



วารสาร วิชชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ปีที่ 41 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2565

Vol. 41 No. 1 January - June 2022

วารสารวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN (Print) : 0125-2380

ISSN (Online) : 2672-958X



Wichcha Journal

Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

www.nstru.ac.th



วารสาร วิชชา WICHA JOURNAL มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

ปีที่ 41 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2565 Vol. 41 No. 1 January – June 2022

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

นโยบาย

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

ขอบเขตงาน

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

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการและงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นสื่อส่งเสริมการสร้างความรู้และองค์ความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อเป็นเวทีนำเสนอผลงานทางวิชาการของบุคลากรในมหาวิทยาลัยและบุคคลทั่วไป

ประเภทบทความ

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

กระบวนการพิจารณาบทความ

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

ค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ไม่เก็บค่าธรรมเนียมในการตีพิมพ์

เกี่ยวกับวารสาร

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

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

จัดพิมพ์โดย : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

เลขที่ 1 หมู่ที่ 4 ตำบลท่าจั่ว อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

บรรณาธิการที่ปรึกษา ประกอบด้วย

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

กองบรรณาธิการ ประกอบด้วย

ศาสตราจารย์ ดร.เสาวภา อังสุภาณิช	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศาสตราจารย์ ดร.สุวัจน์ 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.ศิริโรตม์ เกตุแก้ว
รองศาสตราจารย์ ดร.การุณ ทองประจักษ์แก้ว
รองศาสตราจารย์ ดร.สุปัญญา จิตตพันธ์

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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สงรักษ์

ดร.ปิยรัชฎ์ ปริญาพงษ์ เจริญทรัพย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิระยุทธ สุดสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ศุภพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งนภา พิมพ์เสน

ดร.ศณัฏฐา ธีระขุนทด

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

ผู้ประเมินอิสระหรือพิชญพิจารณา (Peer review) ตรวจสอบทางวิชาการประจำฉบับ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี หอมเขียว

รองศาสตราจารย์ ดร.เยาวพา จิระเกียรติกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.วรศิริกุลญา ธราธิมา
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริโรตม์ เกตุแก้ว
รองศาสตราจารย์ ดร.สุริยันธ์ สุภาพวานิช

รองศาสตราจารย์ ดร.อรพิน เกิดชูชื่น

รองศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทัพญมา
รองศาสตราจารย์รพงค์ บุญช่วยแทน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจร ตรีโสภณกร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์เพ็ญ ตั้งจิตเจริญกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ จันจุฬา

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตสกลนคร
คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
วิทยาเขตสงขลา
คณะครุศาสตร์ มรภ.เชียงใหม่
คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนภูมิ ศิริงาม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจมาศ หนูแป้น
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประดินันท์ เอี่ยมสะอาด
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ นพรัตน์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย ทาระโคตร
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ลีทองอิน
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราฮิมา วาแมติซา
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันสพรศรีม์ สวัสดิ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ปลื้มภานุภักดิ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชุดา กล้าเวช
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระเกียรติ ทรัพย์มี
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ สอนสารี
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัสหิยะ สนิโซ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุมาลี นามดวง
 ดร.เกษศิรินทร์ รัต
 ดร.เยาวมาลย์ เขียวสะอาด
 ดร.ศุภณัฐ กาญจนวัฒนาวงศ์
 ดร.สืบสกุล ใจสมุทร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
 คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
 วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ
 มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์
 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
 วิทยาเขตนครศรีธรรมราช
 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
 คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร
 มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
 คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 คณะศิลปศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ตรวจทานภาษาต่างประเทศประจำฉบับ

Miss Christine Apple Benedicto Soriano

ศูนย์ภาษา สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ฝ่ายจัดการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรศักดิ์ แก้วอ่อน
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรภัช รอดเจริญ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ศุภพันธ์
 นางสาวกนกต์ถัย จรจรัส

ปก เสือผินการพิมพ์

พิมพ์ที่ เสือผินการพิมพ์

439 ถนนศรีธรรมโศก ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80000

โทร. 090-2895246 e-mail: pued2548@gmail.com

	หน้า
บทความวิจัย	
การประเมินผลตอบแทนทางการเงินของโรงไฟฟ้าพลังงานลมภายใต้ความไม่แน่นอนโดยใช้กระบวนการ สโตแคสติก ธัชชา สามพิมพ์*	1
ผลของปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซีลีเนียมต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณซีลีเนียมของ ผักกาดหอม พัชรี เดชเลย์ คมกฤษณ์ แสงเงิน ณัฐพงศ์ จันจุฬา และอนันต์ พิริยะภัทรกิจ*	15
การวิเคราะห์รูปแบบการทำประตูของทีมชนะเลิศในการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020 ก.รวีวุฒิ ระงับเหตุ* ภกวัต ก่องแก่น และโสภณ ทองสี	25
ศักยภาพของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ เอนก สาวะอินทร์* ฌานิกา แซ่แง ชุกกลิน ชูตินุช สุจริต และสมรภัช รอดเจริญ	35
ระบบฐานข้อมูลความหลากหลายของการใช้สมุนไพรที่ใช้เป็นสูตรยาพื้นบ้านของชมรมแพทย์แผนไทย อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช สิริลักษณ์ สีนุพาชี* และสมพร เรืองอ่อน	49
ประสิทธิภาพของพืชสมุนไพรในการเป็นสารหล่อเพื่อควบคุมมอดยาสูบ วชิราภรณ์ พูนัน* อัญชลี นิลสุวรรณ เบญจวรรณ เข้มทอง และธงชัย ขำมี	65
สารสำคัญของน้ำมันหอมระเหยและการเจริญเติบโตของเปราะหอมที่ได้รับสารพาโคลบิวทราโซลใน สภาวะกระถาง อัญชลี นิลสุวรรณ* ธงชัย ขำมี และณัฐวัฒน์ ปาลพันธ์	80
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาภายใต้ สภาวะอากาศที่มีเมฆเต็มท้องฟ้า อรรวรรณ อัมพร* ภูธเนศ แสงจรรยา และเสริม จันทรฉาย	95
อิทธิพลของรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันต่อการรอดชีวิต และการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา ในเมล็ดดาวกระจาย ประติพันธ์ ทองแถม ณ อยุธยา* สุมิตา คนสนุก และอนัญญา วงศ์วานรุ่งเรือง	108
กรรมวิธีในการฆ่าเชื้ออาหารสูตร MS สำเร็จรูป เพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงฟิโลเดนดรอน “เซอร์รีเรด” ใน สภาพปลอดเชื้อ นุชรัฐ บาลลา ณัฐพงศ์ จันจุฬา* ธิติพัฒน์ วิเปลี่ยน บุนทรিকা นันทา นฤตยา นันยา สุรกานต์ โพธิ์แก้ว กันยารัตน์ วันนา และศิริยุภา คาซิม่า	119
คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ	130

การประเมินผลตอบแทนทางการเงินของโรงไฟฟ้าพลังงานลม
ภายใต้ความไม่แน่นอนโดยใช้กระบวนการสโตแคสติก
Financial Return Assessment of Wind Power Plant
under Uncertainty by Stochastic Process

รัชชา สามพิมพ์^{1*}
Tatcha Sampim^{1*}

บทคัดย่อ

ประเทศไทยได้กำหนดเป้าหมายพลังงานจากลมในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก โดยมีความต้องการผลิตพลังงานจากลมเพิ่มขึ้นกว่า 1,673 เมกะวัตต์ ภายในปี พ.ศ. 2579 แต่ปัจจุบันพบว่าวิธีการประเมินผลตอบแทนโครงการด้วยกระบวนการดั้งเดิมไม่สามารถพิจารณาความไม่แน่นอนได้ ส่งผลให้นักลงทุนขาดความเชื่อมั่นในการตัดสินใจลงทุนในโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการประเมินผลตอบแทนโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลมด้วยกระบวนการสโตแคสติก ที่คำนึงถึงผลจากปัจจัยของความไม่แน่นอนของโครงการที่มีผลต่อผลตอบแทนของโครงการ ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มความมั่นใจในการตัดสินใจลงทุนในโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลมมากขึ้น ผลการประเมินผลตอบแทนโครงการพลังงานลม พบว่า 1) การวิเคราะห์ผลตอบแทนแบบวิธีดั้งเดิม สามารถคำนวณผลตอบแทนเท่ากับ 15,253,051 บาท 2) การวิเคราะห์ผลตอบแทนแบบวิธีสโตแคสติก โดยการจำลองโปรแกรมจำนวน 50,000 ครั้ง ด้วยโปรแกรม Matlab พบว่า ค่าคาดหวังของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 22,915,000 บาท กลับพบโอกาสขาดทุนเท่ากับ 0.23 เปอร์เซนต์ โดยมีความเป็นไปได้ของค่าต่ำสุดหรือค่าสูงสุดมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับ -8,187,800 และ 61,597,000 บาท ตามลำดับ

คำสำคัญ: การประเมินผลตอบแทนทางการเงิน กระบวนการสโตแคสติก โรงไฟฟ้าพลังงานลม

¹ สาขาวิชานวัตกรรมชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

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

Received: 6 January 2022, Revised: 10 January 2022, Accepted: 11 January 2022

Abstract

Thailand's targets about wind power were set in the alternative energy development plan. Needs for wind power increase to more than 1,673 MW within 2036. However, it was found that the current assessment on return on investment of the project by the deterministic process could not determine the uncertainty and caused the investors lacking of confidence to invest in the wind power projects. Therefore, this research aimed to develop the assessment of the wind power projects by using the stochastic process that concerning about uncertainty factors of the projects that impacted on the returns of the projects. This will increase the confidence to invest in wind power projects. The results of the assessment found that 1) the analysis of returns on investment from the deterministic process can calculate the equity's net present value that equals to 15,253,051 baht 2) the analysis of returns on investment from the Stochastic process by simulating 50,000 times of Matlab program found that the expected of equity's net present value equals to 22,915,000 baht. The chance of loss was 0.23%. The minimum and maximum probabilities of the equity's net present value equals to -8,187,800 and 61,597,000 baht respectively.

Keywords: Financial return assessment, Stochastic process, Wind power plant

บทนำ

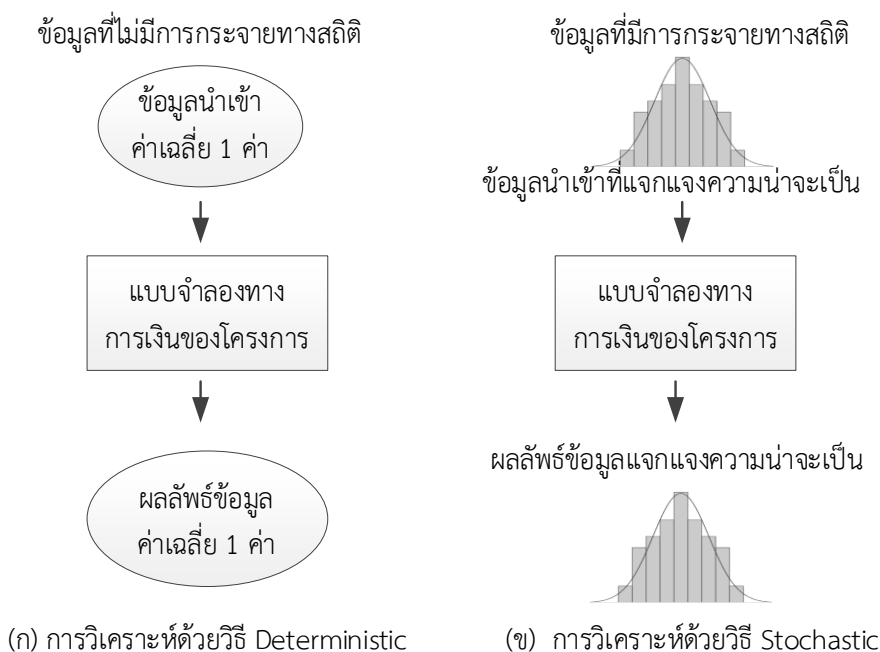
สถานการณ์ความต้องการใช้พลังงานที่สูงขึ้นประกอบกับปัญหาภาวะโลกร้อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกส่งผลให้มีการใช้แหล่งพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทดแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Wesseh and Lin, 2016) เช่น พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งนอกจากจะสามารถเข้าถึงการใช้พลังงานได้ในทุกพื้นที่แล้ว พลังงานทดแทนยังสามารถสร้างโอกาสของธุรกิจใหม่ ช่วยลดการนำเข้าพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศและยังเป็นการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้อีกทางหนึ่ง (Bartolomeu *et al.*, 2011)

จากความสำคัญดังกล่าว ประกอบกับประเทศไทยซึ่งมีศักยภาพพลังงานทดแทนจำนวนมาก รัฐบาลไทยจึงได้พยายามเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน โดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานได้ออกนโยบายการเพิ่มเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนที่สูงขึ้นไว้ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (ปฐมทัศน์, 2553) อย่างไรก็ตามการนำพลังงานทดแทนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานยังประสบปัญหาและอุปสรรคหลายประการ เช่น เทคโนโลยีมีต้นทุนสูง ความไม่แน่นอนของแหล่งพลังงาน เป็นต้น ข้อจำกัดเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นอุปสรรคต่อการลงทุนในโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลม จะเห็นได้จากการขอยกเลิกโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อพิจารณาเป้าหมายพลังงานจากลมในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกพบว่าประเทศไทยยังมีความต้องการผลิตพลังงานจากลมกว่า 1,673 เมกะวัตต์

ภายในปี พ.ศ. 2579 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2562; กระทรวงพลังงาน, 2562) สถานการณ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงปัญหาบางประการในการประเมินผลตอบแทนของการดำเนินงานโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลมในประเทศไทย

โดยปกติการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการจะเป็นเครื่องมือสำคัญในการตัดสินใจว่าจะลงทุนในโครงการหรือไม่ กระบวนการแบบดั้งเดิม (deterministic process) ที่ใช้อย่างแพร่หลาย เป็นการประมาณการตัวแปรที่มีความไม่แน่นอนโดยใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนของข้อมูล ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดตรงที่ไม่ได้คำนึงถึงผลจากปัจจัยของความไม่แน่นอนได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการลงทุนในปัจจุบันมักจะต้องเผชิญกับความไม่แน่นอนค่อนข้างสูง การวิเคราะห์บนฐานวิธีการแบบดั้งเดิมอาจไม่เหมาะสมที่จะใช้พิจารณาสำหรับการประเมินโครงการในปัจจุบันได้ (Dixit and Pindyck, 2012)

วิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว คือ การวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการด้วยกระบวนการสโตแคสติก (stochastic process) ซึ่งกระบวนการนี้สามารถประเมินข้อมูลที่มีความไม่แน่นอน (Dan and Sarah, 2019) เช่น ความไม่แน่นอนของความเร็วลม โดยกระบวนการวิเคราะห์ผลตอบแทนจะนำเข้าสู่ข้อมูลที่มีพฤติกรรมความไม่แน่นอนเป็นตัวแปรสุ่ม (random variable) มาทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนออกมาในรูปแบบผลของการแจกแจงความน่าจะเป็น (Sampim and Kokkaew, 2017) ดังภาพที่ 1



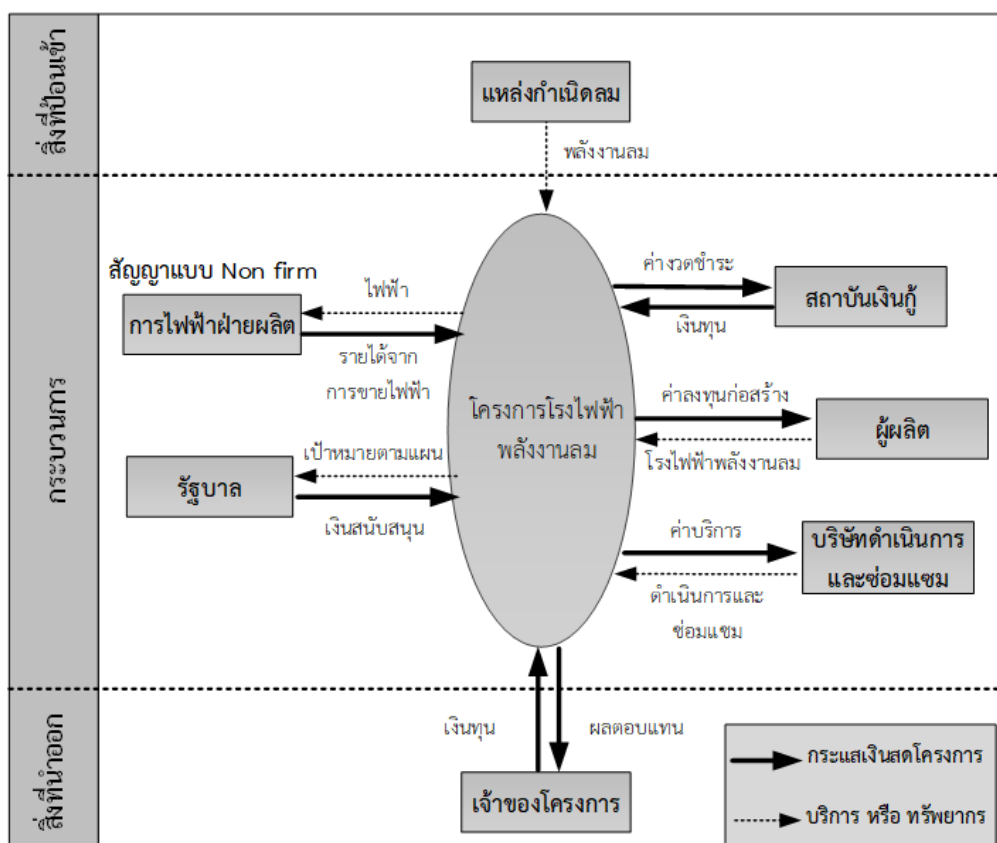
ภาพที่ 1 การวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการ

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการประเมินผลตอบแทนโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลมด้วยกระบวนการสโตแคสติก ที่คำนึงถึงผลจากปัจจัยของความไม่แน่นอนของโครงการที่มีผลต่อผลตอบแทนของโครงการ ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มความมั่นใจในการตัดสินใจลงทุนในโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลมมากขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แบบจำลองทางการเงินกรณีศึกษาโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลม

จากการวิเคราะห์ระบบปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลตอบแทนของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลม สามารถแบ่งกระแสเงินสดของโครงการ ได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ กระแสเงินสดไหลเข้า และกระแสเงินสดไหลออก ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระบบปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลตอบแทนของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลม

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะอ้างอิงต้นทุนต่าง ๆ จากคู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 1 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563) อย่างไรก็ตามเพื่อให้กรณีศึกษามีผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องยิ่งขึ้น จึงมีการเพิ่มเงื่อนไขในการวิเคราะห์ผลตอบแทน เช่น โดยส่วนใหญ่โครงการที่มีการลงทุนสูง จึงสมมติให้มีการกู้เงินทุนจากสถาบันการเงิน และนอกจากนี้ในการดำเนินโครงการจะต้องมีการคิดหักภาษีเงินได้อีกด้วย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1.1 กระแสเงินสดไหลเข้า (cash flow in)

กระแสเงินสดไหลเข้าของโครงการสามารถแบ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็น 2 ช่องทาง ประกอบด้วย 1) ช่องทางรายได้จากการขายค่าไฟฟ้า ซึ่งจะพิจารณา 2 รูปแบบ ได้แก่ ราคารับซื้อทั่วไป (กำหนดให้มีราคาเท่ากับ 3 บาทต่อหน่วย) และราคารับซื้อผ่านรูปแบบ FiT (Sopitsuda and Chris, 2013) (กำหนดให้มีราคาเท่ากับ 6.06 บาทต่อหน่วย) และ 2) เงินลงทุนรวมเท่ากับ 58,206,835 บาท โดยแบ่งเป็นส่วนเจ้าของ 60 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 34,924,101 และส่วนเจ้าหนี้ 40 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 23,282,734 บาท

1.2 กระแสเงินสดไหลออก (cash flow out)

กระแสเงินสดไหลออกของโครงการสามารถแบ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ 4 ทาง ประกอบด้วย 1) เงินลงทุนก่อสร้างรวมทั้งหมด เท่ากับ 58,206,835 บาท 2) ค่าดำเนินการและซ่อมแซม เท่ากับ 886,259 บาทต่อปี 3) ค่างวดชำระหนี้ (เงินต้น+ดอกเบี้ย) เท่ากับ 3,137,025 บาทต่อปี โดยมีระยะเวลาการชำระอยู่ที่ 10 ปี และ 4) ค่าภาษี ซึ่งคิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของยอดหักด้วยค่าเสื่อมราคาและดอกเบี้ยจ่าย และได้รับการยกเว้นภาษีใน 10 ปีแรก ตามนโยบายส่งเสริมการลงทุน (BOI)

2. ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของรูปแบบการสนับสนุนพลังงานลม

ในปัจจุบันรัฐบาลได้ออกแบบนโยบายสนับสนุนโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลมแบบ FiT (Cory *et al.*, 2009; Tongsopit, 2015) โดยรัฐบาลจ่ายเงินสนับสนุนให้โครงการตลอดเวลา 20 ปี (Pita *et al.*, 2015) แปรผันตามหน่วยการผลิตไฟฟ้าของโครงการ (Chul, 2021) โดยมีรูปแบบความสัมพันธ์ของปริมาณเงินสนับสนุนแปรผันตรงกับรายได้และพลังงานลมในแต่ละช่วง (ธัชชา, 2563) ดังสมการที่ (1)

$$R_{FiT, t} = S_{FiT} \cdot (Q) \quad (1)$$

โดยที่ $R_{FiT, t}$ คือ รายได้รวมจากการขายไฟฟ้าและการสนับสนุนในเดือนที่ t

S_{FiT} คือ อัตราซื้อไฟฟ้าจากพลังงานลมในรูปแบบ FiT (6.06 บาทต่อหน่วย)

Q คือ หน่วยไฟฟ้า กิโลวัตต์-ชั่วโมง

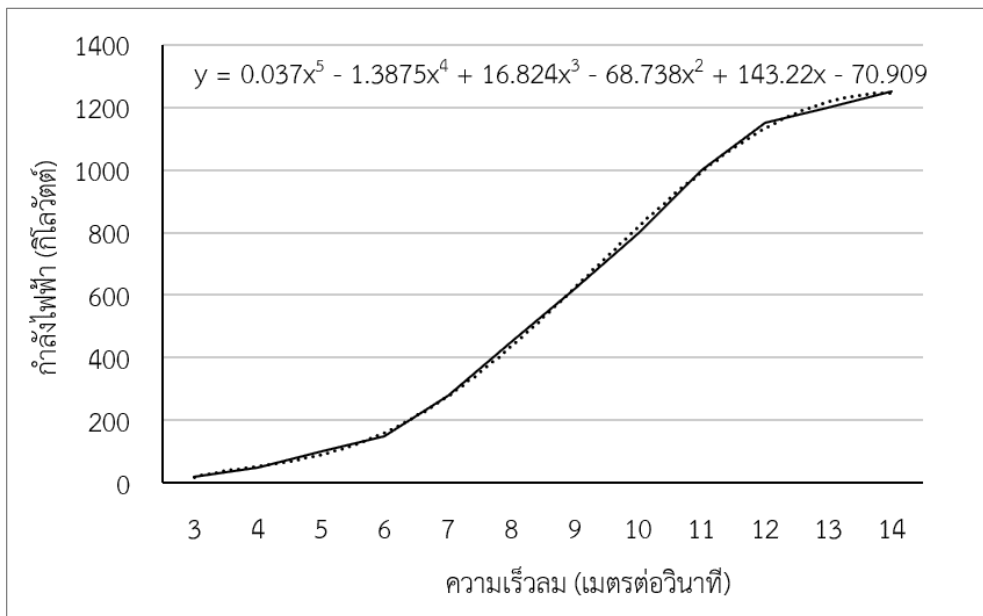
3. การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกรณีศึกษาโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลม

โครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลมที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ มีการปรับใช้ข้อมูลจากคู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 1 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560) โดยมีพื้นที่ทั้งหมด 5 ไร่ ทำการติดตั้งกังหันลมขนาด 1,250 กิโลวัตต์ ที่ความสูงโรเตอร์ 75 เมตร โดยสมรรถนะตามระดับความเร็วลม (power curve) ดังภาพที่ 3 ซึ่งสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ดังสมการที่ (2)

$$y = 0.0044x^6 - 0.133x^5 + 1.1754x^4 - 1.9464x^3 - 0.2179x^2 + 29.615x + 7.8788 \quad (2)$$

เมื่อ y คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์)

x คือ ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)



ภาพที่ 3 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้

4. การสร้างแบบจำลองความเร็วลมแบบกระบวนการสโตแคสติก

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลความเร็วลมจากสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดนครศรีธรรมราช ย้อนหลัง 13 ปี ในช่วง พ.ศ. 2550-2563 ที่ระดับความสูง 10 เมตร ทำการประมาณค่าความเร็วนอก ช่วงตรวจวัด โดยกำหนดสัมประสิทธิ์แรงเฉือนลม เท่ากับ 0.32 (ชนะ และคณะ, 2552) จะสามารถ หาค่าความเร็วลมที่ระดับความสูง 100 เมตร สามารถวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมของข้อมูลความเร็ว ลมได้ดังนี้ 1) พฤติกรรมการแกว่งค่าเฉลี่ยของข้อมูลความเร็วลมรายวันแบบฤดูกาล โดยความเร็ว จะมีค่าสูงในเวลากลางวัน และเกือบเป็น 0 เมตรต่อวินาที ในเวลากลางคืน 2) พฤติกรรมการแกว่ง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลความเร็วลมรายวันแบบฤดูกาล แปรผันตามค่าเฉลี่ย โดยค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานจะมีค่าสูงในเวลากลางวัน และจะมีค่าต่ำในเวลากลางคืน 3) พฤติกรรมการแกว่งค่าเฉลี่ย ของข้อมูลความเร็วลมรายปี ย้อนหลัง 13 ปี แบบวิ่งเข้าสู่ค่าคาดหวัง กล่าวคือ เมื่อใดที่ความเร็วลม เฉลี่ยรายปีมีค่าต่ำกว่าค่าคาดหวัง แนวโน้มถัดไปค่าจะปรับตัวเพิ่มขึ้นเข้าสู่ค่าคาดหวัง ในทางกลับกัน เมื่อใดที่ความเร็วลมเฉลี่ยรายปีมีค่าสูงกว่าค่าคาดหวังแนวโน้มถัดไปค่าจะปรับตัวลดลงเข้าสู่ค่าเฉลี่ย เช่นกัน โดยค่าคาดหวังของข้อมูล 13 ปีย้อนหลัง เท่ากับ 2.19 เมตรต่อวินาที 4) ความเร็วลมเฉลี่ย ระหว่างเดือนมกราคมถึงธันวาคม พบว่าค่าความเร็วลมรายเดือนมีพฤติกรรมแบบฤดูกาลอีกด้วย โดยความเร็วลมจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงไตรมาส 1 ช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม จากนั้นลดลงใน

ไตรมาสที่ 2 และ 3 ในช่วงเดือนเมษายนถึงกันยายน และกลับมาสูงขึ้นอีกครั้งในไตรมาส 4 ช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม

เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองแบบสโตแคสติก (stochastic) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมในการพยากรณ์ตัวแปรที่มีความไม่แน่นอน (Zhang *et al.*, 2016) จะสามารถอธิบายรายละเอียดพฤติกรรมต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงกับข้อมูลความเร็วลมได้มากขึ้น เช่น พฤติกรรมการสุมของตัวแปร แนวโน้ม ความเป็นวัฏจักร และความเป็นฤดูกาล ตามการวิเคราะห์พฤติกรรมของความเร็วลม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 พฤติกรรมการสุม

การสุมเป็นพฤติกรรมของตัวแปรที่มีความไม่แน่นอน ซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองได้โดยใช้กระบวนการเวเนอร์ (weiner process) หรือการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน โดยถ้า $Z(t)$ แทนพฤติกรรมของการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน และให้การเปลี่ยนแปลงในช่วงสั้น ๆ ของ Z คือ dZ สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในเวลาสั้น ๆ dt เป็นไปตามเงื่อนไขดังนี้

1) ความสัมพันธ์ระหว่าง dZ และ dt เป็นดังสมการ $dZ = \varepsilon_t \sqrt{dt}$ เมื่อ ε_t มีการกระจายตัวแบบปกติ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 1

2) ε_t ไม่มีความสัมพันธ์กับแบบต่อเนื่อง กล่าวคือ $E(\varepsilon_t \varepsilon_s) = 0$ สำหรับ $t \neq s$ เมื่อพิจารณา Δt เป็นช่วงสั้นมาก ๆ กระบวนการเวเนอร์ สามารถแสดงแบบเวลาต่อเนื่องแทนด้วยสมการที่ (3)

$$dZ = \varepsilon_t \sqrt{dt} \quad (3)$$

และสามารถแปลงเป็นสมการปกติเป็นการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนแบบมีแนวโน้ม ดังสมการที่ (4)

$$dx = \alpha dt + \sigma dZ \quad (4)$$

เมื่อ dZ คือ การเพิ่มขึ้นของกระบวนการเวเนอร์ ดังสมการที่ (3) α คือ พารามิเตอร์แนวโน้ม และ σ คือ พารามิเตอร์ความเบี่ยงเบน

อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลม พบว่าแบบจำลองการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมความเร็วลมได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองความเร็วลมเพื่ออธิบายพฤติกรรมอื่น ๆ เช่น การปรับตัวสู่ค่าเฉลี่ย (mean reversion) และความผันผวนตามฤดูกาล (seasonality)

4.2 พฤติกรรมปรับตัวสู่ค่าเฉลี่ย

การจำลองพฤติกรรมปรับตัวสู่ค่าเฉลี่ยในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองของออเรนสไตน์และอูล์มเบค (ornstein and uhlenbeck process) ซึ่งในแบบจำลองนี้ข้อมูลค่าเฉลี่ยของความเร็วลมจะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงโดยวิ่งเข้าสู่ค่าเฉลี่ยระยะยาว ดังสมการที่ (5)

$$dx = \kappa(L - x_t)dt + \sigma dz \quad (5)$$

เมื่อ x_t คือ ความเร็วลมที่ความเร็ว t L คือ ค่าเฉลี่ยความเร็วลมระยะยาว และ κ คือ ความเร็วในการกลับสู่ค่าเฉลี่ย โดยเทอมแรกด้านซ้ายจะอธิบายพฤติกรรมกลับ

สู่ค่าเฉลี่ย โดยเมื่อค่าความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอยู่ต่ำกว่าค่าความเร็วลมเฉลี่ยระยะยาว และในทางกลับกันค่าความเร็วลมจะลดลงเมื่อค่าอยู่สูงกว่าค่าความเร็วลมเฉลี่ยระยะยาว ส่วนเทอมที่สองจะอธิบายการแจกแจงความไม่แน่นอนตัวแปรสุ่มของค่าความเร็วลม

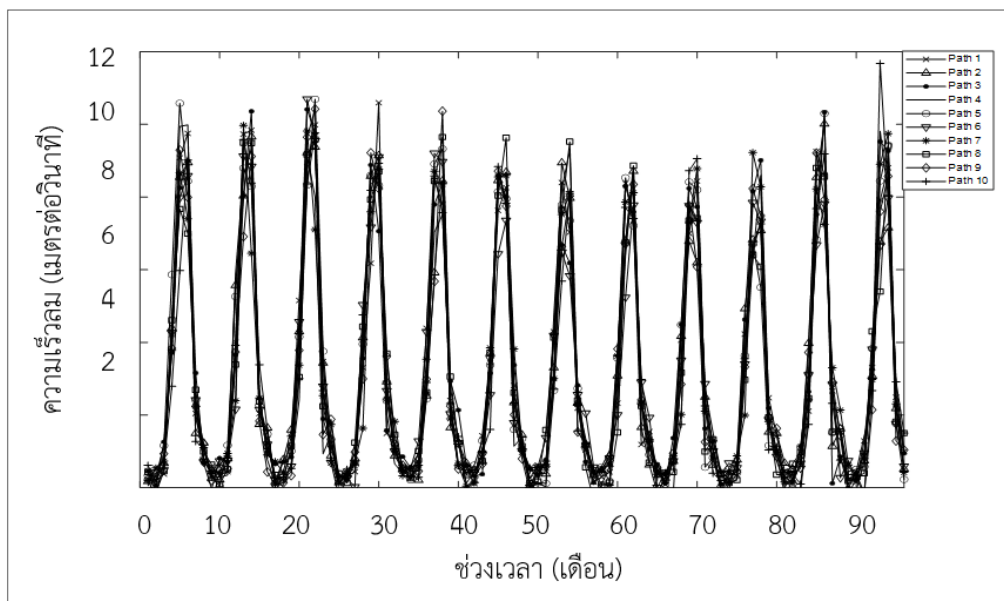
4.3 พฤติกรรมความผันผวนตามฤดูกาล

โดยทั่วไปค่าความเร็วลมจะแปรผันตามฤดูกาล ตัวอย่างเช่น ในเวลากลางวันความเร็วลมจะสูงกว่ากลางคืน และในช่วงต้นปีความเร็วลมจะสูงกว่าช่วงกลางปี ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวสามารถจำลองได้โดยใช้สมการที่ (6) (Sampim and Kokkaew, 2017)

$$dx = \kappa(L - x_t)dt + \sigma dz + \gamma \cdot \sigma \cdot \sin\left(\frac{2\pi(i)}{12}\right) \quad (6)$$

เมื่อ γ คือ ค่าความผันผวนตามฤดูกาล i ช่วงเดือนในระยะเวลา 1 ปี ฟังก์ชันไซน์แสดงพฤติกรรมของความผันผวนตามฤดูกาล

ดังนั้นสามารถสร้างแบบจำลองความเร็วลมแบบสโตแคสติกด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Matlab (matrix laboratory) เมื่อทำการทดลองพยากรณ์ความเร็วลม จำนวน 10 ครั้ง ดังภาพที่ 4 พบว่าแบบจำลองความเร็วลมแบบสโตแคสติกสามารถจำลองพฤติกรรมต่าง ๆ ของความเร็วลมในพื้นที่ศึกษาได้ครบถ้วน (Li *et al.*, 2013)



ภาพที่ 4 การทดลองพยากรณ์ความเร็วลม จำนวน 10 ครั้ง

5. การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลม

ผลตอบแทนทางการเงินของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลมจะเป็นไปตามลักษณะของกระแสเงินสดของโครงการ ซึ่งแบ่งออกเป็นกระแสเงินสดรับ กับกระแสเงินสดจ่าย (Tongsopit *et al.*, 2019) ในการศึกษาทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินของโครงการด้วยเครื่องมือทางการเงิน ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของผลตอบแทนของเจ้าของโครงการ (equity cash flow: ECF) (บดินทร์ และคณะ, 2562; Sampim and Kokkaew, 2013) ดังแสดงในสมการที่ 7 โดยหากค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธินั้นมากกว่าศูนย์ แสดงว่าเป็นโครงการที่สมควรจะดำเนินการ เนื่องจากมีผลตอบแทนเมื่อเปรียบเทียบกับ ปัจจุบันมากกว่าค่าใช้จ่าย แต่ในทางตรงกันข้ามหากมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าน้อยกว่าศูนย์ แสดงว่าเป็นโครงการที่ไม่น่าลงทุน เนื่องจากมีผลตอบแทนเมื่อเปรียบเทียบกับ ปัจจุบันน้อยกว่าค่าใช้จ่าย

$$ECE_i(t = i) = E[\sum_{j=1}^{npath} disc_{t=0} NPV_t + R_{FiT,t}] \quad (7)$$

เมื่อ $npath$ คือ จำนวนครั้งในการจำลองสถานการณ์

$disc_{t=0}$ คือ อัตราคิดลด (3 เปอร์เซ็นต์ เทียบจากประมาณการอัตราเงินเฟ้อต่อปี)

ผลการวิจัย

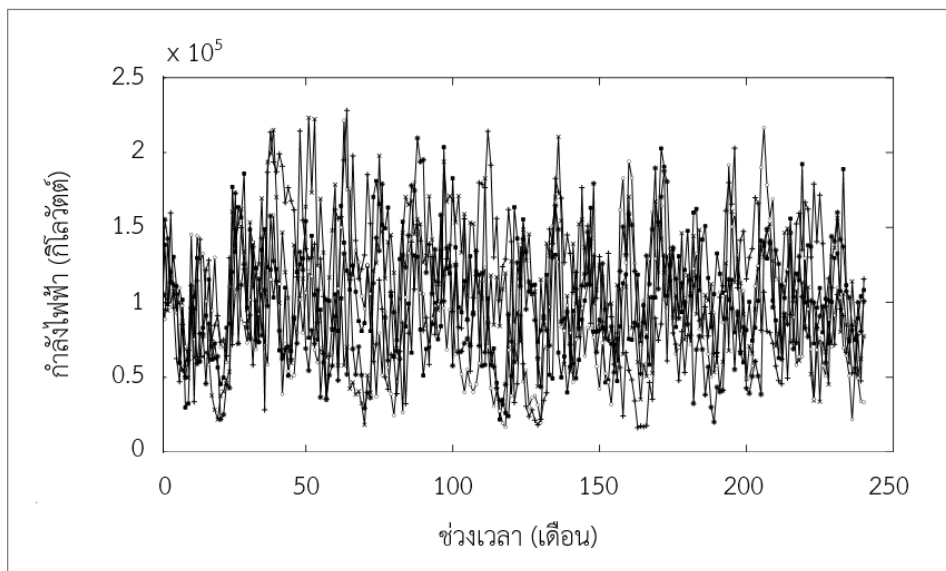
1. การวิเคราะห์ผลตอบแทนโรงไฟฟ้าพลังงานลมด้วยวิธีดั้งเดิม

โดยการวิเคราะห์ด้วยรูปแบบดั้งเดิม ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นพบว่ากรณีศึกษาในงานวิจัยนี้มีค่าเฉลี่ยความเร็วลมที่ 3.13 เมตรต่อวินาที สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ เท่ากับ 130 กิโลวัตต์

จากข้อมูลข้างต้นสามารถคำนวณหาหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ด้วยวิธีดั้งเดิม ได้ดังนี้ หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 ปี = 130 กิโลวัตต์ × 24 ชั่วโมง × 30 วัน × 12 เดือน = 1,123,200 กิโลวัตต์·ชั่วโมง การสนับสนุนจากภาครัฐด้วยรูปแบบ FiT จะเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากโครงการในราคา 6.06 บาทต่อหน่วย เป็นเวลา 20 ปี เมื่อวิเคราะห์แบบจำลองทางการเงินในส่วนของการคิดกระแสเงินสดด้านต่าง ๆ พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 15,253,051 บาท

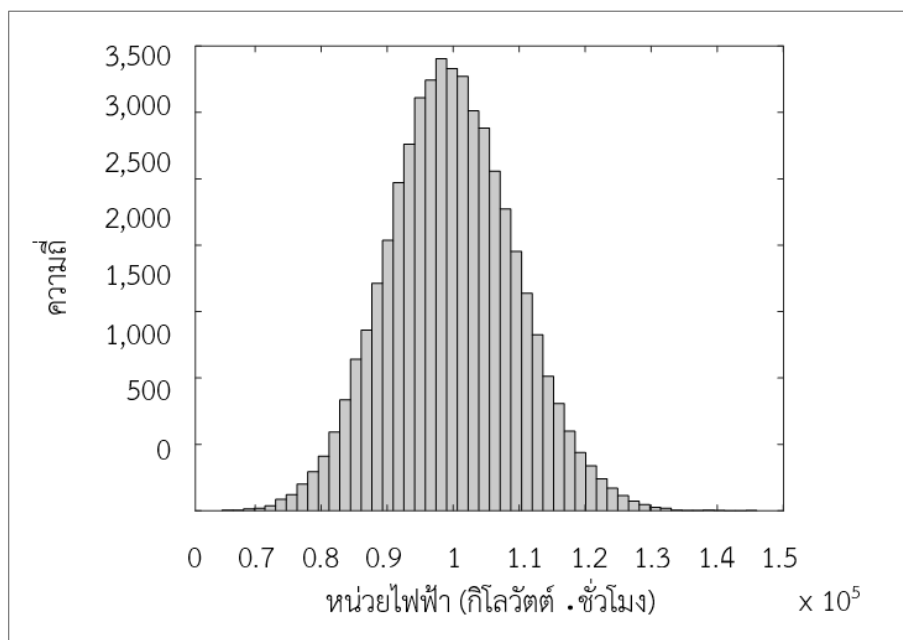
2. การประเมินผลตอบแทนโรงไฟฟ้าพลังงานลมด้วยวิธีสโตแคสติก

จากข้อจำกัดของการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ด้วยวิธีดั้งเดิม ซึ่งไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมของความเร็วลมที่เกิดขึ้นจริง โดยไม่สามารถแสดงถึงความไม่แน่นอนของข้อมูลความเร็วลมซึ่งเป็นข้อมูลที่คงที่ได้ จึงเปลี่ยนรูปแบบการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มาเป็นวิธีสโตแคสติกจะใช้ข้อมูลความเร็วลมจากแบบจำลองความเร็วลมในหัวข้อที่ผ่านมาแทนการใช้ค่าเฉลี่ยแบบวิธีดั้งเดิม จากนั้นคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแบบจำลองความเร็วลมและสมการที่ (2) ด้วยโปรแกรม Matlab ดังแสดงตัวอย่าง จำนวน 5 ครั้ง ดังภาพที่ 5



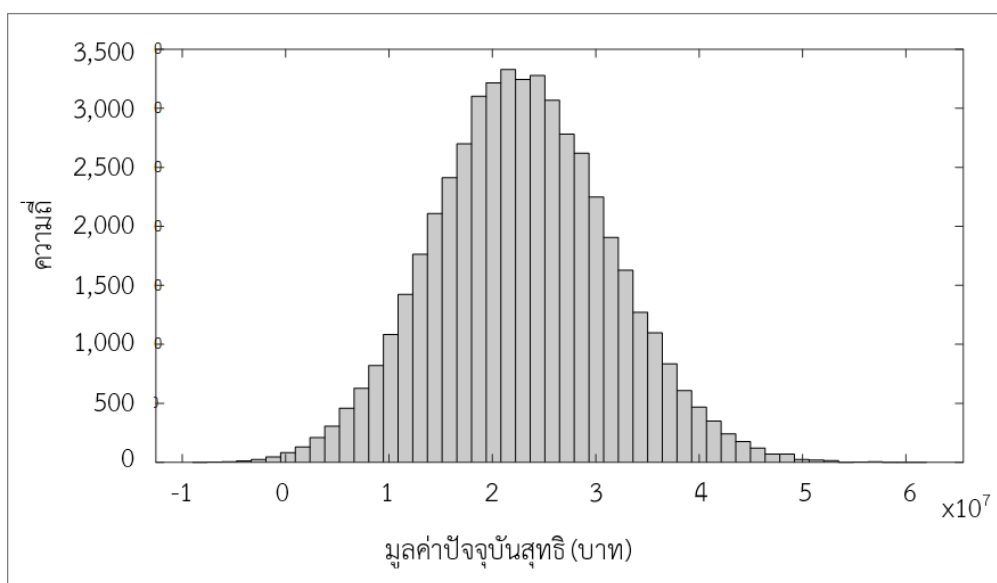
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาด้วยวิธีสโตแคสติก จำนวน 5 ครั้ง

เมื่อทำการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ด้วยการจำลองโปรแกรมจำนวน 50,000 ครั้ง ด้วยโปรแกรม Matlab สามารถแสดงแผนภาพฮิสโทแกรมการกระจายตัวของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นรายเดือน ดังภาพที่ 6 พบว่าค่าคาดหวังหรือค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี มีค่าเท่ากับ 1,197,500 หน่วยไฟฟ้า



ภาพที่ 6 การแจกแจงความถี่ข้อมูลหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้รายเดือน

จากนั้นทำการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการภายใต้การสนับสนุนรูปแบบ FiT โดยทำการจำลองสถานการณ์ จำนวน 50,000 ครั้ง ด้วยโปรแกรม Matlab ผลการแจกแจงความน่าจะเป็นของมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ พบว่ามีค่าคาดหวังเปลี่ยนเป็นค่าบวกที่ 22,915,000 บาท แสดงว่าการดำเนินโครงการมีโอกาสเกิดกำไรสูงกว่าการไม่รับการสนับสนุนจากภาครัฐ ดังแสดงในภาพที่ 7 อย่างไรก็ตามพบว่าการจำลองมูลค่าปัจจุบันสุทธิบางสถานการณ์ ยังมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิค่าต่ำกว่า 0 แสดงว่าแม้ว่าการสนับสนุนด้วยรูปแบบ FiT จะสามารถเพิ่มโอกาสในการดำเนินโครงการโดยไม่ขาดทุนแต่ก็ไม่สามารถรับประกันได้ว่าโครงการจะไม่มีโอกาสเกิดการขาดทุน เนื่องจากยังมีการจำลองสถานการณ์บางครั้งที่พบว่าโครงการเกิดการขาดทุนถึงแม้ว่าจะมีโอกาสไม่มากนักในการที่โครงการจะเกิดการขาดทุนก็ตาม



ภาพที่ 7 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการภายใต้การสนับสนุนรูปแบบ FiT 50,000 ครั้ง

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการประเมินผลตอบแทนโครงการพลังงานลมแบบดั้งเดิมที่ใช้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยค่าเดียวเป็นตัวแทนข้อมูลทั้งหมด พบว่าสามารถคำนวณผลตอบแทนเท่ากับ 15,253,051 บาท โดยเห็นข้อมูลโอกาสที่โครงการจะขาดทุน รวมถึงไม่สามารถบอกค่าต่ำสุด หรือค่าสูงสุดมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการได้ ในส่วนของการประเมินผลตอบแทนโครงการแบบสโตแคสติก พบว่าค่าคาดหวังของมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 22,915,000 บาท กลับพบโอกาสขาดทุนเท่ากับ 0.23 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความเป็นไปได้ของค่าต่ำสุดหรือค่าสูงสุดมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับ -8,187,800 และ 61,597,000 บาท ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่ารูปแบบการประเมินผลตอบแทนโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลมแบบสโตแคสติก สามารถประเมินบอกค่าโอกาสที่จะเกิดการขาดทุน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด รวมถึงรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของมูลค่าปัจจุบันสุทธิของ

โครงการได้ละเอียดกว่าการประเมินแบบดั้งเดิม ซึ่งจะช่วยสร้างความมั่นใจแก่นักลงทุนในการที่จะมีข้อมูลที่ชัดเจนกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทราบถึงลักษณะของความไม่แน่นอนของโครงการ เพื่อที่จะได้วิเคราะห์และตัดสินใจในการลงทุน (Sampim and Kokkaew, 2017)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบผลจากการใช้นโยบายสนับสนุนในรูปแบบต่าง ๆ ตลอดการดำเนินโครงการ

รูปแบบการประเมิน	โอกาสที่โครงการจะขาดทุน (เปอร์เซ็นต์)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)		
		ค่าคาดหวัง	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
แบบดั้งเดิม	0	15,253,051	-	-
แบบสโตแคสติก	0.23	22,915,000	-8,187,800	61,597,000

สรุปผลการวิจัย

ผลการประเมินผลตอบแทนโครงการพลังงานลม 2 วิธีการ พบว่า 1) การวิเคราะห์ผลตอบแทนแบบวิธีดั้งเดิม สามารถคำนวณผลตอบแทนเท่ากับ 15,253,051 บาท และ 2) การวิเคราะห์ผลตอบแทนแบบวิธีสโตแคสติก โดยการจำลองโปรแกรมจำนวน 50,000 ครั้ง ด้วยโปรแกรม Matlab พบว่าค่าคาดหวังของมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 22,915,000 บาท กลับพบโอกาสขาดทุนเท่ากับ 0.23 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความเป็นไปได้ของค่าต่ำสุดหรือค่าสูงสุดมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับ -8,187,800 และ 61,597,000 บาท ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ใช้แบบจำลองความเร็วลม และข้อมูลโรงไฟฟ้าพลังงานลมจากข้อมูลทุติยภูมิเพื่อเป็นต้นแบบในการประเมินโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลมแบบสโตแคสติก หากมีการนำไปใช้จริงจำเป็นต้องเก็บข้อมูลปฐมภูมิ เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้มีความจำเพาะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในการสนับสนุนทุนวิจัยพัฒนาอาจารย์ใหม่โครงการที่ MRG6280134 รวมถึงมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชในการสนับสนุนทรัพยากรต่าง ๆ ในการทำงานวิจัยจนสำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2562). *แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (AEDP2015)*. สืบค้นเมื่อ 5 เมษายน 2562, จาก: https://www.dede.go.th/download/files/AEDP%20Action%20Plan_Final.pdf.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). *คู่มือการพัฒนาการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 1 ไฟฟ้า พลังงานลม*. สืบค้นเมื่อ 5 มกราคม 2563, จาก: https://www.dede.go.th/article_attach/h_wind.pdf.

