางดินในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยเฉพาะกับการปลูกพืชหัว การอบมักกระทำที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่าสามารถกำจัดเชื้อก่อโรค ไส้เดือนฝอย แมลงในดิน และเมล็ดวัชพืชได้ (Roux-Michollet *et al.*, 2010; Runia and Molendijk, 2010) การอบไอน้ำด้วยการคลุมพลาสติก (sheet steaming) เป็นวิธี

ดั้งเดิมที่ใช้กันมานาน วิธีนี้ไอน้ำจะถูกปล่อยเข้าใต้ผ้าพลาสติกที่คลุมดินและเหน็บชายเอาไว้ ความดันจากไอน้ำที่เกิดขึ้นใต้พลาสติกขั้บดันให้ไอน้ำแทรกลงไปดิน ประสิทธิภาพของการอบขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของดินและการไถพรวน โดยพบว่าในดินเหนียวประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อดีกว่าดินทรายและดินร่วน ระดับความลึกที่เหมาะสมระหว่าง 10-30 เซนติเมตร (Runia and Molendijk, 2010)

ดังนั้นเพื่อลดปัญหาจากโรคทางดินในแปลงปลูกเบญจมาศ คณะผู้วิจัยจึงทดลองนำการอบดินด้วยไอน้ำแบบคลุมผ้าพลาสติกซึ่งเป็นวิธีการลดการปนเปื้อนอย่างง่ายมาใช้กับแปลงเกษตรกรที่มีประวัติการพบปัญหาจากโรค และศึกษาประสิทธิภาพของวิธีในการทำลายจุลินทรีย์ดินเบื้องต้นเพื่อการประยุกต์ใช้ในระบบการเพาะปลูกไม้ดอกไม้ประดับของเกษตรกรต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ลักษณะทางกายภาพของดินในพื้นที่ศึกษา

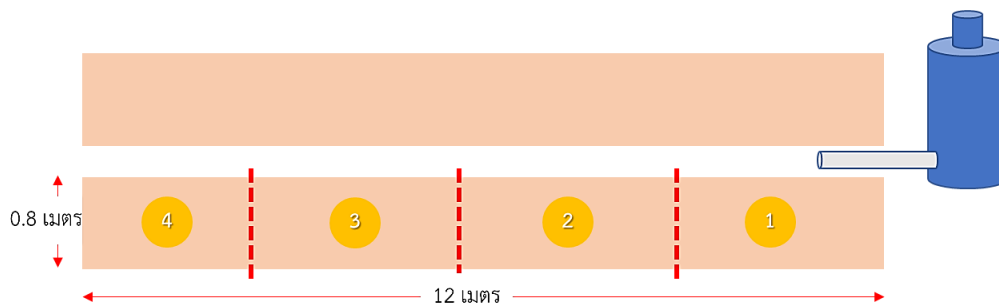
พื้นที่ศึกษาเป็นแปลงปลูกเบญจมาศของเกษตรกรบ้านใหม่พัฒนา ตำบลแจ้ซ้อน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง สุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร จำนวน 5 จุด รวมตัวอย่างและตรวจวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่างด้วย pH meter ใช้สัดส่วนระหว่างดินและน้ำ เท่ากับ 1:1 วัดค่าการนำไฟฟ้าด้วย EC meter และความหนาแน่นรวมโดยวิธี core method (American Society for Testing and Materials, 2009)

2. การอบดินด้วยไอน้ำ

ไถพรวนหน้าดินและขึ้นแปลงขนาด 0.8×24 เมตร จำนวน 4 แปลงต่อโรงเรือน เว้นระยะห่างระหว่างแปลง 20 เซนติเมตร ก่อนการอบดิน 1 คืน พรมน้ำให้หน้าดินมีความชื้นเล็กน้อย ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นคลุมแปลง 2 แถว ด้วยผ้าพลาสติกทึบร้อนขนาดหน้ากว้างประมาณ 3 เมตร ยาว 12 เมตร มีพื้นที่เท่ากับ 36 ตารางเมตร พับเก็บชายพลาสติกแล้วทับด้วยของหนัก เช่น ท่อนไม้ ก้อนอิฐ จากนั้นอบดินด้วยหม้อต้มไอน้ำแบบท่อน้ำ (water tube boiler) ขนาด 50×100 เซนติเมตร ที่มีระบบลูกกลอยเติมน้ำ มีอัตราการผลิตไอน้ำ 1-3 ตันต่อชั่วโมง ด้วยการเสียบปลายท่อปล่อยไอน้ำเข้าด้านหัวแปลง และจุดไฟต้มน้ำให้เดือด

3. การเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการอบ

วัดอุณหภูมิอากาศในชุดอบและอุณหภูมิดินด้วย probe วัดอุณหภูมิแบบโลหะก้านยาว ทุก 30 นาที เป็นระยะเวลา 90 นาที แบ่งจุดการวัดเป็น 4 จุด ใน 4 บล็อก คือ ระหว่าง 0-3 เมตร (จุดที่ 1) 3-6 เมตร (จุดที่ 2) 6-9 เมตร (จุดที่ 3) และ 9-12 เมตร (จุดที่ 4) โดยระยะ 0 เมตร คือ บริเวณหัวแปลงที่สอดท่อไอน้ำ การวัดอุณหภูมิกระทำโดยแทง probe วัดอุณหภูมิอากาศใต้พลาสติก บริเวณกึ่งกลางของพื้นที่แปลงและแทง probe ลงไปในดินประมาณ 7-8 เซนติเมตร เพื่อวัดอุณหภูมิของดิน



ภาพที่ 1 ลักษณะชุดทดสอบการอบดินด้วยไอน้ำ การแบ่งบล็อกสำหรับเก็บตัวอย่างดินและจุดเก็บข้อมูลอุณหภูมิระหว่างการอบดิน

4. การเก็บตัวอย่างดิน การตรวจนับปริมาณ และการแยกเชื้อราจากตัวอย่างดิน

สุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนอบแบบจ้วงเก็บ 5 จุด รวมเป็น 1 ตัวอย่าง และตัวอย่างดินหลังผ่านการอบที่เย็นตัวลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมแบบจ้วงเก็บ 5 จุด ต่อระยะการอบรวมเป็น 1 ตัวอย่าง ต่อระยะการอบ แซ่เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส ในกล่องเก็บความเย็นจนถึงห้องปฏิบัติการ ตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ด้วยการทำ serial dilution และเกลี่ยบนอาหารสูตร PCA (plate count agar) สำหรับแบคทีเรีย และบนอาหารสูตร rose bengal ที่เติมยาปฏิชีวนะ streptomycin ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับเชื้อรา เมื่อพบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ตรวจนับปริมาณ สำหรับเชื้อราตัดแยกส่วนของโคโลนีไปทำให้บริสุทธิ์บนอาหาร PDA (potato dextrose agar) ที่ไม่เติมยาปฏิชีวนะ

หลังนับจำนวนแบคทีเรียและราที่เจริญบนอาหารแข็งจากตัวอย่างดินก่อนอบและหลังอบด้วยไอน้ำแล้ว คำนวณประสิทธิภาพการกำจัด (removal efficiency: RE) ตามสมการที่ระบุใน Huh *et al.* (2020) ดังนี้

$$RE (\%) = \frac{Nb - Na}{Na} \times 100$$

เมื่อ RE คือ ประสิทธิภาพการกำจัด

Nb คือ จำนวนแบคทีเรียหรือราของดินก่อนอบด้วยไอน้ำ

Na คือ จำนวนแบคทีเรียหรือราของดินหลังอบด้วยไอน้ำ

5. การจำแนกชนิดของเชื้อราดิน

เพาะเลี้ยงเชื้อราที่แยกได้จากดินตัวอย่างบนอาหารสูตร PDA จนมีการเจริญเติบโตเต็มที่หรือสร้างสปอร์ เชียปลายเส้นใยลงในหยดสี methylene blue ตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโครงสร้างสืบพันธุ์ใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อระบุชนิดของเชื้อราโดยเปรียบเทียบกับเอกสารด้านอนุกรมวิธานและเอกสารอ้างอิงที่มีรายงาน (เลขา, 2555; กิตติมา และคณะ, 2543; วัชร และคณะ, 2560)

ผลการวิจัย

1. ลักษณะทางกายภาพของดินในพื้นที่ศึกษา

ดินแปลงผลิตต้นพันธุ์เบญจมาศที่ใช้ในการศึกษาในบ้านใหม่พัฒนา ตำบลแจ้ซ้อน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง เป็นแปลงของเกษตรกรที่มีประวัติพบปัญหาโรคทางดิน เมื่อตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดินบางประการ พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.7 ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 0.17 เดซิซีเมนต่อเมตร และความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.14 กรัมต่อตารางเซนติเมตร

2. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในแปลงระหว่างการอบดินด้วยไอน้ำ

หลังคลุมแปลงด้วยพลาสติก วัดอุณหภูมิอากาศและดินภายในชุดอบได้ 35.6-37.3 และ 32.6-33.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หลังจากต้มน้ำในหม้อต้มเป็นเวลา 30 นาที พบว่ามีไอน้ำไหลเข้าสู่ชุดอบจนพลาสติกเกือบตึง วัดอุณหภูมิอากาศและดินได้ 53.9-69.2 และ 41.3-53.3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 60 นาที หลังต้มน้ำ วัดอุณหภูมิได้ 64.6-81.1 และ 49.7-64.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่ออบผ่านไป 90 นาที วัดอุณหภูมิได้ 73.4-89.2 และ 50.1-69.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ตารางที่ 1 ภาพที่ 2)

ตารางที่ 1 อุณหภูมิภายในชุดทดสอบอบดินแปลงเบญจมาศด้วยไอน้ำตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

ระยะเวลา	รายการ ตรวจวัด	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
		จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	เฉลี่ย
เริ่มต้น	อากาศ	35.6	36.3	37.3	35.6	36.2
	ดิน	32.6	33.0	33.8	33.9	33.3
30 นาที	อากาศ	64.9	69.2	63.9	53.9	63.0
	ดิน	53.3	52.1	43.4	41.3	47.5
60 นาที	อากาศ	72.2	81.1	73.7	64.6	72.9
	ดิน	64.2	60.4	55.9	49.7	57.5
90 นาที	อากาศ	89.2	81.6	77.8	73.4	80.5
	ดิน	69.1	64.8	63.2	50.1	61.8