- กระทรวงพลังงาน. (2562). แผนปฏิบัติการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579. สืบค้นเมื่อ 5 เมษายน 2562, จาก: <http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/tieb/aedp>.
- ชนะ จันทน์นำ นฤทธิ์ กล่อมพงษ์ วรพงศ์ พวงแก้ว และจอมภพ แวศักดิ์. (2552). การวิเคราะห์ศักยภาพลมบริเวณอำเภอหัวไทรในจังหวัดนครศรีธรรมราช. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 12(2), 10-19.
- รัชชา สามพิมพ์. (2563). ประเมินผลตอบแทนทางการเงินของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ภายใต้ นโยบายสนับสนุนส่วนเพิ่มอัตราการรับซื้อไฟฟ้าโดยภาครัฐ. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 39(1), 126-139.
- บดินทร์ เสนานนท์ ภัฏญานัฐ ทองเทพ กมล จิรเสรีอมรกุล วันจักรี เล่นวารี เสริมสุข บัวเจริญ และ ยี่รักษ์ อรรถเวชกุล. (2562). การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 8 เมกะวัตต์ระหว่างการจัดตั้งแบบระบบคิงกับแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์ในประเทศไทย. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์*, 14(2), 1-19.
- ปฐมทัศน์ จิระเดชะ. (2553). การพัฒนาพลังงานหมุนเวียนเพื่อการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 4(2), 10-24.
- Bartolomeu, F., Jorge, C. and Paula, F. (2011). The use of real options approach in energy sector investments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4491-4497.
- Chul, K. (2021). A review of the deployment programs, impact, and barriers of renewable energy policies in Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110870>.
- Cory, K., Couture, T. and Kreyci, C. (2009). Feed-in tariff policy: Design, implementation, and RPS policy interactions. *National Renewable Energy Laboratory's Technical Report*, doi: <https://doi.org/10.2172/951016>.
- Dan, H. and Sarah, M.R. (2019). Stochastic vs. deterministic scheduling of a combined natural gas and power system with uncertain wind energy. *Electrical Power & Energy Systems*, 108, 303-313.
- Dixit, R.K. and Pindyck, R.S. (2012). *Investment under uncertainty*. New Jersey: Princeton University press.
- Li, C.B., Lu, G.S. and Wu, S. (2013). The investment risk analysis of wind power project in China. *Renewable energy*, 50, 481-487.
- Pita, P., Tia, W., Suksuntornsiri, P., Limpitipanick, P. and Limmeechokchai, B. (2015). Assessment of feed-in policy in Thailand: Impacts on national electricity prices. *Energy Procedia*, 79, 584-589.
- Sampim, T. and Kokkaew, N. (2013). Modelling of government support in biopower plant projects: The case of Thailand. *Energy Procedia*, 52, 525-535.

- Sampim, T. and Kokkaew, N. (2017). Risk management in biomass power plants using fuel switching flexibility. *Energy Procedia*, 138, 1099-1104.
- Sopitsuda, T. and Chris, G. (2013). An assessment of Thailand's feed-in tariff program. *Renewable Energy*, 60, 439-445.
- Tongsopit, S. (2015). Thailand's feed-in tariff for residential rooftop solar PV systems: Progress so far. *Energy for Sustainable Development*, 29, 127-134.
- Tongsopit, S., Junlakarn, S., Wibulpolprasert, W., Chaianong, A., Kokchang, P. and Nghia, V.H. (2019). The economics of solar PV self-consumption in Thailand. *Renewable Energy*, 138, 395-408.
- Wesseh, Jr.P.K. and Lin, B., (2016). A real options valuation of Chinese wind energy technologies for power generation: Do benefits from the feed-in tariffs outweigh costs?. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1591-1599.
- Zhang, M.M., Zhou, P. and Zhou, D.Q. (2016). A real options model for renewable energy investment with application to solar photovoltaic power generation in China. *Energy Economics*, 59, 213-226.

ผลของปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซีลีเนียมต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณซีลีเนียมของผักกาดหอม

Effect of Selenium Supplemented Hom Thong Banana Tree Compost on Growth, Yield, and Selenium Content of Lettuce

พัชรี เดชเลย์¹ คมกฤษณ์ แสงเงิน¹ ณัฐพงศ์ จันจุฬา² และอนันต์ ปิริยะภทรกิจ^{2*}
Patcharee Dechlay¹, Komgrit Saengngoen¹, Nattapong Chanchula²
and Anan Piriya-phattarakit^{2*}

บทคัดย่อ

การปลูกผักกาดหอมโดยใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซีลีเนียม วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) ณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จำนวน 4 สูตร ๆ ละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ดินปลูก (ควบคุม) ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 2 หรือ 3 (0 450 และ 675 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ใช้ระยะเวลาปลูก 28 วัน หลังย้ายกล้า 2 สัปดาห์ บันทึกการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณซีลีเนียมในผักกาดหอม พบว่าการใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ยความสูงต้น ความกว้างใบ จำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 15.51 เซนติเมตร 8.55 เซนติเมตร 8.00 ใบ 27.06 กรัม และ 1.40 กรัม ตามลำดับ ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 ให้ค่าเฉลี่ยความยาวใบ ความเขียวใบ และขนาดทรงพุ่มสูงที่สุดเท่ากับ 10.01 เซนติเมตร 26.54 SPAD unit และ 17.36 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้การใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 ให้ปริมาณการสะสมของซีลีเนียมในผักกาดหอมสูงที่สุดเท่ากับ 321.08 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้น การใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการปลูกผักกาดหอมเพื่อให้ได้ทั้งปริมาณผลผลิตและซีลีเนียมที่สะสมในผักกาดหอม

คำสำคัญ: ผักกาดหอม ซีลีเนียม ปุ๋ยหมัก

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

² ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

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

Received: 9 November 2021, Revised: 24 January 2022, Accepted: 28 January 2022

Abstract

The lettuce was grown by using planting soil in combination with selenium supplemented Hom Thong Banana tree compost at Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR). The experiment was arranged in a randomized complete block design (RCBD) consisting of 4 planting materials with 3 replications; planting soil (control), planting soil with 0, 450 and 675 ppm selenium supplemented Hom Thong banana tree compost (1st, 2nd and 3rd compost recipes, respectively). Growth, yield, and selenium content in lettuce were recorded at 28 days after transplanting. The results showed that planting soil with 2nd compost recipe gave the highest height, leaf width, number of leaves, fresh and dry weight at 15.51 cm, 8.55 cm, 8.00 leaves, 27.06 g and 1.40 g, respectively. Planting soil with 3rd compost recipe gave the highest leaf length, leaf greenness and canopy width at 10.01 cm, 26.54 SPAD Unit and 17.36 cm, respectively. Moreover, planting soil with 3rd compost recipe gave the highest accumulation of selenium in lettuce at 321.08 ug/kg. Therefore, planting soil with the 2nd compost recipe was the most suitable planting material for lettuce with a high yield and selenium content.

Keywords: Lettuce, Selenium, Compost

บทนำ

ผักกาดหอม (*Lactuca sativa*) มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียและยุโรป มีปลูกในประเทศไทยมาช้านานแล้ว ผักกาดหอมเป็นผักที่ใช้บริโภคส่วนใบ เป็นผักจำพวกผักสลัดที่มีคุณค่าทางอาหารสูง นิยมบริโภคกันแพร่หลาย โดยส่วนใหญ่ นิยมใช้รับประทานสด และนำมาประกอบอาหารหลายชนิด อีกทั้งความต้องการผักกาดหอมมีอยู่ตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงเทศกาลต่าง ๆ จึงนับได้ว่า ผักกาดหอมเป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่นับวันจะทวีความต้องการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ (นิพนธ์, 2562)

ปัจจุบันประชากรส่วนใหญ่ยังมีการขาดธาตุซีลีเนียมซึ่งเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ที่ขาดไม่ได้ เนื่องจากธาตุซีลีเนียมเป็นหนึ่งในแร่ธาตุที่สำคัญเพราะพบอยู่ในรูปรวมตัวกับโปรตีนในร่างกาย ซีลีเนียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ glutathione peroxidase ซึ่งทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (Ellis and Salt, 2003) ควบคุมระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย ซีลีเนียมยังลดการเกิดมะเร็งได้นอกจากนี้ยังช่วยในการทำงานของไทรอยด์ ช่วยในการควบคุมสมดุลของระบบเผาผลาญของร่างกาย การผลิตเซลล์สเปิร์ม การปกป้องเซลล์ บำรุงสุขภาพของผมและเล็บ (Fisinin *et al.*, 2008) แต่ซีลีเนียมสามารถถูกทำลายโดยความร้อน เช่น ข้าวที่ทำเป็นแป้งจะสูญเสียซีลีเนียมไป 50-75 เปอร์เซ็นต์ และถ้าต้มจะสูญเสียไปประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ (ภัทรลดา และคณะ, 2553) จึงควรใช้

เสริมให้กับพืชที่บริโภคสด ดังเช่น ผักกาดเขียววงอกและต้นแมงลักงอก (อาณัติ และคณะ, 2561) และพืชตระกูลกะหล่ำ (Seppänen *et al.*, 2010)

จากโครงการวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่เสริมซิลิเนียมในต้นกล้วยหอมทองเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับกล้วยหอมทอง ซึ่งการเก็บเกี่ยวผลผลิตกล้วยหอมทองในแต่ละครั้งต้นกล้วยมักจะถูกตัดทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ นอกจากนี้ยังมีซิลิเนียมบางส่วนที่สะสมอยู่ในต้นกล้วยหอมทองอีกด้วย การผลิตปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซิลิเนียมเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย และเพิ่มมูลค่าของเศษเหลือทิ้งทางการเกษตร (พัชร และคณะ, 2564) งานวิจัยนี้จึงได้มีการใช้ปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซิลิเนียมมาปลูกผักกาดหอมเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุซิลิเนียมที่สะสมในผักกาดหอม ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผักกาดหอมและเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ผลของปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซิลิเนียมต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณซิลิเนียมของผักกาดหอม

ใช้ปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซิลิเนียมจากการศึกษาของพัชร และคณะ (2564) มาทดสอบการเจริญเติบโต วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ ณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จำนวน 4 สูตร ๆ ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น ได้แก่ ดินปลูก (ควบคุม) ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซิลิเนียม 0 450 และ 675 ส่วนในล้านส่วน (ppm) (ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ) โดยเริ่มจากการเพาะเมล็ดผักกาดหอมด้วยพีทมอสในถาดหลุมเป็นระยะเวลา 14 วัน หลังจากนั้นย้ายปลูกลงกระถางขนาด 8 นิ้ว ใช้วัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซิลิเนียมระดับต่าง ๆ ในอัตราส่วน 1:0:1 รดน้ำเช้าเย็นทุกวัน และเก็บเกี่ยวต้นผักกาดหอมที่อายุ 28 วัน

2. การบันทึกการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณซิลิเนียมของผักกาดหอม

การเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงต้น (รวบใบทั้งหมดแล้ววัดจากโคนต้นจนถึงปลายใบที่ยาวที่สุด) ความกว้างใบ (วัดจากขอบใบด้านหนึ่งถึงอีกด้านหนึ่ง) ความยาวใบ (วัดจากโคนใบถึงปลายใบ) จำนวนใบ (นับทุกใบของทั้งต้น) ขนาดทรงพุ่ม (วัดจากปลายใบด้านหนึ่งถึงอีกด้านหนึ่ง) โดยใช้ไม้บรรทัดวัด และความเขียวใบ (ใช้เครื่อง Chlorophyll Meter SPAD-502 Plus) ทุก ๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 28 วัน ชั่งน้ำหนักสด (ชั่งทั้งต้นรวมราก) น้ำหนักแห้ง (ชั่งทั้งต้นรวมราก) นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ด้วยโปรแกรม SPSS 15.0 (SPSS, Inc, 2006) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี duncan's multiple range test (DMRT)

การวิเคราะห์ซิลิเนียม โดยนำผักกาดหอมไปอบแห้งเป็นระยะเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ปริมาณธาตุซิลิเนียมที่สะสมในผักกาดหอม โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เป็นผงแห้ง 0.203 กรัม ใส่ลงในหลอด 75 มิลลิลิตร เติมนกรดไนตริกความเข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 1 คืน และเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงไป ปิดหลอดด้วย DPCTM pressure cap ให้แน่น นำไปเข้าเครื่อง microwave sample preparation system เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นพักไว้ 1 ชั่วโมง

รอให้หลอด vessels หายร้อนเปิดฝาปล่อยควันสีเหลืองออกจนหมด แล้วใช้น้ำกลั่นฉีดล้างฝาที่ปิดข้างใน และเทกรองตัวอย่างลงใน volumetric flasks ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ฉีดล้างตัวอย่างในหลอดออกให้หมด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และนำตัวอย่างที่ได้ไปวัดด้วยเครื่อง inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP mas spectrometer) ที่ใช้สารละลายมาตรฐานธาตุซีลีเนียมเลขมวล (mass) เท่ากับ 78 ความเข้มข้น 0 0.5 1 5 10 และ 20 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS 15.0 (SPSS, Inc, 2006) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

ผลการวิจัย

1. ผลของปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซีลีเนียมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตามปกติในแต่ละช่วงอายุ และการใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตด้านความสูงมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก หลังจากปลูกเป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่า การใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุดเท่ากับ 15.51 เซนติเมตร ในทางตรงกันข้ามการใช้ดินปลูก (ควบคุม) ให้ค่าเฉลี่ยความสูงน้อยที่สุดเท่ากับ 8.25 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ความสูงต้นของผักกาดหอมที่ระยะเวลาต่าง ๆ

วัสดุปลูก	ความสูงต้น (เซนติเมตร)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ดินปลูก (ควบคุม)	4.19±0.38 ^b	5.49±0.15 ^c	7.15±0.23 ^c	8.25±0.06 ^b
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 1	4.74±0.32 ^a	6.56±0.20 ^b	10.36±0.25 ^b	15.13±0.15 ^a
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2	5.00±0.43 ^a	7.38±0.45 ^a	11.33±0.06 ^a	15.51±0.33 ^a
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3	4.79±0.41 ^a	6.71±0.30 ^b	11.00±0.13 ^{ab}	15.30±0.33 ^a
F-test	*	*	*	*
C.V. (%)	4.43	4.41	3.66	2.07

หมายเหตุ: - * และตัวอักษร a b และ c ในแต่ละสัปดาห์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (mean±SD)

ผลการเจริญเติบโต ด้านความกว้างใบของผักกาดหอม พบว่าการใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ยความกว้างใบสูงที่สุดเท่ากับ 8.55 เซนติเมตร ในทางตรงกันข้ามการใช้ดินปลูก (ควบคุม) ให้ค่าความกว้างใบน้อยที่สุดเท่ากับ 5.50 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ความกว้างใบของผักกาดหอมที่ระยะเวลาต่าง ๆ

วัสดุปลูก	ความกว้างใบ (เซนติเมตร)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ดินปลูก (ควบคุม)	1.76±0.15	2.87±0.30 ^b	4.30±0.10 ^c	5.50±0.03 ^c
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 1	1.78±0.14	3.00±0.31 ^b	6.43±0.09 ^b	8.33±0.20 ^b
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2	1.86±0.08	3.55±0.40 ^a	6.60±0.06 ^a	8.55±0.05 ^a
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3	1.81±0.11	3.41±0.29 ^a	6.45±0.13 ^b	8.50±0.15 ^{ab}
F-test	ns	*	*	*
C.V. (%)	.65	5.40	1.16	1.20

หมายเหตุ: - * และตัวอักษร a b และ c ในแต่ละสัปดาห์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (mean±SD)

- ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการเจริญเติบโต ด้านความยาวใบของผักกาดหอม พบว่าการใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 ให้ค่าเฉลี่ยความยาวใบสูงที่สุดเท่ากับ 10.01 เซนติเมตร ในทางตรงกันข้ามการใช้ดินปลูก (ควบคุม) ให้ค่าความยาวใบน้อยที่สุดเท่ากับ 7.20 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ความยาวใบของผักกาดหอมที่ระยะเวลาต่างกัน

วัสดุปลูก	ความยาวใบ (เซนติเมตร)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ดินปลูก (ควบคุม)	2.44±0.74 ^b	4.44±0.30 ^b	6.20±0.25 ^b	7.20±0.06 ^b
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 1	3.18±0.78 ^a	5.70±0.48 ^a	7.15±0.28 ^a	9.31±0.58 ^a
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2	3.32±0.65 ^a	6.00±0.13 ^a	7.16±0.05 ^a	9.88±0.45 ^a
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3	3.48±0.60 ^a	6.10±0.10 ^a	7.16±0.10 ^a	10.01±0.03 ^a
F-test	*	*	*	*
C.V. (%)	11.40	4.84	2.26	4.45

หมายเหตุ: - * และตัวอักษร a และ b ในแต่ละสัปดาห์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (mean±SD)

ผลการเจริญเติบโต ด้านจำนวนใบของผักกาดหอม พบว่าการใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนใบสูงที่สุดเท่ากับ 8.00 ใบ ในทางตรงกันข้ามการใช้ดินปลูก (ควบคุม) ให้จำนวนใบน้อยที่สุดเท่ากับ 7.50 ใบ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 จำนวนใบของผักกาดหอมที่ระยะเวลาต่างกัน

วัสดุปลูก	จำนวนใบ (ใบ)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ดินปลูก (ควบคุม)	4.60±0.25 ^a	5.50±0.10 ^c	6.50±0.26 ^b	7.50±0.09 ^b
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 1	4.53±0.38 ^b	5.83±0.12 ^b	6.86±0.15 ^a	7.86±0.15 ^a
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2	5.06±0.06 ^a	6.00±0.15 ^a	7.00±0.09 ^a	8.00±0.15 ^a
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3	4.76±0.21 ^{ab}	5.96±0.06 ^{ab}	6.96±0.06 ^a	7.96±0.06 ^a
F-test	*	*	*	*
C.V. (%)	4.66	1.18	1.22	1.06

หมายเหตุ: - * และตัวอักษร a b และ c ในแต่ละสัปดาห์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (mean±SD)

ผลการเจริญเติบโต ด้านความเขียวใบของผักกาดหอม พบว่าการใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 ให้ค่าเฉลี่ยความเขียวใบสูงที่สุดเท่ากับ 26.54 SPAD unit ในทางตรงกันข้ามการใช้ดินปลูก (ควบคุม) ให้ค่าความเขียวใบน้อยที่สุดเท่ากับ 21.75 SPAD unit ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ความเขียวใบของผักกาดหอมที่ระยะเวลาต่าง ๆ

วัสดุปลูก	ความเขียวใบ (SPAD unit)		
	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ดินปลูก (ควบคุม)	18.56±0.74 ^b	20.02±0.38 ^c	21.75±0.15 ^c
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 1	21.36±0.39 ^a	22.44±0.12 ^b	25.81±0.19 ^b
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2	21.50±0.67 ^a	22.52±0.61 ^{ab}	26.36±0.45 ^a
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3	22.57±0.75 ^a	23.64±0.82 ^a	26.54±0.38 ^a
F-test	*	*	*
C.V. (%)	2.92	2.65	1.08

หมายเหตุ: - * และตัวอักษร a b และ c ในแต่ละสัปดาห์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (mean±SD)

ผลการเจริญเติบโต ด้านขนาดทรงพุ่มของผักกาดหอม พบว่าการใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 ให้ค่าเฉลี่ยขนาดทรงพุ่มสูงที่สุดเท่ากับ 17.36 เซนติเมตร ในทางตรงกันข้ามการใช้ดินปลูก (ควบคุม) ให้ขนาดทรงพุ่มน้อยที่สุดเท่ากับ 8.85 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ขนาดทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ระยะเวลาต่าง ๆ

วัสดุปลูก	ขนาดทรงพุ่ม (เซนติเมตร)		
	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ดินปลูก (ควบคุม)	5.50±0.25 ^b	7.40±0.30 ^b	8.85±0.38 ^b
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 1	6.49±0.10 ^a	12.65±0.15 ^a	17.00±0.49 ^a
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2	6.99±0.60 ^a	12.68±0.33 ^a	17.03±0.26 ^a
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3	7.06±0.38 ^a	13.15±0.28 ^a	17.36±0.45 ^a
F-test	*	*	*
C.V. (%)	4.65	1.74	2.75

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

การใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักช่วยเพิ่มปริมาณของผลผลิตผักกาดหอมมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก โดยน้ำหนักสดของผักกาดหอมหลังเก็บเกี่ยว พบว่าการใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดสูงที่สุดเท่ากับ 27.06 กรัม ในทางตรงกันข้ามการใช้ดินปลูก (ควบคุม) ให้น้ำหนักสดน้อยที่สุดเท่ากับ 13.07 กรัม เช่นเดียวกับน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมหลังเก็บเกี่ยว พบว่าการใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 และไม่เสริมซีลีเนียมให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 1.40 กรัม ในทางตรงกันข้ามการใช้ดินปลูก (ควบคุม) ให้น้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.60 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอม

วัสดุปลูก	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
ดินปลูก (ควบคุม)	13.07±0.74 ^b	0.60±0.06 ^c
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 1	26.89±0.43 ^a	1.40±0.01 ^a
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2	27.06±0.55 ^a	1.40±0.02 ^a
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3	26.69±0.24 ^a	1.35±0.03 ^b
F-test	*	*
C.V. (%)	1.81	1.05

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

ผลการเจริญเติบโต ด้านปริมาณการสะสมซีลีเนียมในผักกาดหอม พบว่าการใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 ให้ค่าเฉลี่ยซีลีเนียมสูงที่สุดเท่ากับ 321.08 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวัสดุปลูกอื่น ๆ โดยการใช้ดินปลูก (ควบคุม) ให้ค่าเฉลี่ยซีลีเนียมน้อยที่สุดเท่ากับ 217.12 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ปริมาณการสะสมซิลิเนียมในผักกาดหอม

วัสดุปลูก	ปริมาณซิลิเนียม (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)
ดินปลูก (ควบคุม)	217.12±9.74 ^d
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 1	250.22±3.29 ^c
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2	285.89±10.85 ^b
ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3	321.08±9.95 ^a
F-test	*
C.V. (%)	2.87

หมายเหตุ: - * และตัวอักษร a b c และ d ในแต่ละสัณฐานแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (mean±SD)

การอภิปรายผลการวิจัย

การใช้ปุ๋ยหมักและมีการเสริมซิลิเนียมส่งผลให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตและผลผลิตเพิ่มมากขึ้น โดยผักกาดหอมที่ใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ให้ค่าความสูง ความกว้างใบ จำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 15.51 เซนติเมตร 8.55 เซนติเมตร 8.00 ใบ 27.06 กรัม และ 1.40 กรัม ตามลำดับ เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจน (2.67 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าปุ๋ยหมักสูตรอื่น ๆ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอมถึงแม้ว่าจะมีปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่าปุ๋ยหมักสูตรอื่น และปริมาณฟอสฟอรัสที่ใกล้เคียงกัน (พัชรี และคณะ, 2564) ซึ่งสอดคล้องกับพงษ์นาค (2563) พบว่าการใช้ปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่มีอยู่ในดินและในใบของส้มโอพันธุ์ทองดี พืชจะมีการดูดซิลิเนียมและสารอินทรีย์ซิลิเนียม และสารอื่น ๆ แล้วเคลื่อนย้ายทางไซเล็มสู่ส่วนเหนือดิน จากนั้นก็กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้นพืชเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ (ธนภัทร และคณะ, 2558) ทำให้พืชที่ได้รับทั้งซิลิเนียม และธาตุอาหารจากปุ๋ยหมักกล้วยหอมทองมีการเจริญเติบโตและผลผลิตดีมากกว่าผักกาดหอมที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมักเสริมซิลิเนียม สอดคล้องกับครองใจ (2560) ศึกษาผลของการใส่ปุ๋ย ได้แก่ ไม่ใส่ปุ๋ย (ควบคุม) กากคอก ปุ๋ยหมักกากคอก และปุ๋ยคอก (มูลโค) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้า พบว่าคะน้าที่ใส่ปุ๋ยหมักกากคอกมีการเจริญเติบโตและผลผลิตดีที่สุด โดยคะน้ามีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 35.19 เซนติเมตร ขนาดความกว้างของทรงพุ่มเท่ากับ 28.92 เซนติเมตร และจำนวนใบเท่ากับ 7.15 ใบ รวมทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ 118.49 และ 9.56 กรัมต่อต้น ตามลำดับ นอกจากนี้การเสริมซิลิเนียมในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้ลักษณะทางคุณภาพของผักกาดหอมดีขึ้นด้วย ส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค ซึ่งตามปกติแล้วร่างกายมนุษย์ควรได้รับปริมาณซิลิเนียมต่อวันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200-400 ไมโครกรัม (Fisinin *et al.*, 2008) การใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 ให้ค่าการสะสมซิลิเนียมและความเขียวใบเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 321.08 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และ 26.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับภัทรธาดา และคณะ (2553) ศึกษาการให้สารซิลิเนตกับถั่วเขียวที่ความเข้มข้น 0 30 60 90 120 150 และ 180 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าการให้ซิลิเนียมที่ความเข้มข้น 90 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำให้ถั่วเขียวมีปริมาณซิลิเนียมสะสมสูงสุด 1,031.01 มิลลิกรัม

ต่ออีกโลกรัม การดูดซับลำเลียงและสะสมซิลิเนียมจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของซิลิเนียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มพืชที่มีการสะสมซิลิเนียมสูง เช่น ต้นหอม (Kapolna and Fodor, 2006) *Stanleya pinnata* (Feist and Parker, 2001) และผักกาดเขียว (Mounicou *et al.*, 2004) ในทางตรงกันข้าม Terry *et al.* (2000) ได้รายงานถึงความเป็นพิษของซิลิเนียมที่สามารถชักนำให้เกิดอาการใบซีดหรือเหลือง ซึ่งเกิดจากการยับยั้งการสังเคราะห์ porphobilinogen synthetase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สร้างคลอโรฟิลล์เพื่อช่วยในการสังเคราะห์แสงของพืชได้

สรุปผลการวิจัย

การใช้ปุ๋ยหมักเสริมซิลิเนียมส่งผลให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณซิลิเนียมที่สะสมในผักกาดหอมสูงขึ้นตามระดับการใส่ปุ๋ยหมักเสริมซิลิเนียมที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้ดินปลูกร่วมกับปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซิลิเนียม 450 ส่วนในล้านส่วน จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการปลูกผักกาดหอมเพื่อให้ปริมาณผลผลิตที่สูง และปริมาณซิลิเนียมที่สะสมในผักกาดหอมที่เพียงพอต่อสุขภาพของผู้บริโภค

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการ “การสร้างภาคีในการผลิต บัณฑิตระดับปริญญาโท-เอก” ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตำบลคลองห้า อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี รวมทั้งการเอื้อเฟื้อ สถานที่วัสดุ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

เอกสารอ้างอิง

- ครองใจ โสมรักษ์. (2560). ผลของปุ๋ยหมักกากครามต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้า. *วารสารเกษตรพระวรุณ*, 14(2), 165-172.
- ธนภัทร ปลื้มพวง จันทรจรัส วีรสาร อรุณศิริ กำลัง และธงชัย มาลา. (2558). การปนเปื้อนแคดเมียมในดินและการสะสมในผลผลิตข้าวบนพื้นที่ตำบลแม่ตาวและตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก. *วารสารเกษตรพระวรุณ*, 12(1), 1-8.
- นิพนธ์ ไชยมงคล. (2562). *สลัด/ผักกาดหอม*. สืบค้นเมื่อ 12 เมษายน 2564, จาก: <https://vegetweb.com/wp-content/download/let.pdf>.
- พงษ์นาถ นาวารานันต์. (2563). อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณธาตุอาหารในดิน ปริมาณธาตุอาหารในใบ และการติดผลของส้มโอพันธุ์ทองดี. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 39(2), 16-30.
- พัชร เดชเลย์ คมกฤษณ์ แสงเงิน อนันต์ พิริยะภัทรกิจ และณัฐพงศ์ จันจุฬา. (2564). คุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยหอมทองเสริมซิลิเนียม. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 59* (หน้า 187-195). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ภัทรลดา สุธรรมวงศ์ พนิตา อติเวทิน อภิเดช แสงดี และวรัญญู แก้วดวงตา. (2553). อิทธิพลของ ซิลิเนียมต่อรูปแบบแสดงออกของโปรตีนในถั่วเขียว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 41(3/1) (พิเศษ), 93-96.
- อาณัติ จันทรธิระติกุล สุมาลี ชูกำแพง จันทรธิระติกุล และวิษณุพล โถสายคำ. (2561). การผลิต ผักกาดเขียววงอกและต้นแมงลักงอกซิลิเนียมสูงในระบบไรดิโน. *วารสารแก่นเกษตร*, 46 (พิเศษ 1), 1217-1223.
- Ellis, D.R. and Salt, D.E. (2003). Plants, selenium and human health. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(3), 273-279, doi: [https://doi.org/10.1016/s1369-5266\(03\)00030-x](https://doi.org/10.1016/s1369-5266(03)00030-x).
- Feist, L.J. and Parker, D.R. (2001). Ecotypic variation in selenium accumulation among populations of *Stanleya pinnata*. *New Phytologist*, 149(1), 61-69, doi: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00004.x>.
- Fisinin, V.I., Papazyan, T.T. and Surai, P.F. (2008). Producing specialist poultry products to meet human nutrition requirements: Selenium enriched eggs. *World's Poultry Science Journal*, 64(1), 85-98, doi: <https://doi.org/10.1017/S0043933907001742>.
- Kapolna, E. and Fodor, P. (2006). Speciation analysis of selenium enriched green onions (*Allium fistulosum*) by HPLC-ICP-MS. *Microchemical Journal*, 84(1-2), 56-62, doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2006.04.014>.
- Mounicou, S., Meija, J. and Caruso, J. (2004). Preliminary studies on selenium-containing proteins in *Brassica juncea* by size exclusion chromatography and fast protein liquid chromatography coupled to ICP-MS. *Analyst*, 129(2), 116-123, doi: <https://doi.org/10.1039/b312960h>.
- Seppänen, M.M., Kontturi, J., Heras L.I., Madrid, Y., Cámara, C. and Hartikainen, H. (2010). Agronomic biofortification of Brassica with selenium-enrichment of SeMet and its identification in Brassica seeds and meal. *Plant and Soil*, 337, 273-283, doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0523-y>.
- Terry, N., Zayed, A.M., De Souza, M.P. and Tarun, A.S. (2000). Selenium in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 401-432, doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.401>.

การวิเคราะห์รูปแบบการทำประตูของทีมชนะเลิศในการแข่งขันฟุตบอล ชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020

An Analysis of the Goalscoring Styles of the Winning Teams in Football UEFA European National Championships 2020

กรวิวุฒิ ระงับเหต^{1*} ภควัต กองแก่น¹ และโสภณ ทองสี¹
K.ravivuth Rangubhet^{1*} Pakkawat Kongkean¹ and Sapon Thongsee¹

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบรูปแบบการทำประตูฟุตบอลของทีมชนะเลิศและทีมคู่แข่งในการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020 กลุ่มตัวอย่างที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แมตช์การแข่งขันของทีมชนะเลิศ จำนวน 7 แมตช์ แล้วนำผลที่บันทึกได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสมรรถนะการยิงประตู แบบสถิติเชิงบรรยาย นำเสนอเป็นตารางความถี่ ค่าเฉลี่ย และค่าร้อยละ ด้วยสถิติ independent samples t-test ผลการวิจัยพบว่าทีมชนะเลิศมีรูปแบบการทำประตูที่นิยมมากที่สุด คือ ความสามารถเฉพาะตัว (7.71 ± 4.57) การส่งบอลด้านข้างสนาม (3.57 ± 2.23) และการส่งบอลทะลุทะลวง (1.71 ± 1.80) พื้นที่ในการทำประตูที่มากที่สุด คือ เขตโทษ (10.71 ± 3.95) ช่วงเวลาในการทำประตูที่มากที่สุด คือ ครั้งแรก (8.29 ± 4.23) และผลลัพธ์ในการทำประตูที่มากที่สุด คือ การยิงไม่เข้ากรอบประตู (6.43 ± 2.88) และฝ่ายรับป้องกันได้ (5.28 ± 2.50) ทีมคู่แข่งมีรูปแบบการทำประตูที่นิยมมากที่สุด คือ ความสามารถเฉพาะตัว (3.43 ± 3.16) และลูกตั้งเตะ (2.14 ± 0.90) พื้นที่ในการทำประตูมากที่สุด คือ เขตโทษ (4.14 ± 1.77) ช่วงเวลาในการทำประตูที่มากที่สุด คือ ครั้งหลัง (4.57 ± 2.44) และผลลัพธ์ในการทำประตูที่มากที่สุด คือ การยิงไม่เข้ากรอบประตู (4.00 ± 2.58) และฝ่ายรับป้องกันได้ (2.43 ± 2.23) เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการทำประตูของทีมชนะเลิศและทีมคู่แข่ง พบว่ารูปแบบการทำประตู การส่งบอลด้านข้างสนาม การเล่นลูกนิ่ง การส่งบอลทะลุทะลวง พื้นที่ในการทำประตู เขตโทษ และผลลัพธ์ในการทำประตู ผู้รักษาประตูป้องกันได้และบอลชนคาน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

คำสำคัญ: การวิเคราะห์สมรรถนะ รูปแบบการทำประตู ฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020

¹ สาขาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

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

Received: 12 November 2021, Revised: 2 March 2022, Accepted: 4 March 2022

Abstract

This research aims to analyze and compare soccer goalscoring styles of the winning teams and their opponents at the 2020 European Football Championship. The samples used in this research were 7 matches of the winning team. To compare the difference in the average shooting performance statistics the frequency, mean, and percentage tables are presented with. The results show that the champion team had the most popular goalscoring patterns: specific skills (7.71 ± 4.57), cross (3.57 ± 2.23), and pass (1.71 ± 1.80), the most goalscoring areas are penalty areas (10.71 ± 3.95), the most scoring intervals are half time (8.29 ± 4.23), and the most goals are off-target (6.43 ± 2.88) and blocked (5.28 ± 2.50). The opponents have the most popular goalscoring styles: specific skills (3.43 ± 3.16) and set pieces (2.14 ± 0.90), the most goalscoring areas are penalty areas (4.14 ± 1.77), the most goalscoring intervals are full time (4.57 ± 2.44), and the most goals scored are off-target (4.00 ± 2.58) and blocked (2.43 ± 2.23). When comparing the goalscoring performance of the winning team and the opposing team, it was found that cross goals, set pieces, killer pass patterns, penalty area goals scored, save and post goals scored, and woodwork were statistically significantly different at 0.05.

Keyword: Performance analysis, Goalscoring, UEFA 2020

บทนำ

กีฬาฟุตบอลเป็นกีฬาที่มีรูปแบบการเล่นและวิธีการทำประตูที่หลากหลายซับซ้อน เพื่อนำมาใช้ในการแข่งขัน แต่ละทีมมีการพัฒนาและสร้างรูปแบบการทำประตูของทีมตัวเองไว้ใช้แข่งขันกับทีมคู่แข่ง จำเป็นต้องอาศัยการประสานงานกับเพื่อนร่วมทีม สอดคล้องกับ Almeida *et al.* (2020) ที่พบว่าฟุตบอลมีลักษณะการเล่นที่ซับซ้อนโดยเน้นที่ความร่วมมือของเพื่อนร่วมทีมในการแข่งขันเพื่อเอาชนะฝ่ายตรงข้าม และเพื่อให้ผู้เล่นมีการประสานงานและความต้องการให้เป็นหนึ่งเดียวกันในการแข่งขัน โดยมีโครงสร้างผ่านการพัฒนารูปแบบการเล่นจากตัวบุคคลสู่การเล่นแบบทีม

ในการแข่งขันกีฬาฟุตบอลจะตัดสินผลการแข่งจากทีมที่ทำประตูที่มากกว่าจะเป็นผู้ชนะ ดังนั้นการทำประตูจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะสร้างความได้เปรียบจากทีมคู่แข่งมากกว่าและนำไปสู่ชัยชนะในที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับนิพิฐพนธ์ และชัยชัย (2556) ที่พบว่าในกีฬาฟุตบอลสิ่งที่จะตัดสินผลแพ้ชนะจะขึ้นอยู่กับจำนวนประตูที่ทำได้ ทีมที่ทำประตูได้มากกว่าจะเป็นฝ่ายชนะ

การแข่งขันฟุตบอลในแต่ละยุคสมัยนั้นจะมีรูปแบบการทำที่แตกต่างกันออกไป เช่น การแข่งขันฟุตบอลโลก 2006 รูปแบบการยิงประตูที่สัมฤทธิ์ผลมากที่สุด คือ การเปิดบอลจากด้านข้างสนามด้วยลูกโด่ง คิดเป็นร้อยละ 20 (นพพร, 2550) การแข่งขันฟุตบอลโลก 2010 รูปแบบการยิงประตูที่สัมฤทธิ์ผลมากที่สุดของทีมชาติสเปน คือ การส่งบอลให้ตัวหลังขึ้นมายิง คิดเป็นร้อยละ 100

(นิพัทธ์ และ ชัชชัย, 2556) การแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2012 รูปแบบการยิงประตูที่นิยมมากที่สุดของทีมชาติสเปน คือ การส่งบอลแบบวอลพาส คิดเป็นร้อยละ 41.6 (ภาณุพงศ์ และคณะ, 2556) การแข่งขันฟุตบอลโลก 2018 รูปแบบการยิงประตูที่สัมฤทธิ์ผลมากที่สุด คือ การเตะโทษ ณ จุดโทษ คิดเป็นร้อยละ 25.64 (นิพล, 2564)

การวิเคราะห์สมรรถนะจึงมีบทบาทสำคัญในการช่วยให้ได้ข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ จากการเล่นรวมถึงการทำประตู ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่จะช่วยให้ผู้ฝึกสอนสามารถคาดการณ์รูปแบบการเล่นและการทำประตูของฝ่ายตรงข้ามได้ รวมไปถึงนำไปประยุกต์ใช้ในการฝึกซ้อมเพื่อจำลองรูปแบบการเล่นของฝ่ายตรงข้าม ทำให้นักกีฬาสามารถรับรู้และคาดการณ์รูปแบบการเล่นของฝ่ายตรงข้ามได้ก่อนการแข่งขัน ระหว่างการแข่งขันและหลังการแข่งขัน และในการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรปเป็นแมทช์ที่อยู่ในกระแสและความสนใจของแฟนบอลทั่วโลก และมีรูปแบบการจัดการแข่งขันที่น่าสนใจ มีรูปแบบการยิงประตูที่หลากหลายในแต่ละยุคสมัยของการแข่งขันชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป การวิเคราะห์สมรรถนะจึงเป็นหนึ่งในวิธีการที่จะได้มาซึ่งข้อมูลของวิธีการทำประตูที่เกิดขึ้นในแมทช์การแข่งขันนี้

จากเหตุผลที่กล่าวมาทำให้ผู้วิจัยเห็นความสำคัญของรูปแบบการทำประตู เพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์สมรรถนะในเกมกีฬาฟุตบอล เพื่อนำไปสู่การสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันและศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของทีมตนเองและทีมคู่แข่ง สู่การนำไปประยุกต์ใช้ในการฝึกซ้อม สรรหา รูปแบบและกลยุทธ์ การวางแผนการฝึกซ้อม การแข่งขันให้มีประสิทธิภาพสูงสุด การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการทำประตูฟุตบอลของทีมชนะเลิศและทีมคู่แข่งในการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020 และเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการทำประตูฟุตบอลระหว่างทีมชนะเลิศและทีมคู่แข่งในการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020

วิธีดำเนินการวิจัย

1. อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์จากวิดีโอบันทึกการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020 จำนวน 7 แมทช์การแข่งขัน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ แมทช์การแข่งขันของทีมชนะเลิศในการแข่งขันครั้งนี้ จำนวน 7 แมทช์ ที่ได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling)

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาหาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับหลักการในการเล่นกีฬาฟุตบอล เทคนิคการเล่นกีฬาฟุตบอล รูปแบบการทำประตูในกีฬาฟุตบอล

ขั้นตอนที่ 2 สร้างแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลสมรรถนะการทำประตู แล้วทำการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือจากผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับกีฬาฟุตบอลและการวิเคราะห์สมรรถนะจำนวน 3 คน

ขั้นตอนที่ 3 การเก็บรวบรวมข้อมูลสมรรถนะในการทำประตูเป็นแบบการบันทึกเชิงสัญลักษณ์

ขั้นตอนที่ 4 เก็บข้อมูลการแข่งขันจากภาพบันทึกการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020 ในแมตช์การแข่งขันของทีมชนะเลิศและทีมคู่แข่งตั้งแต่รอบแบ่งกลุ่มถึงรอบชิงชนะเลิศแล้วบันทึกผลลัพธ์ของการทำประตู

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการแข่งขันและหาค่าร้อยละของสมรรถนะในการทำประตูในแต่ละแมตช์การแข่งขันจำนวน 7 แมตช์

ขั้นตอนที่ 6 เก็บรวบรวมข้อมูล สรุปผลการแข่งขัน และหาค่าร้อยละกับค่าเฉลี่ยของสมรรถนะในการทำประตูที่ได้ทั้งหมด 7 แมตช์ แล้วนำไปวิเคราะห์ข้อมูล

3. สถิติการวิเคราะห์ข้อมูล

คำนวณค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้ข้อมูลจากการจดบันทึกเชิงสัญลักษณ์เพื่อหาข้อมูลทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสมรรถนะการยิงประตู แบบสถิติเชิงบรรยาย (descriptive statistic) นำเสนอเป็นตาราง ค่าเฉลี่ย (mean: M) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD) ระหว่างทีมชนะเลิศและทีมคู่แข่งในรอบแบ่งกลุ่มถึงรอบชิงชนะเลิศของการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020 ด้วยสถิติ independent samples t-test

ผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้เก็บข้อมูลจากวิดีโอบันทึกการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020 แมตช์การแข่งขันของทีมชนะเลิศกับทีมคู่แข่งตั้งแต่การแข่งขันรอบแบ่งกลุ่มถึงรอบชิงชนะเลิศจำนวน 7 แมตช์ 188 ข้อมูล โดยผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิจัยในรูปแบบตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 3

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยรูปแบบการทำประตูในแต่ละรูปแบบของทีมชนะเลิศ ในการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020 (n=14)

รูปแบบการทำประตู	ผลของการยิงประตู									
	เป็นประตู		ยิงไม่เข้า		ฝ่ายรับ		ผู้รักษาประตู		ชนเสา-คาน	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1. เล่นบอล 2 จังหวะ	0	0	0.43	0.53	0.14	0.38	0	0	0	0
2. ส่งบอลจากด้านข้าง	0.29	0.76	1.57	1.51	1.00	1.14	0.71	1.11	0	0
3. ส่งบอลกลับหลัง	0.29	0.49	0.29	0.49	0.29	0.49	0.29	0.49	0	0
4. ส่งบอลทะลุทะลวง	0.14	0.38	0.14	0.38	0.71	1.11	0.57	0.98	0.14	0.38
5. เล่นบอลสวนกลับ	0.14	0.38	0.71	1.25	0	0	0.29	0.49	0	0
6. ลูกตั้งเตะ	0.14	0.38	1.00	1.29	0.57	0.53	0.57	0.79	0.14	0.38
7. ความสามารถเฉพาะตัว	0.86	0.69	2.29	2.06	2.57	1.81	1.86	2.48	0.14	0.38