หมายเหตุ: - อากาศ คือ อากาศภายในบริเวณใต้พลาสติกเหนือหน้าดิน

- ดิน คือ ดินบริเวณกึ่งกลางตามแนวตั้งของความสูงแปลงที่ตั้งขึ้น



ภาพที่ 2 ลักษณะแปลงที่เตรียมสำหรับการทดสอบดินด้วยไอน้ำ (ก) และลักษณะที่เกิดขึ้นระหว่างการอบดิน (ข)

3. การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ดินหลังการอบด้วยไอน้ำ

ในดินแปลงแม่พันธุ์เบญจมาศมีปริมาณแบคทีเรีย 2.4×10^{10} CFU ต่อกรัม และรา 3.2×10^6 CFU ต่อกรัม หลังการอบดินด้วยไอน้ำ 90 นาที (ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที) ปริมาณแบคทีเรียและราลดลงเหลือ $2.2-9.1 \times 10^8$ และน้อยกว่า 10^2 CFU ต่อกรัม ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียจากการคำนวณอยู่ระหว่าง 96-99 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการกำจัดรา 100 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราที่ตรวจนับได้บนอาหารแข็ง PCA และ rose bengal ของดิน ก่อนและหลังอบไอน้ำเป็นเวลา 90 นาที

ตัวอย่าง	ระยะห่างจาก หัวแปลง	ปริมาณ (CFU ต่อกรัม)		ประสิทธิภาพการกำจัด (เปอร์เซ็นต์)	
		แบคทีเรีย	รา	แบคทีเรีย	รา
ก่อนอบ	หัวแปลง	2.4×10^{10}	3.2×10^6	-	-
หลังอบจุดที่ 1	0-3 เมตร	2.2×10^8	$<1 \times 10^2$	99.1	~100
หลังอบจุดที่ 2	3-6 เมตร	9.1×10^8	$<1 \times 10^2$	96.2	~100
หลังอบจุดที่ 3	6-9 เมตร	4.0×10^8	$<1 \times 10^2$	98.3	~100
หลังอบจุดที่ 4	9-12 เมตร	2.5×10^8	$<1 \times 10^2$	99.0	~100

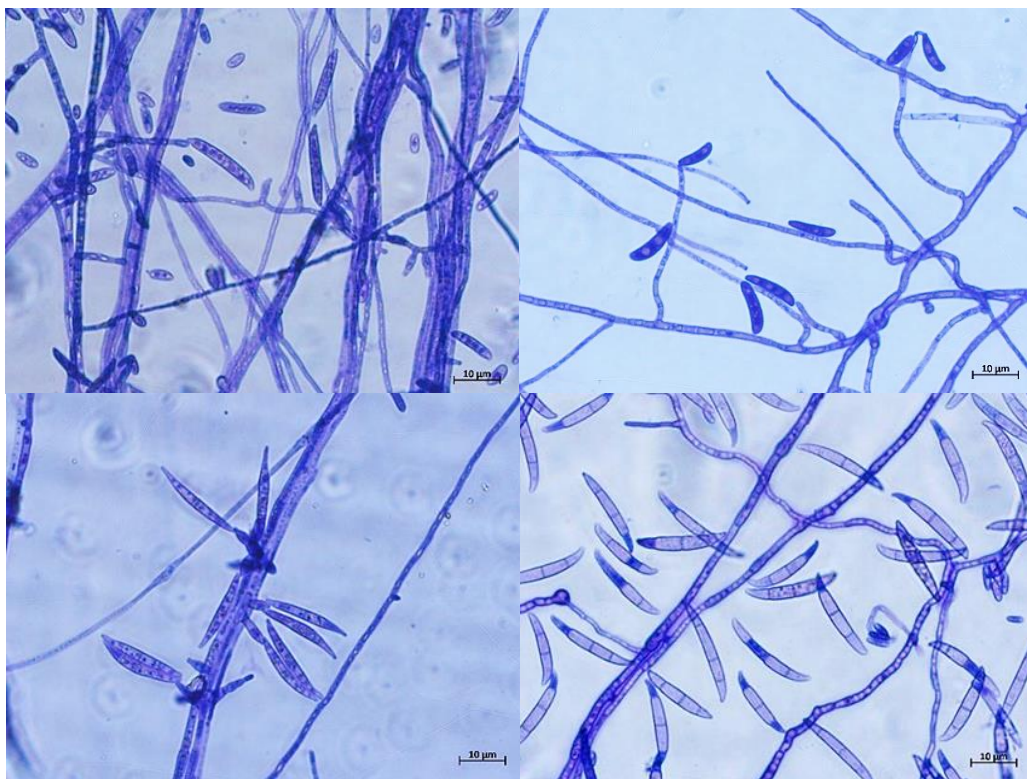
4. การแยกและจำแนกชนิดราจากตัวอย่างดินที่ไม่ผ่านและผ่านการอบไอน้ำ

ตรวจพบเชื้อราชนิดต่าง ๆ เช่น *Fusarium* spp. *Pythium* spp. *Aspergillus* spp. *Rhizopus* sp. *Nigrospora* sp. และราที่ยังจำแนกชนิดไม่ได้อีก 7 ไอโซเลต ในดินแปลงที่เคยปลูกเบญจมาศ เมื่อดินแปลงผ่านการอบด้วยไอน้ำแบบคลุมกองเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 90 นาที ตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของชนิดเชื้อรา ดังนี้ จุดที่ 1 แยกได้ 4 ไอโซเลต เป็น *Aspergillus* spp. *Penicillium* spp. และราที่ยังจำแนกชนิดไม่ได้ 1 ไอโซเลต จุดที่ 2 แยกได้ 9 ไอโซเลต พบ *Aspergillus* spp. *Penicillium* spp. และราที่ยังจำแนกชนิดไม่ได้ 6 ไอโซเลต จุดที่ 3 แยกได้ 12 ไอโซเลต เป็นราที่ยังจำแนกชนิดไม่ได้ทั้งหมด และจุดที่ 4 แยกได้ 11 ไอโซเลต พบ *Fusarium* spp. *Penicillium* spp. และราที่ยังจำแนกชนิดไม่ได้ 7 ไอโซเลต (ตารางที่ 3 และภาพที่ 3-6)

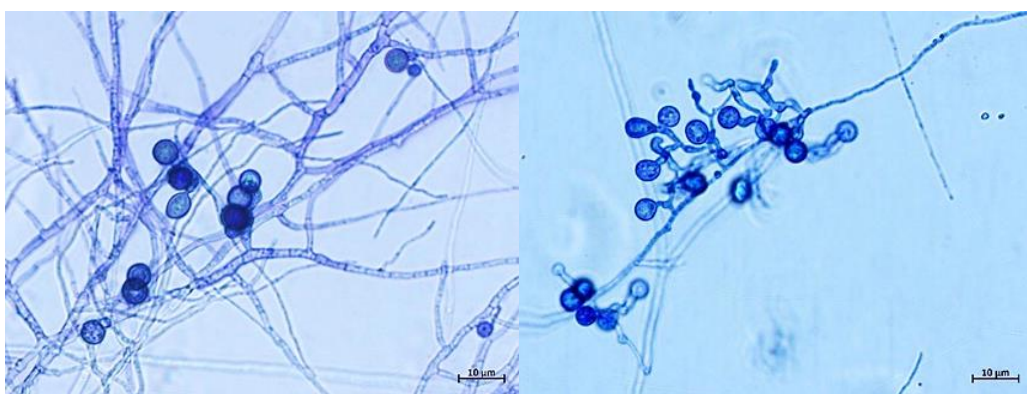
ตารางที่ 3 จำนวนไอโซเลตของราที่แยกได้ และชนิดของราที่พบจากตัวอย่างดินแปลงปลูกเบญจมาศ ก่อนและหลังการอบด้วยไอน้ำตามระยะห่างจากจุดนำเข้าไอน้ำ

ตัวอย่าง	ระยะห่างจาก หัวแปลง	จำนวนและชนิดของราที่แยกได้	
		ไอโซเลต	ชนิด
ก่อนอบ	หัวแปลง	23	<i>Fusarium</i> spp. (4) <i>Pythium</i> spp. (2) <i>Penicillium</i> spp. (5) <i>Aspergillus</i> spp. (3) <i>Rhizopus</i> sp. (1) <i>Nigrospora</i> sp. (1) unidentified species (7)
หลังอบจุดที่ 1	0-3 เมตร	4	<i>Aspergillus</i> spp. (2) <i>Penicillium</i> sp. (1) unidentified species (1)
หลังอบจุดที่ 2	3-6 เมตร	9	<i>Aspergillus</i> sp. (1) <i>Penicillium</i> spp. (2) unidentified species (6)
หลังอบจุดที่ 3	6-9 เมตร	12	unidentified species
หลังอบจุดที่ 4	9-12 เมตร	11	<i>Fusarium</i> sp. (1) <i>Penicillium</i> spp. (3) unidentified species (7)

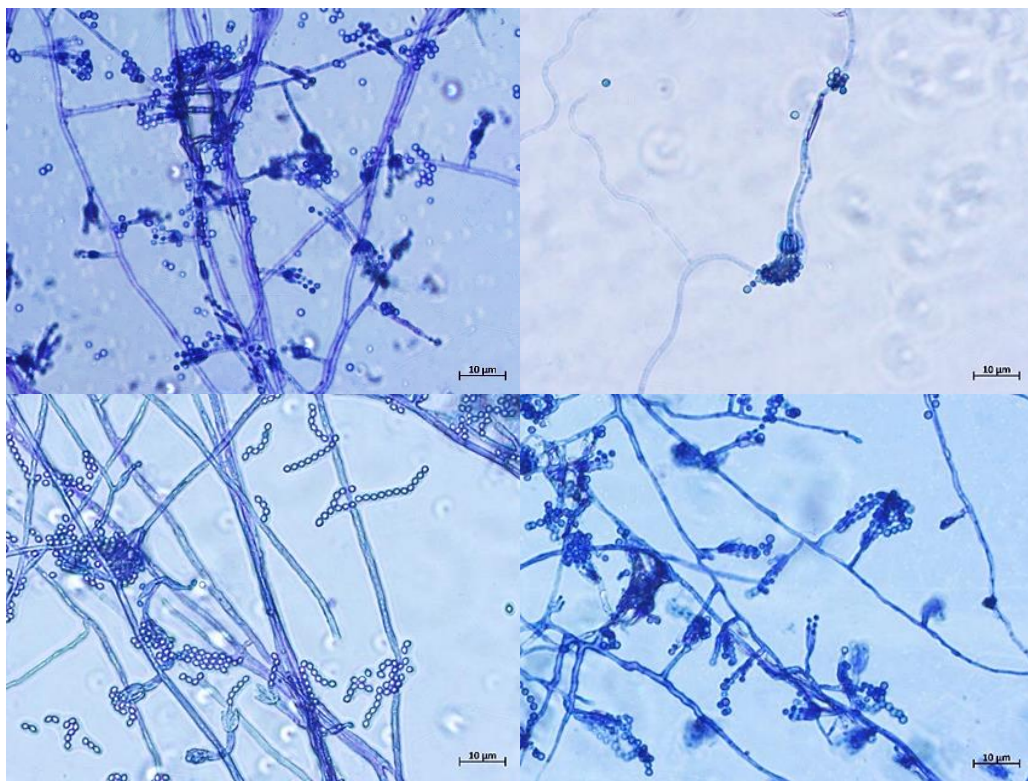
หมายเหตุ: - ตัวเลขในวงเล็บหลังชนิดคือจำนวนไอโซเลต



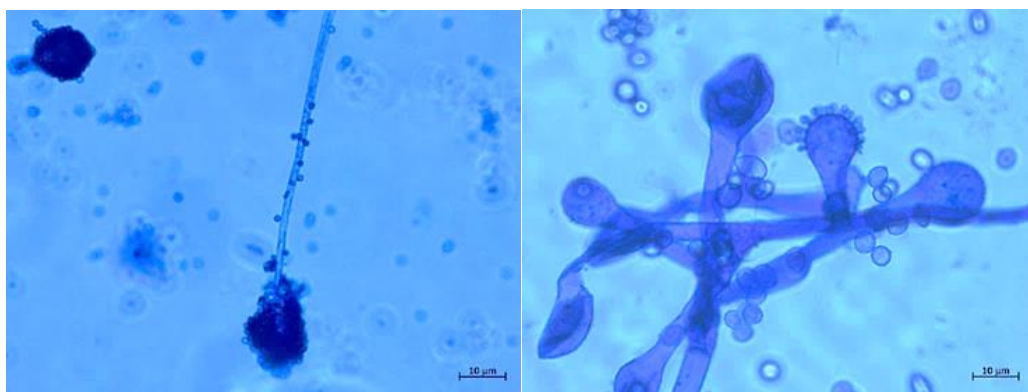
ภาพที่ 3 ลักษณะโคนินเดี่ยวของ *Fusarium* spp. ที่แยกได้จากดินแปลงปลูกเบญจมาศ (400x)



ภาพที่ 4 ลักษณะสปอร์ของ *Pythium* spp. ที่แยกได้จากดินแปลงปลูกเบญจมาศ (400x)



ภาพที่ 5 ลักษณะโคินิเดียของ *Penicillium* spp. ที่แยกได้จากดินแปลงปลูกเบญจมาศ (400x)



ภาพที่ 6 ลักษณะโคินิเดียของ *Aspergillus* spp. ที่แยกได้จากดินแปลงปลูกเบญจมาศ (400x)

การอภิปรายผลการวิจัย

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในแปลงระหว่างการอบดินด้วยไอน้ำ

การอบดินด้วยไอน้ำแบบคลุมแปลงด้วยเครื่องกำเนิดไอน้ำขนาดเล็กกำลังการผลิตไอน้ำ 1-3 ตันต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิดินที่ความลึกประมาณ 10-15 เซนติเมตร เฉลี่ยเป็น 57.5 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที หลังต้มน้ำ และเมื่ออบต่อไปอีก 30 นาที อุณหภูมิดินเฉลี่ยเพิ่มขึ้น

เล็กน้อยเป็น 61.8 องศาเซลเซียส ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดังกล่าวจะแตกต่างกับวิธีการอบหน้าดินในประเทศเกาหลีใต้ที่ใช้เครื่องกำเนิดไอน้ำอุณหภูมิโดย Huh *et al.* (2020) ที่เป็นการนึ่งด้วยระบบหัวพ่นพวยแรงดันสูง รายงานไว้ว่าเมื่อตั้งอุณหภูมิไอน้ำที่ 160 องศาเซลเซียส อัตราการนึ่งไอน้ำที่ 1 เมตรต่อนาที่ ที่ระดับความลึกดิน 15 เซนติเมตร อุณหภูมิของดินเพิ่มสูงขึ้นถึง 83.5 องศาเซลเซียส ภายใน 5 นาที และค่อย ๆ ลดลงหลังจากนั้น จนประมาณนาที่ที่ 30 เริ่มมีอุณหภูมิคงที่ระหว่าง 50-55 องศาเซลเซียส อบอุ่นไปอีก 40 นาที กล่าวคือ ดินจะได้รับการนึ่งที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 20 นาที หลังจากนั้นนึ่งต่อที่ประมาณ 50 องศาเซลเซียส 50 นาที เช่นเดียวกับการอบดินแบบใช้อากาศผสมไอน้ำ (aerated steam) ที่อุณหภูมิของดินจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วถึง 50-60 องศาเซลเซียส ภายใน 2 นาที และอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ความคลาดเคลื่อนจากการทำงานของพัดลมอยู่ที่ ± 2 องศาเซลเซียส (Van Loenen *et al.*, 2003) จะเห็นว่าด้วยระบบการอัดไอน้ำลงในดินแบบไม่คลุมดังกล่าวอุณหภูมิดินจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและคงอยู่ในระยะเวลาสั้นก่อนอุณหภูมิจะตกลงเรื่อย ๆ และคงที่ที่ระดับอุณหภูมิไม่สูงนัก อยู่ที่ประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส ต่างจากการอบไอน้ำแบบคลุมกองที่ทำการทดสอบในงานวิจัยนี้ ที่ใช้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมินานกว่าจึงต้องใช้เวลาในการอบนาน

2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ดินหลังการอบด้วยไอน้ำ

การอบดินแปลงแม่พันธุ์เบญจมาศด้วยไอน้ำตามสภาวะที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเวลา 90 นาที ทำให้ดินแปลงมีปริมาณแบคทีเรียลดลงเพียงประมาณ 2 log cycle ขณะที่ปริมาณเชื้อราลดลงอย่างมาก มากกว่า 4 log cycle อาจกล่าวได้ว่าการอบดินด้วยไอน้ำฆ่าเชื้อราในดินได้ค่อนข้างดี แต่มีผลต่อแบคทีเรียในดินเพียงเล็กน้อย สอดคล้องกับทิพาพร (2535) ที่รายงานไว้ว่ายีสต์และราส่วนใหญ่สามารถใช้ความร้อนทำลายได้ง่ายกว่าแบคทีเรีย และสปอร์ของแบคทีเรียทนความร้อนได้ดีกว่าเซลล์ธรรมดา (vegetative cell) การที่แบคทีเรียในแปลงปลูกเบญจมาศมีปริมาณลดลงหลังผ่านการอบไอน้ำจาก 2.4×10^{10} เหลือประมาณ 2.5×10^8 CFU ต่อกรัม เป็นไปในทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Roux-Michollet *et al.* (2010) ที่พบว่าการตรวจดินทันทีหลังอบพบว่าปริมาณแบคทีเรียลดลง 71 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทิ้งไว้ 10 วัน สุ่มตรวจอีกครั้งปริมาณแบคทีเรียในดินที่ผ่านการอบก็ยังคงมีปริมาณต่ำกว่าดินที่ไม่ผ่านการอบ คือ 2.5×10^7 และ 2.2×10^8 CFU ต่อกรัม ตามลำดับ แม้ว่าหลังการอบดินจะทำให้ปริมาณแบคทีเรียลดน้อยลง แต่ภายในไม่เกิน 1 เดือน ปริมาณแบคทีเรียจะเพิ่มขึ้น 10 เท่า เนื่องจากเกิดการปลดปล่อยคาร์บอนในรูปที่เป็นประโยชน์เพิ่มมากขึ้น

การอบดินด้วยไอน้ำตามรูปแบบที่ทดสอบมีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียและราในดินบนค่อนข้างสูงคือ สามารถกำจัดได้ 96-99 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแบคทีเรีย และเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเชื้อรา เช่นเดียวกับที่ได้รายงานไว้โดย Huh *et al.* (2020) ที่อบฆ่าเชื้อและไล่เดือนฝอยในดินด้วยเครื่องกำเนิดไอน้ำอุณหภูมิสูง (High-temperature steam disinfectant) ที่มีกำลังการฆ่าเชื้อได้ 100 ตารางเมตรต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียเริ่มต้น 2.27×10^{11} - 5.32×10^{12} CFU ต่อกรัม ลงได้ 97.5 เปอร์เซ็นต์

3. ผลของการอบดินด้วยไอน้ำต่อชนิดของราดิน

การอบดินแปลงปลูกเบญจมาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดของเชื้อราดินที่พบ โดยเฉพาะ *Pythium Rhizopus* และ *Nigrospora* โดยหลังจากผ่านการอบ ตรวจไม่พบเชื้อราดังกล่าว แต่ยังคงพบ *Fusarium* ได้จากตัวอย่างดินหลังอบในจุดที่ 4 ซึ่งเป็นตัวอย่างของระยะการอบที่ห่างจากท่อปล่อยไอน้ำระหว่าง 9-12 เมตร อาจจะเนื่องมาจากระยะดังกล่าวเป็นระยะท้ายแปลง เป็นจุดที่อุณหภูมิดินต่ำที่สุดคือประมาณ 50 องศาเซลเซียส ความร้อนที่ได้อาจไม่สม่ำเสมอเพียงพอที่จะกำจัดเชื้อราที่อาจก่อให้เกิดโรคได้หมด ผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Van Loenen *et al.* (2003) ที่ทดลองอบดินที่ผ่านการทำเกษตรกรรมและตรวจพบเชื้อราก่อโรค *Verticillium dahlia Sclerotinia sclerotiorum S. cepivorum* และ *P. ultimum* แบบใช้อากาศผสมไอน้ำที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที และปล่อยไว้ในระบบซึ่งอุณหภูมิค่อย ๆ ลดลงอีก 8 นาที พบว่า สามารถกำจัดราโรคพืชได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การนึ่งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส กำจัด *V. dahlia* ได้เล็กน้อย แต่กำจัด *S. cepivorum* ไม่ได้เลย นอกจากนี้ Luvisi *et al.* (2008) รายงานการนึ่งดินลึก 0-15 เซนติเมตร ด้วยการฉีดไอน้ำที่อุณหภูมิดินประมาณ 48-68 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ว่าสามารถลดการเกิดโรคเหี่ยวจาก *F. oxysporum* ของมะเขือเทศลงได้ประมาณ 78-81 เปอร์เซ็นต์ ลดการเกิดโรคจาก *Sclerotium rolfsii* ลงได้ 65-71 เปอร์เซ็นต์ โดยการฉีดไอน้ำดังกล่าวมีผลต่อปริมาณราในดินคือ *F. oxysporum* ลดลง ขณะที่ *Trichoderma* spp. เพิ่มขึ้น และไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณเชื้อรารวมและแอคติโนมัยซีต (actinomycetes) ในดิน