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าจากการแข่งขันทั้งหมด 7 แมทช์ 14 เกมการแข่งขัน ผลการวิเคราะห์สมรรถนะรูปแบบของทีมนะเลิศในการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020 พบว่ารูปแบบที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ ความสามารถเฉพาะตัว มีค่าเฉลี่ยของฝ่ายรับป้องกันได้เท่ากับ 2.57 ครั้งต่อแมทช์ ค่าเฉลี่ยของการยิงไม่เข้ากรอบประตูเท่ากับ 2.29 ครั้งต่อแมทช์ และค่าเฉลี่ยของผู้รักษาประตูป้องกันได้เท่ากับ 1.86 ครั้งต่อแมทช์ ส่วนค่าเฉลี่ยรูปแบบการทำประตูที่สัมฤทธิ์ผลมากที่สุด คือ ทักษะเฉพาะตัว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.86 ครั้งต่อแมทช์

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยรูปแบบการทำประตูในแต่ละรูปแบบของทีมคู่แข่ง ในการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020 (n=14)

รูปแบบการทำประตู	ผลของการยิงประตู									
	เป็นประตู		ยิงไม่เข้า		ฝ่ายรับ		ผู้รักษาประตู		ชนเสา-คาน	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1. เล่นบอล 2 จังหวะ	0.14	0.38	0	0	0	0	0.14	0.38	0	0
2. ส่งบอลจากด้านข้าง	0.14	0.38	0.29	0.49	0.14	0.38	0	0	0	0
3. ส่งบอลกลับหลัง	0	0	0.29	0.76	0.14	0.38	0	0	0	0
4. ส่งบอลทะลุทะลวง	0	0	0.14	0.38	0.43	0.53	0	0	0	0
5. เล่นบอลสวนกลับ	0	0	0.57	1.13	0.43	0.53	0.14	0.38	0	0
6. ลูกตั้งเตะ	0.29	0.49	1.14	0.38	0.29	0.49	0.43	0.53	0	0
7. ความสามารถเฉพาะตัว	0	0	1.57	1.90	1.00	1.29	0.86	0.90	0	0

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าจากการแข่งขันทั้งหมด 7 แมทช์ 14 เกมการแข่งขัน ผลการวิเคราะห์สมรรถนะรูปแบบของทีมนะเลิศในการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020 พบว่ารูปแบบที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ ความสามารถเฉพาะตัว มีค่าเฉลี่ยของการยิงไม่เข้ากรอบประตูเท่ากับ 1.57 ครั้งต่อแมทช์ และค่าเฉลี่ยของฝ่ายรับป้องกันได้เท่ากับ 1.00 ครั้งต่อแมทช์ ส่วนค่าเฉลี่ยรูปแบบการทำประตูที่สัมฤทธิ์ผลมากที่สุด คือ การตั้งเตะ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 ครั้งต่อแมทช์

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของสมรรถนะการทำประตูของทีมชนะเลิศและทีมคู่แข่ง ในการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020

สมรรถนะ (performance)	ทีมชนะเลิศ (n=7) (champion)		ทีมคู่แข่ง (n=7) (opponents)		t
	M	SD	M	SD	
1. รูปแบบการยิงประตู (technics)					
1.1 เล่นบอล 2 จังหวะ (double pass)	0.57	0.54	0.29	0.49	1.044
1.2 ส่งบอลจากด้านข้าง (cross)	3.57	2.23	0.57	0.54	3.468*
1.3 ส่งบอลกลับหลัง (cut back)	1.14	0.90	0.43	0.79	1.581
1.4 ส่งบอลทะลุทะลวง (killer pass)	1.71	1.80	0.57	0.54	1.611*
1.5 เล่นบอลสวนกลับ (counter attack)	1.14	1.22	1.14	1.22	0.000
1.6 ลูกตั้งเตะ (set pieces)	2.43	2.23	2.14	0.90	0.315*
1.7 ความสามารถเฉพาะตัว (specific kill)	7.71	4.57	3.43	3.16	2.041
2. พื้นที่ในการยิงประตู (area)					
2.1 เขตประตู (goal area)	0.71	0.95	0.43	0.79	0.621
2.2 เขตโทษ (penalty area)	10.71	3.95	4.14	1.77	4.019*
2.3 นอกเขตโทษ (outside area)	6.86	3.58	4.00	3.74	1.460
3. ช่วงเวลาในการแข่งขัน (period)					
3.1 ครึ่งแรก (half time)	8.29	4.23	2.14	2.04	3.461
3.2 ครึ่งหลัง (full time)	7.86	3.34	4.57	2.44	2.103
3.3 ต่อเวลาพิเศษ (extra time)	2.14	3.53	1.86	2.73	0.169
4. ผลของการยิงประตู (result)					
4.1 เป็นประตู (goal)	1.86	0.90	0.57	0.54	3.250
4.2 ยิงไม่เข้ากรอบประตู (off target)	6.43	2.88	4.00	2.58	1.662
4.3 ฝ่ายรับป้องกันได้ (blocked)	5.29	2.50	2.43	2.23	2.260
4.4 ผู้รักษาประตูป้องกันได้ (save)	4.29	2.69	1.57	0.98	2.509*
4.4 ชนเสา-คาน (post, woodwork)	0.43	0.54	0	0	2.121*

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

จากตารางที่ 3 การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำประตูมีความแตกต่างระหว่างทีมชนะเลิศและทีมคู่แข่ง ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 คือ รูปแบบการทำประตูแบบการส่งบอลด้านข้างสนามมีค่า t เท่ากับ 3.468 รูปแบบการทำประตูแบบการส่งบอลทะลุทะลวงมีค่า t เท่ากับ 1.611 และรูปแบบการทำประตูแบบการตั้งเตะมีค่า t เท่ากับ 0.315 ส่วนของพื้นที่ในการทำประตู พื้นที่เขตโทษมีค่า t เท่ากับ 4.019 และส่วนของผลลัพธ์ในการทำประตู ผู้รักษาประตูป้องกันได้มีค่า t เท่ากับ 2.509 และบอลชนคานมีค่า t เท่ากับ 2.121 ซึ่งเห็นได้ว่าทีมชนะเลิศมีค่าเฉลี่ยในรูปแบบการทำประตูมากกว่าทีมคู่แข่ง 3 รูปแบบ พื้นที่ในการทำประตูมีค่าเฉลี่ยมากกว่าทีมคู่แข่ง 1 พื้นที่ และผลลัพธ์ในการทำประตูมีค่าเฉลี่ยมากกว่าทีมคู่แข่ง 2 ผลลัพธ์

การอภิปรายผลการวิจัย

สมรรถนะการยิงประตูของการแข่งขันชิงแชมป์ยุโรป 2020 ทำให้เห็นได้ชัดว่าทีมชนะเลิศมีสมรรถนะในการยิงประตูที่ดี และเหมาะสมตามแต่โอกาสในการแข่งขันซึ่งมีความต่างกับทีมคู่แข่งในหลากหลายด้าน ดังเช่น การยิงเข้าประตู พบว่าทีมชนะเลิศยิงด้วยความสามารถเฉพาะตัว (specific skill) มากที่สุด 0.89 ครั้งต่อแมตช์ แต่คู่แข่งไม่สามารถทำได้เลย รองลงมา คือ การยิงประตูจากการส่งบอลจากด้านข้าง และการส่งบอลกลับหลัง มีค่าเฉลี่ยเท่ากันที่ 0.29 ครั้งต่อแมตช์ แต่ทีมคู่แข่งยิงประตูจากการส่งบอลจากด้านข้าง 0.14 ครั้งต่อแมตช์ และไม่สามารถยิงประตูจากการส่งบอลกลับหลังได้เลย นอกจากนี้การยิงประตูแบบไม่เข้ากรอบ ยิงประตูแล้วถูกผู้เล่นแนวหลังป้องกันได้ และการยิงประตูแล้วผู้รักษาประตูรักษาประตูไว้ได้ก็เกิดขึ้นบ่อย ๆ สำหรับทีมชนะเลิศมีค่าเฉลี่ยต่อแมตช์ประมาณ 1-3 ครั้ง แต่ทีมคู่แข่งมีโอกาสน้อยมากประมาณ 1-2 ครั้งต่อแมตช์ ทำให้ประเมินได้ว่าทีมชนะเลิศมีโอกาสในการรุกแล้วจบเกมด้วยการยิงประตูนั้นประสบผลสำเร็จมากกว่าทีมคู่แข่ง หรือสามารถบอกได้ว่าทีมชนะเลิศสามารถสร้างโอกาสในการทำคะแนนได้ดีกว่าทีมคู่แข่ง (ระจับเหตุ, 2564) และเป็นไปได้ว่านอกจากการรุกด้วยการทำประตู ยังมีรูปแบบอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการทำประตูของทีมแข่งขัน เช่น การครอบครองบอล การส่งบอล การเลี้ยงบอล การแย่ง รวมถึงเทคนิคและแทคติกต่าง ๆ ที่ใช้ในการแข่งขัน ซึ่งอาจเป็นปัจจัยร่วมของโอกาสในการยิงประตูของทีมชนะเลิศ และทีมคู่แข่งสามารถสร้างโอกาสจากสมรรถนะเหล่านั้นอย่างมีประสิทธิภาพได้ (Yi et al., 2018)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของรูปแบบการทำประตูพบว่า รูปแบบการทำประตูที่นิยมใช้มากที่สุดของทีมชนะเลิศ คือ ความสามารถเฉพาะตัว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.71 ครั้งต่อแมตช์ ทีมคู่แข่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.43 ครั้งต่อแมตช์ ซึ่งทีมชนะเลิศมีทักษะเฉพาะตัวและการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าของผู้เล่นในการทำประตู ทำให้ฝ่ายรับเกิดความสับสนและไม่สามารถคาดเดาการเคลื่อนไหวจากการประกบตัว โดยใช้ความเร็วและความคล่องตัวของผู้เล่นเพื่อหนีตัวประกบและสร้างพื้นที่ในการทำประตูให้กับตัวเอง ซึ่งสอดคล้องกับกาหลง (2553) ที่พบว่าการฝึกเทคนิคและกลยุทธ์ต้องควบคู่กัน เทคนิคจะอาศัยการฝึกทักษะพื้นฐานจนเกิดความชำนาญบวกกับไหวพริบ ชื่นเชิงในการเล่นที่เรียกว่ากลยุทธ์จะทำให้ทีมฟุตบอลเล่นอย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการทำประตูของทีมชนะเลิศและทีมคู่แข่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 คือ รูปแบบการส่งบอลจากข้างสนาม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.57 ครั้งต่อแมตช์ ทีมคู่แข่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.57 ครั้งต่อแมตช์ จะเห็นได้ว่าทีมชนะเลิศมีการใช้รูปแบบการทำประตูแบบการส่งบอลด้านข้างสนาม หรือการเล่นลูกทางด้านข้างของสนามดีกว่าทีมคู่แข่ง เพื่อเปิดพื้นที่ของทีมคู่แข่งให้กว้างขึ้นเพื่อสร้างพื้นที่ว่างและการสร้างเกมรุก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นิพิฐพนธ์ และชัชชัย (2556) ที่พบว่ารูปแบบการยิงประตูที่นิยมใช้มากที่สุดในการแข่งขันฟุตบอลโลก 2010 ของทีมชาติสเปนและทีมคู่แข่งในภาพรวม คือ รูปแบบการส่งจากด้านข้าง

ส่วนรูปแบบการส่งบอลทะลุทะลวง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.71 ครั้งต่อแมตช์ ทีมคู่แข่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.57 ครั้งต่อแมตช์ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเปิดพื้นที่จากด้านข้างของสนามทำให้มีพื้นที่ว่างตรงกลางสนาม ทีมชนะเลิศจึงทำการส่งบอลทะลุทะลวงผ่านแนวป้องกันของคู่แข่งดีกว่า โดยจะต้องส่งบอลให้รวดเร็วและแม่นยำ เพื่อหาจังหวะเข้าไปทำประตู ซึ่งสอดคล้องกับการกีฬาแห่งประเทศไทย (2558) ที่พบว่าเทคนิคที่ต้องใช้สำหรับการทะลุทะลวงเข้าไปโจมตี ส่วนมากจะใช้การส่งลูกทรู

(through pass) และการส่งลูกทแยง (diagonal pass) จะต้องผ่านลูกที่รวดเร็วและแม่นยำเข้าไป และหาจังหวะในการทำประตู

ส่วนรูปแบบการตั้งเตะ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.43 ครั้งต่อแมตช์ ทีมคู่แข่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.14 ครั้งต่อแมตช์ จะเห็นได้ว่าทีมชนะเลิศมีการหวังผลจากการเล่นลูกตั้งเตะในการทำประตูดีกว่า ทีมคู่แข่งในการเล่นลูกตั้งเตะนั้นสามารถทำประตูได้เลย และยังส่งบอลเพื่อสร้างเกมรุกหรือทำการครองบอลจากพื้นที่ที่ได้เล่นลูกตั้งเตะ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนิพิฐพนธ์ และชัชชัย (2556) พบว่ารูปแบบการทำประตูที่มีการยิงเข้ากรอบประตูมากที่สุดของทีมชาติสเปนในการแข่งขันฟุตบอลโลก 2010 คือ รูปแบบลูกโทษ 2 จังหวะ

พื้นที่ในการทำประตูเมื่อเปรียบเทียบกับทีมชนะเลิศและทีมคู่แข่ง พบว่าในพื้นที่เขตโทษ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.71 ครั้งต่อแมตช์ ทีมคู่แข่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.14 ครั้งต่อแมตช์ แสดงให้เห็นว่าทีมชนะเลิศมีความได้เปรียบในพื้นที่เขตโทษ เนื่องจากเป็นพื้นที่ของฝ่ายรักษาประตู มีระยะในการทำประตูไม่ใกล้และไม่ไกลเกินไป สามารถหวังผลจากการทำประตูได้ทันที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนิพล (2564) ที่พบว่าพื้นที่ในการยิงประตูที่สัมฤทธิ์ผลมากที่สุด คือ พื้นที่เขตโทษ เนื่องจากพื้นที่นั้นเป็นพื้นที่ที่มีระยะปานกลาง โดยเป็นพื้นที่ที่ตำแหน่งของฝ่ายยิงประตูใช้การยิงประตูที่หลากหลายมากขึ้นในฟุตบอลสมัยใหม่

ช่วงเวลาในการทำประตูมากที่สุดของทีมชนะเลิศ คือ ครึ่งแรกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.29 ครั้งต่อแมตช์ ทีมคู่แข่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.14 ครั้งต่อแมตช์ แสดงให้เห็นว่าทีมชนะเลิศมีการสร้างเกมรุกในการทำประตูช่วงแรก เพื่อสร้างความได้เปรียบและสร้างความกดดันให้ทีมคู่แข่งจากโอกาสการทำประตูในช่วงแรก ซึ่งหากมีการทำประตูและได้ประตูในช่วงครึ่งแรกมาก ความกดดันในการเล่นในช่วงครึ่งหลังจะลดน้อยลง สร้างความผ่อนคลายให้กับผู้เล่นและนำไปสู่ชัยชนะ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของภาณุพงศ์ และคณะ (2556) ที่พบว่าช่วงเวลาของทีมชาติสเปนยิงประตูมากที่สุดในการแข่งขันฟุตบอลโลก 2010 คือ นาทีที่ 16-30 และนาทีที่ 61-75 ซึ่งเป็นช่วงกลางครึ่งแรกกับกลางครึ่งหลัง ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงที่ทีมส่วนใหญ่จะเปิดเกมรุกและเกมรับกันมากขึ้น

ผลลัพธ์ในการทำประตูของทีมชนะเลิศและทีมคู่แข่ง ในผลลัพธ์ฝ่ายรักษาประตูป้องกันได้และบอลชนคานมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.29 ครั้งต่อแมตช์ และ 0.43 ครั้งต่อแมตช์ ตามลำดับ ทีมคู่แข่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.57 ครั้งต่อแมตช์ และไม่มีบอลชนคานเกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าในการทำประตูของทีมชนะเลิศมีผลลัพธ์โดยฝ่ายรักษาประตูป้องกันได้ และบอลชนคานมากกว่าทีมคู่แข่งแสดงให้เห็นถึงการทำประตูในจังหวะสุดท้ายขาดประสิทธิภาพทั้งความแรงและทิศทางของการทำประตู ถึงแม้ว่าจะมีทิศทางเข้ากรอบ แต่ยังไม่ผ่านการป้องกันของฝ่ายรักษาประตูและทิศทางยังไม่แม่นยำทำให้ลูกบอลไปชนเสา ซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงและแก้ไขการทำให้หวังผลได้มากยิ่งขึ้นจากการฝึกซ้อมและจำลองรูปแบบการทำประตูจากสถานการณ์แข่งขัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนพพร (2550) ที่พบว่าการเล่นประตูที่ดีควรยิงด้วยความรุนแรงที่พอเหมาะ จังหวะและโอกาสที่ดีและวิธีที่ถูกต้อง ไม่จำเป็นต้องใช้กำลังมากเพราะบางครั้งฝ่ายยิงประตูเพียงแค่ปรับทิศทางหรือเพียงสัมผัสลูกบอลปานกลางเท่านั้น การยิงประตูก็จะมีประสิทธิภาพได้เหมือนกัน

สรุปผลการวิจัย

รูปแบบการทำประตูที่นิยมมากที่สุดของทีมชนะเลิศ คือ ความสามารถเฉพาะตัว (7.71 ± 4.57) การส่งบอลด้านข้างสนาม (3.57 ± 2.23) และการส่งบอลทะลุทะลวง (1.71 ± 1.80) มีการใช้พื้นที่เขตโทษ (10.71 ± 3.95) ในการทำประตูมากที่สุด ในครั้งแรก (8.29 ± 4.23) มีการทำประตูที่มากที่สุด และด้านผลลัพธ์ในการทำประตูที่มากที่สุด คือ ยังไม่เข้ากรอบประตู (6.43 ± 2.88) และฝ่ายรับป้องกันได้ (5.29 ± 2.50)

สมรรถนะการทำประตูของทีมชนะเลิศและทีมคู่แข่งมีรูปแบบการทำประตูที่แตกต่างกัน ได้แก่ การส่งบอลด้านข้างสนาม การตั้งเตะ การส่งบอลทะลุทะลวง พื้นที่การทำประตูในเขตโทษ ผู้รักษาประตูป้องกันได้ และบอลชนคาน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยไปใช้

1.1 เป็นแนวทางสำหรับผู้ฝึกสอนและนักกีฬาในการนำรูปแบบการทำประตูของทีมชนะเลิศไปใช้ในการฝึกซ้อมและพัฒนาส่งเสริมการเล่นฟุตบอลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2 ผู้ฝึกสอนและนักกีฬาสามารถนำผลการวิเคราะห์การทำประตูของทีมชนะเลิศไปประยุกต์ใช้ในการฝึกซ้อมให้เหมาะสมกับทีมของตนเองได้

1.3 ผู้ฝึกสอนและนักกีฬาได้ทราบถึงข้อแตกต่างของสมรรถนะของทีมชนะเลิศและทีมคู่แข่งในการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2020

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการป้องกัน การครอบครองบอล การส่งบอล การเลี้ยงบอลในการแข่งขันฟุตบอล

2.2 ควรมีการศึกษาระบบแผนการเล่นของทีมในการแข่งขันฟุตบอล

2.3 ควรมีการศึกษาวิธีการยิงประตูฟุตบอลในการแข่งขันฟุตบอลเพื่อหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการแข่งขัน

เอกสารอ้างอิง

- ก.รวีวุฒิ ระเบียบเหตุ. (2564). ระบบการวิเคราะห์สมรรถนะในกีฬาวอลเลย์บอล: ประสิทธิภาพสมรรถนะในการทำแต้ม. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*. 40(2), 71-81.
- การกีฬาแห่งประเทศไทย. (2558). *คู่มือผู้ฝึกสอนกีฬาฟุตบอล*. สืบค้นเมื่อ 17 พฤศจิกายน 2564, จาก: https://www.satc.or.th/upload/document/file/documentfile_922019180101.pdf.
- กาหลง เย็นจิตต์. (2553). *วิทยาศาสตร์การกีฬาฟุตบอล*. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย.
- นพพร เอกสาตรา. (2550). *ยุทธวิธีการเล่นประตูฟุตบอลในการแข่งขันฟุตบอลโลก ปี ค.ศ. 2006 ณ ประเทศเยอรมนี*. วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต (พลศึกษา). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

- นิพล โนนจ้อย. (2564). การวิเคราะห์รูปแบบการยิงประตูฟุตบอลโลก ปี 2018. *สัปดาห์: วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (สทมส.)*, 27(1), 120-125.
- นิพัทธ์พนธ์ มาลาหอม และชัชชัย โกมารทัต. (2556). การวิเคราะห์รูปแบบการทำประตูของทีมชาติสเปนและทีมคู่แข่งในการแข่งขันฟุตบอลโลก 2010. *วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ*, 14(1), 24-38.
- ภาณุพงศ์ รุ่งมิตรจรัสแสง นิรอมลี้ มะกาเจ และพรพล พิมพาพร. (2556). การวิเคราะห์รูปแบบการยิงประตูของทีมชาติสเปนในการแข่งขันฟุตบอลโลก 2010 และการแข่งขันฟุตบอลชิงแชมป์แห่งชาติยุโรป 2012. ใน *การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10* (หน้า 1091-1100). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- Almeida, C., Santos, R., Mantovani, L. and Teoldo, I. (2022). Players' participation in team possession of the 2014 FIFA world cup semi-finalists. *Human Movement*, 23(1), 44-49, doi: <https://doi.org/10.5114/hm.2021.104186>.
- Yi, Q., Jia, H., Liu, H. and Gómez, A.M. (2018). Technical demands of different playing positions in the UEFA champions League. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18(6), 926-937, doi: <https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1528524>.

ศักยภาพของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

The Potential of Wastewater from Kha Nom Lah Production Process for Biogas Production

เอนก สาวะอินทร์^{1*} ฌานิกา แซ่แง ชุกลิ้น¹ ชุตินุช สุจริต² และสมรักษ์ รอดเจริญ³
Aneak Sawain^{1*}, Chanika Saenge Chooklin¹, Chutinut Sujarit² and Somrak Rodjaroen³

บทคัดย่อ

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลามีการปนเปื้อนสารอินทรีย์สูง ซึ่งเกิดจากการใช้น้ำในขั้นตอนการเตรียมแป้งจากข้าวสารสำหรับเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ส่งผลให้น้ำเสียนี้อุดมไปด้วยสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อน และส่งผลให้เกิดมลพิษทางน้ำเมื่อมีการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายศึกษาศักยภาพของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นแนวทางสำหรับการนำน้ำเสียนี้ไปใช้ประโยชน์และเป็นการบำบัดเพื่อลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์เปลี่ยนให้เป็นก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาสามารถใช้ประโยชน์สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพได้ โดยมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพอยู่ระหว่าง 0.023 ± 0.001 ลิตรต่อลิตรน้ำเสียต่อวัน ผลการคำนวณผลผลิตก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.08 ± 0.02 ลิตรต่อกรัมซีโอดี ที่ถูกกำจัด การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่งผลให้มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีและบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 65.9 ± 0.8 และ 68.6 ± 2.3 ตามลำดับ ผลจากการตรวจวัดก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพแสดงให้เห็นถึงปริมาณก๊าซมีเทนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 62.2 ± 1.7 (% LEL) และจากการทดสอบพบว่าก๊าซชีวภาพสามารถจุดติดไฟได้ ซึ่งจะเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ สนับสนุนการผลิตพลังงานทดแทนจากของเสียในอุตสาหกรรมนี้ สามารถนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์ทดแทนก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในกระบวนการผลิต หรือใช้ประโยชน์ในครัวเรือน เป็นพลังงานทดแทนเพื่อลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานต่อไปได้

คำสำคัญ: ขนมลา ก๊าซชีวภาพ การบำบัดน้ำเสีย พลังงานทดแทน

¹ สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเลและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

² สาขาอุตสาหกรรมอาหารและผลิตภัณฑ์ประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

³ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

* corresponding author e-mail: aneak.ene@gmail.com

Received: 20 December 2021, Revised: 8 March 2022, Accepted: 14 March 2022

Abstract

Wastewater from the Kha Nom Lah production process is highly contaminated with organic matter, this is caused by the use of water in the process of preparing rice flour as raw materials in the production process. This wastewater has a foul smell caused by the decomposition process of contaminated organic matter and results in water pollution when it is released into public water sources. This research aims to study the potential of wastewater from the Kha Nom Lah production process for biogas production. It is a guideline for utilizing this wastewater and treating it to reduce the organic loading, through the removal of organic matter, turning it into biogas by anaerobic digestion process. The results demonstrate the potential of wastewater from the Kha Nom Lah production process to be utilized for biogas production. The biogas generation rate is between 0.023 ± 0.001 liter per liter of wastewater/day. The results of the biogas yield calculation compared to the COD removal, the values were between 0.08 ± 0.02 liter per gram of COD removed. The removal of organic matter in wastewater resulted in the average efficiency of removing organic matter in the form of COD and BOD was 65.9 ± 0.8 and 68.6 ± 2.3 percent, respectively. The results of the measurement of methane gas in biogas show that the average methane content was 62.2 ± 1.7 percent (% LEL), and from the test it was found that the biogas can ignite. This will be a guideline for utilizing wastewater from the Kha Nom Lah production process for biogas production, supporting the production of renewable energy from waste in this industry. The biogas produced can be used to replace LPG gas in the production process or use it in the household, as a renewable energy to reduce energy costs.

Keywords: Kha Nom Lah, Biogas, Wastewater treatment, Renewable energy

บทนำ

จากกระบวนการผลิตขนมลาในพื้นที่ชุมชนท้องถิ่นของจังหวัดนครศรีธรรมราช มีการปล่อยน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ปริมาณมาก เนื่องจากในกระบวนการผลิตใช้ข้าวสาร (ข้าวเจ้า และข้าวเหนียว) เป็นวัตถุดิบสำหรับเตรียมแป้ง ซึ่งในขั้นตอนการผลิตมีการใช้น้ำปริมาณมาก ทำให้เมื่อมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่คลองสาธารณะจึงเกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ตามมา รวมถึงระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ต้องรองรับการบำบัดน้ำเสียที่ประสบปัญหาภิเษการะบรรทุกสารอินทรีย์สูง โดยเฉพาะในช่วงหน้าแล้งที่มีปริมาณน้ำในคลองระบายน้ำน้อยทำให้มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก จึงเกิดปัญหาน้ำเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในคลองสาธารณะที่เป็นแหล่งรองรับน้ำเสียของชุมชน และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านอื่น ๆ ตามมาในอนาคต ดังนั้นการพัฒนา

ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียให้มีความเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตขนมลาจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยแนวทางการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียเป็นรูปแบบพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีความยั่งยืน ซึ่งผลิตขึ้นด้วยกระบวนการย่อยสลายของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน ก่อให้เกิดการคืนทุนเชิงนิเวศและเศรษฐกิจ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Tetteh and Rathilai, 2021) ทั้งนี้ในการดำเนินงานทางด้านการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีการพิสูจน์แล้วว่าเป็นเทคโนโลยีที่สามารถก่อให้เกิดความยั่งยืนที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุดสำหรับการลด การรีไซเคิล และการกู้คืนทรัพยากรจากของเสียที่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ (Tetteh and Rathilai, 2021; Bennich and Belyazid, 2017) ซึ่งจะเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์ของเสียและลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทางน้ำในพื้นที่ชุมชน อีกทั้งมีการกล่าวถึงการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลา โดยมีงานวิจัยกล่าวถึงการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการปนเปื้อนของเสียประเภทแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด ด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศและสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ (Padi *et al.*, 2022; Cruz *et al.*, 2021; Cremones *et al.*, 2020; Khongklai *et al.*, 2015) ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงแนวทางของการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาที่มีการปนเปื้อนแป้งในลักษณะที่คล้ายกับงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น

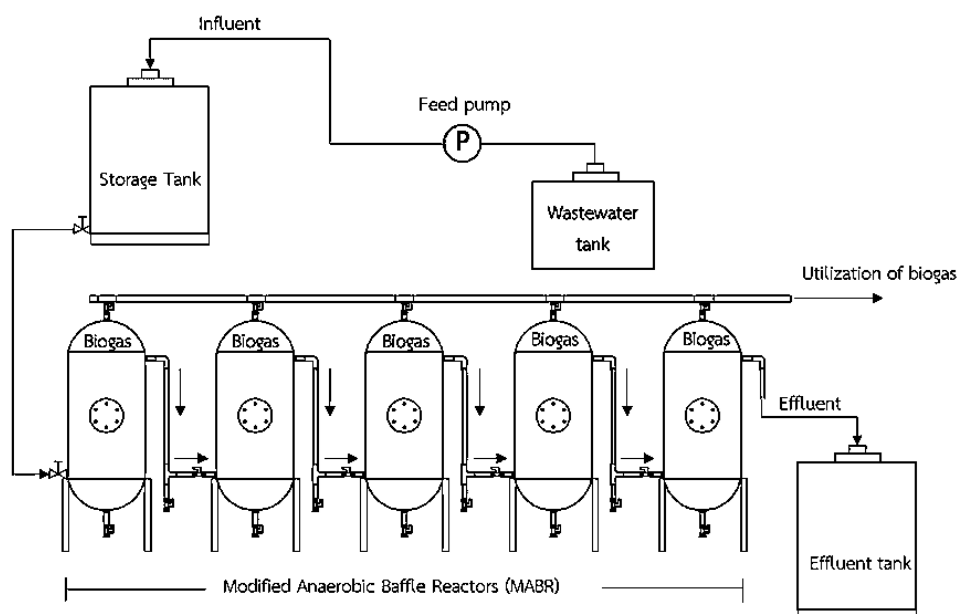
งานวิจัยนี้จึงเป็นการดำเนินการทดลองศึกษาศักยภาพของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตขนมลาที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน โดยการดำเนินงานทดลองมุ่งเน้นรองรับการพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่ (on-site wastewater treatment system) เพื่อทำการบำบัดน้ำเสีย ณ แหล่งกำเนิด โดยการดำเนินงานวิจัยจะเป็นการใช้องค์ความรู้ด้านการผลิตก๊าซชีวภาพและการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนแป้งด้วยการใช้ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศในรูปแบบระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นที่มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์และตะกอนของเสียปริมาณมาก ก่อให้เกิดกลไกของการบำบัดด้วยความสามารถในการกักกักตะกอนและกระบวนการย่อยสลายของเสียในสภาวะไร้อากาศ มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียประกอบกับศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ (Fujihira *et al.*, 2018; Barber and Stuckey, 1999) ทั้งนี้เพื่อเป็นการสนับสนุนการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในอุตสาหกรรมระดับชุมชน และลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับนำไปใช้งานได้จริง ทั้งในส่วนของการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน และการบำบัดเพื่อลดความสกปรกของน้ำเสีย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุอุปกรณ์ และวัตถุดิบน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลา

การดำเนินงานวิจัยนี้ใช้ชุดทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นชุดอุปกรณ์ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์จากถังบรรจุก๊าซรถยนต์สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ แสดงดังภาพที่ 1 และชุดอุปกรณ์อื่น ๆ (ดัดแปลงจาก เอนก และคณะ, 2564; Barber and Stuckey, 1999) เพื่อทำการทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลา โดยวัตถุดิบ

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลา ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาของวิสาหกิจชุมชนผลิตขนมลา บ้านศรีสมบูรณ์ (หอยราก) ตำบลหูล่อง อำเภอบางแพ จังหวัดนครศรีธรรมราช ทั้งนี้ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลามีการปนเปื้อนสารอินทรีย์สูงที่เป็นสิ่งเจือปนที่เกิดจากขั้นตอนการเตรียมแป้งจากข้าวสารพื้นเมือง และข้าวเหนียว เพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตขนมลา โดยทำการรวบรวมน้ำเสียในช่วงระยะเวลาที่มีการผลิตขนมลา บรรจุในถังพลาสติกปิดมิดชิดก่อนทำการขนส่งจากสถานประกอบการ เพื่อนำมาใช้ในการดำเนินงานทดลองและพิจารณาศักยภาพของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 1 ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ
ที่มา: ดัดแปลงจาก เอนก และคณะ (2564)

2. การเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในครั้งแรก ดำเนินการเริ่มต้นโดยการนำตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลามาผสมกับน้ำเสียจากระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์จากถังบรรจุก๊าซรถยนต์สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ (ดัดแปลงจาก เอนก และคณะ, 2564) โดยมีการดัดแปลงปรับเปลี่ยนปริมาณสำหรับการผสมจากการทดสอบเบื้องต้นที่ดำเนินการไว้ก่อนหน้านี้ โดยการนำน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาในปริมาณอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยปริมาตร ผสมกับน้ำเสียจากระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศในอัตราส่วนร้อยละ 60 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นการดัดแปลงวิธีการเริ่มต้นเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยการนำน้ำเสียจากระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศที่มีกลุ่มจุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพอยู่แล้วมาผสมร่วมกับน้ำเสียแหล่งใหม่ (เอนก และคณะ, 2558; Zwain *et al.*, 2013) เพื่อให้จุลินทรีย์มีการปรับสภาพและผลิตก๊าซชีวภาพได้เร็วขึ้น

การเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพหลังจากการเริ่มต้นเดินระบบในครั้งแรก ดำเนินการโดยนำน้ำเสียที่ไหลออกจากถังปฏิกรณ์ไร้อากาศในลำดับสุดท้าย กลับมาผสมรวมกับน้ำเสียจากระบบการผลิตขมลาในปริมาณอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยปริมาตร ผสมกับน้ำเสียจากระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศในอัตราส่วนร้อยละ 60 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นการหมุนเวียนน้ำเสียหรือการรีไซเคิลน้ำเสีย ที่ออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นการรักษาระดับปริมาณของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ ทั้งนี้การเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะมีรูปแบบการเดินระบบในรูปแบบ (batch) ที่มีระยะเวลาพักน้ำเสียในระบบสำหรับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 7 วัน (168 ชั่วโมง) (เอนก และคณะ, 2564) ซึ่งการดำเนินงานเดินระบบในรูปแบบนี้จะมีความสอดคล้องกับการก่อเกิดน้ำเสียจากระบบการผลิตขมลาที่ไม่ได้มีการผลิตทุกวัน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสถานการณ์จริงได้ โดยงานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์ เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทนในผลผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่องตรวจวัดก๊าซมีเทน (ผลิตภัณฑ์ของ Jinan nova environment technology co., ltd. รุ่น NS500-CH4) และทดสอบเบื้องต้นการจุดติดไฟของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ด้วยชุดเตาก๊าซชีวภาพ (เอนก, 2563) เพื่อพิจารณาถึงแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์

3. การประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสีย

การประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในทุก ๆ สัปดาห์ ร่วมกับการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังผ่านชุดทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย คือ สี (color) อุณหภูมิ (temperature) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ซีโอดี (chemical oxygen demand: COD) ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solids: TSS) และปริมาณของแข็งตกตะกอน (settable solid) ตามมาตรฐานวิธีการวิเคราะห์ (APHA *et al.*, 2012) และใช้ค่าซีโอดี และบีโอดี (biochemical oxygen demand: BOD) สำหรับการคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ และคำนวณศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากปริมาณสารอินทรีย์ในรูปค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด

ผลการวิจัย

1. ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากระบบการผลิตขมลา

น้ำเสียจากระบบการผลิตขมลา แสดงดังภาพที่ 2 เกิดขึ้นจากขั้นตอนการเตรียมแป้งจากวัตถุดิบ คือ ข้าวสาร (ข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมือง) และข้าวเหนียว ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมแป้งก่อให้เกิดน้ำเสียจากการนำข้าวสารมาแช่น้ำก่อนทำการโม่หรือบดให้ละเอียด น้ำเสียที่เกิดจากการแยกตัวออกจากแป้งที่วางทิ้งไว้ให้นอนกัน และน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนอื่น ๆ ตามกรรมวิธีการผลิตที่อาจมีความแตกต่างออกไปตามแต่ละผู้ประกอบการผลิตขมลา โดยลักษณะน้ำเสียจากระบบการผลิตขมลาจะมีลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไป คือ มีสีขาวขุ่น และมีกลิ่นเหม็น (กลิ่นเหม็นเปรี้ยว) จากการก่อเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาที่เกิดจากขั้นตอนการเตรียมแป้ง

(ก) ขั้นตอนการเตรียมแป้งที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย

(ข) น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาที่มีลักษณะทางกายภาพที่ขาวขุ่น

ทั้งนี้การปนเปื้อนของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาจึงเป็นสารอินทรีย์ที่เกิดจากข้าวสารและแป้งในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ส่งผลให้น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลามีลักษณะสมบัติแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างต่ำจากการเกิดกระบวนการย่อยสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีมากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นตะกอนแป้งหรือสารอินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการเตรียมแป้งจากข้าวสาร ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ง่าย ส่งผลให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีค่าซีโอดีและบีโอดีสูงตามไปด้วย โดยผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาแสดงให้เห็นถึงปริมาณสารอินทรีย์ในรูปค่าซีโอดี และบีโอดีมีปริมาณมากกว่า 8,000 และ 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ซึ่งลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาดังกล่าวข้างต้น เมื่อมีการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะก่อให้เกิดการสะสมของของเสียและเกิดการเน่าเสีย ก่อเกิดกลิ่นเหม็นรบกวนในบริเวณพื้นที่ชุมชน โดยเฉพาะในช่วงเทศกาลวันสารทเดือนสิบ เนื่องจากในพื้นที่ชุมชนมีการผลิตขนมลามีปริมาณมาก และมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะปริมาณมากจนเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตามมา จากปัญหาดังกล่าวทำให้ชุมชนมีความต้องการเทคนิค วิธีการ หรือนวัตกรรม เพื่อใช้สำหรับการป้องกันแก้ไขปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่เกิดขึ้น เนื่องจากส่งผลกระทบต่อสุขภาพของคนในพื้นที่ชุมชนจากการได้รับกลิ่นเหม็นรบกวน และผลกระทบกับนักท่องเที่ยวที่จะส่งผลกระทบต่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในพื้นที่ ทำให้จำเป็นต้องมีรูปแบบกระบวนการบำบัดรองรับน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตขนมลา

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลา

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์*
สี	ขาวขุ่น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	30.0-31.0
ความเป็นกรด-ด่าง	6.50-6.90
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,000-3,000
ของแข็งตกตะกอน (มิลลิลิตรต่อลิตร)	15.0-50.0
ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	8,000-15,000
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4,400-8,500

หมายเหตุ: - * เป็นผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่ได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาของผู้ประกอบการรายหนึ่งในพื้นที่ ตำบลหูล่อง อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งอาจมีความแตกต่างจากแหล่งผลิตในพื้นที่อื่น ที่เป็นผลจากการใช้วัตถุดิบและขั้นตอนการผลิตที่แตกต่างกัน

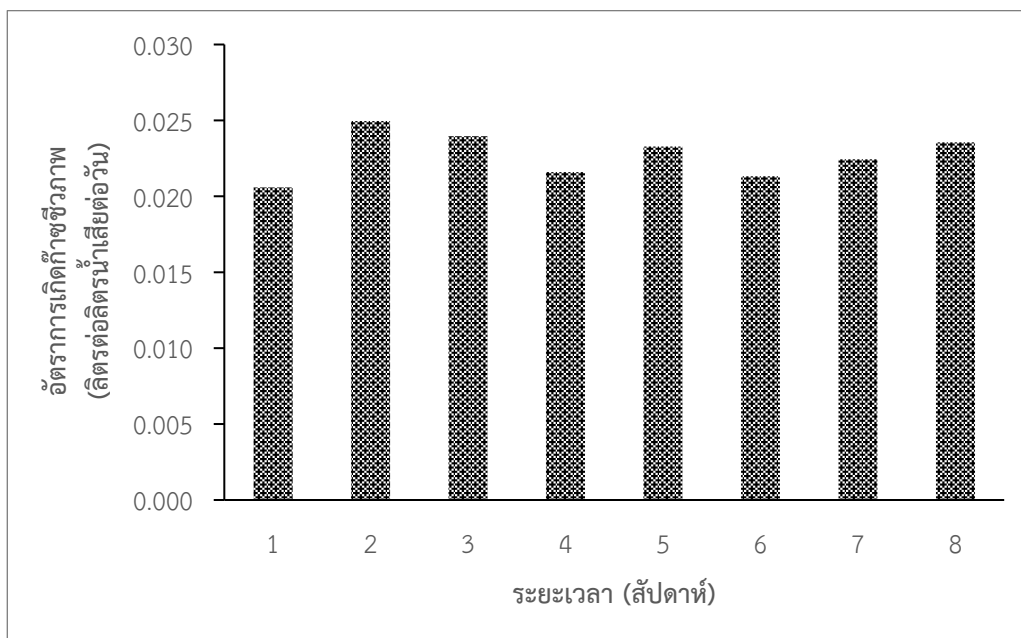
ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลา แสดงให้เห็นถึงลักษณะการปนเปื้อนสารอินทรีย์สูง โดยน้ำเสียมีค่าอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีมากกว่า 0.5 ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ง่ายด้วยเทคนิคทางชีววิทยา (Meena *et al.*, 2019; Eddy *et al.*, 2013) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ และส่งผลให้ความสกปรกที่เกิดจากการปนเปื้อนสารอินทรีย์ลดลงด้วยจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศในระบบบำบัดน้ำเสียในรูปแบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนก๊าซปิโตรเลียมเหลว (liquefied petroleum gas: LPG) ในกระบวนการผลิตต่อไปได้ โดยงานวิจัยนี้เป็นการดำเนินการวิจัยเพื่อสนับสนุนการพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่ สำหรับเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต เพื่อลดผลกระทบจากปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตขนมลา

2. ผลการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลา พบว่ามีปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่าน้ำเสียจากแหล่งอื่น ๆ ที่มีการใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบ เช่น น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน (เอนก และคณะ, 2558) ทำให้การดำเนินงานทดสอบเบื้องต้นพบว่าการรีไซเคิลเพื่อหมุนเวียนน้ำเสียกลับไปผสมรวมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาต้องใช้อัตราการรีไซเคิลที่สูงกว่า โดยงานวิจัยนี้พบว่าต้องใช้อัตราการรีไซเคิลน้ำเสียที่ไหลออกจากถังปฏิกรณ์ไร้อากาศในอัตราร้อยละ 60 ซึ่งทำให้ต้องใช้น้ำเสียที่ทำการหมุนเวียนกลับมาผสมในปริมาณมากกว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลา (น้ำเสียเริ่มต้น) ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์

ไร้อากาศ และเป็นการแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการควบคุมปริมาณการหมุนเวียนน้ำเสียที่ไหลออกจากถังปฏิกรณ์ไร้อากาศกลับมาผสมรวมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิต

ผลการดำเนินงานทดลองแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาสามารถใช้สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพได้ ข้อมูลผลผลิตก๊าซชีวภาพในช่วงระยะเวลาของการดำเนินการทดลอง แสดงดังภาพที่ 3 โดยผลการทดลองพบว่า มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพอยู่ระหว่าง $0.021 \pm 0.001 - 0.025 \pm 0.003$ ลิตรต่อลิตรน้ำเสียต่อวัน



ภาพที่ 3 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากการทดสอบใช้น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลา

ผลจากการตรวจวัดก๊าซมีเทนในผลผลิตก๊าซชีวภาพแสดงให้เห็นถึงปริมาณก๊าซมีเทนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 62.2 ± 1.7 (% LEL) และจากการทดสอบการจุดติดไฟของผลผลิตก๊าซชีวภาพด้วยชุดเตาก๊าซชีวภาพ (เอนก, 2563) พบว่าก๊าซชีวภาพสามารถจุดติดไฟได้ แสดงดังภาพที่ 4 ในลักษณะที่คล้ายกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว โดยระยะเวลาการจุดติดไฟขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นและกักเก็บไว้ในระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ (การติดตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับใช้งานจริงสามารถประยุกต์ออกแบบขยายขนาดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ หรือเพิ่มเติมชุดอุปกรณ์อื่นให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณมากเพื่อรองรับการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์) ซึ่งผลการดำเนินงานวิจัยแสดงให้เห็นถึงแนวทางการนำน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลามาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพได้ ร่วมกับการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียในรูปแบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ ซึ่งจะเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ สนับสนุนการผลิตพลังงานทดแทนจากของเสีย เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิต หรือใช้ประโยชน์ในครัวเรือนทดแทนก๊าซปิโตรเลียมเหลวต่อไปได้

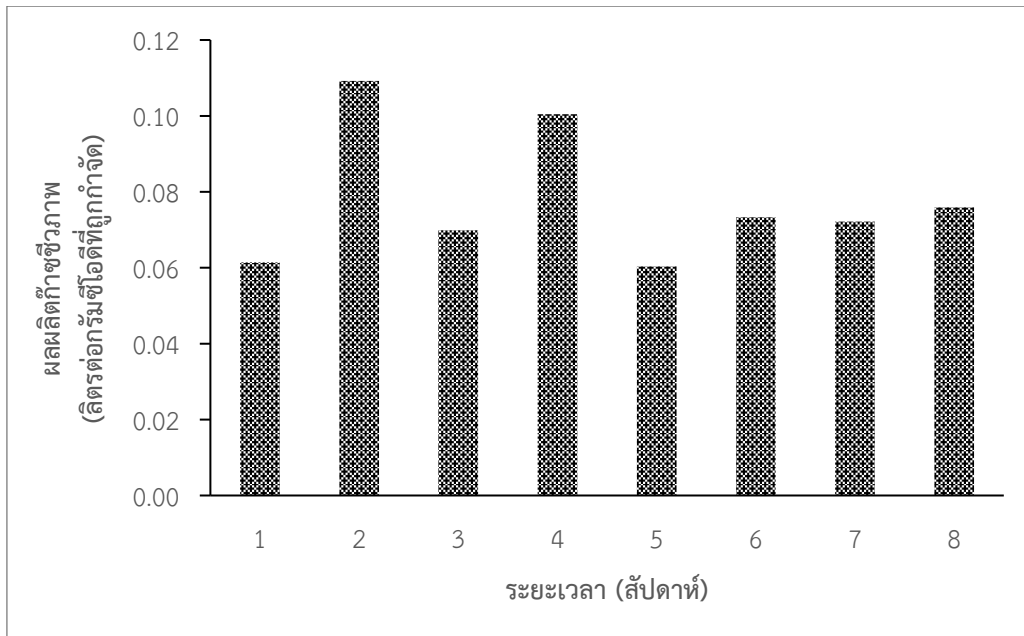


ภาพที่ 4 การทดสอบการจุดติดไฟของก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลา

3. การประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสีย

เมื่อพิจารณาถึงศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยจากการคำนวณผลผลิตก๊าซชีวภาพ เปรียบเทียบกับค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด แสดงดังภาพที่ 5 พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.06 ± 0.01 - 0.11 ± 0.01 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งผลการดำเนินงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศที่นิยมใช้กันทั่วโลก สำหรับเปลี่ยนของเสียให้เป็นพลังงาน (Westerholm *et al.*, 2020) นั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาได้ อีกทั้งยังมีศักยภาพผลิตก๊าซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทดแทนก๊าซปิโตรเลียมเหลวในกระบวนการผลิต หรือนำไปใช้ประโยชน์ในครัวเรือนต่อไปได้

ผลจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ ทำให้ปริมาณความสกปรกของน้ำเสียมีปริมาณลดลง โดยผลการวิเคราะห์น้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งผลการวิเคราะห์น้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการบำบัดน้ำเสียที่สามารถทำให้ค่าความสกปรกลดลงอย่างมาก โดยในส่วนของ การบำบัดตะกอนแป้งที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลา เมื่อพิจารณาจากค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและของแข็งตกตะกอน พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 60.2 ± 0.9 และ 29.6 ± 0.5 ตามลำดับ อีกทั้งมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีและบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 65.9 ± 0.8 และ 68.6 ± 2.3 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการบำบัดน้ำเสียในสภาวะไร้อากาศสามารถกำจัดของเสียย่อยสลายกลายเป็นผลผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้ความสกปรกของน้ำเสียลดลง อย่างไรก็ตามจากปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศในรูปของค่าซีโอดีและบีโอดีที่ยังคงเหลืออยู่มากกว่า 2,000 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทำให้ยังต้องมีกระบวนการบำบัดน้ำเสียเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจนสามารถนำไปใช้ประโยชน์หรือปล่อยสู่ธรรมชาติต่อไปได้



ภาพที่ 5 ผลผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกระบวนการผลิตขนมลาเทียบกับค่าชีโอดีที่ถูกกำจัด

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียหลังผ่านระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์
สี	ดำ
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.7±0.4
ความเป็นกรด-ด่าง	6.48±0.1
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	539.4±84.9
ของแข็งตกตะกอน (มิลลิลิตรต่อลิตร)	16.1±1.8
ชีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	2,812±607
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,380±82

การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาสามารถใช้เป็นวัตถุดิบผลิตก๊าซชีวภาพที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนก๊าซปิโตรเลียมเหลวได้ โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลามีศักยภาพสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีค่าเฉลี่ยอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.023 ± 0.001 ลิตรต่อลิตร น้ำเสียต่อวัน ซึ่งเป็นผลผลิตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศที่มีผลผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปชีโอดี เฉลี่ยเท่ากับ 0.08 ± 0.02 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด ผลจากการตรวจวัดก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพแสดงให้เห็นถึงปริมาณก๊าซมีเทนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 62.2 ± 1.7 (% LEL) และจากการทดสอบพบว่าก๊าซชีวภาพสามารถจุดติดไฟได้ สอดคล้องกับงานวิจัยที่

สามารถผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนแป้ง (แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด) (Padi *et al.*, 2022; Cruz *et al.*, 2021; Cremones *et al.*, 2020; Khongkklang *et al.*, 2015) อีกทั้งผลจากการย่อยสลายของเสียก่อให้เกิดการบำบัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยผลจากการวิเคราะห์น้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูปค่าซีไอดี และบีไอดี ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาในสภาวะไร้อากาศ สามารถกำจัดของเสียย่อยสลายกลายเป็นผลผลิตก๊าซชีวภาพจนทำให้ความสกปรกของน้ำเสียลดลง สอดคล้องกับการใช้งานกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางสำหรับการบำบัดของเสียชนิดอื่น ๆ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดการบำบัดที่มีประสิทธิภาพและได้ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานทดแทน (Qi *et al.*, 2021; Hu *et al.*, 2018) อย่างไรก็ตามจากปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศในรูปของค่าซีไอดีและบีไอดีคงเหลือที่ยังมีค่าสูง (ซีไอดีและบีไอดีคงเหลือมากกว่า 2,000 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ทำให้ยังต้องมีการบำบัดน้ำเสียเพิ่มเติมต่อเนื่องจากระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ อาทิเช่น กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียในรูปแบบบึงประดิษฐ์ขนาดเล็กที่สามารถทำการติดตั้งในพื้นที่ชุมชน (Gikas and Tsihrantzis, 2012) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดจนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ หรือทำให้น้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากระบบบำบัดน้ำเสียผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งสามารถปล่อยออกสู่ธรรมชาติต่อไปได้ อีกทั้งเป็นการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อรองรับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาให้มีความสมบูรณ์ทางด้านการจัดการน้ำเสียมากขึ้น ส่งเสริมแนวคิดของการจัดการน้ำเสียที่ครอบคลุมถึงการบำบัดอย่างมีประสิทธิภาพและการใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม (Gudiukaite *et al.*, 2021; Meena *et al.*, 2019) ซึ่งจะเป็นแนวทางหนึ่งในการสร้างรากฐานที่สำคัญของเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) (Gudiukaite *et al.*, 2021; Nagarajan *et al.*, 2020) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบการจัดการน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมในชุมชนในรูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่ที่กำลังได้รับความนิยมในพื้นที่ที่ประสบปัญหาการจัดการน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบศูนย์กลาง (Knisz *et al.*, 2021) เนื่องจากสามารถช่วยในการบำบัดน้ำเสียให้มีความสกปรกลดน้อยลงจนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในชุมชนน้อยที่สุด

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการดำเนินงานวิจัยแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาสามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพได้ภายใต้การบำบัดในสภาวะไร้อากาศ โดยมีค่าเฉลี่ยผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.023 ± 0.001 ลิตรต่อลิตรน้ำเสียต่อวัน และอัตราผลผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 0.08 ± 0.02 ลิตรต่อกรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด อีกทั้งยังช่วยลดความสกปรกของน้ำเสียทั้งในส่วนของปริมาณของแข็งแขวนลอย ของแข็งตกตะกอน และลดปริมาณการปนเปื้อนสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีและบีไอดี ซึ่งจะเป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลาให้ก่อเกิดประโยชน์ทางด้านการผลิตพลังงานทดแทนจากของเสีย และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ชุมชนโดยรอบ โดยผลงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่สำหรับติดตั้งในพื้นที่ชุมชน เพื่อตอบสนองต่อ

ความต้องการของผู้ประกอบการ หน่วยงานส่วนท้องถิ่นที่รับผิดชอบ รวมถึงชาวบ้านในพื้นที่ชุมชนโดยรอบ ในการแก้ไขปัญหาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากปัญหาน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมลา อีกทั้งยังสามารถเป็นแนวทางในการสร้างความยั่งยืนในการจัดการและแก้ไขปัญหา น้ำเสียจากอุตสาหกรรมในระดับชุมชนต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ยังคงต้องมีการศึกษาพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียหลังผ่านถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ เนื่องจากยังต้องทำการบำบัดเพิ่มเติมเพื่อลดความสกปรกและปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดียิ่งขึ้น เพื่อป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศในพื้นที่ชุมชน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณผู้ช่วยนักวิจัยวิจัย และนักศึกษา ผู้ช่วยเก็บข้อมูลผลการดำเนินงานทดลอง ผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนผลิตขนมลา บ้านศรีสมบูรณ์ (หอยราก) ตำบลหูล่อง อำเภopakpang จังหวัดนครศรีธรรมราช ในการอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับน้ำเสีย รวมถึงหน่วยงาน สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเลและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ในการอำนวยความสะดวกพื้นที่ดำเนินงานวิจัย และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ในการสนับสนุนทุนดำเนินงานวิจัยและการประสานงานภายใต้ทุนวิจัยโครงการริเริ่มสำคัญ (flagship project) ปีงบประมาณ 2563 (สัญญาเลขที่ A13F630073) สนับสนุนโดยกองทุนส่งเสริม ววน. และหน่วย บพท. จนทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการดำเนินงาน

เอกสารอ้างอิง

- เอนก สวาทอินทร์ ชูตินุช สุจริต มณีรัตน์ สุทธิวงศ์ และศรีธัญญา พูลเขาล้าน. (2558). ผลของอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนกับน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์มที่มีต่อการเริ่มเกิดก๊าซชีวภาพ. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 7*. (หน้า 312-321). นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.
- เอนก สวาทอินทร์ ฌานิกา แสงแ่ง ชุกกลิน และกัตตินาฏ สกฤตสวัสดิพันธ์. (2564). การพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษข้าวโดยถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (MABR). *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 40(1), 121-134.
- เอนก สวาทอินทร์. (2563). ชุดเตาผลิตก๊าซชีวภาพ. *อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 16985*. กรุงเทพฯ: กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.
- APHA, AWWA and WEF. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. (22nd ed). Washington, DC: American public health association (APHA), American water works association (AWWA) and water environment federation (WEF).

- Barber, W.P. and Stuckey, D.C. (1999). The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: A review. *Water Research*, 33(7), 1559-1578.
- Bennich, T. and Belyazid, S. (2017). The route to sustainability-prospects and challenges of the bio-based economy. *Sustainability*, 9(6), doi: <https://doi.org/10.3390/su9060887>.
- Cremonez, P.A., Sampaio, S.C., Teleken, J.G., Meier, T.W., Frigo, E.P., Rossi, E.D., Silva, E.D. and Rosa, D.M. (2020). Effect of substrate concentrations on methane and hydrogen biogas production by anaerobic digestion of a cassava starch-based polymer. *Industrial Crops and Products*, 151, doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112471>.
- Cruz, I.A., Andrade, L.R.S., Bharagava, R.N., Nadda, A.K., Bilal, M., Figueiredo, R.T. and Ferreira, L.F.R. (2021). Valorization of cassava residues for biogas production in Brazil based on the circular economy: An updated and comprehensive review. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100196>.
- Eddy, M.A., Burton, F.L., Tchobanoglous, G. and Tsuchihashi, R., (2013). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery*. (5th ed). New York: McGraw-Hill education.
- Fujihira, T., Seo, S., Yamaguchi, T., Hatamoto, M. and Tanikawa, D. (2018). High-rate anaerobic treatment system for solid/lipid-rich wastewater using anaerobic baffled reactor with scum recovery. *Bioresource Technology*, 263, 145-152, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.091>.
- Gikas, G.D., and Tsihrintzis, V.A. (2012). A small-size vertical flow constructed wetland for on-site treatment of household wastewater. *Ecological Engineering*, 44, 337-343, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.04.016>.
- Gudiukaite, R., Nadda, A.K., Gricajeva, A., Shanmugam, S., Nguyen, D.D. and Lam, S.S. (2021). Bioprocesses for the recovery of bioenergy and value-added products from wastewater: A review. *Journal of Environmental Management*, 300, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113831>.
- Hu, Y., Kobayashi, T., Zhen, G., Shi, C. and Xu, K.Q. (2018). Effects of lipid concentration on thermophilic anaerobic co-digestion of food waste and grease waste in a siphondriven self-agitated anaerobic reactor. *Biotechnology Reports*, 19, doi: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2018.e00269>.
- Khongkliang, P., Kongjan, P. and O-Thong, S. (2015). Hydrogen and methane production from starch processing wastewater by thermophilic two-stage anaerobic digestion. *Energy Procedia*, 79, 827-832, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.573>.

- Knisz, J., Shetty, P., Writh, R., Maroti, G., Karches, T., Dalko, I., Balint, M., Vadkert, E., and Biro, T. (2021). Genome-level insights into the operation of an on-site biological wastewater treatment unit reveal the importance of storage time. *Science of the Total Environment*, 766, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144425>.
- Meena, R.A.A., Kannah, R.Y., Sindhu, J., Ragavi, J., Kumar, G., Gunasekaran, M. and Banu, J.R. (2019). Trends and resource recovery in biological wastewater treatment system. *Bioresource Technology Reports*, 7, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100235>.
- Nagarajan, D., Lee, D. J., Chen, C. Y. and Chang, J. S. (2020). Resource recovery from wastewaters using microalgae-based approaches: A circular bioeconomy perspective. *Bioresource Technology*, 302, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122817>.
- Padi, R.K., Chimphango, A. and Roskilly, A.P. (2022). Economic and environmental analysis of waste-based bioenergy integration into industrial cassava starch processes in Africa. *Sustainable production and consumption*, 31, 67-81, doi: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.02.002>.
- Qi, W.K., Liu, L.F., Shi, Q., Wang, C., Li, Y.Y. and Peng, Y. (2021). Detailed composition evolution of food waste in an intermittent self-agitation anaerobic digestion baffled reactor. *Bioresource Technology*, 320(Part A), doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124342>.
- Tetteh, E.K. and Rathilal S. (2021). Biogas production from wastewater treatment-evaluating anaerobic and biomagnetic systems. *Water-Energy Nexus*, 4, 165-173, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wen.2021.11.004>.
- Westerholm, M., Liu, T. and Schnurer, A. (2020). Comparative study of industrial-scale high-solid biogas production from food waste: Process operation and microbiology. *Bioresource Technology*, 304, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122981>.
- Zwain, H. M., Hassan, S. R., Zaman, N. Q., Aziz, H. A. and Dahlan, I. (2013). The start-up performance of modified anaerobic baffled reactor (MABR) for the treatment of recycled paper mill wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(1-2), 61-64, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.03.007>.

ระบบฐานข้อมูลความหลากหลายของการใช้สมุนไพรที่ใช้เป็นสูตรยาพื้นบ้าน ของชมรมแพทย์แผนไทยอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช

A Database System for the Diversity of Medicinal Herbs used as Traditional Medicinal Formulas of the Cha-Uat Thai Traditional Medicine Club, Cha-Uat District, Nakhon Si Thammarat Province

สิริลักษณ์ สินธุพาชี^{1*} และสมพร เรืองอ่อน¹

Siriluk Sintupachee^{1*} and Somporn Ruang-On¹

บทคัดย่อ

ปัจจุบันสมุนไพรได้รับการยอมรับในการนำมาใช้เป็นยารักษาโรคและบำบัดอาการต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย ซึ่งผู้เชี่ยวชาญแต่ละท้องที่จะมีวิธีการใช้สมุนไพรที่มีความจำเพาะแตกต่างกัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บรวบรวมสมุนไพรที่ใช้เป็นสูตรยาของชมรมแพทย์แผนไทยอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช และพัฒนาแอปพลิเคชันระบบฐานข้อมูลพืชสมุนไพรสำหรับการสืบค้น การดำเนินการวิจัยได้รวบรวมข้อมูลสมุนไพรโดยใช้วิธีการสัมภาษณ์แพทย์แผนไทยที่ได้รับประกาศนียบัตรแพทย์แผนไทย จำนวน 2 คน แล้วรวบรวมรายการสมุนไพรในสูตรยา ภาพถ่าย และสรรพคุณทางยานำมาจัดทำฐานข้อมูลในรูปแบบแอปพลิเคชัน เผยแพร่ให้แก่ผู้สนใจกลุ่มต่าง ๆ จากการสัมภาษณ์พบว่าสมุนไพรที่ใช้มีจำนวนมากถึง 69 สายพันธุ์ ใน 37 วงศ์พืช และมีการใช้พืชในวงศ์ Zingiberaceae มากถึงร้อยละ 21.73 (15 ชนิดพืช) ชมรมสร้างสูตรยาสืบสูตร โดยใช้ส่วนใบเป็นส่วนผสมในสูตรยา มากที่สุดร้อยละ 25.28 และใช้แก่นน้อยที่สุดร้อยละ 1.14 สูตรยาของชมรมมีการผสมสมุนไพรแต่ละสูตรมากกว่า 5 ชนิดสมุนไพร มีเพียงสูตรฟ้าทะลายโจรที่ใช้สมุนไพรเพียงชนิดเดียว จากการรวบรวมข้อมูลและจัดเก็บในรูปแบบแอปพลิเคชัน ใช้งานผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และไอโอเอส ที่ผู้ใช้สามารถสืบค้นด้วยคำค้นสั้น ๆ ผ่านเครื่องมือสื่อสารและประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชันด้วยตัวแทนนักวิชาการ นักเรียนหรือนักศึกษา และประชาชน พบว่าความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก (ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจรวมเท่ากับ 4.65)

คำสำคัญ: สมุนไพร สูตรยา แพทย์แผนไทย ระบบฐานข้อมูล โมบายแอปพลิเคชัน

¹ สาขาวิชานวัตกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

¹ Program in Creative Innovation in Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

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

Received: 21 January 2022, Revised: 14 March 2022, Accepted: 15 March 2022

Abstract

Herbs are increasingly being used as medications and therapies for a variety of ailments. Herbs are employed in a variety of ways by professionals in each field, each with its own set of characteristics. The goal of this study is to collect plants utilized in the Cha-Uat Thai traditional medicine club therapeutic formulations and compile them into a database of medicinal plant uses. Herbal, medicinal use, and plant parts utilized in formula data were gathered by contacting two Thai traditional physicians who were competent in Thai traditional medicine. Plants from the medicinal blend were then compiled into a list and made into an app that includes plant photos as well as information about their therapeutic properties. There are up to 69 herb species in 37 plant families, with Family Zingiberaceae being the most common (21.73 percent, 15 plant species). The group creates ten folkloric medication formulations that use more than five plants and diverse plant components. The majority of plant components were included in the recipe, with leaves accounting for 25.28 percent and pith accounting for 1.14 percent, except for the *Andrographis paniculata* preparation, which comprised only one plant species. A database application was developed for usage on smartphones running the Android and iOS operating systems. Academics, students, others (10 persons each) were assessed using a simple search by praising the application, which was subsequently reviewed using a satisfaction questionnaire after it had been used extensively. The findings indicated that the samples were generally happy with the usage of the herbal database, with a total satisfaction rating of 4.65.

Keywords: Herb, Formula, Traditional medicine, Database system, Mobile application

Introduction

The province of Nakhon Si Thammarat is geographically diversified. It consists of mountains, oceans, and plains, and its wet climate all year contributes to the richness of fauna and vegetation (Kaewchanid *et al.*, 2020). As a result, natural resource utilization has become more diverse, and it has become a heritage passed down from generation to generation. For example, ingesting a range of vegetables as a meal or introducing diverse plant species to be used as remedies for endemic ailments until it was born as a village sage with a local medicinal recipe (Cordier and Steenkamp, 2011). Plants play an essential part in the collection of secondary compounds, which have a wide range of qualities and are useful in medicine. They are classified as alkaloids, glycosides, essential oils, vitamins, and minerals and are found in plant components such as leaves, stems, fruits, and flowers (Batool *et al.*, 2019). The principal ingredients found in medicinal

plants are contemporary pharmaceuticals manufactured by scientists to ensure the drug's success and offer adequate medication to cure (Batool *et al.*, 2019). Long-term pharmaceutical use, on the other hand, is damaging to the body (Allen *et al.*, 2014). The World Health Organization concentrated on the use of herbs, which are plants that contain a wide variety of significant medicinal components and have been used for a long time to record this essential information (World Health Organization, 2013). Methods and preparation techniques: Each locale has its strategies for acquiring therapeutic herbs. Despite being the same plant, herbal components such as leaves, stems, seeds, roots, and fruits are used in a variety of ways. The introduction of medicinal formulas may entail the use of a variety of medicinal plants to improve the efficacy of that particular treatment. Furthermore, the extraction method for vital components found in herbs varies from soaking in solvents such as water and alcohol to applying heat to the specific critical ingredient (Sintupachee *et al.*, 2020, 2022). Herbs have long been utilized in folklore; for example, Kwao Krua (*Pueraria mirifica*) is used to stimulate hormones, ginger (*Zingiber officinale*) assists digestion, and antioxidant-rich plant mixtures are used as diabetic medication (Teanpaisan *et al.*, 2017). The gathering of information on the use of medicinal plants will have far-reaching consequences. In addition to serving as the foundation for comprehensive scientific research, it may have an impact on society, the economy, local people's lives, and long-term environmental development (Sintupachee *et al.*, 2022). Plant biodiversity management with the local community as a driver even though the world has changed, data collection is becoming more relevant and widespread (Tanaka *et al.*, 2008). Cha-Uat is a district in Nakhon Si Thammarat Province's southernmost region, encompassing an area of around 705.36 square kilometers (Office of Agriculture and Cooperatives, Nakhon Si Thammarat Province, 2021). Orchards are a type of profession. There are several herbal categories, each of which is unique in its manner. The Cha-Uat Thai traditional medicine club, which has qualified members, pharmacists, and credentials, allowing folk healers to develop and sell treatments. Furthermore, the group has developed a pharmaceutical formula that incorporates indigenous plants into the therapeutic mix. It has unique characteristics, and its members are most likely ancient data collectors who will be important to future generations.

The focus of developing a database system for human resource development has been on creating an environment that promotes human resource growth and empowerment (FitzHenry *et al.*, 2015). A database system is a system that accumulates multiple bits of information that are connected systematically. There is a clear link between data and what allows users to utilize and maintain good data security (Cabinet Secretariat, 2018). The database included information from several systems and is an essential component of application development. The capacity to add, remove,

update, and produce reports to get access to data in a database is referred to as "data access." (Ratnapinda *et al.*, 2020). Apps are computer programs that run on mobile devices. It is simple to use and does not necessitate any complicated procedures. The expansion of mobile device applicability with compatibility for both operating systems: Android and iOS (Bender, 2020). It is currently commonly used as a data management and accessing tool in the building of database systems. The System Development Life Cycle (SDLC) is used, which includes six development stages: system requirements specification, system design, system testing, and system implementation and assessment methods of acquiring information for these civilizations to thrive and survive. It is a written record based on family records, or it may be thought of as a collection of publications that are ready for distribution but in low supply. People who are still struggling to obtain, and it will probably be lost due to a variety of circumstances (Pires *et al.*, 2020). A database system is a system that uses digital technology to store data systematically. This will help to minimize data loss and reduce the quantity of duplicated storage. Individuals will also be able to access information at any time and from any location once an internet infrastructure is in place. Furthermore, by typing key terms, you may obtain information quickly. The goal of this study is to look into the medical formula botanicals used in the Cha-Uat Thai traditional medicine club, which has long utilized formula herb as a tradition, and then build an herbal database system based on the information gathered.

Materials and methods

1. The population and samples used in the research

Two Thai traditional medicine practitioners, the Cha-Uat Thai traditional medicine club, Cha-Uat district, Nakhon Si Thammarat Province, and a group of fifteen herbal database application users, all of whom were academics, comprised the population (10 academics, 10 students, and 10 members of the general public).

2. Area for Herb Sampling and Survey

The Cha-Uat Thai traditional medicine club located in Nong Chik Village, Nang Long sub-district, Cha-Uat district, Nakhon Si Thammarat Province, performed herb sampling and surveys. Cha-Uat district has an area of 833 square kilometers and is situated at 7°55'469"N latitude and 99°59'79"E longitude (Figure 1). The storage area is defined by the terrain. It has been used for farming, rubber plantations, orchards, and even as a residence.

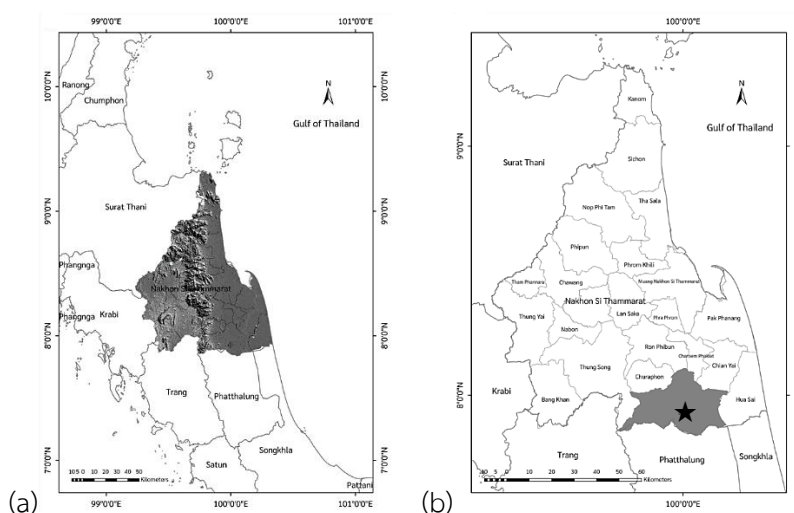


Figure 1 Map of Nakhon Si Thammarat Province (a) and the Cha-Uat Thai Traditional Medicine Club's location in Cha-Uat District (b) which is labeled as the ★.

3. Plants with medicinal properties

Investigate and gather therapeutic herbs from two Thai traditional medicine s' plots and the Cha-Uat Thai traditional medicine club members' plots in Cha-Uat district, where medicinal plants are cultivated to be utilized in folk medicine recipes devised by the club to heal diseases and sold as raw materials. The herbal samples were returned to the laboratory, and a Voucher specimen was made for categorization at the Specialized Research Unit on Insects and Herbs, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University. First, the taxonomy was identified using Bailey's Standard Encyclopedia of Horticulture (Bailey, 1963; Victor *et al.*, 2004). The plant components were identified using the instrument in the course book and then, validated by an expert at the Forest Resources Management Office 12 (Nakhon Si Thammarat), Royal Forest Department.

4. The usage of herbs

The information form was used to interview two Thai traditional medicine practitioners from the Cha-Uat Thai traditional medicine club who obtained a certificate in Thai traditional medicine and are allowed to create traditional medications for the herbal data. After gathering and identifying the herbs, medicinal plant samples may be utilized to discover therapeutic properties. Bringing medicinal plant ingredients needed in pharmaceutical production, photographs, interview data, and strategies for developing medicinal formulations are all being gathered into a system, as are experts learning more about the origin and identifying species, and returning the obtained data to interviewers for evaluation before analyzing the data.

5. A medicinal plant database system development

Apps have been developed using a variety of plants used in the club's therapeutic formula, as well as the needs of diverse customer groups. Database analysis, as well as the design and development of mobile-friendly web apps utilizing the PHP programming language, the MySQL database management system, and the user-friendly bootstrap framework (Pires *et al.*, 2020). The procedure is broken down into six steps, which are as follows: First-round polling: It is a study of the club's demands for Thai traditional medicine, as well as conducting interviews and studying resources to define, the second phase is system requirements: This is the result of a preliminary survey to determine the needs for an herbal database. The next stage is system development, which is related to the building of the herbal database. The user interface, processing, browsing, application architecture, and development tools were all chosen. Bring it to the attention of professionals who examine it, give feedback, and make more design adjustments. The fourth stage is program creation, which entails installing a database system and developing programs for the various components that have been built. The fifth step is system testing, which is the approach used by the first developer to build the operation. It is carried out by an expert and a user representative, and then it is altered to satisfy people's needs. The final phase was system installation and evaluation: this is the process of putting the essential data in place so that services may be provided. A total of 30 users (10 academics, 10 students, and 10 of the others) were chosen particularly to test the system and assess their satisfaction.

6. Data analysis

Data analysis integrating taxonomic data with Thai traditional medicine information to evaluate and show medicinal plant data in tables and graphs. The satisfaction questionnaire responses were examined. The information was then statistically analyzed with the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) to determine:

1) The mean and standard deviation. The outcomes were then compared to the assessment criteria (Muhtaseb *et al.*, 2012; Wilson *et al.*, 2006): The average is 4.50-5.00, indicating that the majority of people are satisfied, “most satisfied”. The average is 3.50-4.49, indicating that the respondent is extremely happy, “very satisfied”. The average is 2.50-3.49, indicating moderate satisfaction, “moderately satisfied”. The average is 1.50-2.49, indicating dissatisfaction, “less satisfied”. The average is 1.00-1.49, indicating that the majority of people are dissatisfied, “least satisfied”

2) The dependent t-test statistical analysis was done to analyze the difference in average response between sample groups. The significant difference is the *p*-value of 0.05.

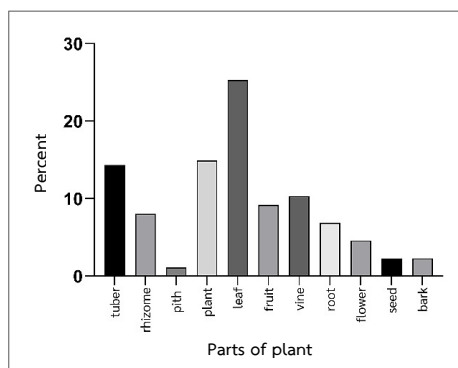


Figure 3 The section on medicinal plants shows the proportion of medicinal plants with that plant component as a fraction of the total number of medicinal plants.

The residents have already developed it as a food garden. It simplifies the search for herbal usage when members of the community interact with local pharmacies, simple formulae are passed on. It may be used alone and has been extensively distributed to teach members of the community how to use medicinal plants for self-healing. Furthermore, these old abilities might be lost since the club's members are still young to inherit data collection and transmission for dissemination in a variety of forms so that the new generation, both in the educational system and the broader public, may easily and comfortably access information. The club manufactures ten folkloric medicinal formulas with the distinctiveness that originates from the use of several Zingiberaceae species as raw materials in the production of massage oil, it is an outstanding product for activities in the club. Herbs consisting of Black Galingale (*K. parviflora*), White Galingale (*K. galanga*), Wan Chak Motluk (*C. comosa*), Bat flower or Black lily (*T. chantrieri*), dragon-of-the-world or tropical leaf-flower (*P. pulche*), Wan Jai Dum (*C. aeruginosa*), Black Berry Lily or Leopard Flower (*I. domestica*), Weevil Lily or Hill Coconut (*Molineria latifolia*), and Phaya Wan (*Curcuma* sp.1) was also a common ingredient in all of the club's medicinal formulas: blood-nourishing compositions, hemorrhoid, treatment carminative formula No.1, fat loss formula, allergy reducing formula, carminative formula No. 26, remedy for *A. paniculate* formula, recipes for gastritis and acid reflux, and a colon cleansing remedy (the genuine component in the formulation data is not displayed in this research). It is the usage of herbs that is inherited, since other studies, such as those done in China, report on the use of herbs in the family Zingiberaceae in therapeutic compositions (Sabatini *et al.*, 2016). Herbal extracts are used in India; each component is promptly put to use by eating, boiling, drinking, pounding, and concealing wounds (Feng *et al.*, 2016); however, in this club, herb components are mixed in different ratios and processed using various processes such as boiling, steaming, and kneading. The most common way of producing pharmaceuticals is in the form of

capsules consisting of dried herbal raw components combined. The components were weighed and pulverized before being filtered through a screen and sealed in capsules. The process includes extracting active components in alcohol (40%) by roughly crushing the herbs in the proper proportions and placing them in an alcohol-heated container. Recipe for massage oil: The herb combination is fried in oil in a coarse grinding ratio, and everything but the bottled oil is filtered away. Herbal compress recipe: mix the herbs in the quantities specified on the label and wrap them in fabric to form a sellable compress. The club's ten therapeutic recipes will feature more than five medicinal herb species as well as plant portions from diverse plant sections. The final method uses *A. paniculata* leaves as the only raw ingredient in the medicinal mixture to create an antipyretic medication. Plants' usage as medicine will dwindle with time, and indigenous formulations will become extinct. Efforts to collect knowledge on therapeutic plants and traditional medicinal recipes that have long been believed and practiced. It is a valuable cultural treasure that must be protected. The use of therapeutic plants in everyday life. The treatment of sickness, in particular, is a cultural treasure of each civilization that should be preserved since it embodies the cohabitation of people and plants. It is an essential aspect that adds to the conservation value (Ronra and Kodand, 2020).

2. The construction of an herbal database system

The app technique was shown by using basic phrases such as plant name, attributes, or scientific name, which presented all information involved on the screen, and the user may then click on the word of interest to assess additional information (Figure 4).



Figure 4 Depicts an application for an herbal database system. It is a search for information from medicinal characteristics that will result in four varieties of plants being returned (a). The scientific name of the plant will be displayed on the screen when picking the plant (b). Herb specifics, including all data gathering (c).

Table 1 Medicinal herbs used at the Cha-Uat Thai traditional medicine club in the Cha-Uat district.

no.	family	scientific name	common name (Thai/English)	therapeutic plant flavors	medicinal properties	herbal parts
1	Acanthaceae	<i>Rhinacanthus nasutus</i> (L.) Kurz.	ทองพันชั่ง/ Snake jasmine	cold	various skin diseases	leaf
		<i>Andrographis paniculata</i> (Burm.f.) Nees	ฟ้าทะลายโจร/ Bitterweed	bitter	fever	leaf
		<i>Thunbergia laurifolia</i> Lindl.	รางจืด/ Blue trumpet vine	bland	fever	leaf
		<i>Acanthus ebracteatus</i> Vahl.	เหวี่ยงปลาหมอ/ Sea holly	hot	fever	tree/ plant, leaf
2	Anacardiaceae	<i>Spondias pinnata</i> (L. f.) Kurz	มะกอกป่า/ Hog-plum	sour	expectorant	fruit
3	Annoaceae	<i>Uvaria grandiflora</i> Roxb.	กล้วยมูสัง/ Calabao	sweet	fever	fruit
4	Apocynaceae	<i>Cryptolepis dubia</i> (Burm.f.) M.R.	เถาเอ็นอ่อน/ Wax leaved climber	bitter	tendon	vine
5	Araliaceae	<i>Schefflera leucantha</i> R. Vig	หนุมานประสานกาย/ Dwarf umbrella tree	astringent	bone	leaf
6	Asteraceae	<i>Vernonia elliptica</i> DC.	ตานหม่อน/ Curtain creeper	cold	fever in children	tree/ plant
7	Bixaceae	<i>Bixa orellana</i> L.	คำไทย/ Lipstick tree achiote lipstick plant	sweet	expels gas in the stomach	flower
8	Boraginaceae	<i>Heliotropium indicum</i> L.	หญ้าวงช้าง/ Indian turnsole	cold	fever	tree/ plant
9	Capparaceae	<i>Crateva adansonii</i> DC. subsp. <i>trifoliata</i> (Roxb.) Jacobs.	กุ่มบก/ Garlic pear tree	bland	fever	leaf
		<i>C. religiosa</i> G.Forst.	กุ่มน้ำ/ Spider tree	bitter	fever	bark
10	Celastraceae	<i>Salacia chinensis</i> L.	ลุ่มนกก กำแพงเจ็ดชั้น/ Chinese Salacia lolly berry	bitter	tendon	vine
11	Cleomaceae	<i>Cleome viscosa</i> L.	ผักเสี้ยนผี/ Asian spiderflower or tick weed	bitter, hot	aches	tree/ plant
12	Clusiaceae	<i>Garcinia cowa</i> Roxb. ex Choisy	ชะมวง/ Cowa mangosteen	sour	expectorant	leaf
13	Costaceae	<i>Costus speciosus</i> Smith	เอื้องช้าง/ Crepe ginger setawar tawar	bland	fever	tree/ plant
14	Cucurbitaceae	<i>Momordica cochinchinensis</i> (Lour.)	ฟักข้าว/ Chinese bitter-cucumber	bitter	fever	fruit
15	Dioscoreaceae	<i>Tacca chantrieri</i> Andre	ว่านคางคาวดำ ต้นเนรพสุไทย/ Devil flower bat flower cat's whiskers	bland	strengthening	tree/ plant
16	Euphorbiaceae	<i>Baliospermum montanum</i> Muell.A.	ตองแตก หรือทนต์/ Ed physic nut	bland, bitter	expels gas in the stomach	root, tree/ plant
		<i>Jatropha podagrica</i> Hook.	หนุมานนั่งแท่น/ Buddha belly plant bottle plants shrub	bland	nourish	leaf
17	Fabaceae	<i>Cassia alata</i> (L.) Roxb.	ชุมเห็ดเทศ/ Candle bush	bitter	various skin diseases	leaf
		<i>Acacia concinna</i> (Willd.) DC	ส้มป่อย/ Shikakai soap-pod	sour, astringent	expectorant	leaf
18	Hypoxidaceae	<i>Curculigo latifolia</i> Dryand. ex W.T.Aiton	ไฉ่เหล็ก ว่านสากเหล็ก/ Weevil lily hill coconut	bland	nourish	tuber

Table 1 (Continued)

no.	family	scientific name	common name (Thai/English)	therapeutic plant flavors	medicinal properties	herbal parts
19	Iridaceae	<i>Iris domestica</i> (L.)	ว่านหางจระเข้/ Leopard flower blackberry lily	hot	expels gas in the stomach	vine
20	Lamiaceae	<i>Vitex negundo</i> L.	คนทีสดำ/ Chaste tree	hot	expels gas in the stomach	leaf
		<i>Clerodendrum paniculatum</i> L.	นมสวรรค์/ Pagoda flower	astringent	fever	flower
21	Leguminosae- Caesalpinioideae	<i>Bauhinia acuminata</i> L.	กาหลง/ Dwarf white orchid tree	sour	cough, headache, phlegm	root, leaf, tree/ plant, flower
		<i>Clitoria ternatea</i> L.	อัญชันบ้าน/ Butterfly pea	bland	fever	flower
22	Liliaceae	<i>Dianella ensifolia</i> (L.) DC	ยาหนูตัน/ Umbrella dracaena	bitter	various skin diseases	leaf
23	Malvaceae	<i>Sida acuta</i> Burm.f.	หญ้าเข็มมอญ/ Common wireweed teaweed	bland	fever	tree/ plant
24	Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	สะเดา/ Neem tree	bitter	fever	leaf
25	Menispermaceae	<i>Arcangelisia flava</i> (L.) Merr.	ขมิ้นเครือ/ Yellow fruit moonseed	astringent	fever	tree/ plant vine
		<i>Tinospora tomentosa</i> Miess.	ชิงช้าชาลี/ Petawali makabuhai	bitter	fever	vine
		<i>Tiliacora triandra</i> (Colebr.) Diels	ย่านาง ย่านาง/ Bai yanang	bland	fever	vine, leaf
		<i>T. crispa</i> (L.) Miers ex Hook.f. & Thoms.	บอระเพ็ด/ Petawali makabuhai	bitter	fever	vine
26	Myristicaceae	<i>Knema globularia</i> (Lam.) Warb.	ต้นหัน/ Small-leaved nutmeg	hot	skin disease	seed
27	Myrtaceae	<i>Eugenia polyontha</i>	แพ/ Pae	astringent	wound healing	bark, leaf, seed
28	Oxalidaceae	<i>Averrhoa bilimbi</i> L.	ตะลิงปิง/ Cucumber tree	astringent, sour	expectorant	leaf, fruit
29	Pandanaceae	<i>Pandanus amaryllifolius</i> Roxb.	เคยหอม/ Pandan	cold	nourish	leaf, rhizome
30	Papilionaceae	<i>Derris scandens</i> (Roxb.) Benth	เถาวัลย์เปรียง/ Jewel vine	bitter	tendon	vine
		<i>Clitoria macrophylla</i> Benth.	อัญชันป่า/ Pigeonwing	bitter	fever	root
31	Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	มะขามป้อม/ Indian gooseberry	astringent, sour, bitter	expectorant	fruit
		<i>P. pulcher</i> Wall. ex Mull. Arg	ว่านธรณีสาร/ Tropical leaf-flower	bland	fever	root, tree/ plant
32	Piperaceae	<i>Piper retrofractum</i> Vahl.	ดีปลีเชือก/ Javanese long pepper	hot	expels gas in the stomach	flower
		<i>P. nigrum</i> L.	พริกไทย/ Black pepper	hot	expels gas in the stomach	fruit
		<i>P. sarmentosum</i> Roxb	ชะพลู/ Wild pepper	hot	expels gas in the stomach	leaf
33	Primulaceae	<i>Ardisia polycephala</i> Wall. ex A.DC.	พิลังกาสง/ Wallich's coralberry	astringent	fever	fruit

Table 1 (Continued)

no.	family	scientific name	common name (Thai/English)	therapeutic plant flavors	medicinal properties	herbal parts
34	Rubiaceae	<i>Cinchona succirubra</i> Par.	ควินิน ต้นชิงโค่นา/ Quinine	bitter	malaria	leaf
		<i>Schizomussaenda dehiscens</i> Craib	ป่าม้ามืด/ Bao ma meud	bland	strengthening	tuber
		<i>Ixora lucida</i> R.Br. ex Hook.f.	เข็มดอกขาว/ Siamese white ixora	bland	fever	tree/ plant, leaf
		<i>Glycosmis pentaphylla</i> (Retz.) DC.	เขยตาย/ Gin berry	astringent	fever	root, leaf
35	Thymelaeaceae	<i>Aquilaria crassna</i> Pierre ex H.Lec.	กฤษณา/ Agar wood agarwood	cold	nourish	pith, tree/ plant
36	Vitaceae	<i>Cissus quadrangularis</i> L.	เพชรสังฆาต (สามร้อยต่อ)/ Four-angled vine	astringent	hemorrhoids	vine
37	Zingiberaceae	<i>Boesenbergia rotunda</i> (L.) Mansf	กระชาย/ Fingerroot Chinese ginger	hot	carminative	tuber, rhizome
		<i>Kaempferia parviflora</i> Wall. ex Baker	กระชายดำ/ Thai ginseng	hot	strengthening	tuber, rhizome
		<i>Zingiber zerumbet</i> (L.) Smith.	กระเทียม/ Pinecone ginger	bitter	expels gas in the stomach	tuber, rhizome
		<i>Curcuma zedoaria</i> (Christm.) Roscoe.	ขมิ้นอ้อย/ White turmeric	astringent	expels gas in the stomach	tuber
		<i>Alpinia officinarum</i> Hance	ข่าตาแดง/ Greater galangal	hot	expels gas in the stomach	tuber, rhizom
		<i>Z. ligulatum</i> Roxb.	ขิงแห้ง/ Dried-ginger	hot	expels gas in the stomach	tuber, rhizom
		<i>K. marginata</i> Carey ex Roscoe	เปราะป่า ว่านนกคุ้ม/ East Indian galangal	bitter and hot	fever	tuber
		<i>K. galanga</i> L.	เปราะหอมขาว/ Sand ginger	hot	fever	tuber, leaf
		<i>Curcuma</i> sp.1	พญาวาน/ Phyawon	bland	tendon	tuber, rhizom
		<i>Z. cassumunar</i> Roxb	ไพล/ Cassumunar ginger	astringent	expels gas in the stomach	tuber
		<i>C. xanthorrhiza</i> Roxb.	ว่านขมิ้นคูลูก/ Emulawak, java ginger	astringent	endometritis	tuber
		<i>C. aeruginosa</i> Roxb.	ว่านใจดำ/ Pink and blue ginger	hot	expels gas in the stomach	root
		<i>C. xanthorrhiza</i> Roxb	ว่านทรหด/ Java ginger	hot	hemorrhoids	root
		<i>Amomum villosum</i> Lour.	แว่น้อย/ Tavoy cardamom	hot	expels gas in the stomach	fruit
		<i>Bustard cardamom</i> Tavoy	แว่นใหญ่/ Cardamom	hot	expels gas in the stomach	bark, fruit

The app's users from academics, students, and the general public will subsequently be assessed and studied, with overall satisfaction being high (a mean of 4.65). The database issues received the highest degree of satisfaction (a mean of 4.90), followed by the ability to search quickly fulfills the criteria (mean of 4.80), with the least pleased issue being the quality and completeness of the data (a mean of 4.23) (Table 2).

Table 2 The findings of a user satisfaction survey based on the use of an herbal database.

item for evaluation	$\bar{x}$	S.D.	degree of satisfaction
A. Simplicity of usage	4.73	0.45	most satisfied
B. The appropriateness of the design, the usage of colors, and the employment of letters	4.67	0.48	most satisfied
C. Capability of searching	4.73	0.45	most satisfied
D. The capacity to search rapidly satisfies the requirements	4.80	0.41	most satisfied
E. The database is straightforward to use	4.90	0.31	most satisfied
F. The accuracy and completeness of the information	4.23	0.73	very satisfied
G. Information may be utilized to broaden one's knowledge base	4.67	0.48	most satisfied
H. The data gathered can be used as a reference	4.43	0.63	very satisfied
Total	4.65	0.54	

According to the study's conclusions, the samples were fairly pleased with the use of the herbal database (4.65). An herbal database system is used to collect scientific knowledge, therapeutic properties, and herbal components for use in a medical composition. The interesting may use short, concise search terms. It is also to avoid the village sage group's unique knowledge, identity, and links with medicinal plants from being lost and passed down from generation to generation. Users may quickly access information through the internet from anywhere and at any time using a range of devices. The independent t-test (Figure 5a) revealed that there was no statistically significant difference between the sample groups and the average acceptable degree (a *p*-value of 0.05). This implies that there was no difference in satisfaction with the app used to search for herb data among academics, students, and others based on these eight questions.

The one-way ANOVA test revealed a statistically significant difference in satisfaction with all eight items (A-H in Table 1) among the 30 users (Figure 5b), this suggests that the 30 users differed in their satisfaction with using the app to search for herbal data based on the 8 questions. Following that, the multiple-way ANOVA comparison test employing Turkey's criteria indicated that question F (The accuracy and completeness of the information) differed substantially from the other seven questions (*p*-value of 0.05). Users of the app were happy with the search query; nevertheless, they were the less satisfied with the accuracy and comprehensiveness of the information and separates itself from other concerns. It's possible that the users are educators. The information supplied may not be exactly what the user expects, and the user group used in the evaluation is a small sample group. However, in this study, a specific sample

group was chosen: those who want to use the material for educational reasons as a basis for future progress. According on the findings of this evaluation, this app was developed as a prototype, with plans to produce a new version by increasing the sample size and number of users.

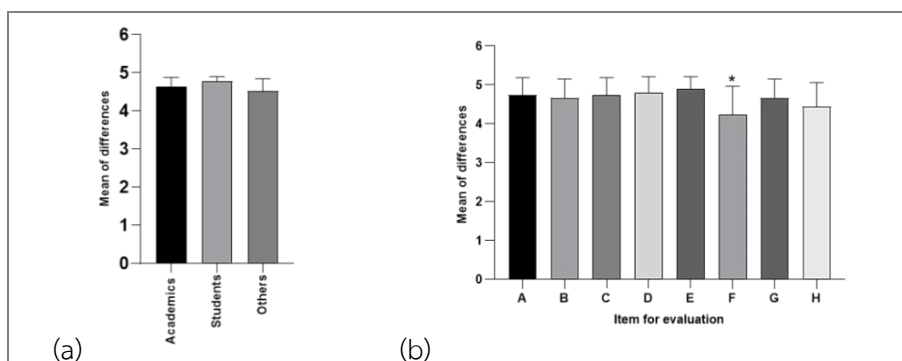


Figure 5 The SPSS program was used to perform statistical analysis and create visualizations. The dependent t-test was used to compare the average satisfaction of each sample group in a statistically significant manner (a). ANOVA multiple comparisons of satisfaction with the eight questions and 30 samples (b). The letter on the x-axis represents a question, as given in Table 2, and the * on the bar represents the significant difference between other groups. The statistical threshold of difference was reported at a p -value of 0.05.