สรุปผลการวิจัย

การอบดินแปลงปลูกเบญจมาศด้วยไอน้ำแบบคลุมแปลงขนาดพื้นที่ 2x12 เมตร ด้วยเครื่องกำเนิดไอน้ำขนาดเล็กกำลังการผลิตไอน้ำ 1-3 ตันต่อชั่วโมง ใช้เวลาหลังเริ่มต้มน้ำ 60 นาที ในการเพิ่มอุณหภูมิดินที่ความลึกประมาณ 15 เซนติเมตร เป็น 57.5 องศาเซลเซียส และเมื่ออบต่อไปอีก 30 นาที อุณหภูมิดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 61.8 องศาเซลเซียส การอบตามวิธีดังกล่าว สามารถลดปริมาณแบคทีเรียลงได้ 2 log cycle และลดปริมาณเชื้อราลงได้มากกว่า 4 log cycle การอบดินด้วยวิธีนี้ มีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรีย 98 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อราเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังคงพบ *Fusarium* ในตัวอย่างดินที่ผ่านการอบในจุดที่ไกลจากท่อปล่อยไอน้ำที่ระยะระหว่าง 9-12 เมตร

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นผลงานตามแนวทาง มาลัยวิทยสถาน อว. ในการเสริมสร้างเศรษฐกิจฐานรากให้กับชุมชนไม้ดอกไม้ประดับ ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2565

เอกสารอ้างอิง

- กิตติมา รามัญวงศ์ วินันท์ดา หิมะมาน จันจิรา อายะวงศ์ และสมโภชน์ มณีรัตน์. (2543). การสำรวจเบื้องต้นเกี่ยวกับราในดินบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าทุ่งใหญ่นเรศวร ด้านตะวันออก. *วารสารวิชาการป่าไม้*, 2(2), 117-124.
- ทิพาพร อยู่วิทยา. (2535). การกำหนดกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน. *อาหาร*, 22(4), 39-50.
- รัชชัย ทีฆขุนทด และศุภณัฐ กาญจนวัฒนวงศ์. (ม.ป.ป.). *เบญจมาศตัดดอก ที่อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา*. สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม พ.ศ.2565, จาก: http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/2083/1/BIB1284_F.pdf.
- เลขา มาโนช. (2555). ราดินและราจากเศษซากพืช. ใน อรุมา เพี้ยชัย. *บัญชีรายการทรัพยากรชีวภาพ*, หน้า 33-50. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ (องค์การมหาชน).
- วัชร เสารีเทพ อรุมา เพี้ยชัย และพัชรวิภา ใจจักรคำ. (2560). การจำแนกชนิดของเชื้อรา *Aspergillus* spp. และ *Penicillium* spp. ที่ปนเปื้อนในอาหารผลิตภัณฑ์การเกษตร และดินเพาะปลูก และการสร้างสารพิษอะฟลาท็อกซิน ปี1. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 48(1), 127-138.
- American Society for Testing and Materials International. (2009). *Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))*. Retrieved 23 July 2022, from: <https://www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/astm-D698.pdf>.
- Huh, D.A., Chae, W.R., Lim, H.R., Kim, J.H., Kim, Y.S., Kim, Y.W. and Moon, K.W. (2020). Optimizing operating parameters of high-temperature steam for disinfecting total nematodes and bacteria in soil: Application of the box-behnken design. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 5029-5044, doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17145029>.
- Inga, M. (2020). *Fusarium wilt problematic on Chrysanthemum in 2020*. Retrieved 15 July 2022, from: <https://plantpathology.ces.ncsu.edu/2020/09/fusarium-wilt-problematic-on-chrysanthemum-in-2020/>.
- Luvisi, A., Materazzi, A. and Triolo, E. (2008). Control of soil-borne diseases in tomato by use of steam and an exothermic reaction. *Advances in Horticultural Science*, 22(3), 174-181.
- Roux-Michollet, D., Dudal, Y., Jocteur-Monrozier, L., and Czarnes, S. (2010). Steam treatment of surface soil: How does it affect water-soluble organic matter, C mineralization, and bacterial community composition?. *Biology and Fertility of Soils*. 46(6), 607-616, doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-010-0468-6>.

- Runia, W.T. and Molendijk, L.P.G. (2010). Physical methods for soil disinfection in intensive agriculture: Old methods and new approaches. *International Society for Horticultural Science*, 883, 249-258, doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.883.31>.
- van Loenen, M.C., Turbett, Y., Mullins, C.E., Feilden, N.E., Wilson, M.J., Leifert, C. and Seel, W.E. (2003). Low temperature-short duration steaming of soil kills soil-borne pathogens, nematode pests and weeds. *European Journal of Plant Pathology*, 109(9), 993-1002, doi: <https://doi.org/10.1023/B:EJPP.0000003830.49949.34>.

การเจริญเติบโตและผลผลิตบัวบกจาก 5 แหล่งปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ The Growth and Yield of Asiatic Pennywort from 5 Accessions in a Hydroponic System

อนันต์ พิริยะภัทรกิจ^{1*} พัชรี เดชเลย์¹ พรกมล รุปเลิศ¹ และปัญญพัฒน์ พลพิมพ์¹
Anan Piriayaphattarakit^{1*} Patcharee Dechlay¹ Ponkamon Ruplert¹ and
Punyaphat Pholphim¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของบัวบกจาก 5 แหล่งปลูก ได้แก่ จังหวัดปราจีนบุรี อุบลราชธานี ระยอง นครปฐม และนครศรีธรรมราช โดยปลูกเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์แบบ deep flow technique (DFT) ใช้สารละลายธาตุอาหารพืช stock solution A และ stock solution B ณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ประกอบด้วย 5 ทรีทเมนต์ จำนวน 3 ซ้ำ บันทึกผลการเจริญเติบโตทุก 10 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน หลังปลูก พบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครปฐม ปราจีนบุรี และอุบลราชธานี ให้ค่าจำนวนใบต่อต้นมากที่สุดเท่ากับ 8.00 7.95 และ 7.29 ใบ ตามลำดับ บัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานีมีความยาวก้านใบมากที่สุด เท่ากับ 21.53 เซนติเมตร บัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช ระยอง นครปฐม และอุบลราชธานี มีความยาวรากมากที่สุด เท่ากับ 16.99 16.50 16.43 และ 14.94 เซนติเมตรตามลำดับ บัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดระยอง และอุบลราชธานี มีจำนวนต้นต่อโหลมากที่สุด เท่ากับ 9.77 และ 7.44 ต้น ตามลำดับ บัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครปฐมมีความยาวโหลยาวที่สุด เท่ากับ 159.32 เซนติเมตร และบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรี ระยอง นครปฐม และอุบลราชธานี ให้ค่าผลผลิตน้ำหนักสดเฉลี่ยต่อพื้นที่มากที่สุด เท่ากับ 263.00 258.67 242.67 และ 223.67 กรัมตามลำดับ ส่วนค่าความเขียวใบ จำนวนโหลต่อต้น และขนาดพื้นที่ใบของบัวบกทั้ง 5 แหล่งปลูก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรีมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์

คำสำคัญ: บัวบก การเจริญเติบโต ไฮโดรโปนิคส์ การคัดเลือก ผลผลิต

¹ ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

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

Received: 1 June 2022, Revised: 30 September 2022, Accepted: 6 October 2022

Abstract

This research aims to study the growth and yield of Asiatic pennywort from 5 accessions, including Prachinburi, Ubon Ratchathani, Rayong, Nakhon Pathom and Nakhon Si Thammarat. The plants were cultivated in a deep flow technique (DFT) hydroponic system using commercial nutrient solution, namely Stock Solution A and B. The experiments were conducted at the Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Khlong Ha, Khlong Luang, Pathum Thani. Experimental method was carried out using a randomized complete block design (RCBD) with 5 treatments and 3 replications. The plant growth was recorded every 10 days for a period of 60 days after planting. Results showed that Asiatic pennywort collected from Nakhon Pathom, Prachinburi and Ubon Ratchathani provinces had the highest number of leaves per plant (8.00 7.95 and 7.29 leaves, respectively). Ubon Ratchathani accessions had the highest petiole length (21.53cm), whereas Nakhon Si Thammarat, Rayong, Nakhon Pathom and Ubon Ratchathani accessions had the highest root length (16.99 16.50 16.43 and 14.94 cm, respectively). The highest number of plants per stolon was found in Rayong and Ubon Ratchathani accessions (9.77 and 7.44 plants, respectively). Nakhon Pathom accessions had the highest stolon length (159.32 cm), whereas, the highest average fresh weight yield per area was found in Prachinburi, Rayong, Nakhon Pathom and Ubon Ratchathani accessions (263.00 258.67 242.67 and 223.67 g, respectively). However, leaf greenness values (SPAD), number of stolons per plant and leaf area of 5 accessions were not statistically different. Therefore, Prachinburi accessions are suitable for growing under a hydroponic system.

Keywords: Asiatic pennywort, Growth, Hydroponics, Selection, Yield

บทนำ

บัวบก (Asiatic pennywort) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Centella asiatica* (Linn.) Urban จัดอยู่ในวงศ์ Umbelliferae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกาใต้ ปัจจุบันมีการแพร่กระจายไปทั่วโลก ทั้งในประเทศเขตร้อนและเขตอบอุ่น สำหรับประเทศไทยพบบัวบกได้ทั่วไปในเขตพื้นที่ชุ่มน้ำทั่วทุกภาคในประเทศ เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก อายุยืน อยู่ในจำพวกผัก ประเภทเลื้อย ลำต้นเป็นไหลทอดนอนตามพื้นดิน ถูกหุ้มไปด้วยก้านใบยาวโดยรอบ (ประนอม, 2556) บัวบกปลูกได้ในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ เก็บเกี่ยวได้รวดเร็วและสามารถให้ผลผลิตได้ตลอดปี เป็นพืชสมุนไพรที่มีโอกาสพัฒนาได้เนื่องจากมีราคาสูงสุดที่เกษตรกรจำหน่ายได้ (บาทต่อกิโลกรัม) สูงกว่าพืชการเกษตรหลักบางชนิด เช่น ข้าว สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่เกษตรกรได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งการผลิตเพื่อจำหน่ายผลผลิตสดแปรรูปเป็นสินค้า เพื่อบำรุงสุขภาพ ผลิตเพื่อเป็นยารักษาโรค หรือแม้แต่นำไปสกัดในรูปแบบเครื่อง

ประทินผิวและความงาม ซึ่งการผลิตบัวบกในเชิงการค้ามีต้นทุนการผลิตรวม 19,530 บาทต่อไร่ ได้ผลผลิตรวม 8,000 กิโลกรัมต่อไร่ เกษตรกรขายได้กิโลกรัมละ 40 บาท ทำให้มีรายได้สุทธิ 300,470 บาทต่อไร่ (บุษกร, 2559)

บัวบกพบสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการหลายชนิด เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก วิตามินเอ วิตามินอี วิตามินซี และกรดอะมิโนต่าง ๆ จึงถือได้ว่าเป็นพืชสมุนไพรที่มีประโยชน์ต่อร่างกายอย่างยิ่ง (Zhao *at al.* 2005) นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบทางเคมีสำคัญที่แสดงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารกลุ่มไตรเทอปีนอยด์ ไกลโคไซด์ (triterpenoid glycoside) เช่น กรดเอเชียติก (asiatic acid) กรดมาเดคาสสิก (madecassic acid) มาเดคาสโซไซด์ (madecassoside) เอเชียติโคไซด์ (asiaticoside) (จันทพร, 2556) และพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ (Chew *at al.* 2008) ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่พบในพืชผักและผลไม้ที่มีสารประกอบประเภทยีนอลเป็นองค์ประกอบ (นวลศรี และอัญญา, 2545) Daduang *at al.* (2011) รายงานว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่พบในผักและผลไม้มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งปริมาณของสารเหล่านี้ใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของใบบัวบก (Hashim, 2011) สารสำคัญที่สกัดได้มากที่สุดใบบัวบก คือสารเอเชียติโคไซด์ ซึ่งเป็นสารที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านเภสัชวิทยาอย่างแพร่หลาย มีฤทธิ์ในการรักษาโรคต่าง ๆ ได้แก่ แผลเปื่อย โรคเรื้อน สมานแผล ต้านการอักเสบ (จิรพันธ์, 2553)

การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ พืชจะได้รับธาตุอาหารในรูปสารละลาย เรียกว่า “สารละลายธาตุอาหารพืช” ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันทีเพราะมีการปรับค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC) และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ตลอดเวลา ข้อดีของการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ คือ สามารถทำการปลูกผักในบริเวณที่พื้นดินไม่เหมาะสมหรือสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกผัก ใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกน้อยและสามารถทำการผลิตได้อย่างสม่ำเสมอ ควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตได้ เช่น การควบคุมปริมาณธาตุอาหารและค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งเป็นการปลูกผักที่ใช้น้ำและธาตุอาหารพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังประหยัดเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินและกำจัดวัชพืช (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

ในปัจจุบันประเทศไทยยังขาดการวิจัยและพัฒนาควบคุมประสิทธิภาพมาตรฐาน และขาดการทดสอบประสิทธิภาพเชิงวิทยาศาสตร์ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้สมุนไพรไทยได้รับการรับรองมาตรฐานเพื่อให้เข้าสู่ตลาดโลก เพื่อให้เกษตรกรผู้ปลูกบัวบกได้ใช้เทคโนโลยีการผลิตบัวบกและมีการนำเทคโนโลยีการผลิตบัวบกไปใช้ในพื้นที่ที่เป็นแหล่งปลูกบัวบกที่สำคัญ และจากการศึกษาพบว่า การเพาะปลูกบัวบกในประเทศไทยปลูกโดยใช้วิธีการปลูกแบบทั่ว ๆ ไป คือ ปลูกในกระถางและปลูกในแปลง นิยมใช้พันธุ์พื้นบ้านที่มีอยู่ในแต่ละท้องถิ่น ส่วนการปลูกในทางการค้ายังมีน้อย มีเพียงบางพื้นที่ เนื่องจากบัวบกแต่ละสายพันธุ์ (accession) มีความแตกต่างกันตั้งแต่ลักษณะทางสรีรวิทยา การเจริญเติบโต รวมทั้งปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ที่มีอยู่ภายในใบบัวบก คณะผู้วิจัยจึงได้คัดเลือกบัวบกจาก 5 แหล่งปลูก ที่มีปริมาณสารเอเชียติโคไซด์สูงสุดจากการศึกษาที่ผ่านมา (อนันต์ และคณะ, 2562) ได้แก่ แหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรี อุบลราชธานี ระยอง นครปฐม และนครศรีธรรมราช มาปลูกเลี้ยง อีกทั้งยังไม่มีการศึกษาการปลูกบัวบกในระบบไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งปัจจุบันการปลูกพืชไร้ดิน

กำลังเป็นนิมิตหมายแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีการปลูกพืชที่สามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ เช่น ศัตรูพืช ดิน การให้อาหารพืช ทำให้สามารถลดปริมาณสารเคมีที่ใช้กับพืชได้ ซึ่งการปลูกพืชไร้ดินนั้นสามารถทำรายได้ให้กับเกษตรกรหรือผู้ปลูกเลี้ยงได้ งานวิจัยครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกบัวบกจากแหล่งปลูกที่เหมาะสมต่อการผลิตบัวบกในระบบไฮโดรโปนิคส์ เพื่อให้ได้บัวบกที่มีผลผลิตและคุณภาพดี และส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเลี้ยงต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การปลูกบัวบกในระบบไฮโดรโปนิคส์

โดยคัดเลือกบัวบกจาก 5 แหล่งปลูก ได้แก่ จังหวัดปราจีนบุรี อุบลราชธานี ระยอง นครปฐม และนครศรีธรรมราช นำมาปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ ณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) ประกอบด้วย 5 ทรีทเมนต์ จำนวน 3 ซ้ำ (ซ้ำละ 15 ต้น) นำต้นบัวบกจากแปลงปลูกลี้ยงน้ำให้สะอาด แขน้ำยากันเชื้อรา 1 ชั่วโมง ตัดใบทิ้งให้เหลือ 2 ใบ และตัดรากให้เหลือ 1 เซนติเมตร นำต้นกล้าใส่ฟองน้ำและถ้วยปลูก ปลูกลงบนกล่องโฟมขนาด 30×60 เซนติเมตร ใส่ น้ำให้มีความสูงระดับ 30 เซนติเมตร ใช้ระยะปลูกระหว่างต้น 5 เซนติเมตร โดยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากในระดับลึก (deep flow technique: DFT) เตรียมปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ เติมสารละลายธาตุอาหารพืช และย้ายกล้าบัวบกลงระบบปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ภายนอกโรงเรือนปลูกพืช โดยใช้สารละลายธาตุอาหาร stock solution A (แมกนีเซียมซันเฟต 2,000 กรัม โพแทสเซียมไนเตรด 3,200 กรัม แอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 500 กรัม โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 320 กรัม แมงกานีส 20 กรัม และจุลธาตุรวม 40 กรัม) และสารละลายธาตุอาหาร stock solution B (แคลเซียมไนเตรด 4,000 กรัม Fe-EDTA 13 เปอร์เซ็นต์ 240 กรัม และจุลธาตุรวม 80 กรัม) ความเข้มข้น 200 เท่า (ผสมอัตราส่วน 1 ลิตร ต่อน้ำ 20 ลิตร)

2. การบันทึกการเจริญเติบโต

การเจริญเติบโต ได้แก่ จำนวนใบต่อต้น (นับทุกใบของทั้งต้น) ความยาวก้านใบ (วัดจากโคนต้นถึงโคนใบ) จำนวนไหลต่อต้น (นับทุกไหลของทั้งต้น) จำนวนต้นต่อไหล (นับทุกต้นของไหล) ความยาวไหล (วัดจากโคนไหลถึงปลายไหล) ความยาวราก (วัดจากโคนรากถึงปลายราก) โดยใช้ไม้บรรทัด วัดขนาดพื้นที่ใบ ด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ leaf area meter ของบริษัท LI-COR Inc., U.S.A. เก็บข้อมูลความเขียวใบ ด้วยเครื่อง Chlorophyll Meter SPAD-502 Plus ทุก ๆ 10 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน หลังปลูก และข้อมูลผลผลิตน้ำหนักสด (ซึ่งน้ำหนักทั้งต้นรวมราก) นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ด้วยโปรแกรม SPSS 15.0 (SPSS, Inc, 2006) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี duncan's multiple range test (DMRT)

ผลการวิจัย

จากการศึกษาจำนวนใบต่อต้นโดยนับทุกใบของทั้งต้น พบว่าจำนวนใบต่อต้นบัวบกที่อายุ 10 วัน จาก 5 แหล่งปลูก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่บัวบกที่อายุ 20 30 40 50 และ 60 วัน จากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรีและนครปฐมมีจำนวนใบต่อต้นมากที่สุด ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานีและนครศรีธรรมราช และบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดระยองให้ค่าจำนวนใบต่อต้นน้อยที่สุด (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 จำนวนใบต่อต้น (ใบ) ของบัวบกจาก 5 แหล่งปลูก ที่อายุ 10-60 วัน หลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์