Conclusions

The Cha-Uat Thai traditional medicine group collected information about herbal usage, including scientific and medical elements. The club used more than 5 plant species and plant components for blending. The specialty of the club is the use of plants of the Zingiberaceae family as raw materials in the club's medicinal formulas. Then, utilizing digital technology, design an app that is familiar to Android and iOS consumers. Users can do keyword searches using terms such as plant name, symptoms, or therapeutic characteristics. Utilize modern information-gathering technologies such as laptops, smartphones, and tablets. This application will aid in minimizing data loss and providing the user with access to information at all times and in all places.

Acknowledgments

The author would like to express gratitude to all Thai traditional medicine club members of the Cha-Uat Thai traditional medicine club. Mr. Putthisan Rattanachoo, a Ph.D. student at Nakhon Si Thammarat Rajabhat University's Faculty of Science and Technology's Program in Creative and Innovation in Science and Technology, for maps coordinated location.

References

- Allen, D., Bilz, M., Leaman, D.J., Miller, R.M., Timoshyna, A. and Window, J. (2014). European red list of medicinal plants. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Doi: <https://doi.org/10.2779/907382>.
- Bailey, L.H. (1963). *The standard encyclopedia of horticulture (volume 1, 2, and 3)* (2nd ed.). New York: The Macmillan Company.
- Batool, R., Khan, M.R., Sajid, M., Ali, S. and Zahra, Z. (2019). Estimation of phytochemical constituents and in vitro antioxidant potencies of *Brachychiton populneus* (Schott & Endl.) R.Br. *BMC Chemistry*, 13(1), doi: <https://doi.org/10.1186/s13065-019-0549-z>.
- Bender, B. (2020). The impact of integration on application success and customer satisfaction in mobile device platforms. *Business & Information Systems Engineering*, 62(6), 515-533, doi: <https://doi.org/10.1007/s12599-020-00629-0>.
- Cabinet Secretariat. (2018). Small and medium enterprise promotion act (no.2) B.E.2561 (2018). *Royal Thai Government Gazette*, 137(27), 24-28.
- Cordier, W. and Steenkamp, V. (2011). Drug interactions in African herbal remedies. *Drug Metabolism and Drug Interactions*, 26(2), 53-63, doi: <https://doi.org/10.1515/dmdi.2011.011>.
- FitzHenry, F., Resnic, F.S., Robbins, S.L., Denton, J., Nookala, L., Meeker, D., Ohno-Machado, L. and Matheny, M.E. (2015). Creating a common data model for comparative effectiveness with the observational medical outcomes partnership. *Applied Clinical Informatics*, 6(3), 536-547. doi: <https://doi.org/10.4338/ACI-2014-12-CR-0121>.
- Dan-dan, F., Tang, T., Lin, X., Yang, Z., Yang, S., Xia, Z., Wang, Y., Zheng, P. and Zhang, C. (2016). Nine traditional Chinese herbal formulas for the treatment of depression: An ethnopharmacology, phytochemistry, and pharmacology review. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 12, 2387-2402, doi: <https://doi.org/10.2147/NDT.S114560>.
- Kaewchanid, M., Van Beem, N. and Kaewubon, P. (2020). Diversity of plant species and utilization in the botanical building area, faculty of science, Thaksin university, Phatthalung campus. *Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, 39(2), 31-44.
- Muhtaseb, R., Lakiotaki, K. and Matsatsinis, N. (2012). Applying a multicriteria satisfaction analysis approach based on user preferences to rank usability attributes in e-tourism websites. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 7(3), 7-8, doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-18762012000300004>.
- Nakhon Si Thammarat Provincial agriculture and cooperatives office. (2021). *Annual Report 2021*, Nakhon Si Thammarat.
- Pires, I.M., Marques, G., Garcia, N.M., Flórez-Revuelta, F., Ponciano, V. and Oniani, S. (2020). A research on the classification and applicability of the mobile health applications. *Journal of Personalized Medicine*, 10(1), doi: <https://doi.org/10.3390/jpm10010011>.

- Ratnapinda, P., Sarachai, W. and Khumwichai, P. (2020). Database system for royal thai orchid plantation in Chiang Mai province. In *the 17th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)* (pp. 160-164). Chiang Mai: Maejo University, doi: <https://doi.org/10.1109/JCSSE49651.2020.9268363>.
- Ronra, S.S. and Kodand, R.C. (2020). Factors of influence on sharing of cultural heritage knowledge. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*. doi: <https://doi.org/10.1108/VJIKMS-04-2020-0074>.
- Sabatini, F.M., Burrascano, S., Azzella, M.M., Barbati, A., De Paulis, S., Di Santo, D., Facioni, L., Giuliarelli, D., Lombardi, F., Maggi, O., Mattioli, W., Parisi, F., Persiani, A., Ravera, S. and Blasia, C. (2016). One taxon does not fit all: Herb-layer diversity and stand structural complexity are weak predictors of biodiversity in *Fagus sylvatica* forests. *Ecological Indicators*, 69, 126-137, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.012>.
- Saradha, M.A.S. (2022). Medicinal plants and their traditional uses in local communities around Sivanmalai hills, Tiruppur district, Tamil Nadu, India. *International Journal of Botany Studies*, 7(1), 270-276.
- Sintupachee, S., Pollar, M. and Ruang-on, S. (2020). Preliminary phytochemical profile analysis of *Thespesia populnea* (Linn.) Soland ex Correa in Pak Phanang, Nakhon Si Thammarat. In *the 32nd Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology and International Conference (TSB2020)* (pp 595-602). Bangkok: The Thai society for biotechnology.
- Sintupachee, S., Rattanachoo, P. and Promproa, S. (2022). Alpha-magostin quality and quantity analysis in Nakhon Si Thammarat mangosteen pericarp using thin-layer chromatography. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*, 6(1), 51-56.
- Tanaka, M.J., Gryzlak, B.M., Bridget Zimmerman, M., Nisly, N.L. and Wallace, R.B. (2008). Patterns of natural herb use by Asian and Pacific Islanders. *Ethnicity & Health*, 13(2), 93-108. doi: <https://doi.org/10.1080/13557850701830349>.
- Teanpaisan, R., Kawsud, P., Pahumunto, N. and Puripattanavong, J. (2017). Screening for antibacterial and antibiofilm activity in Thai medicinal plant extracts against oral microorganisms. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 7(2), 172-177. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.06.007>.
- Victor, J.E., Koekemoer, M., Fish, I., Smithies, S.J. and Mossmer, M. (2004). *Herbarium essentials: The southern African herbarium user manual*, Southern African Botanical diversity network report no. 25. Pretoria: SABONET.
- Wilson, A., Hewitt, G., Matthews, R., Richards, S.H. and Shepperd, S. (2006). Development and testing of a questionnaire to measure patient satisfaction with intermediate care. *Quality and Safety in Health Care*, 15(5), 314-319, doi: <https://doi.org/10.1136/qshc.2005.016642>.
- World Health Organization. (2013). *WHO traditional medicine strategy: 2014-2023*. Hong Kong: WHO Press.

ประสิทธิภาพของพืชสมุนไพรในการเป็นสารล่อเพื่อควบคุมมอดยาสูบ Efficacy of Herbal Plants as Insect Attractant to Control Tobacco Beetle, *Lasioderma serricorne* F.

วชิราภรณ์ พูนัน^{1*} อัญชลี นิลสุวรรณ¹ เบญจวรรณ เข้มทอง¹ และธงชัย ขำมี²
Wachiraporn Phoonan^{1*} Unchalee Ninsuwan¹ Benchawan Khemthong¹ and
Thongchai Khammee²

บทคัดย่อ

มอดยาสูบเป็นแมลงศัตรูในโรงเก็บที่สำคัญทางเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ใบยาสูบ เครื่องเทศ ผลิตภัณฑ์ที่มาจากพืช และตัวอย่างสัตว์ในพิพิธภัณฑ์ การควบคุมมอดยาสูบมักใช้กับดักที่มีสารล่อ ในการตรวจสอบจำนวนประชากรในโรงเก็บเพื่อหาวิธีการควบคุมที่เหมาะสมและปลอดภัยต่อผู้ใช้ และผู้บริโภค งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบและเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบ พืชสมุนไพรที่เป็นพืชอาหารของมอดยาสูบจำนวน 15 ชนิด ได้แก่ เมล็ดพริกไทยดำ ดอกพิกุล รากโสมไทย ดอกปีบ ใบลูกใต้ใบ ฝักคูณ ต้นหญ้าดอกขาว ผลมะขามป้อม ใบหม่อน ฝักกล้วยพฤษ์ ดอกกระเจียวแดง ใบชุมเห็ดเทศ ใบหญ้าหวาน ใบยาสูบ และเหง้าขมิ้นชัน ถูกนำมาทดสอบด้วยอุปกรณ์ทดสอบแบบสี่ตัวเลือก (4-choice olfactometer) ผลการทดสอบพบว่า พืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบได้ดีที่สุดคือ ใบยาสูบ รองลงมาคือ ฝักกล้วยพฤษ์ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยจากพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบทั้งสองชนิดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-เฟลมไอออน-เซชัน (GC-FID) พบ β -caryophyllene และ phenylpropyl *n*-valerate เป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดจากใบยาสูบ และจากฝักกล้วยพฤษ์ ตามลำดับ องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ที่พบในสารสกัดของพืชสมุนไพรทั้งสองชนิดเป็นองค์ประกอบทางเคมีในกลุ่มเอสเทอร์ โดยมีสารประกอบ 3 ชนิด คือ (Z)-2-hexenal isoeugenol และ phenylpropyl *n*-valerate เป็นองค์ประกอบร่วมที่พบในพืชสมุนไพรทั้งสองชนิด ซึ่งสามารถนำไปศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาเป็นสารล่อมอดยาสูบในโรงเก็บได้

คำสำคัญ: มอดยาสูบ กล้วยพฤษ์ สารดึงดูด พฤติกรรมการตอบสนอง สารระเหย

¹ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

² สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

* Corresponding author e-mail: wachiraporn@pnru.ac.th

Received: 24 February 2022, Revised: 19 March 2022, Accepted: 24 March 2022

Abstract

The tobacco beetle, *Lasoderma serricorne* Fabricius, is an economic important storage insect pest of tobacco products, spices, plant products and animal specimens in museum. It can be controlled using attractant traps to monitor its population in stores and then use the suitable control methods which safe for users and consumers. This research aims to study the efficacy of herbal plants that have an attraction property to tobacco beetle and compare the chemical constituents of the active plants. The 15 food plant products of the beetle were *Piper nigrum* L. (seeds), *Mimusops elengi* L. (flowers), *Talinum paniculatum* Gaertn. (roots), *Millingtonia hortensis* L.f. (flowers), *Phyllanthus amarus* Schum & Thonn. (leaves), *Cassia fistula* L. (pods), *Vernonia cinerea* (L.) Less. (whole plant), *P. emblica* L. (fruits), *Morus alba* L. (leaves), *C. bakeriana* Craib (pods), *Hibiscus sabdariffa* L. (flowers), *Senna alata* (L.) Roxb. (leaves), *Stevia rebaudiana* (Bertoni) (leaves), *Nicotiana tabacum* L. (leaves) and *Curcuma longa* L. (rhizomes). They were tested the attraction activity by 4-Choice olfactometer. The results indicate that the highest attraction is *N. tabacum* leaves, following by *C. bakeriana* pods. Gas chromatography-flame ionization (GC-FID) analysis of two plants revealed that β -caryophyllene and phenylpropyl *n*-valerate being the major constituents of *N. tabacum* leave and *C. bakeriana* pod extracts, respectively. The most abundant compounds in those two extracts were esters. The (Z)-2-hexenal, isoeugenol and phenylpropyl *n*-valerate were discovered to be co-constituents in both herbal plants which could be further study and develop as an attractant for tobacco beetle in the stores.

Keywords: Tobacco beetle, Pink cassia, Attractants, Response behavior, Volatiles

บทนำ

มอดยาสูบ (Tobacco beetle, *Lasoderma serricorne* Fabricius) เป็นแมลงปีกแข็งขนาดเล็ก อยู่ในวงศ์ Anobiidae อันดับ Coleoptera แมลงชนิดนี้เป็นแมลงศัตรูที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ในโรงเก็บหลายชนิดทั้งผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์ เช่น ใบยาสูบ เครื่องเทศ สมุนไพรอบแห้ง ข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าว ดอกไม้แห้ง กาแฟ โกโก้ พริกแห้ง พริกไทย ปลาแห้ง หรือสัตว์อบแห้ง นอกจากนั้นยังสามารถทำลายซากพืชและซากสัตว์ที่เก็บรักษาไว้ในคลังแห่งของพิพิธภัณฑ์ต่าง ๆ จึงทำให้แมลงชนิดนี้มีอีกชื่อหนึ่งว่า “มอดผลิตภัณฑ์อบแห้ง” (สุทธิสันต์ และวิโรจน์, 2550) โดยมอดยาสูบเพศเมียจะวางไข่ตามช่องหรือรอยแตกของผลิตภัณฑ์ ไข่จะฟักเป็นตัวหนอนภายในระยะเวลา 6-10 วัน หนอนแรกฟักจะเคลื่อนที่หาช่องหรือรอยแตกเพื่อเข้าไปกัดกินอาหารที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ตัวหนอนใช้เวลาจนถึง 21-28 วัน ก่อนเข้าสู่ระยะดักแด้ ซึ่งระยะนี้เป็นระยะที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์มากที่สุด เนื่องจากตัวหนอนจะกัดกินผลิตภัณฑ์เพื่อเป็น

สารอาหารสำหรับใช้ในการเจริญเติบโตและขับถ่ายออกมา ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นผงที่ปนเปื้อนด้วยคราบตัวอ่อนและมูลที่ตัวหนอนขับถ่ายออกมา หลังจากนั้นตัวหนอนจะเข้าสู่ระยะดักแด้ในปลอกที่ตัวหนอนสร้างขึ้น และกลายเป็นตัวเต็มวัย อายุของมอดยาสูบตัวเต็มวัยมีระยะเวลาประมาณ 25 วัน แต่ไม่ได้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากตัวเต็มวัยกินอาหารน้อย จะก่อบรรจุภัณฑ์เพื่อบินออกมาผสมพันธุ์และวางไข่ที่แหล่งอาหารใหม่ต่อไป ตัวเต็มวัยสามารถกัดทำลายบรรจุภัณฑ์จำพวกพลาสติก กระดาษ อลูมิเนียมฟอยล์ และกล่องที่ทำด้วยไม้เพื่อเข้าไปวางไข่ได้ ความเสียหายของผลิตภัณฑ์จะเกิดจากการกัดกินของตัวหนอนเป็นหลัก ทำให้อาหารภายในบรรจุภัณฑ์ถูกกัดกินจนเป็นรูพรุน และมักพบเห็นซากของปลอกดักแด้และตัวเต็มวัยที่ตายแล้วอยู่ภายในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะ สี และกลิ่นที่เปลี่ยนไปจากเดิม ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้สูญเสียทั้งรายได้และเพิ่มค่าใช้จ่ายในการเผาทำลายและยังทำให้สูญเสียความน่าเชื่อถือ โดยมอดยาสูบเป็นแมลงที่ปรับตัวอยู่ได้ทุกสภาพแวดล้อมและสามารถกินอาหารได้หลายประเภททั้งพืชและสัตว์ มีการแพร่กระจายทั่วโลกผ่านการขนส่งสินค้า จึงทำให้มอดยาสูบเป็นแมลงที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมาทั้งด้านการนำเข้าและส่งออกสินค้า (Rees, 2004)

การป้องกันกำจัดมอดยาสูบที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ การใช้สารฆ่าแมลงชนิดรม ได้แก่ ฟอสฟีน และเมทิลโบรไมด์ ซึ่งเป็นการกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บได้ทุกชนิด แต่การใช้สารรมในกลุ่มนี้ในปริมาณมากโดยเฉพาะเมทิลโบรไมด์ซึ่งถูกจัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็ง มีความเป็นพิษสูงต่อมนุษย์ และยังส่งผลกระทบต่อชั้นโอโซนในบรรยากาศ (Suwanlaong and Phanthumchinda, 2008) นอกจากนี้ยังมีวิธีทางกายภาพอื่น ๆ เช่น การใช้กับดัก (อนุตร และเยาวลักษณ์, 2557) การใช้โอโซน (ภูษณิศ, 2553) การใช้คลื่นวิทยุ (ปรมินทร์, 2559) การควบคุมอุณหภูมิ (ภาวิณี และคณะ, 2560) เป็นต้น การควบคุมปริมาณมอดยาสูบให้มีประสิทธิภาพควรใช้วิธีผสมผสาน (integrated pest management) และควรมีการตรวจสอบจำนวนประชากรของมอดยาสูบในโรงเก็บอยู่เสมอ หากพบตัวเต็มวัยควรรีบหาวิธีในการกำจัดที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการตรวจสอบประชากรมอดยาสูบในโรงเก็บมักใช้กับดักฟีโรโมนเพศเพื่อล่อมอดยาสูบให้มาติดที่กาวเหนียว แต่เนื่องจากกับดักฟีโรโมนต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศและสามารถล่อมอดยาสูบได้เพียงเพศผู้เพศเดียว การพัฒนาสารล่อที่เป็นสารระเหยจากอาหารของมอดยาสูบเอง น่าจะนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพของกับดักฟีโรโมนโดยการใช้ร่วมกับสารล่อฟีโรโมนหรืออาจใช้ทดแทนสารล่อฟีโรโมนได้ ซึ่งสารล่ออาหาร (food attractants) สามารถดึงดูดมอดยาสูบได้ทั้งสองเพศ

งานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่ามอดยาสูบมีการตอบสนองต่อกลิ่นของพืชอาหารได้หลากหลาย Hori *et al.* (2011) พบว่าความสามารถในการดึงดูด การวางไข่ และอัตราการรอดของไข่ถึงตัวเต็มวัยในผลิตภัณฑ์ในโรงเก็บที่เป็นพืชอาหารของมอดยาสูบมีความแตกต่างกัน โดยใบยาสูบ โกโก้ แป้ง ถั่วเหลือง ข้าว และแป้งสาลี สามารถดึงดูดมอดยาสูบได้ มอดยาสูบมีอัตราการวางไข่ในผงกาแฟมากที่สุด รองลงมาคือ โกโก้ แต่อัตราการฟักออกเป็นตัวต่ำกว่าในข้าวและใบยาสูบ Guarino *et al.* (2021) ชี้ให้เห็นว่าพริกต่างชนิดให้ค่าการดึงดูดมอดยาสูบที่ต่างกัน โดยพริกชนิด *Capsicum annuum* และ *C. frutescens* สามารถดึงดูดมอดยาสูบได้ดีกว่า *C. chinense* ซึ่งมีสารสำคัญ α -ionone และ β -ionone เป็นองค์ประกอบในพริกที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบ เช่นเดียวกับ Phoonan *et al.* (2014) ที่พบว่ามอดยาสูบเลือกเข้าหาข้าวบาหม่อนมากกว่าใบยาสูบ ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบ

สารระเหยจากซาไบน์พบ β -ionone phytol และ methyl palmitate เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นการค้นหาพืชอาหารของมอดยาสูบที่มีคุณสมบัติเป็นสารล่อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกับดักสำหรับมอดยาสูบในโรงเก็บผลิตภัณฑ์พืชและสัตว์อบแห้งของประเทศไทย จะทำให้การควบคุมมอดยาสูบในโรงเก็บมีประสิทธิภาพและสามารถควบคุมประชากรมอดยาสูบได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นในการดึงดูดมอดยาสูบของพืชสมุนไพรแห้ง และวิเคราะห์หาสารระเหยง่ายที่เป็นองค์ประกอบในพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบ เพื่อนำไปพัฒนาเป็นสารล่อในกับดักมอดยาสูบสำหรับผลิตภัณฑ์ในโรงเก็บ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเลี้ยงมอดยาสูบ

มอดยาสูบได้รับความอนุเคราะห์จากกองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลการเกษตร กรมวิชาการเกษตร นำมาขยายพันธุ์ โดยนำตัวเต็มวัยที่เพิ่งออกจากดักด้จำนวนประมาณ 100 ตัว ใส่ลงในอาหารเลี้ยงที่มีส่วนผสมของข้าวสาลี แปะสาลี ข้าวโอ๊ต และยีสต์ (อัตราส่วน 100 : 60 : 39 : 1) (ดัดแปลงจาก Hagstrum and Subramanyam, 2006) ปริมาณ 100 กรัม ในขวดแก้วปากกว้างขนาด 24 ออนซ์ ปิดปากขวดด้วยกระดาษร้อยปอนด์ วางไว้ในตู้อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 60 ± 10 เปอร์เซ็นต์ ช่วงแสง 12 : 12 ชั่วโมง (มืด : สว่าง) เมื่อมอดยาสูบวางไข่ในอาหารเลี้ยง จะกลายเป็นตัวหนอนและดักด้ภายในอาหารเลี้ยง รอจนกระทั่งตัวเต็มวัยออกมาจากดักด้อายุ 4-5 วัน จึงนำมาทดสอบต่อไป

2. การเตรียมพืชสมุนไพร

พืชสมุนไพรทั้ง 15 ชนิด คือ เมล็ดพริกไทยดำ ดอกพิกุล รากโสมไทย ดอกปีบ ใบลูกใต้ใบ ผักคูน ต้นหญ้าดอกขาว ผลมะขามป้อม ใบหม่อน ผักกัลปพฤกษ์ ดอกกระเจี๊ยบแดง ใบชุมเห็ดเทศ ใบหญ้าหวาน ใบยาสูบ และเหง้าขมิ้นชัน ผ่านการตรวจสอบชนิดโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านพฤกษศาสตร์ สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร นำมาทำให้แห้งโดยการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วนำมาบดละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช (mesh) เพื่อให้ผงพืชมีขนาดใกล้เคียงกัน ชั่งน้ำหนัก แล้วเก็บในโหลแก้วดูความชื้นเพื่อร่อนนำไปทดสอบต่อไป

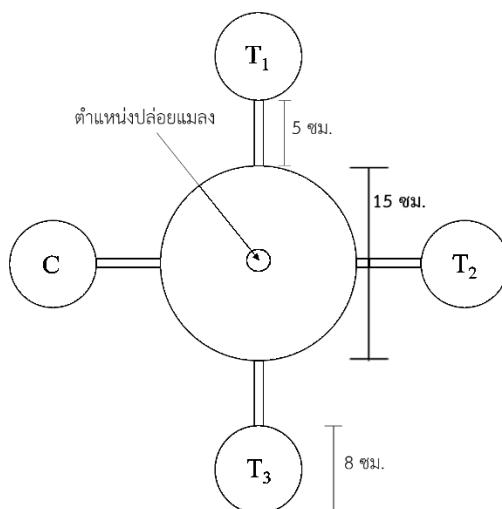
3. การทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นในการดึงดูดมอดยาสูบของพืชสมุนไพร

การทดสอบประสิทธิภาพในการดึงดูดมอดยาสูบของพืชสมุนไพรจำนวน 15 ชนิด โดยใช้ชุดทดสอบแบบสี่ตัวเลือก (4-choice olfactometer) ซึ่งดัดแปลงมาจาก van Emden *et al.* (2018) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นถ้วยกลาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ลึก 5 เซนติเมตร มีช่องสำหรับปล่อยแมลงทดสอบตรงกลางถ้วย ถ้วยกลางเชื่อมต่อกับส่วนถ้วยทดสอบ (ขนาด 8 เซนติเมตร ลึก 10 เซนติเมตร) ด้วยท่อขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร) จำนวน 4 ด้านในแนวรัศมี (ภาพที่ 1) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ การทดสอบใช้มอดยาสูบตัวเต็มวัยที่มีอายุ 4-5 วัน จำนวน 50 ตัว ต่อหนึ่งซ้ำ โดยในหนึ่งชุดทดสอบประกอบด้วยสิ่งทดสอบ คือ พืชสมุนไพรแห้งบดปริมาณ 1 กรัม จำนวน 3 ตัวเลือก และชุดควบคุมที่ไม่ใส่พืชสมุนไพรจำนวน 1 ตัวเลือก ทำการอด

อาหารแมลงก่อนทดสอบ 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นปล่อยแมลงทดสอบลงในถ้วยกลาง ปิดฝาทั้งส่วนถ้วยกลางและถ้วยทดสอบ วางไว้ในที่สภาวะมืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงนำมานับจำนวนมอดที่อยู่ในส่วนถ้วยทดสอบแต่ละถ้วย จำนวนมอดยาสูบในถ้วยทดสอบทั้งชุดทดลองและชุดควบคุมนำมาคำนวณค่าดัชนีการดึงดูดมอดยาสูบของพืชสมุนไพรแต่ละชนิด โดยใช้สูตรที่ดัดแปลงมาจาก Lin *et al.* (2016) ดังสมการ

$$\text{attraction index (AI)} = \frac{N_{\text{test}} - n_{\text{control}}}{N_{\text{test}} + n_{\text{control}}}$$

โดยที่ N_{test} หมายถึง จำนวนมอดยาสูบในถ้วยทดสอบของสมุนไพรแต่ละชนิด และ n_{control} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของจำนวนมอดยาสูบในถ้วยที่เป็นชุดควบคุม ค่าดัชนีการดึงดูดที่ได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง +1 และ -1 หากค่าดัชนีการดึงดูดเป็นค่าบวก หมายความว่า พืชสมุนไพรนั้นมีคุณสมบัติการดึงดูดมอดยาสูบ หากค่าดัชนีการดึงดูดเป็นค่าลบ หมายความว่า พืชสมุนไพรนั้นมีคุณสมบัติในการขับไล่มอดยาสูบ



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของชุดทดสอบแบบสี่ตัวเลือก

4. การสกัดน้ำมันระเหยง่ายของพืชสมุนไพรตัวอย่างด้วยตัวทำละลาย

นำพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบมากที่สุด 3 อันดับ แบ่งออกเป็น 3 ชำ มาชั่งน้ำหนัก ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน (hexane) ในอัตราส่วน 4 เท่าของน้ำหนักพืช ผสมให้เข้ากัน และเขย่าที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อจากนั้นนำมารองด้วยกระดาษกรอง (Whatman เบอร์ 1) แล้วนำไประเหยเพื่อเอาตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารสุญญากาศ ซึ่งน้ำหนักสารสกัดพืชที่ได้แต่ละชนิด บันทึกผล เก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป การคำนวณร้อยละของน้ำมันระเหยง่ายในตัวอย่างคำนวณจากน้ำหนักแห้งโดยใช้สมการที่ดัดแปลงจาก สายใจ (2561) ดังสมการ

$$\text{ร้อยละของน้ำมันระเหยง่าย} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันระเหยง่าย} \times 100}{\text{น้ำหนักพืชแห้ง}}$$

5. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-เฟลมไอออไนเซชัน (GC-FID)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ซึ่งสารสกัดพืชแต่ละชนิดปริมาณ 0.05 กรัม ใส่ลงในหลอดเซนทรีฟิวจขนาด 1 มิลลิลิตร ละลายสารสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท (ethyl acetate) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสาร แล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง GC-FID โดยใช้ชนิดของแก๊สตัวพา คือ ฮีเลียม (99.99%, TIG, Thailand) ชนิดของคอลัมน์ คือ DB-Wax (60 เมตร $\times$ 0.25 มิลลิเมตร i.d. $\times$ 0.25 ไมโครเมตร film thickness) อัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้นที่ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 3 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 246 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบริเวณที่ฉีดตัวอย่างของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี 250 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ เฟลมไอออไนเซชัน 250 องศาเซลเซียส

6. การคำนวณค่า linear retention indices (LRI)

ค่า linear retention indices (LRI) เป็นค่าเวลาที่สารแต่ละชนิดเคลื่อนผ่านคอลัมน์ โดยเทียบกับอะตอมของคาร์บอนในแอลเคนซีรีย์ (C8-C20, 04070, Sigma-Aldrich, USA) คำนวณได้จากสูตร ดังสมการ

$$\text{LRI} = 100 \times \frac{t - t_n}{t_{n+1} - t_n} + n$$

โดยที่ t คือ เวลาที่สารประกอบแต่ละชนิดเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ (retention time)

n คือ จำนวนอะตอมของคาร์บอนที่มีแอลเคน

$n+1$ คือ จำนวนอะตอมของคาร์บอนหลังแอลเคน

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft excel และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนโดยใช้ one way anova และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี duncan's multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 24

ผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพการดึงดูดมอดยาสูบของพืชสมุนไพร

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการดึงดูดมอดยาสูบของพืชสมุนไพรทั้ง 15 ชนิด ด้วยชุดทดสอบแบบสี่ตัวเลือก (ตารางที่ 1) พบว่าพืชสมุนไพรทุกชนิดให้ค่าดัชนีการดึงดูดมอดยาสูบเป็นบวก มีค่าอยู่ระหว่าง 0.18-0.81 โดยที่ใบยาสูบแสดงคุณสมบัติการดึงดูดมอดยาสูบมากที่สุด รองลงมาคือ ผักกาดปลากุ้ย รากโสมไทย ใบลูกใต้ใบ หล้าหวาน ดอกปีป เมล็ดพริกไทยดำ ใบหม่อน ดอกพิกุล ใบชุมเห็ดเทศ ผักคูน ผลมะขามป้อม เหง้าขมิ้นชัน และต้นหญ้าดอกขาว ตามลำดับ โดยใบยาสูบให้ค่าดัชนีการดึงดูดมอดยาสูบมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ 0.81 ± 0.01 (ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95)

ในขณะที่ฝักกล้วยพฤษให้ค่าดัชนีการดึงดูดมอดยาสูบสูงรองลงมาที่ค่า 0.80 ± 0.04 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับใบยาสูบ ส่วนรากโสมไทย ใบลูกใต้ใบ หญ้าหวาน และดอกปีป ให้ค่าการดึงดูดมอดยาสูบสูงไม่แตกต่างกันที่ค่า 0.77 ± 0.02 0.76 ± 0.02 0.75 ± 0.02 และ 0.75 ± 0.01 ตามลำดับ สำหรับเมล็ดพริกไทยดำ ใบหม่อน ดอกพิกุล ใบชุมเห็ดเทศ ฝักคูณ ผลมะขามป้อม ดอกกระเจียวแดง เหง้าขมิ้นชัน และต้นหญ้าดอกขาว ให้ค่าดัชนีการดึงดูดเท่ากับ 0.70 ± 0.08 0.66 ± 0.21 0.62 ± 0.14 0.55 ± 0.18 0.50 ± 0.10 0.43 ± 0.03 0.37 ± 0.04 0.18 ± 0.30 และ 0.18 ± 0.14 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่าดัชนีการดึงดูดมอดยาสูบของพืชสมุนไพร 15 ชนิด (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ลำดับ	พืชสมุนไพร			ดัชนีการดึงดูด*
	ชื่อทั่วไป	ชื่อวิทยาศาสตร์	ส่วนที่ใช้	
1	พริกไทยดำ	<i>Piper nigrum</i> L.	เมล็ด	0.70 ± 0.08^{abc}
2	พิกุล	<i>Mimusops elengi</i> L.	ดอก	0.62 ± 0.14^{abcd}
3	โสมไทย	<i>Talinum paniculatum</i> Gaertn.	ราก	0.77 ± 0.02^{ab}
4	ปีป	<i>Millingtonia hortensis</i> L.f.	ดอก	0.75 ± 0.01^{ab}
5	ลูกใต้ใบ	<i>Phyllanthus amarus</i> Schum & Thonn.	ใบ	0.76 ± 0.02^{ab}
6	คูณ	<i>Cassia fistula</i> L.	ฝัก	0.50 ± 0.10^{cde}
7	หญ้าดอกขาว	<i>Vernonia cinerea</i> (L.) Less.	ทั้งต้น	0.18 ± 0.14^f
8	มะขามป้อม	<i>P. emblica</i> L.	ผล	0.43 ± 0.03^{de}
9	หม่อน	<i>Morus alba</i> L.	ใบ	0.66 ± 0.21^{abcd}
10	กล้วยพฤษ	<i>C. bakeriana</i> Craib	ฝัก	0.80 ± 0.04^{ab}
11	กระเจียวแดง	<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	ดอก	0.37 ± 0.04^{ef}
12	ชุมเห็ดเทศ	<i>Senna alata</i> (L.) Roxb.	ใบ	0.55 ± 0.18^{bcde}
13	หญ้าหวาน	<i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	ใบ	0.75 ± 0.02^{ab}
14	ยาสูบ	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	ใบ	0.81 ± 0.01^a
15	ขมิ้นชัน	<i>Curcuma longa</i> L.	เหง้า	0.18 ± 0.33^f

หมายเหตุ - * ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสมมุติเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. ผลการสกัดสารจากพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบ

จากการนำพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติสูงในการดึงดูดมอดยาสูบ (ค่าดัชนีการดึงดูดตั้งแต่ 0.8) คือ ใบยาสูบ และฝักกล้วยพฤษ มาทำการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน พบว่าสารสกัดพืชสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด มีสีเขียวย้ำและสีน้ำตาลเข้มแตกต่างกัน สารสกัดจากใบยาสูบมีเนื้อสารสีเขียวย้ำที่ละเอียดมากกว่าเนื้อสารของฝักกล้วยพฤษซึ่งมีเนื้อสารเป็นสีน้ำตาลเข้ม โดยใบยาสูบมีร้อยละของ

ผลผลิตของสารสกัดหยาบที่ร้อยละ 3.39 และสารสกัดจากผักกัลปพฤกษ์มีร้อยละของผลผลิตของสารสกัดเท่ากับ 0.56 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ร้อยละของผลผลิตของสารสกัดหยาบจากพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบ

ชนิดพืชสมุนไพร	ร้อยละของผลผลิตของสารสกัดหยาบ	ลักษณะของสารสกัด
1. ใบยาสูบ	3.39±0.53	ของเหลวหนืดสีเขียวเข้ม
2. ผักกัลปพฤกษ์	0.56±0.00	ของเหลวหนืดสีน้ำตาล

3. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบ

จากการนำสารสกัดพืชสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ ใบยาสูบและผักกัลปพฤกษ์ ไปทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง GC-FID พบว่าในสารสกัดใบยาสูบมีสารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด 11 ชนิด องค์ประกอบทางเคมีที่พบปริมาณมากที่สุดในสารสกัดหยาบใบยาสูบ คือ β -caryophyllene คิดเป็นร้อยละ 18.93 รองลงมา คือ (Z)-3-hexenyl benzoate benzyl benzoate phenylpropyl *n*-valerate geraniol 4-hydroxynonanoic acid lactone (Z)-2-hexenal (E,Z)-2,6-nonadienal isoeugenol hexadecenoic acid และ *p*-cresol ที่ร้อยละ 17.59 16.60 14.23 11.58 6.49 4.97 4.03 2.23 2.13 และ 1.23 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ส่วนสารสกัดหยาบของผักกัลปพฤกษ์พบสารที่เป็นองค์ประกอบทั้งหมด 10 ชนิด โดยพบ phenylpropyl *n*-valerate เป็นองค์ประกอบหลักมากที่สุดร้อยละ 37.01 รองลงมา คือ di-(5-methyl-furyl)-1,2-ethylene isoeugenol (Z)-2-hexenal isoamyl nerolate cinnamyl formate 2-ethylhexanoic acid citronellyl crotonate docosene และ *n*-amyl 10-undecenoate ที่ค่าร้อยละขององค์ประกอบเท่ากับ 14.11 13.33 8.41 7.26 5.82 5.63 3.34 2.61 และ 2.47 ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากใบยาสูบที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	retention time (min)	area	ค่า LRI	ร้อยละของสารประกอบ
1	(Z)-2-hexenal	5.17	257.02	810	4.97
2	(E, Z)-2,6-nonadienal	32.62	208.02	1576	4.03
3	β -caryophyllene	33.29	977.93	1594	18.93
4	benzyl benzoate	38.49	857.52	1743	16.60
5	geraniol	41.65	598.52	1839	11.58
6	hexadecenoic acid	45.55	109.81	1963	2.13
7	4-hydroxynonanoic acid lactone	49.56	335.15	2050	6.49
8	<i>p</i> -cresol	51.94	63.65	2092	1.23
9	(Z)-3-hexenyl benzoate	53.67	908.85	2124	17.59

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	retention time (min)	area	ค่า LRI	ร้อยละของ สารประกอบ
10	phenylpropyl <i>n</i> -valerate	56.81	735.52	2183	14.23
11	isoeugenol	56.97	115.32	2186	2.23

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากผักกัลปพฤกษ์ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	retention time (min)	area	ค่า LRI	ร้อยละของ สารประกอบ
1	(<i>Z</i>)-2-hexenal	5.18	505.94	811	8.41
2	isoamyl nerolate	33.55	436.71	1601	7.26
3	citronellyl crotonate	44.50	200.56	1929	3.34
4	2-ethylhexanoic acid	45.62	338.71	1965	5.63
5	<i>n</i> -amyl 10-undecenoate	49.72	148.75	2053	2.47
6	cinnamyl formate	51.99	349.8	2093	5.82
7	phenylpropyl <i>n</i> -valerate	56.86	2225.12	2184	37.01
8	isoeugenol	57.03	801.74	2187	13.33
9	di-(5-methyl-furyl)-1,2- ethylene	57.15	848.72	2189	14.11
10	docosene	57.52	156.96	2196	2.61

4. การเปรียบเทียบองค์ประกอบของสารสกัดจากใบยาสูบและผักกัลปพฤกษ์

เมื่อเปรียบเทียบความเหมือนกันขององค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากใบยาสูบและผักกัลปพฤกษ์ พบว่ารูปแบบขององค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดผักกัลปพฤกษ์แตกต่างจากรูปแบบองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดใบยาสูบ และพบว่ามีสารประกอบ 3 ชนิด คือ (*Z*)-2-hexenal isoeugenol และ phenylpropyl *n*-valerate ที่พบในพืชสมุนไพรทั้งสองชนิด และจากสารประกอบทั้ง 18 ชนิด ที่พบในพืชทั้ง 2 ชนิด สามารถจำแนกออกได้เป็น 7 กลุ่ม ได้แก่ สารประกอบกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) คีโตน (ketone) แอลดีไฮด์ (aldehyde) แอลกอฮอล์ (alcohol) เอสเทอร์ (ester) เทอร์ปีน (terpene) และแอลคีน (alkene) พบว่าในสารประกอบส่วนใหญ่ที่พบเป็นสารประกอบกลุ่มเอสเทอร์มีทั้งหมด 7 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 38.88 ได้แก่ isoamyl nerolate benzyl benzoate citronellyl crotonate *n*-amyl 10-undecenoate cinnamyl formate (*Z*)-3-hexenyl benzoate และ phenylpropyl *n*-valerate รองลงมาคือกลุ่มแอลกอฮอล์มีทั้งหมด 3 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 16.67 ได้แก่ isoeugenol geraniol *p*-cresol และ isoeugenol สารประกอบกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก ได้แก่ hexadecanoic acid และ 2-ethylhexanoic acid สารประกอบในกลุ่มแอลดีไฮด์ ได้แก่ (*Z*)-2-hexenal และ (*E,Z*)-2,6-nonadienal และกลุ่มสารประกอบแอลคีน ได้แก่ docosene และ di-(5-methyl-furyl)-1,2-ethylene มีจำนวนสารประกอบเท่ากันคือ 2 ชนิด คิดเป็น

ร้อยละ 11.11 ตามลำดับ และกลุ่มคีโตน คือ 4-hydroxynonanoic acid lactone และกลุ่มเทอร์ปีน ได้แก่ β -caryophyllene มีกลุ่มละ 1 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 5.56 (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีที่พบในสารสกัดใบยาสูบและฝักกล้วยพฤษ

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	ใบยาสูบ	ฝักกล้วยพฤษ
สารประกอบกรดคาร์บอกซิลิก			
1	hexadecanoic acid	2.13	-
2	2-ethylhexanoic acid	-	5.63
สารประกอบคีโตน			
3	4-hydroxynonanoic acid, lactone	6.49	-
สารประกอบแอลดีไฮด์			
4	(Z)-2-hexenal	4.97	8.41
5	(E,Z)-2,6-nonadienal	4.03	-
สารประกอบแอลกอฮอล์			
6	isoeugenol	2.23	13.33
7	geraniol	11.58	-
8	<i>p</i> -cresol	1.23	-
สารประกอบเอสเทอร์			
9	isoamyl nerolate	-	7.26
10	benzyl benzoate	16.60	-
11	citronellyl crotonate	-	3.34
12	<i>n</i> -amyl 10-undecenoate	-	2.47
13	cinnamyl formate	-	5.82
14	(Z)-3-hexenyl benzoate	17.59	-
15	phenylpropyl <i>n</i> -valerate	14.23	37.01
สารประกอบเทอร์ปีน			
16	β -caryophyllene	18.93	-
สารประกอบแอลคีน			
17	docosene	-	2.61
18	di-(5-methyl-furyl)-1,2-ethylene	-	14.11

การอภิปรายผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชสมุนไพรในการดึงดูดมอดยาสูบ พบว่าใบยาสูบให้ค่าคุณสมบัติการดึงดูดมากที่สุด ซึ่งในการทดลองนี้ ใบยาสูบจัดว่าเป็นพืชสมุนไพรที่ใช้นำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับพืชสมุนไพรชนิดอื่น เนื่องจากมอดยาสูบเป็นแมลงศัตรูในโรงเก็บชนิดหนึ่งที่สามารถกินอาหารประเภทอาหารแห้งในโรงเก็บได้หลากหลาย และพบครั้งแรกในโรงเก็บใบยาสูบ

(Hill, 2012) จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้มอดยาสูบชอบใบยาสูบซึ่งอาจเป็นอาหารหลักมากกว่าพืชอาหารชนิดอื่น แต่ผลการศึกษาแตกต่างจากรายงานของ Phoonan *et al.* (2014) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของพืชอาหารมอดยาสูบ 30 ชนิด โดยใช้อุปกรณ์ทดสอบแบบกับดักหลุมสองตัวเลือก (2-choice pitfall trap) ซึ่งพบว่ามอดทดสอบที่เหมือนกับการศึกษาค้างนี้จำนวน 4 ชนิด คือ ชาใบหม่อน พริกไทยป่น ผงขมิ้นชัน และใบยาสูบ ซึ่งรายงานของ Phoonan *et al.* (2014) ได้กล่าวไว้ว่าชาใบหม่อนเป็นสิ่งทดสอบที่ดึงดูดมอดยาสูบได้ดีที่สุด ในขณะที่การศึกษาค้างนี้พบว่าใบยาสูบเป็นพืชอาหารที่สามารถดึงดูดมอดยาสูบได้สูงที่สุด อาจเนื่องมาจากการทดลองของ Phoonan *et al.* (2014) ได้ใช้ชาใบหม่อนที่ผ่านกระบวนการผลิตและการบ่มมาแล้ว อาจมีกลิ่นที่แตกต่างจากใบหม่อนแบบสดแห้งสดในการศึกษาค้างนี้ จึงส่งผลให้การเข้าหาพืชอาหารของมอดยาสูบแตกต่างกัน (Hori *et al.*, 2011) เนื่องจากมอดยาสูบนั้นเป็นแมลงศัตรูในโรงเก็บที่มีความสามารถกินพืชอาหารได้หลายแบบหรือหลายชนิด และจากรายงานของ Phoonan *et al.* (2014) มีการใช้ใบยาสูบที่ต่างยี่ห้อกับการศึกษาค้างนี้ โดยรายงานของ Kohno *et al.* (1983) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเข้าทำลายหรือความชอบของมอดยาสูบที่มีผลต่อพืชอาหารและใบยาสูบในแบบต่าง ๆ ซึ่งพบว่ามอดยาสูบชอบเข้าหาใบยาสูบที่ผ่านกระบวนการบ่มหรือทำการเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน ๆ มากกว่าพืชยาสูบที่เก็บมาใหม่ นอกจากนี้ Ruengdech *et al.* (2019) ยังได้กล่าวไว้ว่าชาใบหม่อนที่มีบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกันหรือมีระยะเวลาเก็บรักษาที่ต่างกันนั้น อาจทำให้มีกลิ่นที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากอุณหภูมิ ความชื้น ทำให้สารประกอบทางเคมีในพืชอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลง

ส่วนพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบได้สูงใกล้เคียงกับใบยาสูบในการทดลองนี้ คือ ผักกัลปพฤกษ์ ซึ่งเป็นผักแก่ มีรายงานว่าผักแก่ของพืชในวงศ์ถั่ว (Family Fabaceae) บางชนิด เช่น ผักแก่ของต้นคารอบ (*Ceratonia siliqua* L.) นอกจากเมล็ดจะมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงแล้ว เนื้อผลยังมีปริมาณน้ำตาลสูงเช่นกัน (Battlle and Tous, 1997) ซึ่งในกระบวนการสลายตัวของสารประกอบประเภทน้ำตาลและไขมันตามธรรมชาติ มักให้สารระเหยที่มีกลิ่นเฉพาะตัว แมลงจะใช้กลิ่นนี้เป็นตัวนำทางเพื่อยังแหล่งอาหารและวางไข่ ซึ่งมีความแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด (Hori *et al.*, 2011) รายงานของ Saeed *et al.* (2008) พบว่าตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของมอดยาสูบชอบใบยาสูบเวอร์จิเนียแบบบ่มไอรอน (flue-cured Virginia) ที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และแป้งมากกว่า และจากการสังเกตของผู้วิจัยก่อนหน้านี้พบมอดยาสูบเข้าไปกัดกินและเจริญเติบโตอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่มีผักกัลปพฤกษ์สดแห้งที่อยู่ในห้องปฏิบัติการเคมีที่มีการเก็บสมุนไพรหลายชนิดไว้สำหรับการทำการวิจัย ซึ่งจากรายงานก่อนหน้านี้ ยังไม่พบการศึกษาคุณสมบัติของพืชในสกุล *Cassia* ที่มีฤทธิ์ดึงดูดมอดยาสูบ การศึกษาค้างนี้จึงเป็นการรายงานครั้งแรกเกี่ยวกับคุณสมบัติที่น่าสนใจของกัลปพฤกษ์ในการพัฒนาเพื่อเป็นสารล่อแมลงในโรงเก็บ

องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดใบยาสูบที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID พบสารที่เป็นองค์ประกอบมากที่สุด คือ β -caryophyllene สอดคล้องกับรายงานของ Fujimori *et al.* (1976) ที่พบสารประกอบชนิดนี้ในใบยาสูบพันธุ์ Burley เช่นเดียวกัน แต่แตกต่างจากรายงานของ Yokoi and Shimada (2017) ที่ผลการศึกษาไม่พบสารประกอบชนิด β -caryophyllene ในใบยาสูบ อาจเนื่องมาจากยาสูบที่นำมาทำการทดสอบมีสายพันธุ์ที่ต่างกันหรือมีกรรมวิธีในการผลิตที่แตกต่างกัน จึงทำให้พบองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน (Leffingwell, 2001) ส่วนสารสกัดหยาบของ

ฝักกล้วยพลูที่พบสารที่เป็นองค์ประกอบทั้งหมด 10 ชนิด ซึ่งมีสาร phenylpropyl *n*-valerate เป็นองค์ประกอบหลักมากที่สุด ซึ่งสารประกอบ phenylpropyl *n*-valerate จัดเป็นสารหอมชนิด เอสเทอร์ที่ให้กลิ่นหอมคล้ายผลไม้ พบในพืชหลายชนิด (Arctander, 2019) ซึ่งพบว่ยังไม่มียางาน การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในฝักกล้วยพลู

การเปรียบเทียบความเหมือนกันขององค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากใบยาสูบและ ฝักกล้วยพลู พบรูปแบบขององค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดทั้งสองชนิดแตกต่างกัน แต่มีองค์ประกอบ ทางเคมี 3 ชนิด คือ (Z)-2-hexenal isoeugenol และ phenylpropyl *n*-valerate เป็นองค์ประกอบ ร่วมในพืชสมุนไพรทั้งสองชนิด เป็นไปได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีทั้งสามชนิดนี้อาจมีคุณสมบัติดึงดูด มอดยาสูบได้ การสกัดและทำสารเหล่านี้ให้บริสุทธิ์อาจนำมาใช้เป็นสารล่อมอดยาสูบร่วมกับกับดัก พิโรโมนได้ในอนาคต ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ที่พบเป็นองค์ประกอบ ในสารสกัดพืชทั้งสองชนิดเป็นสารประกอบกลุ่มเอสเทอร์ ซึ่งจากรายงานของ UCDAVIS (2020) กล่าวไว้ว่าสารประกอบในกลุ่มเอสเทอร์เป็นสารประกอบที่ให้กลิ่นในธรรมชาติเกิดจากการรวมตัวกัน ของสารประกอบกรดคาร์บอกซิลิกและแอลกอฮอล์ มีคุณสมบัติในการดึงดูดแมลงให้เข้าหา หลาย รายงานก่อนหน้านี้พบว่าสารประกอบกลุ่มนี้มีฤทธิ์ที่ดีในการล่อแมลง เช่น สารประกอบในกลุ่ม tetrahydropyran esters มีคุณสมบัติในการดึงดูดแมลงสาบจากการทดสอบแบบมีตัวเลือก (Pandey *et al.*, 1994) สารประกอบ ethyl-2,4-decadienoate ที่พบในลูกแพรสามารถใช้เป็น สารล่อผีเสื้อกลางคืนที่เป็นศัตรูแอปเปิ้ลได้ (Toth *et al.*, 2012) นอกจากนี้ยังพบว่าสารประกอบ ในกลุ่มเอสเทอร์มีคุณสมบัติคล้ายพิโรโมนรวมกลุ่มที่สามารถดึงดูดแมลงปีกแข็งที่เป็นแมลงศัตรูพืช ให้เข้าหาได้ เช่น มอดชนิด *Lyctus africanus* Lesne (Coleoptera: Lyctinae) (Kartika *et al.*, 2015) ตัวชนิด *Cotinis nitida* L. (Coleoptera: Scarabaeidae) (Johnson *et al.*, 2009) เป็นต้น ซึ่งยังต้อง มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของสารประกอบทางเคมีที่พบในสารสกัดของพืชสมุนไพร ทั้งสองชนิด ที่น่าจะมีศักยภาพเป็นสารล่อเพื่อนำมาใช้ในกับดักสำหรับตรวจสอบหรือควบคุมจำนวน ประชากรของมอดยาสูบในโรงเก็บได้

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาหาประสิทธิภาพของพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบ โดยการนำ พืชสมุนไพร 15 ชนิด ได้แก่ เมล็ดพริกไทยดำ ดอกพิกุล รากโสมไทย ดอกปีบ ใบลูกใต้ใบ ฝักคุณ ตันหญ้าดอกขาว ผลมะขามป้อม ใบหม่อน ฝักกล้วยพลู ดอกกระเจี๊ยบแดง ใบชุมเห็ดเทศ ใบหญ้าหวาน ใบยาสูบ และเหง้าขมิ้นชัน ทำการทดสอบด้วยอุปกรณ์ทดสอบแบบสี่ตัวเลือก (4-Choice olfactometer) พบว่าพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบได้ดีที่สุดคือ ใบยาสูบ รองลงมาคือ ฝักกล้วยพลู ซึ่งค่าดัชนีการดึงดูดใกล้เคียงกันแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ค่า 0.80 ขึ้นไป และเมื่อวิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยจากพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติดึงดูดมอดยาสูบทั้งสองชนิดด้วย เครื่อง GC-FID พบสาร β -caryophyllene เป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดใบยาสูบ และพบ สารประกอบ phenylpropyl *n*-valerate เป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดจากฝักกล้วยพลู ซึ่ง สารประกอบส่วนใหญ่ที่พบในสารสกัดของพืชสมุนไพรทั้งสองชนิดเป็นสารประกอบในกลุ่มเอสเทอร์

โดยมีสารประกอบ 3 ชนิด คือ (Z)-2-hexenal isoeugenol และ phenylpropyl n-valerate เป็นองค์ประกอบร่วมที่พบในพืชสมุนไพรทั้งสองชนิด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณโดยทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ประจำปี 2563 และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่อำนวยความสะดวกเรื่องอุปกรณ์ เครื่องมือ และห้องปฏิบัติการในการวิจัย งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ปรมินทร์ กันทะยอม. (2559). *การกำจัดแมลงในใบยาสูบด้วยความถี่วิทยุผ่านแผ่นเพลทขนาดใหญ่*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- ภาวินี หนูชนะภัย รังสิมา เก่งการพานิช และจารุวรรณ รัตนสกุลธรรม. (2560). ระดับอุณหภูมิความร้อนในการควบคุมแมลงศัตรูสมุนไพรอบแห้ง. *วารสารวิชาการเกษตร*, 35(2), 197-208.
- ภูษณิศ คำตะนิษฐ์. (2553). *การควบคุมมอดยาสูบโดยใช้ไอโซน*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- สายใจ แก้วอ่อน. (2561). *ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของสารสกัดหยาดดาหลา (Etlingera elatior (Jack) R.M. Smith)*. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 37(2), 24-35.
- สุทธิสันต์ พิมพ์สาลี และวิโรจน์ แก้วเรือง. (2550). มอดยาสูบแมลงศัตรูหมายเลขหนึ่งของชาใบหม่อน. *กสิกร*, 80(3), 104-106.
- อนุดร บุรณพานิชพันธ์ และเยาวลักษณ์ จันทร์บาง. (2557). การเข้าทำลายของมอดเจาะผลกาแฟและประสิทธิภาพของสารล่อเพื่อการควบคุม. *วารสารเกษตร*, 30(3), 223-231.
- Arctander, S. (2019). *Perfume and flavor chemicals (aroma chemicals) Vol. 1*. United States: New Jersey LuLu.com.
- Battle, I. and Tous, J. (1997). Carob tree. *Ceratonia siliqua* L. In Heller, J., Engels, J.M. M. and Hammer, K. (Eds.). *Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*, pp. 17. Rome: Institute of plant genetics and crop plant research, Gatersleben/International plant genetic resources institute.
- Fujimori, T., Kasuga, R., Matsushita, H., Kaneko, H. and Noguchi, M. (1976). Neutral aroma constituents in Burley tobacco. *Agricultural and Biological Chemistry*, 40(2), 303-315.
- Guarino, S., Basile, S., Arif, M.A., Manachini, B. and Peri, E. (2021). Odorants of *Capsicum* spp. dried fruits as candidate attractants for *Lasioderma serricorne* F. (Coleoptera: Anobiidae). *Insects*, 12(1), doi: <https://doi.org/10.3390/insects12010061>.

- Hagstrum, D.W. and Subramanyam, B. (2006). Chapter 2-Techniques. In Hagstrum, D.W. and Subramanyam, B. (Eds.). *American associate of cereal chemists international, fundamentals of stored-product entomology*, pp. 23-37. Washington, DC: AACC International Press.
- Hill, D.S. (2012). *The economic importance of insects*. Dordrecht: Springer.
- Hori, M., Miwa, M. and Iizawa, H. (2011). Host suitability of various stored food products for the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae). *Applied Entomology and Zoology*, 46(4), 463-469.
- Johnson, D.T., Lewis, B.A., Bryant, R.J., Liyanage, R., Lay, J.O. and Pszczolkowski, M.A. (2009). Attractants for the green June beetle (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Economic Entomology*, 102(6), 2224-2232.
- Kartika, T., Shimizu, N. and Yoshimura, T. (2015). Identification of esters as novel aggregation pheromone components produced by the male powder-post beetle, *Lyctus africanus* Lesne (Coleoptera: Lyctinae). *PLoS ONE*, 10(11), doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141799>.
- Kohno, M., Chuman, T., Kato, K. and Noguchi, M. (1983). The olfactory response of the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* Fabricius, to various host foods and cured tobacco extracts. *Applied Entomology and Zoology*, 18, 401-406.
- Leffingwell, J.C. (2001). Chemical constituents of tobacco leaf and differences among tobacco types. *Chemistry Preprint Archive*, 2, 173-232.
- Lin, C.C., Riabinina, O. and Potter, C.J. (2016). Olfactory behaviors assayed by computer tracking of *Drosophila* in a four-quadrant olfactometer. *Journal of Visualized Experiments*, 20(114), doi: <https://doi.org/10.3791/54346>.
- Pandey, K.S., Rao, K.M. and Vaidyanathaswamy, R. (1994). Tetrahydropyran esters as new attractants for cockroaches. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 58(4), 647-651.
- Phoonan, W., Deowanish, S. and Chavasiri, W. (2014). Food attractant from mulberry leaf tea and its main volatile compounds for the biocontrol of *Lasioderma serricorne* F. (Coleoptera: Anobiidae). *Journal of Stored Products Research*, 59, 299-305.
- Rees, D. (2004). *Insects of Stored Products*. Melbourne: CSIRO Publishing.
- Ruengdech, A., Siripatrawan, U., Limbo, S., Benedetti, S. and Buratti, S. (2019). Effect of packaging on volatile profiles of mulberry tea. *Italian Journal of Food Science*, 7(special), 37-43.

- Saeed, M., Khan, S.M. and Shahid, M. (2008). Food preferences of *Lasioderma serricorne* (F.) (Coleoptera: Anobiidae) on four types of tobacco. *Sarhad Journal of Agriculture*, 24(2), 279-284.
- Suwanlaong, K. and Phanthumchinda, K. (2008). Neurological manifestation of methyl bromide intoxication. *Journal of the Medical Association of Thailand*, 91(3), 421-426.
- Toth, M., Landolt, P., Szarukan, I., Szollath, I., Vitányi, I., Péntzes, I., Katalin, H., Katali, J.J. and Koczor, S. (2012). Female-targeted attractant containing pear ester for *Synanthedon myopaeformis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 142(1), 27-35.
- UCDAVIS. (2020). *Diagnostic key classes of off-character compounds esters*. California: Department of Viticulture & Enology.
- van Emden, H.F., Vamvatsikos, P. and Hardie, J. (2018). Cultivar-specific plant odour preferences of a generalist aphid parasitoid *Aphidius colemani* and a possible mechanism for maternal priming of resistance to toxic plant chemistry. *Physiological Entomology*, 44(1), doi: <https://doi.org/10.1111/phen.12270>.
- Yokoi, M. and Shimada, M. (2017). Extraction of volatile flavor compounds from tobacco leaf through a low-density polyethylene membrane. *Journal of Chromatographic Science*, 55(3), 373-377.

สารสำคัญของน้ำมันหอมระเหยและการเจริญเติบโตของเปราะหอม
ที่ได้รับสารพาโคลบิวทราโซลในสภาวะกระถาง

Major Chemical Composition of Essential Oil and Growth of
Kaempferia galanga L. as Affected to Paclobutrazol Application
under Pot Condition

อัญชลี นิลสุวรรณ^{1*} ธงชัย ขำมี² และณัฐวัฒน์ ปาลพันธ์¹

Unchalee Ninsuwan^{1*} Thongchai Khammee² and Nattawat Palapan¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการตอบสนองของเปราะหอมที่ปลูกโดยได้รับสารพาโคลบิวทราโซล 0 (ควบคุม) 1,500 และ 3,000 หนึ่งส่วนในล้านส่วน ในสภาวะกระถางเป็นเวลา 5 เดือน และเก็บผลการเจริญเติบโตด้านความกว้างใบ น้ำหนักสดและแห้งของใบและเหง้า และสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหย พบว่าความกว้างใบ (16.25 ± 1.31 15.83 ± 1.12 และ 15.14 ± 2.18 เซนติเมตร) น้ำหนักแห้งใบ (4.01 ± 0.83 4.38 ± 1.03 และ 5.37 ± 0.41 กรัม) น้ำหนักแห้งเหง้า (6.93 ± 1.93 7.01 ± 1.92 และ 8.78 ± 1.02 กรัม) และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (ร้อยละ 91.87 ± 2.10 91.03 ± 1.86 และ 88.45 ± 1.18) ตามลำดับ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการวิเคราะห์สารประกอบในน้ำมันหอมระเหยจากใบแห้งและเหง้าแห้งของเปราะหอมด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-เฟลมไอออไนเซชัน และใช้ค่า retention index ในการตรวจสอบสารประกอบ พบว่าสารสำคัญที่พบมากที่สุด ใบแห้งคือ acetylcedrene (ร้อยละ 55-65) และในเหง้าแห้งคือ pentadecanol (ร้อยละ 65-75) สรุปได้ว่าการให้พาโคลบิวทราโซลกับเปราะหอมไม่ทำให้เกิดชะลอการเจริญเติบโต และมีความเกี่ยวข้องกับการสร้างสารสำคัญทั้งในใบและเหง้า

คำสำคัญ: พีชวงศ์ขิง พืชที่มีกลิ่นหอม สารควบคุมการเจริญเติบโต สมุนไพร สกุลเปราะ

¹ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

² สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

* Corresponding author e-mail: unchalee@pnru.ac.th

Received: 6 March 2022, Revised: 8 April 2022, Accepted: 18 April 2022

Abstract

The responses of *Kaempferia galanga* L. as affected to the paclobutrazol application at concentrations of 0 (control), 1,500, and 3,000 mg/L (ppm) for 5 months under pot condition were investigated. The plant growth based on leaf width, fresh weight and dry weight of leaves and rhizomes, and major chemical composition of essential oil were recorded. There was no statistically significant difference ($p < 0.05$) between treatments for the leaf width (16.25 ± 1.31 15.83 ± 1.12 and 15.14 ± 2.18 cm.), the dry weight of leaves (4.01 ± 0.83 4.38 ± 1.03 and 5.37 ± 0.41 g.), the dry weight of rhizomes (6.93 ± 1.93 7.01 ± 1.92 and 8.78 ± 1.02 g.), and the leaf relative water content (91.87 ± 2.10 91.03 ± 1.86 and $88.45 \pm 1.18\%$), respectively. In addition, the major chemical composition of essential oil from dried leaves and dried rhizomes were analyzed by the Gas chromatography - flame ionization detector (GC-FID), and the retention indices were further evaluated for possible compounds identification. Results shows that the major chemical composition of dried leaves was acetylcedrene (55-65%) and dried rhizomes was pentadecanol (65-75%). It was concluded that the application of paclobutrazol exhibited *K. galanga* growth without any retardant. Moreover, its application could contribute to the synthesis of the major chemical composition in both plant organs; leaves and rhizomes.

Keywords: Ginger family, Aromatic plant, Plant growth regulator, Herb, *Kaempferia*

บทนำ

เปราะหอม (*Kaempferia galanga* L.) อยู่ในวงศ์ขิง (Zingiberaceae หรือ ginger family) สกุลเปราะ (*Kaempferia*) เป็นพืชล้มลุกที่มีลำต้นใต้ดินเรียกว่าเหง้าหรือไรโซม มีรากสะสมอาหาร ใบเดี่ยวเจริญจากเหง้า แผ่นใบค่อนข้างกลม แบนราบตามผิวดิน ก้านใบเป็นกาบ พืชสกุล *Kaempferia* นิยมนำเหง้ามาใช้ประโยชน์ด้านสมุนไพรอย่างแพร่หลายและการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหย ได้แก่ กระชายดำ (*K. parviflora* Wall. ex Baker) และเปราะหอม (สุรพล และคณะ, 2560) ส่งผลให้ความต้องการพืชมีมากขึ้น วัตถุประสงค์จากพืชนี้ส่วนมากได้จากการเกิดเองตามสภาพธรรมชาติ จึงอาจเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ ควรมีการส่งเสริมการปลูกทดแทนหรือปลูกเพื่อเพิ่มรายได้เกษตรกร (นิจศิริ และคณะ, ม.ป.ป.) การศึกษาเพื่อการปลูก การขยายพันธุ์ องค์ประกอบทางเคมี สารต้านอนุมูลอิสระ สารสำคัญในน้ำมันหอมระเหย ในพืชสมุนไพรทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานและเป็นทางเลือกของผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติให้แก่ผู้บริโภคได้ การสร้างน้ำมันหอมระเหยของพืชในปริมาณและคุณภาพแตกต่างกันเกิดจากปัจจัยภายในด้านพันธุกรรมและระยะการเจริญเติบโตของพืช และขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของพืช การให้สารควบคุมการเจริญเติบโตจากภายนอกมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและการสะสมสาร

เมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) ประเภทน้ำมันหอมระเหยในพืชสมุนไพรบางชนิด ในวงศ์กะเพราและเพิ่มต่อมสะสมน้ำมันหอมระเหย (Sharafzadeh and Zare, 2011; Prins *et al.*, 2010) รายงานวิจัยการให้ไซโคไคนินกับพืชมีผลต่อการสร้างน้ำมันหอมระเหย ได้แก่ Stancheva *et al.* (2010) พบว่าต้นมันทำให้สะสมสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้น โดยรายงานหน่วยเป็นร้อยละ คือ 1,8 cineol และ *p*-cymene (ร้อยละ 13.8-22.5 และ 13.0-16.5) และมี carvacrol และ thymol เพิ่มขึ้น 2 เท่า Ali *et al.* (2018) พบว่าพืชสมุนไพรอายุเก้าที่ได้รับไซโคไคนินชนิด thidiazuron ทำให้กระตุ้นการแตกยอดอ่อนและยอดสะสมสารสำคัญ monoterpene เพิ่มขึ้น Hsie *et al.* (2019) รายงานการใช้ไซโคไคนินชนิด 6-benzylaminopurine ร่วมกับออกซิน naphthaleneacetic acid ความเข้มข้นสูงผสมในอาหารปลูกพืชวงศ์ผักการอง ทำให้ปลายยอดพืชมีสารสำคัญ terpenes ใน น้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้น เช่น myrcenone และ limonene แต่สารสองชนิดนี้ที่ความเข้มข้นต่ำ ทำให้ยอดสะสม ocimenone เพิ่มขึ้น นอกจากนี้สารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีความสำคัญทั้ง ในการตอบสนองในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมและในการสร้างน้ำมันหอมระเหยของพืช ได้แก่ กรดแอบไซซิก (abscisic acid: ABA) กรดซาลิไซลิก (salicylic acid: SA) และพาโคลบิวทราโซล (paclobutrazol: PBZ) Abdi and Karami (2020) ทดลองปลูกสาระแนในภาวะขาดน้ำร่วมกับ ฉีดพ่น SA ทางใบ พบว่าการขาดน้ำเพียงอย่างเดียวทำให้การเจริญเติบโตของพืชโดยพิจารณาจาก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน และปริมาณน้ำมันหอมระเหยลดลง แต่เมื่อให้ SA ร่วมด้วย ทำให้พืชปรับตัวโดยมีค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้น Mansouri and Asrar (2012) พบว่าการให้ ABA ทำให้พืช ักยามีปริมาณสารสำคัญ terpenes เปลี่ยนแปลงไปโดยมีสัดส่วนของ monoterpenes ต่อ sesquiterpenes สูงขึ้นมากกว่าทรีตเมนต์ควบคุม

สำหรับ PBZ จัดเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโต ประเภทสารชะลอการเจริญเติบโตของพืช (plant growth retardant) โดยมีการทำงานตรงข้ามกับจิบเบอเรลลิน (GA) ที่ทำหน้าที่กระตุ้นการ ยืดตัวของเซลล์ สาร PBZ สามารถใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงต้นพืช การพ่นทางใบหรือรดลงดิน ผลต่อ พืชประเด็นหลักคือทำให้ความสูงลดลงเพราะลดการยืดยาวของปล้องลำต้นพืช ซึ่งเป็นการเพิ่ม สัดส่วนรากต่อต้นและทำให้ได้ผลผลิตมากขึ้น อย่างไรก็ตาม PBZ ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง รูปแบบการพัฒนาของพืชและไม่เป็นพิษต่อพืช (Desta and Amare, 2021) ในสภาวะขาดน้ำ มีรายงานว่า PBZ ทำให้พืชมีพื้นที่ใบลดลง การคายน้ำที่ใบพืชลดลง และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของพืช เพิ่มขึ้น ส่งเสริมให้พืชสามารถปรับตัวเข้ากับสภาวะเครียดจากการขาดน้ำได้ (Rezazadeh *et al.*, 2016; Soumya *et al.*, 2017) Singh *et al.* (2008) พบว่า PBZ เกี่ยวข้องกับการออกดอก และ การสร้างสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยของดอกคลารี่เสจ (*Salvia sclarea* L.) พืชวงศ์กะเพรา โดย PBZ ทำให้ออกดอกมากที่สุดเมื่อเทียบกับ kinetin และ IAA และส่งเสริมคุณภาพของน้ำมันหอม ระเหยให้ดีขึ้นโดยมี linalool และ linalyl acetate ในดอกสูงกว่าชุดควบคุมร้อยละ 12

พืชวงศ์ขิงมีลักษณะเด่นเพราะมีน้ำมันหอมระเหยมาก สมาชิกในวงศ์ของแต่ละสกุลหรือ แต่ละชนิดมีสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยที่แตกต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน Yoshioka *et al.* (2019) รายงานว่าพืชวงศ์ขิง สกุลขมิ้นพบสารสำคัญ terpenes ได้แก่ myrcene pinene และ albicanal ในสารสกัดจากเหง้าขิงอินเดีย (*Curcuma amada*) ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบ ย่อยอาหารของสัตว์ (หนู) และอาจช่วยป้องกันการเกิดโรคอ้วนได้ เอกสารวิจัยโดย Singh *et al.*

(2013) รวบรวมข้อมูลสารประกอบในสารระเหยที่สกัดจากเปราะหอม (*K. galanga*) สารสำคัญที่พบ ได้แก่ ethyl *p*-methoxycinnamate และ methyl cinnamate และสารอื่น ๆ ได้แก่ carvone eucalyptol pentadecane 3-carene camphene borneol cineol kaempferol kaempferide และ cinnamaldehyde นอกจากนี้ Tekalign and Hammes (2005) ได้กล่าวว่า PBZ มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่มีลำต้นสะสมอาหารใต้ดินชนิดทิวเบอร์ (tuber) ของมันฝรั่ง โดยไปยับยั้งการสร้าง GA ทำให้มันฝรั่งมีความสูงของลำต้นเหนือดินและพื้นที่ใบลดลง แต่พบว่าทำให้ใบมีความหนามากขึ้นเพราะมีชั้นเนื้อเยื่อภายในใบกว้างขึ้นและน้ำหนักใบเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม PBZ ทำให้ทิวเบอร์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่ได้รับสาร

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารพาโคลบิวทราโซลต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยของเปราะหอมพันธุ์ไทยที่ปลูกในกระถาง การใช้สาร PBZ เพราะมีคุณสมบัติช่วยให้พืชทนต่อภาวะน้ำจำกัด ที่ได้รับ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ พืชทดลองคือเปราะหอม (*K. galanga* L.) เป็นพืชสมุนไพรที่สำคัญในวงศ์ขิง ส่วนเหง้ามีประโยชน์ใช้เป็นสมุนไพรขับพยาธิใบไม้ในคนและเป็นผลิตภัณฑ์ปรุงรส โดยคาดว่า PBZ มีความเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเหง้า และช่วยรักษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ รวมทั้งการสร้างสารประกอบภายในเหง้าซึ่งเป็นส่วนใต้ดินที่ใช้สะสมอาหารและสารสำคัญ การเก็บผลทำโดยวัดความกว้างใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งจากใบและเหง้า และวิเคราะห์สารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยจากวัตถุดิบแบบแห้งของใบและเหง้าที่ได้จากเปราะหอมที่ได้รับสาร PBZ ความเข้มข้นแตกต่างกัน รายงานฉบับนี้ไม่มีผลด้านความสูงเพราะเปราะหอมไม่มีลำต้นเหนือดิน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขอบเขตการทดลองและพืชทดลอง

พืชที่ใช้คือเปราะหอมที่ได้รับหัวพันธุ์จากจังหวัดเชียงใหม่ วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทดลองปลูกในกระถาง การวิจัยนี้มี 3 ชุดทดลอง ๆ ละ 4 ซ้ำ ได้รับ PBZ ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 0 1,500 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือหนึ่งส่วนในล้านส่วน (part per million: ppm) ดัดแปลงตามวิธีการของ Jungklang *et al.* (2017) ปลูกในสภาพโรงเรือนแบบเปิด ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร

2. การปลูกพืชทดลอง

2.1 เตรียมวัสดุปลูกใส่กระถางขนาด 8x12 นิ้ว ประกอบด้วย ดิน : ใบไม้แห้ง : มูลวัว อัตราส่วน 2 : 1 : 1 จำนวน 12 กระถาง การผสมใบไม้แห้งเพื่อให้คล้ายกับสภาพธรรมชาติ ดัดแปลงตามนิจศิริ และคณะ (ม.ป.ป.)

2.2 นำเหง้าของเปราะหอม แขนงยาวกำจัดเชื้อรา Captane50 ความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นล้างน้ำ 3 ครั้ง และผึ่งลมให้แห้ง ปลูกเหง้าลงในกระถางที่เตรียมไว้ รดน้ำเปล่า 300 มิลลิลิตร ทุกกระถางทุก ๆ 7 วัน เมื่อครบ 1 เดือนใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ปริมาณ 10 กรัมต่อกระถาง เมื่ออายุ 2 เดือนหลังจากปลูก ใส่ PBZ ครั้งที่ 1 ปริมาตร 300 มิลลิลิตร รดลงใน

กระถาง และทำเช่นนี้เดือนละ 1 ครั้ง โดยใส่ PBZ ต่อไปอีก 3 ครั้งห่างกันทุก 30 วัน สิ้นสุดการทดลองเมื่อพืชอายุ 5 เดือนหลังปลูก

3. การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

3.1 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เก็บผลความกว้างของใบหน่วยเป็นเซนติเมตร โดยวัดส่วนที่กว้างที่สุดของใบที่โตเต็มที่ สุ่มวัด 2 ใบในแต่ละกระถาง และเก็บผลน้ำหนักสดของส่วนเหง้าและใบ (ธนวดี และคณะ, 2558; Abdi and Karami, 2020) ซึ่งเป็นการวัดการเจริญเติบโตจากน้ำหนักสด และแห้งของส่วนเหนือดินหมายถึงลำต้นและใบ และส่วนใต้ดินหมายถึงราก) เก็บใส่ถุงกระดาษนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) จนพืชแห้งสนิทเก็บผลน้ำหนักแห้ง จากนั้นเก็บรักษาไว้ในใส่กล่องสุญญากาศ เพื่อนำไปวิเคราะห์สารสำคัญในน้ำมันหอมระเหย

3.2 หาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (Kulak *et al.*, 2021) โดยตัดใบพืชที่โตเต็มที่จำนวน 3 ชิ้นต่อใบ และ 3 ต้นต่อซ้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร บันทึกน้ำหนักสด แช่ชิ้นใบพืชในน้ำกลั่นจนอิ่มตัว 12 ชั่วโมงในที่มืด บันทึกน้ำหนักอิ่มตัว จากนั้นนำชิ้นใบพืชไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักแห้ง จากนั้นคำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ} = \frac{(\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}) \times 100}{(\text{น้ำหนักอิ่มตัว} - \text{น้ำหนักแห้ง})}$$

4. การสกัดน้ำมันระเหยง่ายของตัวอย่างพืชด้วยตัวทำละลาย

โดยชั่งน้ำหนักเหง้าและใบที่อบแห้งแล้ว ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ สกัดตัวทำละลายเฮกเซนในอัตราส่วน 4 เท่าของน้ำหนักพืช คนให้เข้ากันและกวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 แล้วนำไประเหยเพื่อเอาตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารสุญญากาศ ชั่งน้ำหนักสารสกัดพืชที่ได้ บันทึกผล เก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ การคำนวณร้อยละของน้ำมันระเหยง่ายในตัวอย่างคำนวณจากน้ำหนักแห้ง โดยใช้สมการต่อไปนี้ (วทันยา และคณะ, 2557)

$$\text{ร้อยละของน้ำมันระเหยง่าย} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันระเหยง่าย} \times 100}{\text{น้ำหนักพืชแห้ง}}$$

5. การวิเคราะห์สารประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-เฟลมไอออไนเซชัน (gas chromatography-flame ionization detection: GC-FID) และการคำนวณค่า linear retention indices (LRI)

ซึ่งสารสกัดพืช 0.05 กรัม ใส่ลงในหลอดเซนทรีฟิวจขนาด 1 มิลลิลิตร ละลายสารสกัดด้วยตัวทำละลาย ethyl acetate ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปวิเคราะห์สารประกอบด้วย GC-FID เป็นเครื่องตรวจวัดสัญญาณชนิด flame ionization รุ่น Clarus 690 ยี่ห้อ PerkinElmer ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ชนิดของแก๊สตัวพา คือ ฮีเลียม (99.99%, TIG, Thailand) ชนิดของคอลัมน์ คือ DB-Wax (60 เมตร $\times$ 0.25 มิลลิลิตร i.d. $\times$ 0.25 ไมโครเมตร film thickness) อัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้นที่ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มใน

อัตรา 3 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 246 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบริเวณที่ฉีดตัวอย่างของเครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟี 250 องศาเซลเซียส และเฟลมไอออไนเซชัน 250 องศาเซลเซียส

ค่า LRI ใช้เวลาที่สารแต่ละชนิดเคลื่อนผ่านคอลัมน์โดยเทียบกับอะตอมของคาร์บอนใน แอลเคนซีรีย์ (C8-C20, 04070, Sigma-Aldrich, USA) คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$LRI = 100 \times \left(\frac{t - t_n}{t_{n+1} - t_n} \right) + n$$

โดยที่ t คือ retention time ของสารประกอบ

n คือ จำนวนอะตอมของคาร์บอนที่มีแอลเคน

n+1 คือ จำนวนอะตอมของคาร์บอนหลังแอลเคน (ลักษณะ และคณะ, 2556)

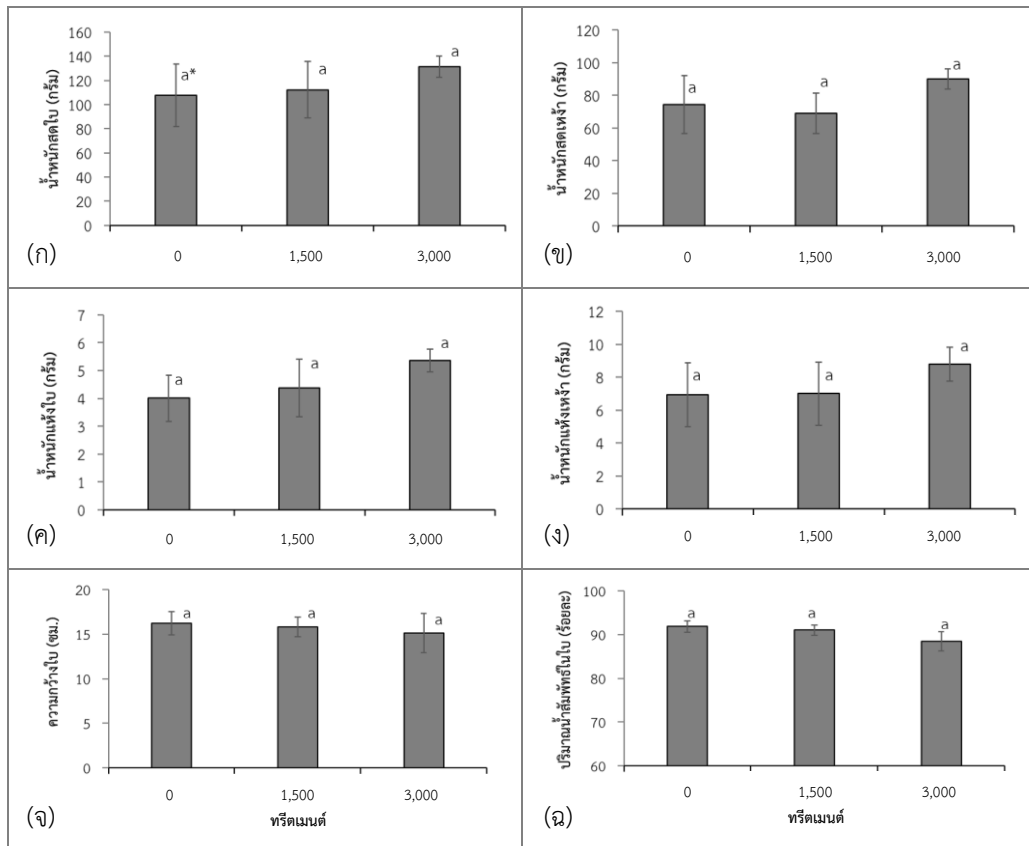
6. การวิเคราะห์ผลการวิจัยเชิงสถิติ

วิเคราะห์แบบแจกแจงทางเดียว (one way ANOVA) วิธี least significant difference และ duncan multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS version 22

ผลการวิจัย

1. การเจริญเติบโตของเปราะหอม และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเปราะหอม

จากการทดลองปลูกเปราะหอมให้ได้รับสาร PBZ ทางดินแตกต่างกัน 3 ชุดการทดลอง คือ 0 (ชุดควบคุม) 1,500 และ 3,000 หนึ่งส่วนในล้านส่วน และจำกัดการให้น้ำเพียง 1 ครั้งต่อ สัปดาห์ตลอดการทดลอง ความเข้มข้นที่ใช้อ้างอิงจาก Jungklang *et al.* (2017) กับพืชวงศ์ขิงชนิด ปทุมมา ใช้ความเข้มข้น 1,500 หนึ่งส่วนในล้านส่วน และในรายงานฉบับนี้ให้เพิ่มขึ้นเป็น 3,000 หนึ่ง ส่วนในล้านส่วน เพื่อต้องการศึกษาการตอบสนองของพืชในสภาวะน้ำน้อยและผลของ PBZ ต่อพืช พบว่าน้ำหนักสดใบ ดังภาพที่ 1 (ก) และน้ำหนักแห้งใบ ดังภาพที่ 1 (ค) เปราะหอมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เล็กน้อยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ PBZ และจากข้อมูลความกว้างของใบ ดังภาพที่ 1 (จ) พบว่าชุด ควบคุมมีความกว้างใบมากที่สุด และ PBZ มีแนวโน้มทำให้ใบมีความกว้างลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อ วิเคราะห์ทางสถิติพบว่าน้ำหนักใบและความกว้างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบร้อยละน้ำหนักแห้งใบพบว่าทรีตเมนต์ 1,500 และ 3,000 หนึ่งส่วนในล้านส่วน มี ค่าเพิ่มขึ้นเทียบกับทรีตเมนต์ 0 ร้อยละ 5.1 และ 10.2 ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักแห้งใบพบว่าสาร PBZ มีผลต่อทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเหง้า ดังภาพที่ 1 (ข และ ง) ในทิศทางเดียวกันกับ น้ำหนักใบ กล่าวคือ น้ำหนักแห้งเหง้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อได้รับ PBZ มีค่า 6.93 ± 1.93 7.01 ± 1.92 และ 8.78 ± 1.02 กรัม ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบร้อยละน้ำหนักแห้งที่ได้พบว่าทรีตเมนต์ 1,500 และ 3,000 หนึ่งส่วนในล้านส่วน มีค่าเพิ่มขึ้นเทียบกับทรีตเมนต์ 0 ร้อยละ 9.2 และ 4.8 ตามลำดับ และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพบว่าทรีตเมนต์ 0 1,500 และ 3,000 มีค่าร้อยละ 91.87 ± 2.10 91.03 ± 1.86 และ 88.45 ± 1.18 ตามลำดับและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 1 (ฉ)



ภาพที่ 1 การเจริญเติบโตของเปราะหอมอายุ 5 เดือน น้ำหนักสดใบ (ก) น้ำหนักสดเหง้า (ข) น้ำหนักแห้งใบ (ค) น้ำหนักแห้งเหง้า (กรัม) (ง) ความกว้างใบ (เซนติเมตร) (จ) และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (ร้อยละ) (ฉ)

หมายเหตุ: - ข้อมูลคือค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($n=4$)

- * ตัวอักษรที่เหมือนกันในชุดข้อมูลเดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. สารประกอบของน้ำมันหอมระเหยในใบแห้งและเหง้าแห้งของเปราะหอม

จากตารางที่ 1 และภาพที่ 2 (ก) พบสารสำคัญของน้ำมันหอมระเหยในใบแห้งเปราะหอมที่สกัดด้วยทำละลายเฮกเซนและวิเคราะห์ด้วย GC-FID 10 ชนิด และรายงานปริมาณที่พบเป็นร้อยละของพื้นที่ใต้พีคของสารเทียบกับพื้นที่ใต้พีคของสารที่วิเคราะห์ได้ทั้งหมด ได้แก่ α -terpineol (1) pulegone (2) phenylethyl 2-methylbutyrate (3) 2,4-hexadienoic acid ethyl ester (4) isoamyl benzyl ether (5) salicylaldehyde (6) acetylcedrene (7) n-propyl phenylacetate (8) 2-pentadecanone (9) และ kaur-16-ene (10) ข้อมูลที่ได้จากเปราะหอมทุกหริตเมนต์ พบสารสำคัญในใบแห้ง 5 ชนิดตามลำดับ ร้อยละสารประกอบจากมากไปน้อย คือ ลำดับที่ 7 10 3 5 และ 4 ตามลำดับ โดยใบเปราะหอมที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับ PBZ ต่างกัน มีสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกัน หริตเมนต์ 1,500 หนึ่งในส่วนในล้านส่วน มีร้อยละของลำดับ 10 (ร้อยละ 17.94) 3 (ร้อยละ 10.19) และ

4 (ร้อยละ 9.57) มากกว่าเปราะหอมทรีตเมนต์ควบคุม และทรีตเมนต์ 3,000 หนึ่งในล้านส่วน มีร้อยละของลำดับ 7 (ร้อยละ 64.37) และ 5 (ร้อยละ 8.46) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกทรีตเมนต์

ตารางที่ 1 สารประกอบในน้ำมันหอมระเหยของใบแห้งเปราะหอม วิเคราะห์ด้วย GC-FID

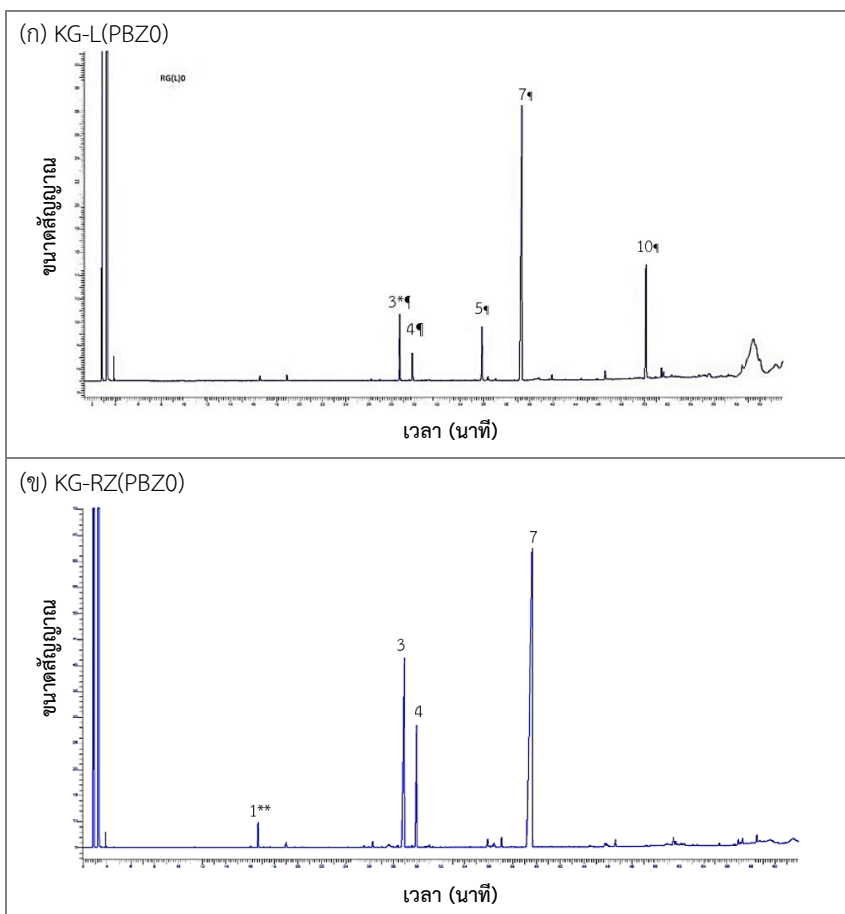
ลำดับ	สารประกอบ	retention time (นาท)	ค่า LRI	area			ร้อยละของสารประกอบ		
				PBZ (หนึ่งในล้านส่วน)			PBZ (หนึ่งในล้านส่วน)		
				0	1,500	3,000	0	1,500	3,000
1	α -terpineol	16.66	1,172	1,808.68	2,034.69	2,383.52	0.62	0.64	0.47
2	pulegone	19.00	1,230	2,068.16	2,092.18	3,138.37	0.71	0.66	0.62
3	phenylethyl 2-methylbutyrate	28.14	1,472	25,134.34	32,457.22	32,887.71	8.60	10.19	6.46
4	2,4-hexadienoic acid ethyl ester	29.43	1,501	13,158.9	30,487.71	12,804.27	4.50	9.57	2.52
5	isoamyl benzyl ether	35.30	1,668	22,223.21	19,832.43	43,062.1	7.60	6.23	8.46
6	salicylaldehyde	37.07	1,701	582.24	759.43	1,128.39	0.20	0.24	0.22
7	acetylcedrene	38.80	1,768	178,894.23	169,900.89	327,570.37	61.22	53.34	64.37
8	n-propyl phenylacetate	41.95	1,848	1,921.13	1,500.81	2,788.03	0.66	0.47	0.55
9	2-pentadecanone	46.58	1,997	2,889.91	2,321.74	5,335.21	0.99	0.73	1.05
10	kaur-16-ene	49.56	2,060	43,556.08	57,126.87	77,812.08	14.90	17.94	15.29
				รวม			100	100	100

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 2 (ข) พบสารสำคัญของน้ำมันหอมระเหยในเหง้าแห้งเปราะหอมที่สกัดด้วยทำละลายเฮกเซนและวิเคราะห์ด้วย GC-FID 10 ชนิด และรายงานปริมาณที่พบเป็นร้อยละของพื้นที่ใต้พีกของสารเทียบกับพื้นที่ใต้พีกของสารที่วิเคราะห์ได้ทั้งหมด ได้แก่ α -terpineol (1) pulegone (2) α -muurolene (3) 2,4-hexadienoic acid ethyl ester (4) isoamyl benzyl ether (5) salicylaldehyde (6) pentadecanol (7) trans-2-Hexenyl n-octanoate (8) 2-pentadecanone (9) และ kaur-16-ene (10) ข้อมูลที่ได้จากทุกทรีตเมนต์ พบสารสำคัญในเหง้าแห้ง 4 ชนิดตามลำดับร้อยละสารประกอบจากมากไปน้อย คือลำดับที่ 7 3 4 และ 1 ตามลำดับ โดยเหง้าเปราะหอมที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับ PBZ 1,500 หนึ่งในล้านส่วน และทรีตเมนต์ควบคุม มีสารสำคัญแต่ละชนิดในน้ำมันหอมระเหยใกล้เคียงกัน ส่วนทรีตเมนต์ 3,000 หนึ่งในล้านส่วน พบทั้งการสร้างสารได้มากที่สุดและน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์อื่น คือสารประกอบลำดับที่ 7 สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 77.85 แต่พบสารประกอบลำดับที่ 3 4 และ 1 น้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 11.63 6.88 และ 1.25 ตามลำดับ นอกจากนี้ทรีตเมนต์ 3,000 หนึ่งในล้านส่วน พบสารประกอบอื่นอีก 6 ชนิด ซึ่งพบไม่เกินร้อยละ 1.00 ได้แก่ 2-heptanone pentylbenzene germacrene D, borneol methyl linolenate และ 1-docosene

สารสำคัญที่พบทั้งในใบแห้งและเหง้าแห้งเปราะหอม แต่มีร้อยละของสารประกอบแตกต่างกัน มี 7 ชนิดเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ kaur-16-ene (10) isoamyl benzyl ether (5) 2,4-hexadienoic acid ethyl ester (4) 2-pentadecanone (9) pulegone (2) α -terpineol (1) และ salicylaldehyde (6)