แหล่งปลูก (จังหวัด)	จำนวนวันหลังย้ายปลูก (วัน)					
	10	20	30	40	50	60
ปราจีนบุรี	3.60	4.79 ^a	5.86 ^a	6.40 ^a	6.83 ^{ab}	7.95 ^a
อุบลราชธานี	3.53	3.98 ^{ab}	4.21 ^b	5.01 ^b	6.25 ^{ab}	7.29 ^{ab}
ระยอง	2.96	3.88 ^b	4.13 ^b	4.82 ^b	5.67 ^b	6.30 ^b
นครปฐม	3.11	4.87 ^a	5.87 ^a	6.44 ^a	7.31 ^a	8.00 ^a
นครศรีธรรมราช	3.49	4.35 ^{ab}	4.67 ^b	5.40 ^{ab}	6.22 ^{ab}	6.85 ^b
F-test	ns	*	*	*	*	*
CV (%)	10.87	10.87	10.40	10.06	11.78	7.68

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

- ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาความยาวก้านใบโดยวัดจากโคนต้นถึงโคนใบบัวบกที่อายุ 10 วัน พบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานี ระยอง ปราจีนบุรี และนครปฐม มีความยาวก้านใบมากที่สุด ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีความยาวก้านใบน้อยที่สุด เมื่อวัดความยาวก้านใบบัวบกที่อายุ 20 วัน พบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดระยองและอุบลราชธานีมีความยาวก้านใบมากที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรี นครปฐม และบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช มีความยาวก้านใบน้อยที่สุด ตามลำดับ เมื่อวัดความยาวก้านใบบัวบกที่อายุ 30 40 และ 50 วัน พบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานี นครปฐม และระยอง มีความยาวก้านใบมากที่สุด ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรี และนครศรีธรรมราช ซึ่งมีความยาวก้านใบน้อยที่สุด เมื่อวัดความยาวก้านใบบัวบกที่อายุ 60 วัน พบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานี มีความยาวก้านใบมากที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครปฐม ระยอง ปราจีนบุรี และบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชมีความยาวก้านใบน้อยที่สุด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ความยาวก้านใบ (เซนติเมตร) ของบัวบกจาก 5 แหล่งปลูก ที่อายุ 10-60 วัน หลังย้ายปลูก ในระบบไฮโดรโปนิกส์

แหล่งปลูก (จังหวัด)	จำนวนวันหลังย้ายปลูก (วัน)					
	10	20	30	40	50	60
ปราจีนบุรี	11.13 ^a	12.25 ^b	13.32 ^b	14.21 ^c	16.36 ^b	16.76 ^d
อุบลราชธานี	12.72 ^a	13.81 ^a	17.27 ^a	18.61 ^a	20.39 ^a	21.53 ^a
ระยอง	12.03 ^a	14.09 ^a	14.89 ^{ab}	16.75 ^{ab}	18.28 ^{ab}	18.61 ^c
นครปฐม	10.80 ^a	12.10 ^b	15.42 ^{ab}	17.90 ^a	19.37 ^a	20.19 ^b
นครศรีธรรมราช	7.54 ^b	9.20 ^c	13.20 ^b	14.96 ^{bc}	16.18 ^b	16.70 ^d
F-test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	15.66	6.37	8.79	6.67	6.94	2.92

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

จากการศึกษาจำนวนไหลต่อนต้นโดยนับทุกไหลของต้นบัวบกที่อายุ 10 20 30 40 50 และ 60 วัน พบว่าบัวบกทั้ง 5 แหล่งปลูก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 จำนวนไหลต่อนต้น (ต้น) ของใบบัวบกจาก 5 แหล่งปลูก ที่อายุ 10-60 วัน หลังย้ายปลูก ในระบบไฮโดรโปนิกส์

แหล่งปลูก (จังหวัด)	จำนวนวันหลังย้ายปลูก (วัน)					
	10	20	30	40	50	60
ปราจีนบุรี	-	1.00	1.26	1.55	2.03	2.23
อุบลราชธานี	-	1.00	1.16	1.63	2.00	2.26
ระยอง	-	1.00	1.30	1.69	1.95	2.06
นครปฐม	-	1.23	1.28	1.77	2.18	2.62
นครศรีธรรมราช	-	1.00	1.22	1.43	1.89	2.13
F-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		9.63	20.51	57.93	29.82	14.49

หมายเหตุ: - ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาจำนวนต้นต่อไหลโดยนับทุกต้นของไหลบัวบกที่อายุ 20 30 และ 40 วัน พบว่าบัวบกทั้ง 5 แหล่งปลูก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อศึกษาจำนวนต้นต่อไหลบัวบกที่อายุ 50 วัน พบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดระยอง อุบลราชธานี และนครปฐม มีจำนวนต้นต่อไหลมากที่สุด ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานี และบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรีมีจำนวนต้นต่อไหลน้อยที่สุด เมื่อนับ

จำนวนต้นต่อไร่บวบที่อายุ 60 วัน พบว่าบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดระยองและอุบลราชธานี มีจำนวนต้นต่อไร่มากที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบวบจากแหล่งปลูก จังหวัดนครปฐม ปราจีนบุรี และบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชมีจำนวนต้นต่อไร่ น้อยที่สุด (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 จำนวนต้นต่อไร่ (ต้น) ของบวบจาก 5 แหล่งปลูก ที่อายุ 10-60 วัน หลังย้ายปลูกใน ระบบไฮโดรโปนิกส์

แหล่งปลูก (จังหวัด)	จำนวนวันหลังย้ายปลูก (วัน)					
	10	20	30	40	50	60
ปราจีนบุรี	-	1.11	2.75	4.42	4.56 ^b	5.77 ^{bc}
อุบลราชธานี	-	1.17	2.76	4.40	6.33 ^{ab}	7.44 ^{ab}
ระยอง	-	1.11	1.81	3.33	8.67 ^a	9.77 ^a
นครปฐม	-	1.67	3.42	3.73	5.67 ^{ab}	6.74 ^{bc}
นครศรีธรรมราช	-	1.21	1.67	2.74	3.89 ^b	4.81 ^c
F-test		ns	ns	ns	*	*
CV (%)		44.34	52.98	47.73	31.40	19.71

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

- ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาความยาวไหลโดยวัดจากโคนไหลถึงปลายไหลบวบที่อายุ 20 30 40 50 และ 60 วัน พบว่าบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดนครปฐมมีความยาวไหลยาวที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานี ระยอง ปราจีนบุรี และบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชมีความยาวไหลสั้นที่สุด (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ความยาวไหล (เซนติเมตร) บวบจาก 5 แหล่งปลูก ที่อายุ 10-60 วัน หลังย้ายปลูกใน ระบบไฮโดรโปนิกส์

แหล่งปลูก (จังหวัด)	จำนวนวันหลังย้ายปลูก (วัน)					
	10	20	30	40	50	60
ปราจีนบุรี	-	15.10 ^c	32.65 ^c	50.97 ^d	69.50 ^d	88.10 ^d
อุบลราชธานี	-	25.57 ^b	65.68 ^b	69.08 ^b	104.44 ^c	110.51 ^c
ระยอง	-	15.57 ^c	26.43 ^d	60.85 ^c	128.47 ^b	140.26 ^b
นครปฐม	-	30.60 ^a	68.84 ^a	83.20 ^a	139.54 ^a	159.32 ^a
นครศรีธรรมราช	-	13.07 ^c	23.34 ^e	38.04 ^e	60.02 ^e	76.33 ^e

ตารางที่ 5 (ต่อ)

แหล่งปลูก (จังหวัด)	จำนวนวันหลังย้ายปลูก (วัน)					
	10	20	30	40	50	60
F-test		*	*	*	*	*
CV (%)		7.67	3.26	2.34	0.90	0.95

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

จากการศึกษาความยาวรากโดยวัดจากโคนรากถึงปลายรากบัวบกที่อายุ 10 และ 20 วัน พบว่าบัวบกทั้ง 5 แหล่งปลูก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาความยาวรากบัวบกที่อายุ 30 วัน พบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครปฐม ระยอง นครศรีธรรมราช และอุบลราชธานี มีความยาวรากยาวที่สุด ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรี ซึ่งมีความยาวรากสั้นที่สุด เมื่อวัดความยาวรากบัวบกที่อายุ 40 วัน พบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครปฐม และนครศรีธรรมราช มีความยาวรากยาวที่สุด ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดระยอง อุบลราชธานี และบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรีมีความยาวรากสั้นที่สุด เมื่อวัดความยาวรากบัวบกที่อายุ 50 และ 60 วัน พบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช นครปฐม และระยอง มีความยาวรากยาวที่สุด ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานี และบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรีมีความยาวรากสั้นที่สุด (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ความยาวราก (เซนติเมตร) ของบัวบกจาก 5 แหล่งปลูก อายุ 10-60 วัน หลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์

แหล่งปลูก (จังหวัด)	จำนวนวันหลังย้ายปลูก (วัน)					
	10	20	30	40	50	60
ปราจีนบุรี	6.41	7.10	7.38 ^b	8.62 ^d	11.40 ^c	13.00 ^b
อุบลราชธานี	7.73	8.78	9.98 ^{ab}	11.08 ^c	13.60 ^{bc}	14.94 ^{ab}
ระยอง	6.45	8.29	11.98 ^a	13.64 ^b	16.07 ^{ab}	16.50 ^a
นครปฐม	7.92	10.52	12.78 ^a	16.03 ^a	16.21 ^{ab}	16.43 ^a
นครศรีธรรมราช	4.74	7.22	11.83 ^a	15.45 ^{ab}	16.35 ^a	16.99 ^a
F-test	ns	ns	*	*	*	*
CV (%)	28.00	26.02	14.44	9.53	9.69	10.29

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

- ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาขนาดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ leaf area meter พบว่าบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรี อุบลราชธานี ระยอง นครปฐม และบวบ และนครศรีธรรมราช ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการเก็บข้อมูลความเขียวใบบวบที่อายุ 10 วัน พบว่าบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรี อุบลราชธานี และนครปฐม ให้ค่าความเขียวใบสูงที่สุด ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดระยอง และบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชมีค่าความเขียวใบน้อยสุด เมื่อวัดความเขียวบวบที่อายุ 30 วัน พบว่าบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช ระยอง นครปฐม และอุบลราชธานี ให้ค่าความเขียวใบสูงที่สุด ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรี ซึ่งมีค่าความเขียวใบน้อยสุด เมื่อวัดความเขียวใบบวบที่อายุ 40 วัน พบว่าบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชให้ค่าความเขียวใบสูงที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดนครปฐม ปราจีนบุรี อุบลราชธานี และบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดระยอง มีค่าความเขียวใบน้อยสุด และจากการเก็บข้อมูลความเขียวใบบวบที่อายุ 20 50 และ 60 วัน พบว่าบวบทั้ง 5 แหล่งปลูก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ความเขียวใบ (SPAD unit) ของบวบจาก 5 แหล่งปลูก ที่อายุ 10-60 วัน หลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์

แหล่งปลูก (จังหวัด)	จำนวนวันหลังย้ายปลูก (วัน)					
	10	20	30	40	50	60
ปราจีนบุรี	47.52 ^a	47.05	45.39 ^b	43.57 ^b	43.10	44.14
อุบลราชธานี	43.94 ^{ab}	45.54	45.98 ^{ab}	43.43 ^b	42.32	44.10
ระยอง	41.98 ^b	46.81	46.73 ^{ab}	43.42 ^b	42.48	45.43
นครปฐม	43.61 ^{ab}	47.82	46.40 ^{ab}	45.65 ^b	43.54	45.01
นครศรีธรรมราช	41.77 ^b	45.81	48.89 ^a	49.60 ^a	41.59	46.83
F-test	*	ns	*	*	ns	ns
CV (%)	6.02	3.51	3.73	3.33	6.91	7.50

หมายเหตุ: - * ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสมมุติฐานเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
- ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

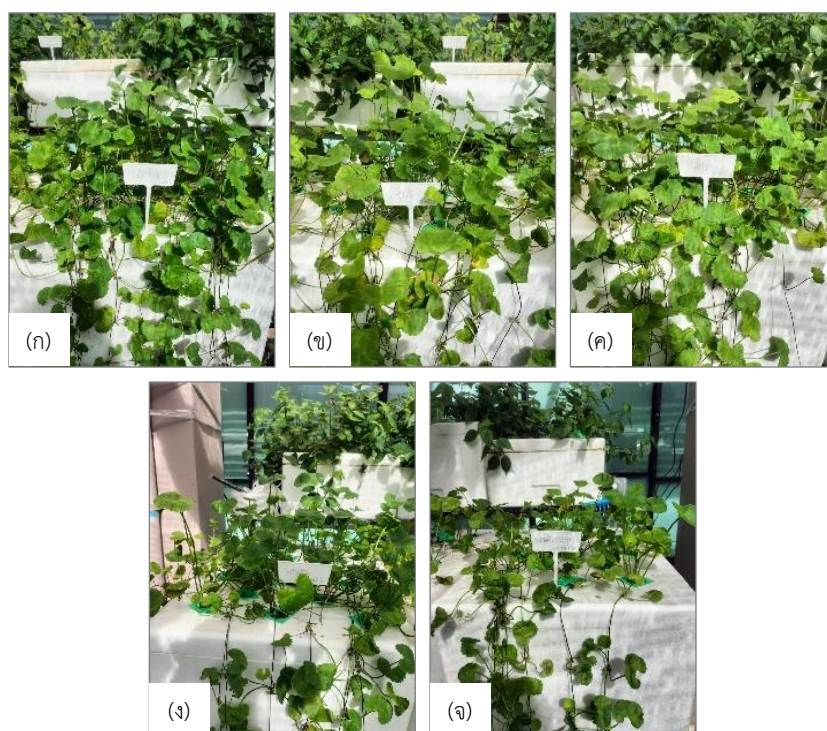
จากการศึกษาผลผลิตน้ำหนักรากโดยชั่งน้ำหนักทั้งต้นรวมราก พบว่าบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรีมีผลผลิตน้ำหนักรากมากที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดระยอง นครปฐม อุบลราชธานี ตามลำดับ และบวบจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชให้ผลผลิตน้ำหนักรากน้อยที่สุด (ตารางที่ 8) โดยมีลักษณะการปลูกเลี้ยงบวบดังภาพที่ 1 และบวบจาก 5 แหล่งปลูก มีลักษณะทรงต้นที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 2

ตารางที่ 8 ขนาดพื้นที่ใบ และปริมาณน้ำหนักรผลิตน้ำหนัสดของบวบจาก 5 แหล่งปลูก ที่อายุ 60 วัน หลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์

แหล่งปลูก (จังหวัด)	พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)	ผลผลิตน้ำหนัสด (กรัม)
ปราจีนบุรี	14.06	263.00 ^a
อุบลราชธานี	19.10	223.67 ^d
ระยอง	17.51	258.67 ^b
นครปฐม	17.31	242.67 ^c
นครศรีธรรมราช	15.51	186.33 ^e
F-test	ns	*
CV (%)	16.68	3.38

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

- ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 1 ลักษณะการปลูกเลี้ยงบวบในระบบไฮโดรโปนิกส์จากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรี (ก) แหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานี (ข) แหล่งปลูกจังหวัดระยอง (ค) แหล่งปลูกจังหวัดนครปฐม (ง) และแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (จ)



ภาพที่ 2 ลักษณะทรงต้นของบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรี (ก) บัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานี (ข) บัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดระยอง (ค) บัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครปฐม (ง) และบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (จ)

การอภิปรายผลการวิจัย

การเจริญเติบโตและผลผลิตของบัวบกจาก 5 แหล่งปลูก เมื่อปลูกเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ ได้แก่ จังหวัดปราจีนบุรี อุบลราชธานี ระยอง นครปฐม และนครศรีธรรมราช มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนี้ บัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครปฐม ปราจีนบุรี และอุบลราชธานี ให้ค่าจำนวนใบต่อต้นมากที่สุด เท่ากับ 8.00 7.95 และ 7.29 ใบ ตามลำดับ ในขณะที่บัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดระยองมีจำนวนใบต่อต้นน้อยที่สุด เท่ากับ 6.30 ใบ บัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานี มีความยาวก้านใบยาวที่สุด เท่ากับ 21.53 เซนติเมตร และบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดระยองและอุบลราชธานีมีจำนวนต้นต่อโหลมากที่สุด เท่ากับ 9.77 และ 7.44 ต้น ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของหนึ่งฤทัย และคณะ (2564) โดยศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของบัวบกจากห้าแหล่งปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ พบว่าบัวบกแหล่งปลูกจังหวัดระยองมีจำนวนใบต่อต้นน้อยที่สุด เฉลี่ย 7.85 ใบ เมื่อวัดความยาวก้านใบ พบว่าบัวบกแหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานีมีความยาวก้านใบมากที่สุด เฉลี่ย 11.23 เซนติเมตร เมื่อนับจำนวนต้นต่อโหล พบว่าบัวบกแหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานีมีจำนวนต้นมากที่สุด เฉลี่ย 3.00 ต้นต่อโหล สอดคล้องกับอนันต์ และคณะ (2552) รายงานว่าการผลิตบัวบกในระบบเกษตรอินทรีย์ พบว่านับจำนวนใบ บัวบกทุกสายต้นอายุ 2 เดือน มีจำนวนใบต่อต้น แตกต่างกันทางสถิติ เฉลี่ย 11.69 ใบ เมื่อวัดความยาวราก พบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัด

นครศรีธรรมราช ระยอง นครปฐม และอุบลราชธานี มีความยาวรากมากที่สุด เท่ากับ 16.99 16.50 16.43 และ 14.94 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่บัวบกแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรีมีความยาวรากสั้นที่สุด เท่ากับ 13.00 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดระยองมีจำนวนต้นต่อหลุมมากที่สุด เท่ากับ 9.77 ต้น สอดคล้องกับอนันต์ และคณะ (2552) ศึกษาการผลิตบัวบกในระบบเกษตรอินทรีย์ พบว่าในช่วงเดือนแรกจำนวนไหลต่อต้นของบัวบกมีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้า จึงมีผลทำให้จำนวนไหลต่อต้นไม่ต่างกันแต่เริ่มเห็นความแตกต่างตั้งแต่เดือนที่ 2 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะบัวบกมีการฟื้นตัวจากการปลูกโดยวิธีปักชำไหลจึงเจริญเติบโตและแตกไหลมากขึ้น และสอดคล้องกับการทดลองของสมชาย (2544) พบว่าบัวบกแต่ละจากแหล่งปลูกต่างพื้นที่สามารถเจริญเติบโต และมีจำนวนไหลต่อต้นเพิ่มขึ้นมากในช่วงเดือนที่ 2 หลังปลูก เมื่อเก็บผลผลิตน้ำหนักสด พบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรีมีปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดเฉลี่ยต่อพื้นที่มากที่สุด เท่ากับ 263.00 กรัม นอกจากนี้ยังพบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชมีผลผลิตน้ำหนักสดเฉลี่ยต่อพื้นที่น้อยที่สุด เท่ากับ 16.70 กรัม และมีค่าผลผลิตน้ำหนักสดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นเพราะบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชมีก้านใบสั้นกว่าบัวบกจากแหล่งปลูกอื่น ๆ จึงส่งผลให้ผลผลิตน้ำหนักสดมีค่าน้อยที่สุด เมื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตบัวบกในระบบไฮโดรโปนิคส์เปรียบเทียบกับปลูกในแปลงปกติ พบว่าการปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ สามารถลดต้นทุนการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช และคุณภาพผลผลิตได้เป็นอย่างดี ลดปัญหาจากสภาวะพื้นที่ที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการผลิตบัวบก สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม และดินที่ไม่อุดมสมบูรณ์ขาดธาตุอาหารพืช ซึ่งการผลิตบัวบกในระบบไฮโดรโปนิคส์อาจมีต้นทุนที่สูงกว่าการปลูกแบบปกติ แต่สามารถควบคุมคุณภาพการผลิตได้ ดังนั้นอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับเกษตรกรผู้สนใจการปลูกเลี้ยงบัวบกในระบบไฮโดรโปนิคส์เชิงการค้าได้