ตารางที่ 2 สารประกอบในน้ำมันหอมระเหยของเหง้าแห้งเปราะหอม วิเคราะห์ด้วย GC-FID

ลำดับ	สารประกอบ	retention time (นาที)	ค่า LRI	area			ร้อยละของสารประกอบ		
				PBZ (หนึ่งในล้านส่วน)			PBZ (หนึ่งในล้านส่วน)		
				0	1,500	3,000	0	1,500	3,000
1	α -terpineol	16.68	1,172	20,486.85	12,350.11	17,684.13	1.65	1.70	1.25
2	pulegone	19.02	1,230	4,471.31	2,656.82	3,390.80	0.36	0.37	0.24
3	α -muurolene	28.94	1,477	271,565.08	159,903.90	164,950.58	21.82	22.03	11.63
4	2,4-hexadienoic acid ethyl ester	29.95	1,501	107,518.57	64,505.12	97,537.65	8.64	8.89	6.88
5	isoamyl benzyl ether	35.93	1,668	8,643.58	4,385.65	-	0.69	0.60	-
6	salicylaldehyde	37.11	1,701	7,664.22	4,520.21	-	0.62	0.62	-
7	pentadecanol	39.66	1,778	818,508.16	474,140.94	1,104,066.69	65.75	65.31	77.85
8	trans-2-Hexenyl n-octanoate	42.11	1,853	292.15	-	-	0.02	-	-
9	2-pentadecanone	46.64	1,997	5,137.00	2,964.44	6,045.48	0.41	0.41	0.43
10	kaur-16-ene	50.12	2,060	561.56	250.14	-	0.05	0.03	-
สารประกอบที่พบเพิ่มเติมเฉพาะที่ 1,500 หรือ 3,000 หนึ่งในล้านส่วน									
	geraniol	42.71	1,872	-	257.80	-	-	0.04	-
	pentylbenzene	26.29	1,409	-	-	4,579.93	-	-	0.32
	germacrene D	36.47	1,683	-	-	6,954.46	-	-	0.49
	borneol	36.98	1,698	-	-	167.21	-	-	0.01
	methyl linolenate	51.51	2,084	-	-	6,771.28	-	-	0.48
	1-docosene	57.30	2,192	-	-	5,995.19	-	-	0.42
รวม							100	100	100



ภาพที่ 2 โครมาโทแกรมของน้ำมันหอมระเหยจากใบแห้ง [KG-L(PBZ0)] (ก) และเหง้าแห้ง [KG-RZ(PBZ0)] (ข) เปราะหอมอายุ 5 เดือนหลังปลูกของทรีตเมนต์ควบคุม (PBZ 0 หนึ่งส่วนในล้านส่วน)

หมายเหตุ: - * ลำดับตามตารางที่ 1
- ** ลำดับตามตารางที่ 2

การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของ PBZ ต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยของเปราะหอม รายงานนี้เป็นการให้ PBZ กับต้นเปราะหอมกระถางโดยการรดลงดิน ระยะเวลาปลูกเวลา 5 เดือน และระหว่างการปลูกมีการให้น้ำทุก ๆ 7 วันตลอดการทดลอง ผลที่ได้จากค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบแสดงให้เห็นว่าทุกทรีตเมนต์มีค่าประมาณร้อยละ 90 ซึ่งเพียงพอต่อการเจริญของพืช โดย PBZ ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืช และเห็นได้ว่าการทดลองนี้มีการรดน้ำให้เปราะหอมอย่างเหมาะสมเพียงพอ เพื่อไม่ให้ดินอึดตัวมากเกินไปเพราะอาจทำให้เกิดเชื้อราได้ง่าย ผลที่ได้สอดคล้องกับ Desta and Amare (2021) กล่าวว่าสาร PBZ สามารถใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงต้นพืชในสภาวะปลอดเชื้อ หรือการพ่นทางใบโดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการ

พัฒนาของพืชและไม่เป็นพิษต่อพืช สำหรับการเจริญเติบโตพบว่าใบเปราะหอมจากทริตเมนต์ที่ได้รับ PBZ มีความกว้างของใบลดลง แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การตอบสนองนี้ใกล้เคียงกับรายงานวิจัยอื่นที่ใช้ PBZ กับพืชที่ได้รับภาวะขาดน้ำ PBZ ทำให้พืชมีพื้นที่ใบลดลง เพราะมีผลทำให้ระดับของสารควบคุมการเจริญเติบโต GA ในพืชลดลง ซึ่ง GA มีหน้าที่ทำให้เกิดการยืดตัวของเซลล์ ดังนั้นเมื่อให้ PBZ จึงทำให้เซลล์ที่ใบยืดตัวลดลง ความกว้างของทรงพุ่มลดลง ส่งผลให้การคายน้ำที่ใบพืชลดลง และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของพืชเพิ่มขึ้น ดังนั้นพืชจึงสามารถปรับตัวเข้ากับสภาวะเครียดจากการขาดน้ำได้ (Rezazadeh *et al.*, 2016; Soumya *et al.*, 2017) ด้านการเจริญเติบโตของลำต้นใต้ดินแบบไรโซมของเปราะหอม ข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเหง้ามีแนวโน้มของน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับ PBZ แต่ข้อมูลไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ น้ำหนักไรโซมที่ได้นี้แตกต่างจากการศึกษาในมันฝรั่ง ซึ่ง Nuraini *et al.* (2021) พบว่ามันฝรั่งมีหัวใต้ดินแบบทูปเบอร์ การใช้สาร PBZ ร่วมกับไซโตไคนินกับมันฝรั่ง ทำให้มันฝรั่งมีจำนวนหัวใต้ดินมากขึ้น และมีแนวโน้มของน้ำหนักหัวต่อต้นเพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่า PBZ มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเพิ่มสัดส่วนของรากต่อลำต้น การเพิ่มจำนวนผลต่อต้น และการเพิ่มผลผลิตด้วย (Soumya *et al.*, 2017) เหตุผลที่น้ำหนักเหง้าของเปราะหอมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอาจเนื่องมาจากการทดลองนี้เป็นการศึกษาการปลูกในระยะเวลานานและใช้ความเข้มข้นของ PBZ ที่มากเกินไป ทำให้ผลการเจริญเติบโตยังไม่ชัดเจน นอกจากนี้ Berova and Zlatev (2000) รายงานการให้ PBZ กับมะเขือเทศ ทำให้พืชมีการยืดยาวของส่วนปล้องของลำต้นพืชลดลง ความสูงลดลง แต่ทำให้ปล้องพืชหนาขึ้น ทรงพุ่มกว้างขึ้นและให้ผลผลิตต่อต้นดีขึ้น รวมทั้งไม่พบการชะลอการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ PBZ ที่ใช้กับเปราะหอมไม่ทำให้เกิดการชะลอการเจริญเติบโตและต้นเปราะหอมไม่เกิดความผิดปกติ

การวิเคราะห์สารประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากใบแห้งและเหง้าแห้ง และรายงานปริมาณที่พบเป็นร้อยละของพื้นที่ใต้พีกของสารเทียบกับพื้นที่ใต้พีกของสารที่วิเคราะห์ได้ทั้งหมดพบว่าใบและเหง้าจากทริตเมนต์ที่ได้รับ PBZ ความเข้มข้นแตกต่างกันมีการสร้างและสะสมสารประกอบที่แตกต่างกัน สภาวะแวดล้อมในการปลูกพืชสำหรับการทดลองนี้ มีการรดน้ำในปริมาณน้อยแต่ไม่ทำให้พืชเกิดภาวะขาดน้ำที่รุนแรง การใช้ PBZ เพื่อศึกษาบทบาทในการช่วยให้พืชทนต่อภาวะขาดน้ำและทำให้เกิดการตอบสนองในด้านต่าง ๆ (Soumya *et al.*, 2017) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า PBZ ความเข้มข้นต่ำ 1,500 หนึ่งส่วนในล้านส่วน มีการกระตุ้นการสร้างสารสำคัญบางชนิดในใบ ได้แก่ phenylethyl 2-methylbutyrate 2,4-hexadienoic acid ethyl ester และ kaur-16-ene ส่วนความเข้มข้นสูงให้ผลทั้ง 2 ด้านคือการยับยั้งและการกระตุ้นการสร้างสารประกอบในใบ โดยพบการสร้างสารสำคัญ ได้แก่ phenylethyl 2-methylbutyrate 2,4-hexadienoic acid ethyl ester ลดลง และการสร้างสารสำคัญ ได้แก่ acetylcedrene และ isoamyl benzyl ether เพิ่มขึ้น

สารสำคัญในเหง้าแห้งเปราะหอม ผลการวิเคราะห์สารสำคัญที่ว่าทุกทริตเมนต์พบสารประกอบลำดับที่ 7 pentadecenol มากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างทริตเมนต์พบว่าทริตเมนต์ที่รดด้วย PBZ 3,000 หนึ่งส่วนในล้านส่วน พบ pentadecenol มากที่สุดร้อยละ 77.85 สำหรับสารสำคัญอื่นข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่า PBZ ความเข้มข้นต่ำ 1,500 หนึ่งส่วนในล้านส่วน มีผลทำให้เหง้าใต้ดินสร้างสารสำคัญได้ใกล้เคียงกับทริตเมนต์ควบคุม อย่างไรก็ตามทริตเมนต์ 3,000 หนึ่งส่วนใน

ล้านส่วน มีการสะสมสารประกอบอื่น ๆ อีกหลายชนิดแต่พบในปริมาณน้อย ในการตอบสนองโดยการปรับตัวทางด้านสรีรวิทยานั้นอาจเกี่ยวข้องกับการสะสมสารประกอบบางชนิดนั้นขึ้นอยู่กับที่ได้รับ PBZ ร่วมด้วย ความเข้มข้นที่เหมาะสมของ PBZ ทำให้สร้างสารประกอบเพิ่มขึ้น แต่ถ้าได้รับ PBZ มากเกินไปอาจเกิดการยับยั้งการสร้างสารเหล่านั้นได้เช่นกัน ผลการศึกษาพบว่าใบแห้งเปราะหอมมีสารสำคัญบางชนิดแตกต่างจากที่พบในเหง้าแห้งเปราะหอม ที่ผ่านมามีรายงานการใช้ PBZ ต่อการสร้างน้ำมันหอมระเหยไม่มากนัก ส่วนใหญ่เป็นรายงานการใช้สารในกลุ่มออกซินและไซโตไคนิน ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้ PBZ ได้แก่ การใช้ PBZ กับคลอรีนเพื่อเพิ่มการสร้าง linalool และ linalyl acetate ในดอกเพิ่มขึ้นและทำให้น้ำมันหอมระเหยที่มีสารสองชนิดนี้มากขึ้นมีคุณภาพดีขึ้น (Singh *et al.*, 2008) และการใช้ PBZ กระตุ้นการสร้าง caftaric acid และ cichoric acid ซึ่งเป็นสารสำคัญทางยาในพืชดอกชนิดหนึ่ง (*Echinacea purpurea*) ในวงศ์ทานตะวันของอเมริกาเหนือพบว่าการใช้ PBZ ร่วมกับ GA3 สามารถกระตุ้นให้รากพืชมีการสร้างสารสองชนิดนี้เพิ่มขึ้น แต่ไม่เพิ่มในส่วนลำต้น (Jones *et al.*, 2009) กล่าวได้ว่า PBZ มีส่วนส่งเสริมให้พืชมีการปรับตัวเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมหรือในสภาวะปกติ การใช้ PBZ สามารถกระตุ้นการสร้างสารประกอบในพืชได้ งานวิจัยนี้พบสารสำคัญในใบแห้ง คือ acetylcedrene ส่วนสารสำคัญในเหง้าแห้ง คือ pentadecenol การพบสารประกอบในส่วนของพืช คือ ใบและเหง้าที่แตกต่างทั้งด้านชนิดและร้อยละสารประกอบเช่นนี้สอดคล้องกับรายงานของวทันยา และคณะ (2557) การหาองค์ประกอบทางเคมีของพืชวงศ์ขิง ชนิดขิง (*Zingiber officinale* Roscoe) ที่มีความแตกต่างกันระหว่างการใช้ขิงสดกับขิงแห้ง และขิงอ่อนกับขิงแก่ ผู้วิจัยกล่าวว่าขิงแก่สดพบร้อยละของ zingiberene มากกว่าขิงอ่อนสดและน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากวัตถุดิบแบบแห้งมีสารสำคัญแตกต่างกัน โดยขิงอ่อนแห้งและขิงแก่แห้งมี camphene และ geranial มากที่สุด ตามลำดับ และสอดคล้องกับรายงานการสกัดสารจากส่วนต่างๆของพืชสมุนไพร *Alstonia boonei* ในวงศ์ตีนเป็ด ประเทศไนจีเรีย โดยใช้สารสกัดคือ dichloromethane พบว่าส่วนราก ลำต้น และใบ มีสารประกอบหลักที่แตกต่างกันไป และพบสารประกอบในลำต้นมากที่สุด (41 ชนิด) รองลงมาคือ ราก (20 ชนิด) และใบ (10 ชนิด) (Babatunde, 2017) จากผลที่ได้จากการประกอบของเปราะหอมที่ปลูกสภาวะแวดล้อมตามงานวิจัยนี้มีบางชนิดที่คล้ายกับรายงานข้อมูลสารประกอบในเหง้าหรือโรซิมโดย Singh *et al.* (2013) และนิจศิริ และคณะ (ม.ป.ป.) คือ pentadecane และ borneol อาจเป็นเพราะว่า PBZ มีส่วนเกี่ยวข้องในการกระตุ้นการสร้างสารสำคัญภายในเหง้าของเปราะหอม แต่จากระยะเวลาในการปลูกที่สั้น และอายุของเหง้าเปราะหอมที่นำมาใช้ไม่ได้แยกเหง้าอ่อนกับเหง้าแก่ จึงมีผลต่อข้อมูลการสะสมสารประกอบภายในลำต้นใต้ดินของเปราะหอมได้

สรุปผลการวิจัย

เปราะหอมที่ปลูกในสภาวะที่มีสารพอลิคลอโรบิวทราโซลร่วมกับการได้รับน้ำสัปดาห์ละครั้งมีการเจริญเติบโตเมื่อพิจารณาจากความกว้างใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบและเหง้าไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งไม่พบความผิดปกติของการเจริญเติบโตของต้นเปราะหอม สภาพแวดล้อมการปลูกเปราะหอมในรายงานนี้ทำให้ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบไม่แตกต่างกันทุกทรีตเมนต์ ข้อมูลสารประกอบในเปราะหอมเห็นได้ว่าการให้พอลิ-

บิวทราโซลเพิ่มเติมกับพืชโดยการรดลงดินมีความเกี่ยวข้องกับการสร้างสารสำคัญทั้งในใบและเหง้า โดยวัตถุดิบแบบแห้งของใบและเหง้ามีการสร้างสารสำคัญส่วนใหญ่เหมือนกัน แต่มีร้อยละที่พบแตกต่างกัน ใบแห้งพบ acetylcedrene มากที่สุด เหง้าพบ pentadecanol มากที่สุด ข้อเสนอแนะการวิเคราะห์ควรคำนึงถึงอายุของเหง้าเพราะหอมที่นำมาใช้เพราะเหง้าอ่อนและเหง้าแก่อาจมีการสะสมสารประกอบได้แตกต่างกัน และควรยืนยันผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ประจำปี พ.ศ. 2563 สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ธนวดี พรหมจันทร์ กันยารัตน์ หรัถยา พรนภา รุ่งสว่าง อาริสสา ทับทิม และพิมพ์ใจ มีตุ้ม. (2558). ผลของปริมาณการให้สารละลายพาโคลบิวทราโซลที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการออกดอกของดาวเรืองพันธุ์ลูกผสมอเมริกัน. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 34(1), 26-37.
- นิจศิริ เรืองรังษี ชัยศักดิ์ จันศรีนิยม และนิรันดร์ วิพันธุ์เงิน. (ม.ป.ป.). การศึกษาวิจัยสมุนไพรประหอม เพื่อประเมินคุณค่าและความสำคัญประกอบการพิจารณาในการประกาศให้เป็นสมุนไพรควบคุมตามพระราชบัญญัติคุ้มครองและส่งเสริมภูมิปัญญาการแพทย์แผนไทย. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2565, จาก: https://abdul.dtam.moph.go.th/thaiherbs/herb_pdf/0065.pdf.
- ลักษณะ เจริญใจ วิภาวี เสาศิน และปรีชา บุญจง. (2556). การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันระเหยง่ายจากเหง้าขิงสดและแคปซูลขิงในประเทศไทย. *วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน*, 9(1), 52-63.
- วทันยา ลิมปพยอม ญัญฐา เลหากุลจิตต์ ภรณ์ทิพย์ ดุษฎีลาวัณย์ และเกษรา วามะศิริ. (2557). องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยขิง. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 37(3), 297-312.
- สุรพล แสนสุข ปิยะพร แสนสุข และณชยุต จันทิโชติกุล. (2560). ความหลากหลายและการใช้ประโยชน์พื้นบ้านของพืชวงศ์ขิง ในจังหวัดหนองคาย ประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข*, 45(3), 574-594.
- Abdi, G. and Karami, L. (2020). Salicylic acid effects on some physiochemical properties and secondary metabolite accumulation in *Mentha piperita* L. under water deficit stress. *Advances in Horticultural Science*, 34(1), 81-91, doi: <https://doi.org/10.13128/ahsc-8404>.
- Ali, H., Khan, M.A., Kayani, W.K., Khan, T., Mashwani, Z.R., Ullah, N. and Khan, R.S. (2018). Thidiazuron regulated growth, secondary metabolism and essential oil profiles in shoot cultures of *Ajuga bracteosa*. *Industrial Crops and Products*, 121(2), 418-427, doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.043>.

- Babatunde, O. (2017). GC-MS analysis of leaf, stem-back and root extracts of *Alstonia boonei*. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 11(46), 577-581, doi: <https://doi.org/10.5897/AJPP2017.4864>.
- Berova, M. and Zlatev, Z. (2000). Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Plant Growth Regulation*, 30(2), 117-123, doi: <https://doi.org/10.1023/A:1006300326975>.
- Desta, B. and Amare, G. (2021). Paclobutrazol as a plant growth regulator. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), doi: <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00199-z>.
- Hsie, B.S., Bueno, A.I.S., Bertolucci, S.K.V., Carvalho, A.A., Martins, E.R. and Pinto, J.E.B.P. (2019). Growth regulators induced shoot regeneration and volatile compound production in *Lippia rotundifolia* Cham., a threatened medicinal plant. *Industrial Crops and Products*, 137(15), 401-409, doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.050>.
- Jones, A. M., Saxena, P. K. and Murch, S.J. (2009). Elicitation of secondary metabolism in *Echinacea purpurea* L. by gibberellic acid and triazoles. *Engineering in Life Sciences*, 9(3), 205-210, doi: <https://doi.org/10.1002/elsc.200800104>.
- Jungklang, J., Saengnil, K. and Uthaibutra, J. (2017). Effects of water-deficit stress and paclobutrazol on growth, relative water content, electrolyte leakage, proline content and some antioxidant changes in *Curcuma alismatifolia* Gagnep. cv. Chiang Mai Pink. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(7), 1505-1512, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.09.017>.
- Kulak, M., Jorrín-Novoa, J.V., Romero-Rodríguez, M.C., Yildirim, E.D., Gul, F. and Karaman, S. (2021). Seed priming with salicylic acid on plant growth and essential oil composition in basil (*Ocimum basilicum* L.) plants grown under water stress conditions. *Industrial Crops & Products*, 161, doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113235>.
- Mansouri, H. and Asrar, Z. (2012). Effects of abscisic acid on content and biosynthesis of terpenoids in *Cannabis sativa* at vegetative stage. *Biologia Plantarum*, 56(1), 153-156, doi: <https://doi.org/10.1007/s10535-012-0033-2>.
- Nuraini, A, Nugroho, P.S., Sutari, W., Mubarak, S. and Hamdani, J.S. (2021). Effects of cytokinin and paclobutrazol application time on growth and yield of G2 potato (*Solanum tuberosum* L.) medians cultivar at medium altitude in Indonesia. *Agriculture and Natural Resources*, 55(2), 171-176.

- Prins, C.L., Vieira, I.J.C. and Freitas, S.P. (2010). Growth regulators and essential oil production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 22(2), 91-102, doi: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202010000200003>.
- Rezazadeh, A., Harkess, R.L. and Bi, G. (2016). Effects of paclobutrazol and flurprimidol on water stress amelioration in potted red firespike. *HortTechnology*, 26(1), 26-29, doi: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.26.1.26>.
- Sharafzadeh, S. and Zare, M. (2011). Influence of growth regulators on growth and secondary metabolites of some medicinal plants from Lamiaceae family. *Advances in Environmental Biology*, 5(8), 2296-2302.
- Singh, C. B., Chanu, S.B., Bidyababy, Th., Devi, W.R., Singh, S.B., Nongalleima, Kh., Lokendrajit. N., Swapana, N. and Singh, L.W. (2013). Biological and chemical properties of *Kaempferia galanga* L. - a Zingiberaceae plant. *A Journal of Environment and Biodiversity*, 4(4), 35-41.
- Singh, V., Sood, R., Ramesh, K., and Singh, B. (2008). Effects of growth regulator application on growth, flower, oil yield, and quality of clary sage (*Salvia sclarea* L.). *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 14(1-2), 29-36.
- Soumya, P.R., Kumar, P. and Pal, M. (2017). Paclobutrazol: A novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. *Indian Journal of Plant Physiology*, 22(3), 267-278.
- Stancheva, I., Geneva, M., Georgiev, G., Todorova, M. and Evstatieva, L. (2010). Essential oil variation of *Salvia officinalis* leaves during vegetation after treatment with foliar fertilizer and thidiazuron. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41(3), 244-249.
- Tekalign, T. and Hammes, P. S. (2005). Growth and biomass production in potato grown in the hot tropics as influenced by paclobutrazol. *Plant Growth Regulation*, 45(1), 37-46.
- Yoshioka, Y., Yoshimura, N., Matsumura, S., Wada, H., Hoshino, M., Makino, S. and Morimoto, M. (2019). α -Glucosidase and pancreatic lipase inhibitory activities of diterpenes from Indian mango ginger (*Curcuma amada* Roxb.) and its derivatives. *Molecules*, 24(22), 4071-4083.

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
แบบพาราโบลาภายใต้สภาวะอากาศที่มีเมฆเต็มท้องฟ้า
Mathematical Modelling of a Parabolic Solar Dryer
under Overcast Sky Condition

อรวรรณ อัมพร^{1*} ภูธเนศ แสงจรูญ¹ และเสริม จันทร์ฉาย¹
Orawan Aumporn^{1*} Phoothanet Saengcharoon¹ and Serm Janjai¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาภายใต้สภาวะอากาศที่มีเมฆเต็มท้องฟ้า แบบจำลองนี้มีพื้นฐานจากสมการการถ่ายโอนความร้อน โดยจะพิจารณาถึงคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาที่สภาวะคงที่ และหาผลเฉลยทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีผลต่างอันดับ โดยใช้โปรแกรม compaq visual FORTRAN 6.5 จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของผลที่ได้จากแบบจำลองด้วยการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกัน โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.897 และ RMSE เท่ากับ 1.083

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ การสร้างแบบจำลอง การถ่ายโอนความร้อน สภาวะอากาศที่มีเมฆเต็มท้องฟ้า

¹ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

* Corresponding author e-mail: aumporn_o@silpakorn.edu

Received: 21 March 2022, Revised: 18 April 2022, Accepted: 21 April 2022

Abstract

The objective of this paper is to develop mathematical modelling of a parabolic solar dryer under overcast sky condition. The model is based on heat transfer equation which considers the thermophysical properties of drying air at steady state. The solution of this model is solved using a Finite difference method from the heat transfer equation. The numerical method using a Compaq Visual FORTRAN 6.5 program. Validation of the model was carried out by comparing the simulation results calculated from the model and the results obtained from the experiments. It was found that both results were in good consistency with $R^2 = 0.897$ and $RMSE = 1.083$.

Keywords: Solar dryer, Modelling, Heat transfer, Overcast sky condition

ศัพท์เฉพาะ

A_c	พื้นที่ผิวของแผ่นโพลีคาร์บอเนต	m^2
A_f	พื้นที่ผิวของพื้นคอนกรีต	m^2
$C_{p,a}$	ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ	$J/kg \cdot K$
$C_{p,c}$	ความจุความร้อนจำเพาะของแผ่นโพลีคาร์บอเนต	$J/kg \cdot K$
$C_{p,f}$	ความจุความร้อนจำเพาะของพื้นคอนกรีต	$J/kg \cdot K$
$h_{c,c-a}$	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อนระหว่างแผ่นโพลีคาร์บอเนตกับอากาศ	$W/m^2 \cdot K$
$h_{c,f-a}$	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อนระหว่างพื้นคอนกรีตกับอากาศ	$W/m^2 \cdot K$
h_w	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อนระหว่างแผ่นโพลีคาร์บอเนตกับอากาศแวดล้อม	$W/m^2 \cdot K$
$h_{r,c-sky}$	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนระหว่างแผ่นโพลีคาร์บอเนตกับท้องฟ้า	$W/m^2 \cdot K$
$h_{r,c-f}$	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนระหว่างแผ่นโพลีคาร์บอเนตกับพื้นคอนกรีต	$W/m^2 \cdot K$
I	ความเข้มรังสีอาทิตย์	W/m^2
k_c	การนำความร้อนของแผ่นโพลีคาร์บอเนต	$W/m \cdot K$
m_a	มวลของอากาศ	kg
m_c	มวลของแผ่นโพลีคาร์บอเนต	kg
m_f	มวลของพื้นคอนกรีต	kg

ศัพท์เฉพาะ

P_u	พลังงานที่ทำให้อากาศมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	W
T_a	อุณหภูมิของอากาศ	K
T_{amb}	อุณหภูมิอากาศของสิ่งแวดล้อม	K
T_c	อุณหภูมิของแผ่นโพลีคาร์บอเนต	K
T_f	อุณหภูมิของพื้นคอนกรีต	K
T_{sky}	อุณหภูมิของท้องฟ้า	K
U_c	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจากอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาสุญญากาศ	W/m ² ·K
σ	ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann	W/m ² ·K
δ_c	ความหนาของแผ่นโพลีคาร์บอเนต	m
τ_c	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของแผ่นโพลีคาร์บอเนต	-
α_c	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของแผ่นโพลีคาร์บอเนต	-
α_f	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นคอนกรีต	-
ε_c	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของแผ่นโพลีคาร์บอเนต	-

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่งที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้เองตามธรรมชาติ อีกทั้งยังมีศักยภาพสูงในการนำไปใช้ประโยชน์ ส่งผลให้มีการนำมาใช้งานอย่างหลากหลาย ทั้งในรูปแบบของการผลิตความร้อนและการผลิตกระแสไฟฟ้า มนุษย์ใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นเวลานาน โดยเฉพาะในด้านการถนอมอาหารหรือที่เรียกว่า การตากแห้ง ซึ่งเป็นวิธีถนอมอาหารที่ถูกใช้มานาน (Prakash and Kumar, 2013; Pirasteh *et al.*, 2014) ปัจจุบันมีการพัฒนาการตากแห้งให้มีคุณภาพมากขึ้น โดยการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีและถูกสุขลักษณะ ทั้งยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ได้อีกทางหนึ่ง (Nabnean *et al.*, 2016; Udomkun *et al.*, 2020)

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศเกษตรกรรม โดยบางฤดูกาลมีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมากเกินความต้องการของตลาด จึงพัฒนาการแปรรูปผลผลิตเหล่านั้น หนึ่งในวิธีการแปรรูปคือการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร เช่น การแปรรูปกล้วยน้ำว้า ยางพาราแผ่น และพืชสมุนไพร (Laksono *et al.*, 2017; Aumporn *et al.*, 2021; Nabnean and Nimnuan, 2021) เนื่องจากสามารถใช้งานได้สะดวกและอบแห้งผลผลิตสดได้ครั้งละจำนวนมาก (เสริม และบุศราภรณ์, 2559; Aumporn *et al.*, 2021) อีกทั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาสามารถทำงานได้โดยไม่อาศัยพลังงานไฟฟ้า จึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในพื้นที่ห่างไกล นอกจากนี้บางงานวิจัยยังพบว่าเครื่องอบแห้งประเภทนี้สามารถใช้งานได้ แม้ช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแดดหรือมีเมฆปกคลุมท้องฟ้า พิจารณาได้จากอุณหภูมิอากาศในเครื่องอบแห้งที่มีค่าเหมาะสมแก่การอบแห้งผลิตภัณฑ์

Uwitije (2018) ได้ทำการศึกษาและจำลองแบบการอบแห้งในประเทศรวันดา พบว่าอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมและความเข้มรังสีอาทิตย์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร และจากงานวิจัยของภูธนศ (2562) ที่ทำการทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาขนาดครัวเรือน พบว่าในสภาพอากาศที่มีฝนตกหรือมีเมฆเต็มท้องฟ้าในช่วงของการทดลอง จะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งมีค่าลดลง แต่ยังสามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์จนกระทั่งผลิตภัณฑ์แห้ง โดยใช้ระยะเวลาอบแห้งน้อยกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Aumporn *et al.* (2021) ได้ทำการอบแห้งยางพาราแผ่นโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา พบว่าแม้ในสภาวะอากาศที่แปรปรวน เช่น ฝนตก และมีเมฆปกคลุมท้องฟ้า อุณหภูมิอากาศในเครื่องอบแห้ง ยังคงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการอบแห้งยางพาราแผ่น จากการศึกษาวิจัยเชิงการจำลองแบบของ Mobtaker *et al.* (2019) ได้พัฒนาและตรวจสอบแบบจำลองเพื่อศึกษาปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมายังเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลจากการทดลอง โดยมีค่า MPE MBE และ RMSE เท่ากับ 1.12 เปอร์เซ็นต์ 0.53 องศาเซลเซียส และ 2.82 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมี Bekkioui (2021) ที่ทำการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการอบแห้งไม้ พบว่าเครื่องอบแห้งที่มีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์มากจะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศในเครื่องอบแห้งสูงขึ้น และแผ่นปกคลุมเครื่องอบแห้งมีผลต่ออุณหภูมิอากาศในเครื่องอบแห้งเช่นกัน

จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาสามารถทำงานได้ แม้ในสภาวะอากาศที่มีเมฆเต็มท้องฟ้า ซึ่งไม่มีรังสีอาทิตย์ตรงผ่านเข้าในเครื่องอบแห้ง จึงมีเพียงรังสีกระจายเท่านั้นที่สามารถทำความร้อนให้แก่เครื่องอบแห้งได้ ซึ่งความคิดข้างต้นนี้สามารถยืนยันได้โดยอาศัยการทดลองหรือการสร้างแบบจำลอง แต่เนื่องจากการคาดการณ์วันที่สภาพท้องฟ้ามีเมฆเต็มท้องฟ้าเป็นไปได้ยาก วิธีการทดลองจึงมีความไม่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน ดังนั้นวิธีที่จะสามารถนำมายืนยันความคิดดังกล่าวได้ดี คือ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical modelling) สำหรับใช้แสดงให้เห็นผลของความเข้มรังสีอาทิตย์ในสภาวะอากาศที่มีเมฆเต็มท้องฟ้าต่ออุณหภูมิของอากาศในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา

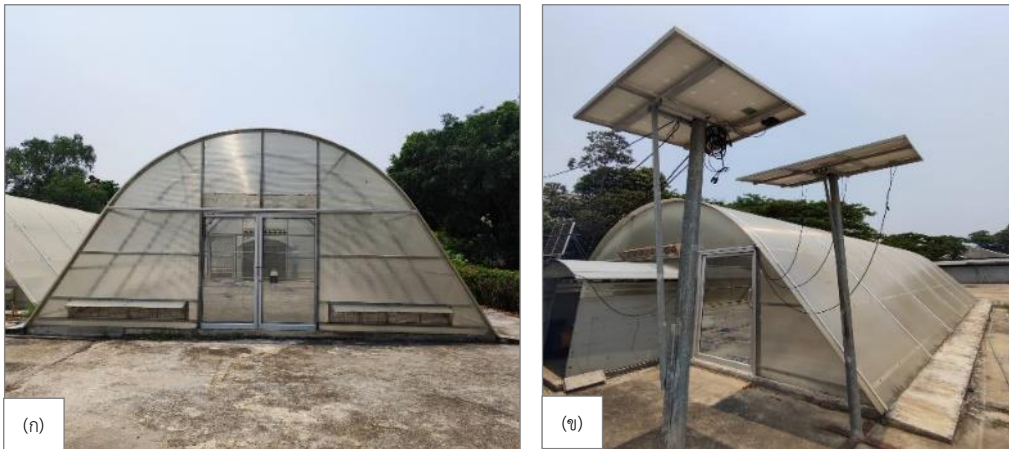
งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถนำมาใช้คำนวณอุณหภูมิอากาศในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ในสภาวะอากาศที่มีเมฆเต็มท้องฟ้า

วิธีดำเนินการวิจัย

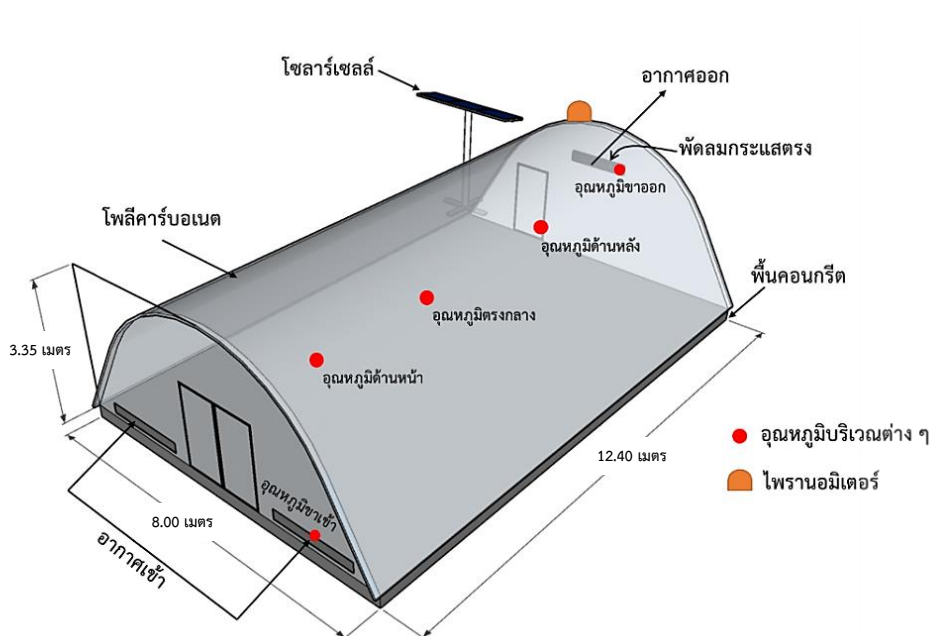
1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาติดตั้ง ณ ลานทดลองพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (ละติจูด 13.8667°N ลองจิจูด 100.1917°E) เครื่องอบแห้งนี้ประกอบด้วยหลังคารูปทรงพาราโบลาซึ่งทำจากโพลีคาร์บอเนตโปร่งแสง วางอยู่บนพื้นคอนกรีต โดยแผ่นปกคลุมโพลีคาร์บอเนตมีการส่งผ่านแสงสำหรับรังสีคลื่นสั้นค่อนข้างสูง (0.8) ในขณะที่ค่าการส่งผ่านแสงของรังสีคลื่นยาวมีค่าต่ำ (0.2)

(Aumporn, 2017) จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกภายในเครื่องอบแห้งได้ดี โครงสร้างของเครื่องอบแห้งทำจากเหล็กชุบกัลวาไนซ์เพื่อกันสนิมที่ด้านหลังของเครื่องอบแห้ง ติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (14.4 วัตต์) จำนวน 9 ตัว ซึ่งทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ (50 วัตต์) จำนวน 3 แผง สำหรับดูดอากาศขึ้นภายในเครื่องอบแห้งออกสู่อากาศแวดล้อม และที่บริเวณด้านหน้าของเครื่องอบแห้ง จะมีช่องอากาศเข้าขนาด 0.3×2.2 ตารางเมตร (ภาพที่ 1 และ 2)



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง



ภาพที่ 2 โครงสร้างของเครื่องอบแห้งแบบพาราโบลาและตำแหน่งการวัดอุณหภูมิอากาศที่บริเวณต่าง ๆ พร้อมทั้งตำแหน่งที่วัดความเข้มรังสีอาทิตย์

2. ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองนี้บันทึกค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงที่ท้องฟ้ามีสภาพอากาศแบบมีเมฆเต็มท้องฟ้าด้วยเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (pyranometer ยี่ห้อ Kipp & Zonen รุ่น CMP11, accuracy $\pm 0.5\%$) ที่ถูกติดตั้งไว้บริเวณด้านบนของเครื่องอบแห้ง และวัดอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง จำนวน 4 ตำแหน่ง (ภาพที่ 2) ด้วยเทอร์โมคัปเปิล ชนิดเค ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองถูกเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DC100) เพื่อบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 17.00 น. ของวันที่ทำการบันทึกข้อมูล

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อทำนายประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา โดยมีเงื่อนไขในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

- (1) ไม่มีการแบ่งชั้นของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง
 - (2) คุณสมบัติทางกายภาพและทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศมีค่าคงที่
 - (3) การสูญเสียความร้อนจากพื้นคอนกรีตสู่พื้นดินมีค่าเพียงเล็กน้อย
 - (4) อุณหภูมิอากาศเริ่มต้นของเครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม
- สมการการถ่ายโอนความร้อนของแผ่นโพลีคาร์บอเนต แสดงดังสมการ (1)

$$m_c C_{p,c} \frac{\partial T_c}{\partial t} = A_c h_{c-a}(T_a - T_c) + A_c h_w(T_{amb} - T_c) + A_c h_{r,c-sky}(T_{sky} - T_c) + A_c h_{r,c-f}(T_f - T_c) + A_c \alpha_{cl} \quad (1)$$

เมื่อ $m_c C_{p,c} \frac{\partial T_c}{\partial t}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของแผ่นโพลีคาร์บอเนต (วัตต์)

$A_c h_{c-a}(T_a - T_c)$ คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อนระหว่างแผ่นโพลีคาร์บอเนตกับอากาศ (วัตต์)

$A_c h_w(T_{amb} - T_c)$ คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อนระหว่างแผ่นโพลีคาร์บอเนตกับอากาศแวดล้อม (วัตต์)

$A_c h_{r,c-sky}(T_{sky} - T_c)$ คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนระหว่างแผ่น โพลีคาร์บอเนตกับท้องฟ้า (วัตต์)

$A_c h_{r,c-f}(T_f - T_c)$ คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนระหว่างแผ่น โพลีคาร์บอเนตกับพื้นคอนกรีต (วัตต์)

$A_c \alpha_{cl}$ คือ การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของแผ่นโพลีคาร์บอเนต (วัตต์)

สมการการถ่ายโอนความร้อนของอากาศในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา แสดงดังสมการ (2)

$$m_a C_{p,a} \frac{\partial T_a}{\partial t} = A_c h_{c-a}(T_c - T_a) + A_c h_{c,f-a}(T_f - T_a) + A_c U_c(T_{amb} - T_a) + P_u \quad (2)$$

เมื่อ $m_a C_{p,a} \frac{\partial T_a}{\partial t}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของอากาศ (วัตต์)

$A_{ch_{c,a}}(T_c - T_a)$ คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อนระหว่างแผ่นโพลีคาร์บอเนตกับอากาศ (วัตต์)

$A_{fh_{c,f-a}}(T_f - T_a)$ คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อนระหว่างพื้นคอนกรีตกับอากาศ (วัตต์)

$A_c U_c (T_{amb} - T_a)$ คือ การสูญเสียความร้อนสู่อากาศแวดล้อม (วัตต์)

P_u คือ พลังงานที่ทำให้อากาศมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (วัตต์)

สมการการถ่ายโอนความร้อนของพื้นคอนกรีต แสดงดังสมการ (3)

$$m_f C_{p,f} \frac{\partial T_f}{\partial t} = A_{fh_{c,f-a}}(T_a - T_f) + A_{fh_{r,c-f}}(T_c - T_f) + A_{ftc} \alpha_{ft} \quad (3)$$

เมื่อ $m_f C_{p,f} \frac{\partial T_f}{\partial t}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของพื้นคอนกรีต (วัตต์)

$A_{fh_{c,f-a}}(T_a - T_f)$ คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อนระหว่างพื้นคอนกรีตกับอากาศในเครื่องอบแห้ง (วัตต์)

$A_{fh_{r,c-f}}(T_c - T_f)$ คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนระหว่างพื้นคอนกรีตกับแผ่นโพลีคาร์บอเนต (วัตต์)

$A_{ftc} \alpha_{ft}$ คือ การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นคอนกรีต (วัตต์)

สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อนระหว่างแผ่นโพลีคาร์บอเนตกับอากาศแวดล้อม สามารถคำนวณได้จากสมการ (4) (Aumporn, 2017)

$$h_w = 1.32 |T_c - T_{amb}|^{0.25} \quad (4)$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนโดยการรังสีความร้อนระหว่างแผ่นโพลีคาร์บอเนตกับท้องฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการ (5) (Aumporn, 2017)

$$h_{r,c-sky} = \epsilon_c \sigma (T_c^2 + T_{sky}^2) (T_c + T_{sky}) \quad (5)$$

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจากอากาศภายในเครื่องอบแห้งสู่สภาพแวดล้อมสามารถคำนวณได้จากสมการ (6) (Aumporn, 2017)

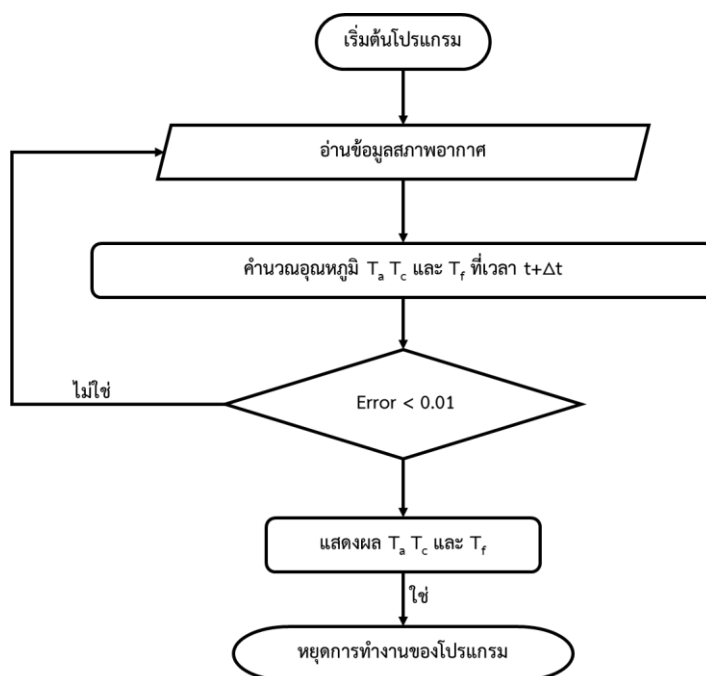
$$U_c = k_c / \delta_c \quad (6)$$

4. ขั้นตอนการแก้ปัญหา

เริ่มต้นโดยการแก้สมการที่ (1) - (3) ด้วยวิธีการผลต่างอันดับ (finite difference method) และเพื่อให้สะดวกต่อการหาผลเฉลยของสมการ ผู้วิจัยจึงจัดสมการที่ (1) - (3) หลังจากแก้สมการด้วยวิธีการผลต่างอันดับให้อยู่ในระบบเมทริกซ์ (matrix) ดังสมการที่ (7)

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_c \\ T_a \\ T_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

จากนั้นจะเขียนโปรแกรมโดยใช้ compact visual FORTRAN 6.5 เพื่อคำนวณอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้ง โดยโปรแกรมจะเริ่มต้นจากการคำนวณข้อมูลสภาพอากาศ (ความชื้นรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม) จากนั้นจะนำสภาพอากาศที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนต่าง ๆ รวมถึงอุณหภูมิแผ่นโพลีคาร์บอเนต พื้นคอนกรีต และอากาศในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยผลต่างของอุณหภูมิจะต้องไม่เกิน 0.01 โปรแกรมจึงจะหยุดทำงาน (ภาพที่ 3) และแสดงผลอุณหภูมิที่คำนวณได้ หากผลต่างของอุณหภูมิมียิ่งมากกว่า 0.01 จะเริ่มการคำนวณอุณหภูมิใหม่ และทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกว่าจะได้ผลตามต้องการ โดยจะทำการคำนวณในช่วงเวลา Δt เท่ากับ 600 และกระบวนการนี้จะทำซ้ำจนกว่าจะถึงเวลาสุดท้ายที่กำหนดไว้



ภาพที่ 3 แผนผังการทำงานของโปรแกรม compaq visual FORTRAN 6.5

สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ผู้วิจัยใช้พารามิเตอร์ทางสถิติสองชนิด คือ รากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (root mean square error: RMSE) (เสริม, 2560) และสัมประสิทธิ์การอธิบาย (coefficient of determination: R^2) (Thakur, 2022) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ดังสมการ (8) และ (9)

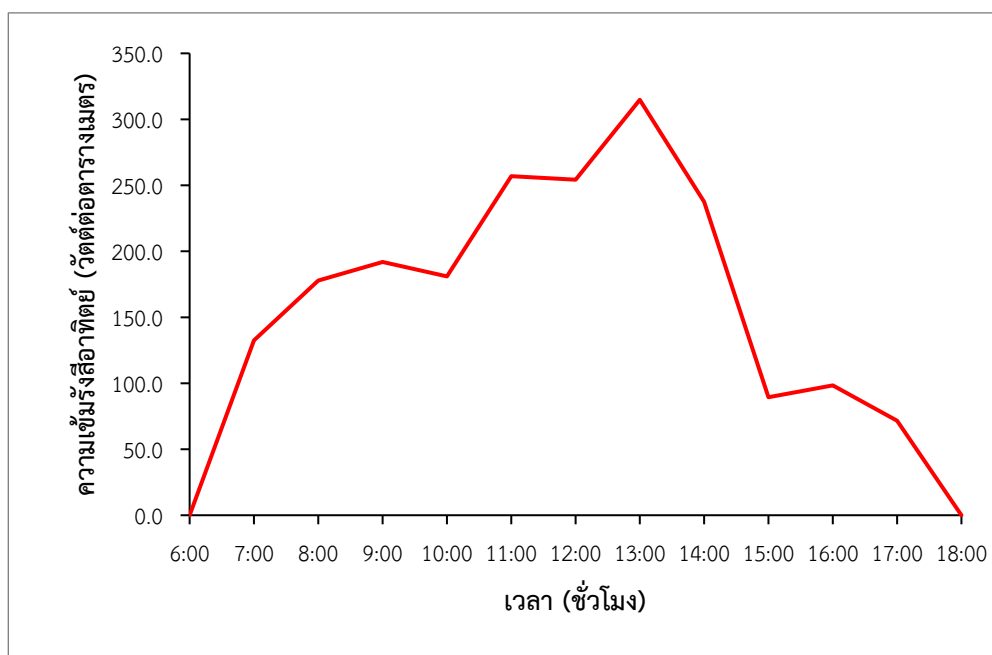
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_{pre,i} - y_{meas,i})^2}{N}} \quad (8)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum [(X - X_m) \cdot (Y - Y_m)]}{\sqrt{[\sum (X - X_m)^2 \cdot \sum (Y - Y_m)^2]}} \right)^2 \quad (9)$$