สรุปผลการวิจัย

จากการปลูกเลี้ยงบัวบกในระบบไฮโดรโปนิคส์ พบว่าบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครปฐม ปราจีนบุรี และอุบลราชธานี มีจำนวนใบต่อต้นมากที่สุด ส่วนบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดอุบลราชธานี มีก้านใบยาวที่สุด สำหรับบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดระยองและอุบลราชธานีมีจำนวนต้นต่อหลุมมากที่สุด เมื่อวัดความยาวรากของบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช ระยอง นครปฐม และอุบลราชธานี มีความยาวรากยาวที่สุด และบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดนครปฐม มีความยาวไหลยาวที่สุด นอกจากนี้บัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรีสามารถเจริญเติบโตในระบบไฮโดรโปนิคส์ได้ดีส่งผลให้ค่าผลผลิตน้ำหนักสดมากตามไปด้วย ดังนั้นควรเลือกปลูกบัวบกจากแหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรีซึ่งเหมาะสำหรับการปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์และคำนึงถึงปริมาณสารสำคัญของบัวบกในระบบไฮโดรโปนิคส์ด้วย

ข้อเสนอแนะ

การปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับเกษตรกรที่ต้องการปลูกบัวบก เพื่อจำหน่ายเป็นผลผลิตสดสำหรับบริโภคที่มีความปลอดภัยจากสารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช และการเก็บผลผลิตแห้ง สำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตยาสมุนไพร เวชสำอาง และควรศึกษาเพื่อเปรียบเทียบ

ปริมาณสารสำคัญที่ปลูกเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์เพิ่มเติม และคำนึงถึงปริมาณสารสำคัญในบวบกแต่ละแหล่งปลูกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยจากโครงการพัฒนาระบบปลูก เพิ่มปริมาณสารสำคัญ และคัดเลือกสายพันธุ์บวบกที่มีเหมาะสมรายภูมิภาค ภายใต้การดำเนินงานโครงการของศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2558). *การปลูกผักไฮโดรโปนิคส์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมชนสหกรณ์เกษตรแห่งประเทศไทย.
- จันทพร ทองเอกแก้ว. (2556). บวบกสมุนไพรมากคุณประโยชน์. *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*. 15(3), 70-75.
- จิรพันธ์ ศรีทองกุล. (2553). อิทธิพลความแก่ใบ ความเข้มแสง และอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเอเชียติโคไซด์และคุณภาพบวบก *Centella asiatica* (L.) Urban. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.
- นวลศรี รักจริยะธรรม และอัญญา เจนวิถีสุข. (2545). แอนติออกซิเดนท์ สารต้านมะเร็งในผักสมุนไพรไทย. เชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์.
- บุษกร พิตประยูร. (2559). สถานการณ์การผลิตพืช 2558/59. *รายงานวิจัย*. กรมส่งเสริมการเกษตร.
- ประนอม ใจอ้าย. (2556). วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตบวบก. *รายงานวิจัย*. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรแพร่.
- สมชาย เชื้อจีน. (2543). *การจำแนกสายพันธุ์และหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตบวบก*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชสวน). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- หนึ่งฤทัย ด้านเขตร์แดน คมกฤษณ์ แสงเงิน อนันต์ พิริยะภัทรกิจ และณัฐพงศ์ จันจุฬา. (2564). การเจริญเติบโตและผลผลิตของบวบกจากห้าแหล่งปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 59* (หน้า 321-327). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อนันต์ พิริยะภัทรกิจ ประภาพร ตั้งกิจโชติ และปิยะ เฉลิมกลิ่น. (2552). การผลิตบวบกในระบบเกษตรอินทรีย์. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 40(3), 205-208.
- อนันต์ พิริยะภัทรกิจ พรกมล รูปเลิศ กนกอร อัมพรยาน์ และณัฐพงศ์ จันจุฬา. (2562). การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของบวบกสายพันธุ์ต่าง ๆ. *Thai Journal of Science and Technology*, 8(1), 1-12.

- Chew, Y.L., Lim, Y.Y., Omar, M. and Khoo, K.S. (2008). Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in South East Asia. *LWT - Food Science and Technology*, 41(6), 1067-1072, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.013>.
- Daduang, J., Vichitphan, S., Daduang, S., Hongsprabhas, P. and Boonsiri, P. (2011). High phenolics and antioxidants of some tropical vegetables related to antibacterial and anticancer activities. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 5(5), 608-615, doi: <https://doi.org/10.5897/AJPP10.243>.
- Hashim, P. (2011). Centella asiaticain food and beverage applications and its potential antioxidant and neuroprotective effect. *International Food Research Journal*. 18(4), 1215-1222.
- Zhao, D., Reddy, K.R., Kakani, V.G., and Reddy, V.R. (2005). Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *European Journal of Agronomy*, 22(4), 391-403, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.06.005>.

**คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับสำหรับผู้พิมพ์
เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช**

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

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

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ

- พิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้
- การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์และการเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ควรหลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีคำแปลหรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนปนภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ
- สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาเป็นเบื้องต้นก่อน
- ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 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 ให้ข้อมูลทางวิชาการที่มีการตรวจสอบเอกสาร (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) เป็นการชี้แจงผลการวิจัยว่าตรงกับวัตถุประสงค์หรือสมมติฐานของการวิจัย 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 องค์ความรู้ การเสนอความคิดเห็นที่มีคุณค่าและเป็นประโยชน์ทางวิชาการของสาขาต่าง 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) ให้ระบุเฉพาะเอกสารที่ผู้เขียนบทความได้นำมาอ้างอิงในบทความวิชาการอย่างครบถ้วนรูปแบบของการเขียนเอกสารอ้างอิงให้จัดทำตามทีละข้อไว้ในข้อ 4 (เอกสารอ้างอิง)

3.3 ตารางและภาพประกอบ ให้จัดแทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็นเท่านั้น โดยเนื้อหาและคำอธิบายในตารางและภาพสามารถใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น

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

ตารางที่ 1 จำนวนฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง และความเร็รรอบของจานโซ่

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

ที่มา: จารุณี (2559)

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

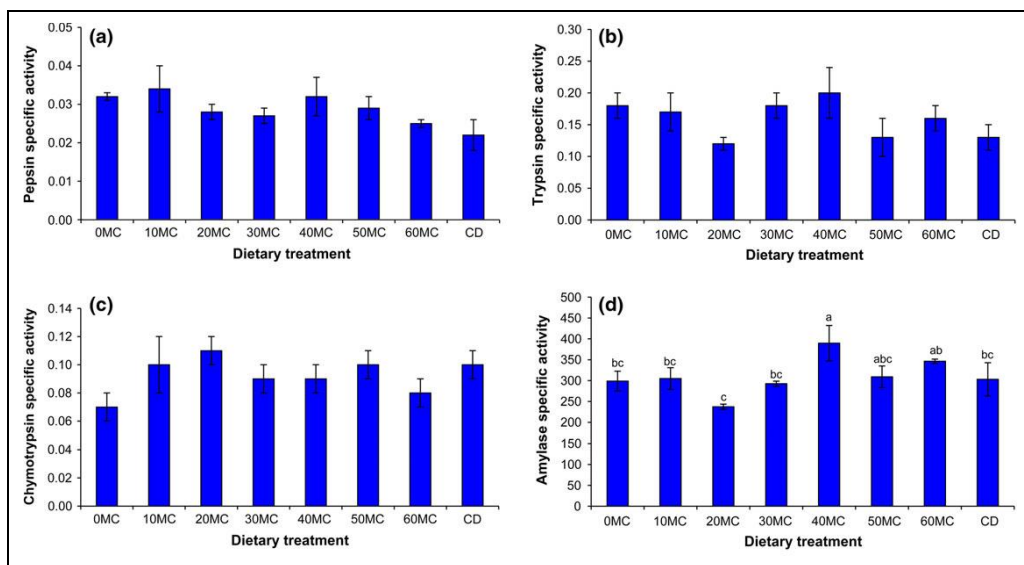


Figure 1 The specific activities (U/mg protein) of pepsin (a), trypsin (b), chymotrypsin (c) and amylase (d) in giant freshwater prawns subjected to various dietary replacements of protein from fish meal with mackerel condensate (MC). The data are expressed as mean $\pm$ SEM ($n = 3$). Different superscripts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

Source: Wattanakul *et al.* (2017)

ตารางสรุปรูปแบบการพิมพ์ส่วนประกอบของบทความ

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

4. การอ้างอิง (References)

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชใช้รูปแบบการอ้างอิงที่ดัดแปลงมาจากสมาคมจิตวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (American Psychological Association: APA) ดังนี้

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

4.1.1 การเขียนอ้างอิงก่อนเนื้อหา

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

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

4.1.2 การเขียนเนื้อหาก่อนการอ้างอิง

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

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

กรณีมีผู้แต่งคนเดียว

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

กรณีมีผู้แต่ง 2 คน

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

กรณีมีผู้แต่งมีตั้งแต่ 3 คนขึ้นไป

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

4.2 การอ้างอิงท้ายบทความ (reference section)

หนังสือที่ตีพิมพ์เป็นรูปเล่ม (print version)
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อหนังสือ/(ครั้งที่พิมพ์)/สถานที่พิมพ์/สำนักพิมพ์.
ตัวอย่าง กรณีตีพิมพ์ครั้งแรก (ไม่ต้องใส่ครั้งที่พิมพ์) สรเมธี วชิรปราการ. (2551). <i>เปิดชีวิตเทวดานางฟ้าไขปริศนาแดนสวรรค์</i>. นนทบุรี: สมาร์ทบุ๊ก. Almond, G.A. and Powell, B.G. (1976). <i>Comparative political today</i>. Boston: Little Brown and Company. กรณีตีพิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป เจือจันทร์ จงสถิต และรุ่งเรือง สุชาติพิพย์. (2550). <i>การสังเคราะห์งานวิจัยคุณลักษณะและกระบวนการปลูกฝังจริยธรรมของประเทศต่าง ๆ</i>. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. Carpenter, J.W., Mashima, T.Y. and Rupiper, D.J. (2001). <i>Exotic animal formulary</i>. (2nd ed). Philadelphia: W.B. Saunders Company.
หนังสือที่ออนไลน์ (electronic book)
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่ออนไลน์)/ชื่อหนังสือ/สืบค้นเมื่อ/วัน/เดือน/ปี/จาก:/http:..... .
The World Society for the Protection of Animals. (2013). <i>The Cayman turtle farm: A continued case for change</i> . Retrieved 10 July 2017, from: https://d31j74p4lpxrfcloudfront.net/sites/default/files/us_files/turtle_a_continued_case_for_change_report.pdf .

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

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

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



วารสาร วิชชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ISSN (Print) : 0125-2380

ISSN (Online) : 2672-958X



Wichcha Journal

Nakhon Si Thammarat Rajabhat University