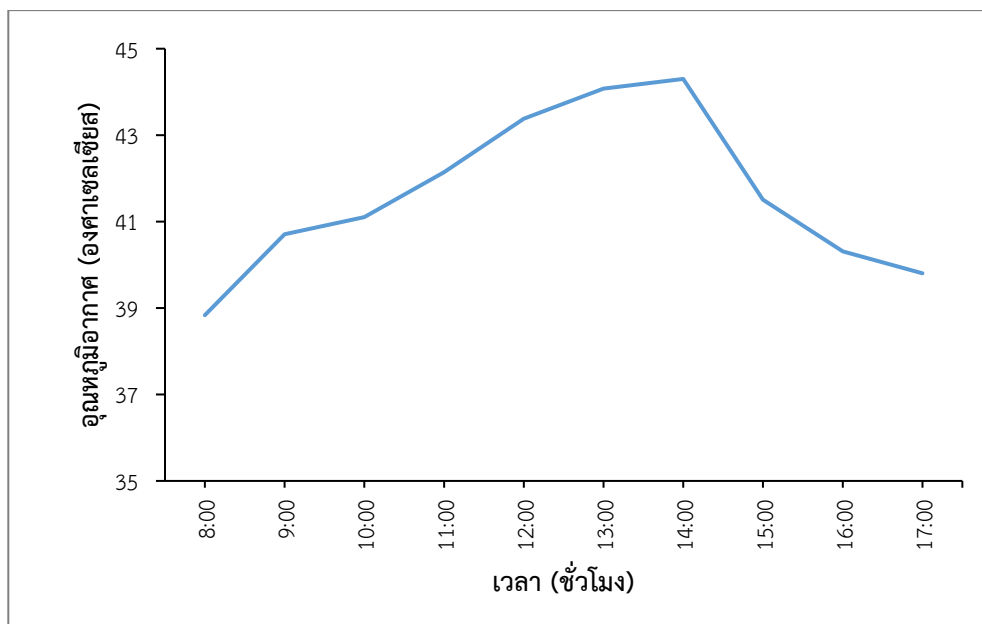
ผลการวิจัย

1. ผลการทดลอง

จากภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีอาทิตย์กับระยะเวลาในการทดลอง โดยกราฟการแปรค่ารังสีอาทิตย์จะมีลักษณะคล้ายกับรูปทรงพาราโบลา เนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของโลกทำให้ปริมาณรังสีอาทิตย์มีค่าต่ำในช่วงเช้า จากนั้นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และลดต่ำลงในช่วงเวลาเที่ยงจนถึงเย็น (เสริม, 2560) ซึ่งในวันที่ทำการทดลองสภาพท้องฟ้ามีเมฆอยู่เต็มท้องฟ้า จึงส่งผลให้ความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าต่ำ ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้ง ช่วง 08.00 - 11.00 น. มีค่าประมาณ 40 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง 12.00 - 14.00 น. (ภาพที่ 5) เนื่องจากปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effect) ซึ่งรังสีอาทิตย์สามารถส่งผ่านเข้ามาในเครื่องอบแห้งได้มาก และรังสีคลื่นยาวที่แผ่จากองค์ประกอบภายในเครื่องอบแห้งส่งผ่านออกไปภายนอกได้น้อย ทำให้เกิดการสะสมของพลังงานความร้อนภายในเครื่องอบแห้ง อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งจึงมีค่าสูงขึ้น (Srinivasan and Muthukumar, 2021) หลังจากนั้นอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งจะค่อย ๆ ลดลงเนื่องจากปริมาณรังสีอาทิตย์ลดต่ำลง โดยอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา มีค่าสูงสุดประมาณ 44 องศาเซลเซียส



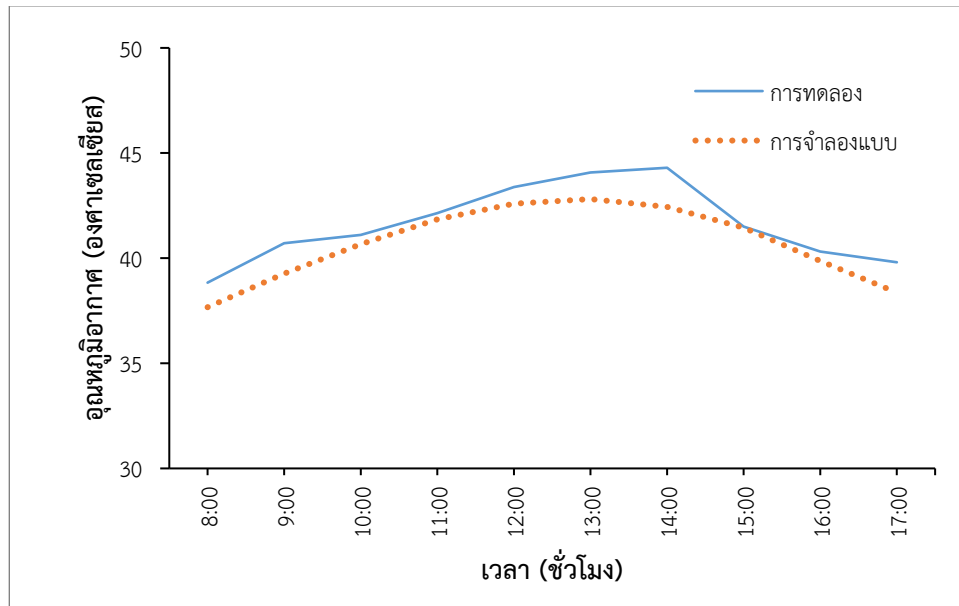
ภาพที่ 4 การแปรค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เทียบกับเวลาในวันที่สภาพอากาศที่มีเมฆเต็มท้องฟ้า (วันที่ 18 กันยายน 2563)



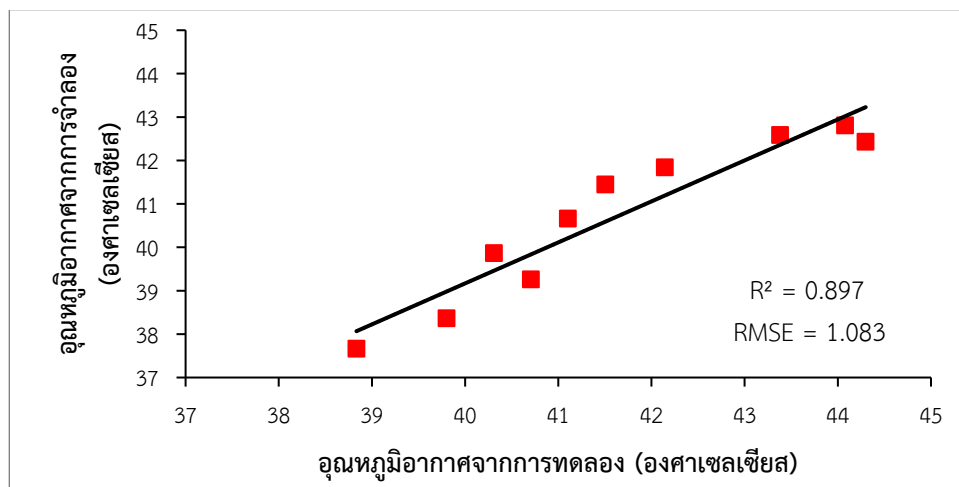
ภาพที่ 5 การแปรค่าอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาเทียบกับเวลาในวันที่สภาพอากาศมีเมฆเต็มท้องฟ้า (วันที่ 18 กันยายน 2563)

2. ผลการจำลองแบบ

จากภาพที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาที่ได้จากการจำลองแบบกับอุณหภูมิอากาศที่ได้จากการทดลองในช่วงระยะเวลาการทดลองภายใต้สภาวะอากาศที่มีเมฆเต็มท้องฟ้า พบว่าอุณหภูมิอากาศที่ได้จากแบบจำลองและการทดลองมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยมีอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง 08.00 - 14.00 น. จากนั้นจะค่อย ๆ ลดต่ำลง และพบว่าอุณหภูมิจากการจำลองแบบภายใต้สภาวะอากาศที่มีเมฆเต็มท้องฟ้ามีค่าต่ำกว่าการทดลองเพียงเล็กน้อย และจากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศที่ได้จากแบบจำลองและการทดลองพบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.897 และค่า RMSE เท่ากับ 1.083 (ภาพที่ 7) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้มีความสอดคล้องกัน



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศจากแบบจำลองกับอุณหภูมิอากาศจากการทดลองในช่วงเวลาที่ทำกรทดลอง



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศจากแบบจำลองกับอุณหภูมิอากาศจากการทดลอง

การอภิปรายผลการวิจัย

ผลอุณหภูมิของอากาศในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาที่ได้จากการจำลองแบบเมื่อเปรียบเทียบกับผลจากการทดลอง พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยผลของอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาที่ได้จากการจำลองแบบมีค่าต่ำกว่าผลจากการทดลอง ซึ่งเกิดจากการนำค่าสภาวะอากาศ (ความชื้นรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ แวลลุ่ม และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวลลุ่ม) ที่ได้จากการคำนวณ โดยอาศัยข้อมูลของสภาวะ

อากาศที่มีเมฆเต็มท้องฟ้าที่บันทึกไว้ในระยะเวลา 1 ปี มาใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากผลการทดลอง จึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนและมีค่าน้อยกว่าผลการทดลอง และจากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศที่ได้จากแบบจำลองและการทดลองพบว่าค่าที่ได้มีความสอดคล้องกัน โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.897 และค่า RMSE เท่ากับ 1.083 ซึ่งสามารถยอมรับได้ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้กำหนดเงื่อนไขให้ความร้อนส่งผ่านจากพื้นคอนกรีตไปยังพื้นดินมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงไม่นำการถ่ายโอนความร้อนระหว่างคอนกรีตและพื้นดินมาพิจารณาในสมการการถ่ายโอนความร้อน นอกจากนี้สมการสำหรับการคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนเป็นสมการเอมไพริคัล ซึ่งอาจส่งผลต่อการจำลอง ดังนั้นหากเลือกใช้สมการที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้นอาจทำให้ R^2 และ RMSE มีค่าที่ดีมากยิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

สภาพภูมิอากาศที่แปรปรวน เช่น มีเมฆเต็มท้องฟ้า เป็นปัญหาที่สำคัญของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาลดลง งานวิจัยนี้จึงทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาภายใต้สภาพอากาศที่มีเมฆเต็มท้องฟ้า เพื่อศึกษาผลของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา พบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.897 และค่า RMSE เท่ากับ 1.083 ซึ่งสามารถยอมรับได้และแบบจำลองนี้สามารถนำมาใช้งานได้จริง

เอกสารอ้างอิง

- ภูธเนศ แสงเจริญ. (2562). การปรับปรุงเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือนแบบมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรีสำหรับการอบแห้งกล้วยน้ำว้า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี, ลพบุรี.
- เสริม จันทรฉาย และบุศราภรณ์ มหาโยธี. (2559). การพัฒนาการผลิตกล้วยตากในชุมชนกล้วยตากอำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก. *Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University*, 3(6), 310-322.
- เสริม จันทรฉาย. (2560). *รังสีอาทิตย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). นครปฐม: บริษัท เพชรเกษมพรินติ้ง กรุ๊ป จำกัด.
- Aumporn, O. (2017). *Contribution à l'étude des performances d'un séchoir serre avec stockage de chaleur dans des matériaux à changement de phase*. Thèse pour obtenir le grade de docteur, Université de Perpignan via Domitia, Perpignan.
- Aumporn, O., Pankaew, P., Chanpen, N., and Janjai, S. (2021). Experimental performance and auto-regressive with eXogenous Input (ARX) modelling of an anti-uv polycarbonate sheet-covered solar dryer equipped with a control system for drying Para rubber sheets. *Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology*, 16(2), 68-80.

- Aumporn, O., Wattan, R., Pattarapanitchai, S., Sangsan, M. and Janjai, S. (2021). Study of large-scale solar dryer equipped with monitoring and control systems for banana drying. *Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology*, 16(2), 1-16.
- Bekkioui, N. (2021). Performance comparison and economic analysis of three solar dryer designs for wood using a numerical simulation. *Renewable Energy*, 164, 815-823, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.126>.
- Laksono, W.P., Damayanti, W.R., Cahyono, I.S. and Arif Muttaqin, I.B. (2017). Performance evaluation of solar dryer with a biomass stove to meet Indonesian National Standard of ginger simplisia. *Energy Technology and Policy*, 13(4), 378-398, doi: <https://doi.org/10.1504/IJETP.2017.10006308>.
- Mobtaker, H.G., Ajabshirchi, Y., Ranjbar S.F. and Matloob, M. (2019). Simulation of thermal performance of solar greenhouse in north-west of Iran: An experimental validation. *Renewable Energy*, 135, 88-97, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.003>.
- Nabnean, S., Janjai, S., Thepa, S., Sudaprasert, K., Songprakorp, R. and Bala, B.K. (2016). Experimental performance of a new design of solar dryer for drying osmotically dehydrated cherry tomatoes. *Renewable Energy*, 94, 147-156, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.013>.
- Nabnean, S., Nimnuan, P. (2020). Experimental performance of direct forced convection household solar dryer for drying banana. *Thermal Science and Engineering Progress*, 22, doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100787>.
- Pirasteh, G., Saidur, R., Rahman, S.M.A. and Rahim, N.A. (2014). A review on development of solar drying applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 133-148, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.052>.
- Prakash, O. and Kumar, A. (2013). Historical review and recent trends in solar drying systems. *International Journal of Green Energy*, 10(7), 690-738, doi: <https://doi.org/10.1080/15435075.2012.727113>.
- Srinivasan, G. and Muthukumar, P. (2021). A review on solar greenhouse dryer: Design, thermal modelling, energy, economic and environmental aspects. *Solar Energy*, 229, 3-21, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.04.058>.
- Thakur, M. (2022). *Coefficient of Determination Formula*. Retrieved 10 April 2022, from: <https://www.educba.com/coefficient-of-determination-formula/>.
- Udomkun, P., Romuli, S., Schock, S., Mahayothee, B., Sartas, M., Wossen, T., Njukwe, E., Vanlauwe, B. and Müller, J. (2020). Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach. *Journal of Environmental Management*, 268, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110730>.
- Uwitije, D.P. (2018). *Study and simulation of a solar system for drying purpose in Rwanda*. Master's program. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

อิทธิพลของรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันต่อการรอดชีวิต และการเปลี่ยนแปลง ลักษณะทางสัณฐานวิทยาในเมล็ดดาวกระจาย

Effect of Acute Gamma Radiation on Survival Rate and Morphological Change from Seed of *Cosmos sulphureus* Cav.

ประดิพันธ์ ทองแถม ณ อยุธยา^{1*} สุมิตา คนสนุก¹ และอนัญญา วงศ์วานรุ่งเรือง²

Pradipunt Thongtam na Ayudhaya^{1*} Sumita Konsanuk¹

and Ananya Vongvanrungrueng²

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของรังสีแกมมาแบบเฉียบพลัน อัตราการอยู่รอด และการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดาวกระจาย (*Cosmos sulphureus* Cav.) โดยใช้เมล็ดดาวกระจายนำไปฉายรังสีแกมมาที่ศูนย์วิจัยนิวเคลียร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ปริมาณรังสี 0 100 200 และ 300 เกรย์ หลังปลูก 30 วันบันทึกผลการงอกของต้นดาวกระจาย อัตราการรอด ความสูงของต้น และจำนวนวันแรกที่ดอกบาน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย พบว่าเมล็ดหลังจากปลูกมีการรอดชีวิตของต้นหลังฉายรังสี 30 วัน ไม่แตกต่างกันที่ปริมาณรังสีขนาด 0 100 และ 200 เกรย์ ในขณะที่ปริมาณ 300 เกรย์ ทำให้การรอดชีวิตต่ำสุด (ร้อยละ 25) และมีค่าขนาดมรณะห้าสิบ (LD₅₀) อยู่ที่ 253 เกรย์ โดยปริมาณรังสี 0 เกรย์ มีความสูงของต้นดาวกระจายมากที่สุด 105.42 เซนติเมตร ให้จำนวนวันออกดอกที่เร็วที่สุดคือ 50 วัน ปริมาณรังสีที่ระดับ 100 เกรย์ ทำให้กลีบดอกดาวกระจายมีลักษณะกลีบดอกเล็กลง และก้านดอกที่ติดกันซึ่งเป็นลักษณะที่น่าสนใจ และนำไปปลูกต่ออีก 3 รุ่น พบการถ่ายทอดลักษณะก้านดอกติดกันในรุ่น M2 ปริมาณรังสีที่ 200 เกรย์ ทำให้ต้นดาวกระจายมีกลีบดอกบิดเบี้ยว ดังนั้นความเข้มของรังสีแกมมาที่ 100 และ 200 เกรย์ ทำให้เกิดการกลายของดอกดาวกระจาย ซึ่งสามารถนำไปใช้ปรับปรุงพันธุ์ของดาวกระจายสายพันธุ์อื่น ๆ ต่อไปได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ดาวกระจาย รังสีแกมมา ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

¹ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

² สำนักงานสวนสาธารณะ สำนักสิ่งแวดล้อม ศาลาว่าการกรุงเทพมหานคร 2

* Corresponding author e-mail: pradipunt.t@gmail.com

Received: 28 March 2022, Revised: 19 April 2022, Accepted: 27 April 2022

Abstract

This research aims to study the effect of acute gamma radiation on the survival rate and morphological change of cosmos (*Cosmos sulphureus* Cav.) The cosmos seeds were irradiated with gamma ray at the Nuclear Technology Research Center, Kasetsart University, by radiation doses of 0, 100, 200, and 300 grays (Gy). Cosmos germination and survival rate were recorded at 30 days after planting. The data was analyzed by statistical variance and compared to the average difference. At 30 days after planting, the survival percentage was not statistically different at 0, 100, and 200 Gy of gamma rays. While the maximum dose is 300 Gy the lowest survival rate is 25% and the lethal dose₅₀ (LD₅₀) is 253 Gy. The dose of 0 Gy contributed to the highest height of a cosmos tree at 105.42 cm. The earliest possessed of flowering days is 50 days. At the radiation dose of 100 Gy, the cosmos petals presented an extra smaller petal and adjoining stalks, which is an interesting feature. After third more generations of planting, the characteristics of the cosmos were showed to adjoining stalks in the M2 and the radiation dose at 200 Gy affected distorted cosmos petals. The result concludes that the suitable gamma concentrations for cosmos results is between 100 and 200 Gy, which triggered the high seeding rate, and mutational rate that can be used to improve in other varieties of cosmos in the future.

Keywords: Cosmos, Gamma ray, Morphology

บทนำ

ดาวกระจายเป็นไม้ดอกที่มีผู้นิยมปลูกกันโดยทั่วไปในบริเวณพื้นที่สภาพอากาศแห้งและร้อน ซึ่งดาวกระจายเป็นพืชที่มีการปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีความแปรปรวน จึงทำให้พืชชนิดนี้มีความสามารถในการขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว (Zhou *et al.*, 2018) ในประเทศไทยดาวกระจายใช้ปลูกเป็นไม้ประดับแปลงส่วนใหญ่ อยู่ในวงศ์ Asteraceae มีทั้งชนิดที่เป็นไม้ดอกล้มลุกและไม้ดอกข้ามปี ดาวกระจายเกือบทุกชนิดจะมีลำต้นตั้งตรงใบเป็นแฉกโปร่งหรือฝอยออกเป็นคู่อยู่ตรงข้ามกัน ดอกสมบูรณ์เพศ ดาวกระจายที่นิยมปลูกกันในปัจจุบันมีเพียง 2 ชนิดเท่านั้นคือ *Cosmos bipinnatus* และ *C. sulphureus* ซึ่งมีถิ่นกำเนิดในประเทศเม็กซิโก ลักษณะต้นเป็นพุ่มสูง 45 เซนติเมตร มีทั้งที่เป็นดอกชั้นเดียวและดอกซ้อน สีเหลือง เหลืองทอง ขาว ชมพู และอาจมีสีดอกสีเหลืองด้วย ลำต้นของดาวกระจายค่อนข้างสูงโดยเฉพาะฤดูฝนจะมีการเจริญเติบโตทางกิ่งก้านมีใบมาก และออกดอกช้าเมื่อปลูกในฤดูหนาว (นันทิยา, 2526) ถึงแม้ว่าดาวกระจายจะไม่ได้เป็นดอกไม้เศรษฐกิจเช่นเดียวกับเบญจมาศ กุหลาบ ก็ตาม แต่ดาวกระจายก็เป็นดอกไม้ที่ได้รับความนิยมมาก เพราะมีการเจริญเติบโตเร็วให้ดอกจำนวนมาก ตัดดอกได้นาน ความต้องการเมล็ดพันธุ์ดาวกระจายเพื่อปลูกในสวนหน้าบ้านของตนเองมีมาอย่างต่อเนื่องและทวีจำนวนมากขึ้นตามระยะเวลา นอกจากจะมีการผลิตเมล็ดดอกสู่

ตลาดปกติแล้ว ยังมีการปรับปรุงพันธุ์ดาวกระจายใหม่ ๆ ที่ให้ออกดอกเร็วและดอกดกเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ปลูกอย่างสม่ำเสมอ (Hawthorn and Pollard, 1954) และเพิ่มความต้องการในด้านความแปลกใหม่ทั้งรูปร่างลักษณะและของสีดอก ตลอดจนการปรับปรุงคุณภาพของพันธุ์ที่มีทรงดอกและสีสวยงามให้มีอายุการใช้งานนานขึ้นเพื่อเพิ่มคุณค่าให้กับดาวกระจาย

การปรับปรุงพันธุ์พืชโดยวิธีเหนี่ยวนำให้เกิดการกลาย (induced mutation) เป็นการเพิ่มอัตราการกลายพันธุ์ให้สูงกว่าที่สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ สิ่งก่อการกลายที่นิยมใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดการกลายในปัจจุบันเช่น รังสี สารเคมี การสอดแทรกดีเอ็นเอ แต่สิ่งก่อการกลายที่นิยมใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดการกลายคือรังสี เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับดีเอ็นเอ ก่อให้เกิดความแปรปรวนทางพันธุกรรมได้เป็นอย่างดี (Tan *et al.*, 2019) สามารถกำหนดปริมาณรังสีที่ต้องการได้ วิธีการฉายรังสีทำได้ไม่ยากปลอดภัยกว่าการใช้สารเคมีและพันธุ์กลายที่ได้อาจมีลักษณะทรงต้น รูปแบบการต่าง รูปร่างของใบที่แตกต่างออกไปจากเดิม (Van Harten, 1998) ซึ่งรังสีที่นิยมใช้ในการชักนำให้เกิดการกลายคือรังสีแกมมาเนื่องจากมีความยาวคลื่นที่ต่างกัน จึงมีอำนาจการทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีเอกซ์ (Wood, 1983) นอกจากนี้การใช้รังสีแกมมาเพื่อชักนำให้เกิดการกลายจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะปรับปรุงพันธุ์ให้เกิดลักษณะใหม่ เป็นการเพิ่มความหลากหลายของพันธุ์และมีโอกาสคัดเลือกลักษณะที่ดี จากฐานข้อมูลของ IAEA พบพืชที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์ด้วยการชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยรังสีแกมมากว่า 3,000 ชนิด (IAEA, 2022) สำหรับการใช้รังสีแกมมาในการปรับปรุงพันธุ์ไม้ดอกไม้ประดับสามารถใช้ได้กับพืชหลายชนิด ได้แก่ ดอกเบญจมาศ (Din *et al.*, 2020) บัวบก (หนึ่งฤทัย และคณะ, 2564; วุฒิพงษ์ และพัฒนา, 2564) บานไม่รู้โรยลูกผสมพันธุ์กลาย (ศรัณยู และคณะ, 2561) ลินเดอร์เนีย (สุพิชชา และคณะ, 2561) กุหลาบหนู (ภิญญารัตน์ และนันทริยา, 2560) การทดลองนี้จึงเป็นการศึกษาผลของรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันต่อความมีชีวิตการเจริญเติบโตและการกลายพันธุ์ของดาวกระจาย (*C. sulphureus* Cav.) เพื่อให้ได้ลักษณะที่แปลกใหม่ เป็นแนวทางในการใช้รังสีแกมมาในการปรับปรุงพันธุ์ไม้ดอกไม้ประดับชนิดอื่น อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มศักยภาพในการนำดาวกระจายไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ผลของรังสีแกมมาต่ออัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของดาวกระจาย

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เมล็ดดาวกระจายทางการค้า ชนิด *C. sulphureus* ที่ให้ดอกสีส้ม นำไปฉายรังสีแกมมาที่มีแหล่งกำเนิดจากไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุซีเซียม-137 (Cs-137) ที่ศูนย์วิจัยนิวเคลียร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยเครื่อง Mark-I Gamma irradiation ใช้ปริมาณรังสี 0 100 200 และ 300 เกรย์ ให้แก่เมล็ดตัวอย่างแบบแห้งทั้งเมล็ด จากนั้นนำมาปลูกในโรงเรือนของศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) โดยแต่ละการทดลองทำ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 30 ต้น จากนั้นนำเมล็ดที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาไปปลูก โดยปลูกในถุงปลูกขนาด 3.5x8 นิ้ว ใช้ดินผสมสำเร็จ ตลอดอายุการทดลองดูแลรักษาต้นดาวกระจายโดยควบคุมการให้น้ำและกำจัดศัตรูพืชอย่างสม่ำเสมอ ทำการบันทึกต้นกล้าที่งอก 14 วันหลังจากต้นกล้าเจริญเต็มที่ และคำนวณหา

ร้อยละการออกของต้นดาวกระจาย โดยให้เมล็ดที่ไม่ได้ฉายรังสีมีอัตราการงอกร้อยละ 100 หลังฉายรังสีที่ 30 วัน นับจำนวนต้นที่รอดตายเพื่อคำนวณค่าขนาดมรณะห้าสิบ (LD₅₀) เปรียบเทียบกับดาวกระจายที่ไม่ได้รับการฉายรังสี ศึกษาความสูงต้นโดยการวัดจากขอบกระถางจนถึงปลายยอด นับจำนวนวันตั้งแต่เริ่มเพาะเมล็ดจนดอกแรกบานเต็มที่ รวบรวมข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 16.0

2. ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของดาวกระจาย

ทำการสังเกตลักษณะที่แตกต่างไปจากเดิมของดาวกระจายในรุ่น M1 หลังจากได้รับการฉายรังสีตลอดการวิจัย แล้วทำการบันทึกภาพ และเลือกพันธุ์กลายไปปลูกต่อในรุ่น M2 M3 และ M4 โดยทำการเก็บเมล็ดเฉพาะดอกมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไป จำนวน 7 เมล็ด เพื่อตรวจสอบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ได้จากการฉายรังสี โดยปลูกในถุงปลูกขนาด 3.5x8 นิ้ว ใช้ดินผสมสำเร็จ ตลอดจนอายุการทดลอง ดูแลรักษาด้านดาวกระจายโดยควบคุมการให้น้ำและกำจัดศัตรูพืชอย่างสม่ำเสมอ

ผลการวิจัย

1. การงอกและการรอดชีวิตของต้นดาวกระจาย

จากการนำเมล็ดดาวกระจาย ไปฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันที่ปริมาณรังสี 0 ถึง 300 เกรย์ แล้วทำการเพาะเมล็ดในแปลงปลูก พบว่าหลังฉายรังสีแกมมา 14 วัน การงอกของต้นกล้ามีความแตกต่างกันเมื่อเทียบระหว่างกลุ่มควบคุม (ไม่ได้รับรังสี) กับกลุ่มที่ได้รับระดับรังสี 100 200 และ 300 เกรย์ พบว่า มีร้อยละการงอกคือ ร้อยละ 80.46 77.01 และ 62.07 ตามลำดับ หลังฉายรังสีแกมมา 30 วัน มีร้อยละของการรอดชีวิตของต้นดาวกระจายที่ได้รับรังสีปริมาณ 100 200 และ 300 เกรย์ เท่ากับ ร้อยละ 80.00 80.00 และ 25.00 ตามลำดับ (ตารางที่1)

ตารางที่ 1 ผลของการฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันต่ออัตราการงอกและรอดชีวิตของต้นดาวกระจายหลังจากได้รับปริมาณรังสีต่างกันเป็นเวลา 30 วัน

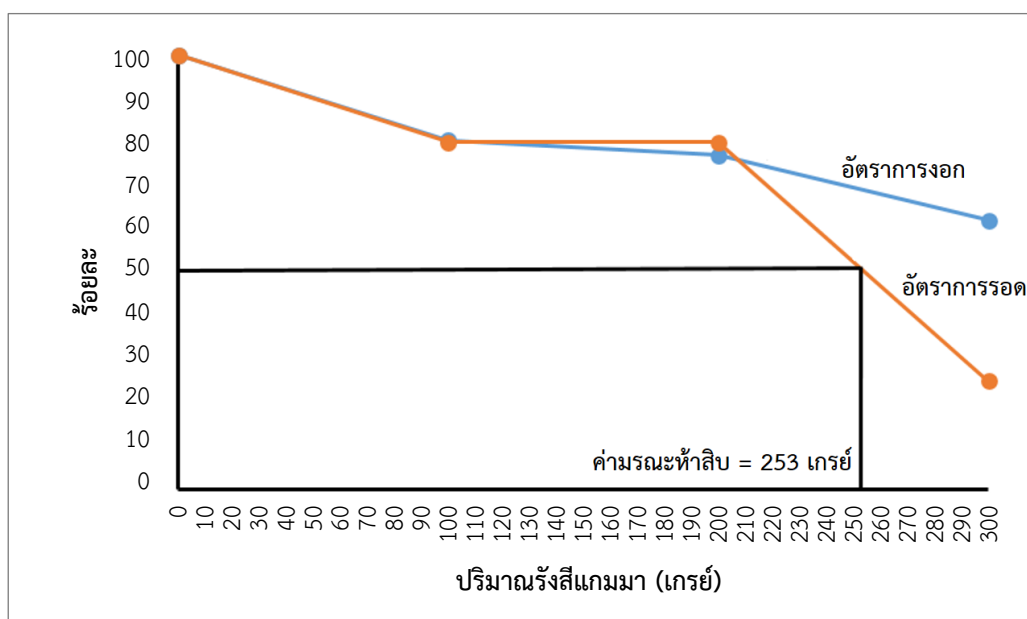
ปริมาณรังสี (เกรย์)	จำนวนต้นที่งอก (ต้น)	การงอกของเมล็ด (ร้อยละ)	จำนวนต้นที่รอดชีวิต (ต้น)	การรอดชีวิต (ร้อยละ)
0	87	100.00 ^a	80	100.00 ^a
100	70	80.46 ^{ab}	64	80.00 ^a
200	67	77.01 ^{ab}	64	80.00 ^a
300	54	62.07 ^b	20	25.00 ^b

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีค่าทางสถิติแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

หลังฉายรังสีแกมมา 14 วัน มีการออกของต้นกล้าในปริมาณที่แตกต่างกันที่ 100 200 และ 300 เกรย์ จากข้อมูลการรอดชีวิตดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าระยะห่างลิบ พบว่ามีค่าเท่ากับ 280 เกรย์ ดังภาพที่ 1

2. การเจริญเติบโตของต้นดาวกระจาย

ความสูงต้นหลังการฉายรังสี (ตารางที่ 2) พบว่า กลุ่มควบคุม (0 เกรย์) มีความสูงมากที่สุด คือ 105.42 เซนติเมตร รองลงมา คือ ปริมาณรังสี 100 เกรย์ มีความสูง คือ 98.94 เซนติเมตร และปริมาณรังสี 200 และ 300 เกรย์ มีความสูงเท่ากับ 77.94 และ 6.30 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้จำนวนวันแรกที่ดอกบาน พบว่าปริมาณรังสีควบคุมใช้จำนวนวันในการออกดอกครั้งแรกน้อยที่สุด รองลงมาคือ 100 เกรย์ และ 200 เกรย์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 1 ผลของการได้รับรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันต่ออัตราการรอด อัตราการออก และค่าระยะห่างลิบของดาวกระจาย

ตารางที่ 2 ผลของการได้รับรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันต่อลักษณะการเจริญเติบโตของต้นดาวกระจาย

ปริมาณรังสี (เกรย์)	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนวันแรกที่ดอกบาน
0	105.42 ^a ±10.43	50.12 ^c ±2.38
100	98.94 ^a ±8.09	54.86 ^b ±2.41
200	77.94 ^b ±6.31	57.40 ^a ±3.22
300	6.30 ^c ±3.65	-

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีค่าทางสถิติแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (mean±SD)

3. ลักษณะการกลายพันธุ์

การเปลี่ยนแปลงลักษณะดอกต้นดาวกระจายที่ได้รับปริมาณรังสีที่ 100 และ 20 เกรย์ พบว่ามีดอกดาวกระจายที่มีทั้งลักษณะปกติและการกลายพันธุ์ โดยการเปลี่ยนแปลงของลักษณะดอก คือ ดาวกระจายที่ได้รับรังสีที่ 100 เกรย์ มีก้านช่อดอกติดกัน ดังภาพที่ 2 (ก) หรือมีลักษณะของดอกแผด ดังภาพที่ 2 (ข) จึงเป็นลักษณะที่น่าสนใจที่จะนำไปปลูกต่อ และดาวกระจายที่ได้รับรังสีที่ 200 เกรย์ มีกลีบดอก (ray floret) บิดเบี้ยว ดังภาพที่ 2 (ค)

4. ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของดาวกระจาย

ต้นดาวกระจายที่รับรังสีแกมมาแบบเฉียบพลัน ที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์ ในรุ่น M1 พบว่าต้นดาวกระจายมีการกลายพันธุ์ที่ให้ลักษณะของดอกที่มีก้านช่อดอกติดกัน และเป็นลักษณะที่น่าสนใจ เมื่อนำมาปลูกต่ออีก 3 รุ่น ใน M2 M3 และ M4 เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ในด้านความสูงต้น จำนวนวันแรกที่ดอกบาน และลักษณะของดอกดาวกระจาย ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของการฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์ ต่อเจริญเติบโตของดาวกระจายในรุ่น M2 M3 และ M4

รุ่นการปลูก	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนวันแรกที่ดอกบาน
M2	77.28 ^a ±4.82	50.33 ^a ±3.75
M3	63.28 ^b ±5.31	46.67 ^b ±3.67
M4	55.28 ^c ±4.16	45.19 ^c ±2.94

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีค่าทางสถิติแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (mean±SD)

หลังจากนำมาปลูกต่ออีก 3 รุ่น ใน M2 M3 และ M4 พบการเจริญเติบโตในด้านความสูงต้นดาวกระจายในรุ่น M2 เฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 77.28 เซนติเมตร รองลงมา คือ M3 เท่ากับ 63.28 เซนติเมตร และความสูงน้อยสุดที่ M4 คือ 55.28 เซนติเมตร จำนวนวันแรกที่ดอกบานพบว่า M4 ให้การออกดอกของดาวกระจายเร็วที่สุดเท่ากับ 45 วัน รองลงมาคือ M3 อยู่ที่ 47 วัน และช้าที่สุดคือ M2 คือ 50 วัน ต้นดาวกระจายที่ได้รับปริมาณรังสีที่ 100 เกรย์ ในรุ่น M1 มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะดอก คือ ก้านช่อดอกติดกัน ดังภาพที่ 2 (ข) นำมาปลูกต่อในรุ่น M2 เพื่อศึกษาลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรม พบว่าดอกดาวกระจายมีลักษณะของกลีบดอกไม่เท่ากัน ดังภาพที่ 2 (ง-ฉ)

เมื่อนำต้นดาวกระจายที่มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะของกลีบดอกในรุ่น M2 มาปลูกต่อในรุ่น M3 ศึกษาลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรม พบว่าดอกดาวกระจายมีลักษณะสีของกลีบดอกไม่สม่ำเสมอและมีก้านช่อดอกติดกันแต่บานไม่พร้อมกัน ดังภาพที่ 2 (ญ-ฎ)

สำหรับการปลูกต้นดาวกระจายในรุ่น M4 เพื่อศึกษาลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรม พบว่าดอกดาวกระจายมีลักษณะของกลีบดอกบิดเบี้ยวเหมือนรุ่น M2 ขนาดของกลีบดอกไม่เท่ากัน และสีของกลีบดอกไม่สม่ำเสมอ ดังภาพที่ 2 (ฏ-ท)



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะดอกดาวกระจายในรุ่น M1 (ก) รูปร่างดอกดาวกระจายที่ไม่ได้รับการฉายรังสี (wild type) (ข) ดอกดาวกระจายที่มีก้านช่อดอกติดกันที่รังสี 100 เกรย์ (ค) กลีบดอกบิดเบี้ยวที่รังสี 200 เกรย์ (ง-ณ) การเปลี่ยนแปลงลักษณะดอกดาวกระจายในรุ่น M2 มีลักษณะของกลีบดอกไม่เท่ากัน การเปลี่ยนแปลงลักษณะดอกดาวกระจายในรุ่น M3 (ญ) สีของกลีบดอกไม่สม่ำเสมอ (ฎ) มีก้านช่อดอกติดกันแต่บานไม่พร้อมกัน การเปลี่ยนแปลงลักษณะดอกดาวกระจายในรุ่น M4 (ฏ) กลีบดอกบิดเบี้ยว (ฐ) สีของกลีบดอกไม่สม่ำเสมอ และ (ฑ) ขนาดของกลีบดอกไม่เท่ากัน

การอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลของรังสีแกมมาต่ออัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของดาวกระจาย

หลังการฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันที่ปริมาณ 0-300 เกรย์ แก่เมล็ดดาวกระจาย และนำออกปลูกแล้ว 30 วัน พบว่าปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ร้อยละการงอกและอัตราการรอดชีวิตลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้รับรังสี โดยปริมาณรังสีที่สูงขึ้นจะไปยับยั้งการงอกและอัตราการรอดชีวิต ซึ่งให้ผลเดียวกันกับในพืชดอกหลายชนิด เช่น แพงพวย (ณัฐธา และคณะ, 2558)

แพรเซียไฮโปแหลม (อรุณี และนวนลวี, 2535) บานชื่น (นพรัตน์, 2552; Pallavi *et al.*, 2017) และแกลดิโอลัส (Sahariya *et al.*, 2017) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณรังสีให้สูงขึ้น จะทำให้ร้อยละการรอดชีวิตมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งการที่อัตราการรอดชีวิตลดลงอาจเกิดจากรังสีแกมมาส่งผลโดยตรงต่อสารพันธุกรรม และทำให้ปริมาณอนุมูลอิสระสูงขึ้นแล้วก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับโครโมโซมหรือยีนในภายหลัง (Blagojevic *et al.*, 2019) ในงานวิจัยนี้ช่วงของปริมาณรังสีที่สามารถเหนี่ยวนำให้พืชเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ คือ รังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 100 และ 200 เกรย์ ส่งผลให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูงมีแนวโน้มลดลงหรือใกล้เคียงกับต้นที่ไม่ได้รับรังสีและออกดอกช้าลงเช่นเดียวกันกับในแพรเซียไฮโปแหลม (อรุณี และนวนลวี, 2535) และแพงพวย (ณัฐา และคณะ, 2558) ซึ่งผลของรังสีแกมมาอาจทำให้เซลล์พักตัวอยู่ในระยะอินเตอร์เฟส (Takahashi *et al.*, 2019) จึงเกิดการระงับการเจริญเติบโต หรืออาจมีความรุนแรงจนกระทั่งเกิดการตายของเซลล์ในที่สุด โดยพบว่าเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นการเจริญเติบโตและการแตกกิ่งก้านลดลง การบานของดอกช้าลงตามปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น สำหรับค่ามรณะห้าสิบในต้นดาวกระจายในงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ที่ 280 เกรย์ โดยค่ามรณะห้าสิบเป็นปริมาณรังสีแกมมาที่ทำให้การรอดชีวิตลดลงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับรังสี โดยค่านี้มีความแตกต่างกันออกไปขึ้นกับสรีรวิทยาของเมล็ดพืช กล่าวคือ หากเมล็ดมีความหนา ค่ามรณะห้าสิบก็ย่อมสูงขึ้นตามไปด้วย เช่น ในเมล็ดถั่วเขียว (*Vigna radiata* L.) ที่มีค่ามรณะห้าสิบที่ 620 เกรย์ (Indriyani and Fiati, 2015) หรือในเมล็ดสบู่ดำ (*Jatropha curcas* L.) ที่มีค่ามรณะห้าสิบเท่ากับ 425 เกรย์ (Songsri *et al.*, 2011) เป็นต้น โดยเมื่อพิจารณาจากลักษณะของเมล็ดดาวกระจาย พบว่าเมล็ดดาวกระจายมีรูปร่างเรียวยาวแบบทรงกระสวย เป็นผลให้รังสีแกมมาสามารถทะลุทะลวงเข้าไปถึงเอ็มบริโอได้ง่ายกว่านั่นเอง

2. ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของดาวกระจาย

จากการฉายรังสีแกมมาให้กับดาวกระจายพบการเปลี่ยนแปลงลักษณะของดอก โดยมีลักษณะกลีบดอกบิดเบี้ยว สีของกลีบดอกและสรีระของดอกที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ลักษณะดังกล่าวเป็นความเสียหายทางสรีรวิทยา (physiological damage) พบว่าปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการชักนำให้เกิดการกลายด้วยรังสีแกมมาในต้นดาวกระจายอยู่ที่ 100 ถึง 200 เกรย์ สำหรับปริมาณรังสีที่ 300 เกรย์ เป็นปริมาณรังสีที่สร้างความเสียหายให้แก่เอ็มบริโอภายในเมล็ดดาวกระจายในระดับที่สูง จึงทำให้เมล็ดที่ได้ปริมาณรังสี 300 เกรย์ มีอัตราการรอดและอัตราการเจริญเติบโตต่ำและไม่สามารถสร้างดอกได้ เนื่องจากอาจก่อให้เกิดความผิดปกติในระดับโครโมโซม การแตกหักของโครโมโซม (Rochanabanthit and Jompuk, 2014) หรือความผิดปกติในระดับดีเอ็นเอ ซึ่งรูปแบบของการเกิดลักษณะต่าง ๆ เมื่อใช้การฉายรังสีนั้น จะเกิดขึ้นแบบสุ่ม จึงทำให้ลักษณะของสีดอก ลักษณะกลีบดอก หรือช่อดอกของดาวกระจายแตกต่างกันออกไปในแต่ละต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของลักษณะดอกอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของยีนที่ควบคุมลักษณะของกลีบดอก ได้แก่ TCP family gene (Cubas *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2008) เช่นเดียวกันกับการทดลองของ Okamura (2003) ทำการทดลองฉายรังสีที่มีประจุแก่ต้นคาร์เนชั่น สามารถทำให้สีและดอกเปลี่ยนไปหลายลักษณะ หรือในงานวิจัยของวุฒิพงษ์ และพัฒนา (2564) ที่ฉายรังสีแกมมาในบัวดิน ซึ่งทำให้เกิดลักษณะของใบและดอกที่มีความหลากหลาย จากการนำดาวกระจายที่ได้รับปริมาณรังสี 100 เกรย์ มาปลูกต่อในรุ่น M2 M3 และ M4 พบว่าดอกดาวกระจายในรุ่น M3 มีลักษณะของก้านดอกติดกันเหมือนรุ่น M1

ซึ่งอาจเป็นผลจากการที่รังสีแกมมาที่ส่งผลกระทบต่อยีนที่ควบคุมลักษณะช่อดอกทำให้เกิดเป็นแอลลีล (allele) ใหม่ขึ้น แต่แอลลีลใหม่นี้ถูกแอลลีลปกติข่มแบบสมบูรณ์ จึงไม่ปรากฏลักษณะของดอกที่มีก้านดอกเดียวกันในรุ่น M2 แต่กลับปรากฏในรุ่น M3 แทน อย่างไรก็ตามก็ตีลักษณะของดอกแฝดที่ปรากฏในรุ่น M1 และ M3 นี้มิได้ปรากฏในทุก ๆ ช่อดอก ซึ่งอาจเป็นผลจากการเกิดไคเมอรา (chimera) กล่าวคือ มีเซลล์บางเซลล์ในเอ็มบริโอที่เกิดการกลาย แต่เซลล์อื่นไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้พืชมีการแสดงออกแค่บางส่วนของต้นเท่านั้น (Van Harten *et al.*, 1981; Datta and Chakrabarty, 2009)

สรุปผลการวิจัย

การฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันกับเมล็ดดาวกระจาย พบว่าที่ปริมาณรังสีที่ 100 ถึง 200 เกรย์ มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดการกลายมากที่สุด และค่ามรณะห้าสิบมีค่าเท่ากับ 253 เกรย์ โดยลักษณะผิดปกติที่เกิดขึ้นสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไป จากข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการใช้รังสีแกมมาในการชักนำให้เกิดการกลายในต้นดาวกระจายเป็นวิธีที่สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการปรับปรุงพันธุ์พืชในวงศ์ Asteraceae ต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยนิวเคลียร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการฉายรังสี และสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ณัฏฐา ผดุงศิลป์ ธัญญะ เตชะศีลพิทักษ์ เอมมาลย์ วงศ์ขาวจันทน์ และณัฐพงศ์ จันจุฬา. (2558). การชักนำให้เกิดการกลายในต้นแพงพวยโดยการฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลัน. *Thai Journal of Science and Technology*, 4(1), 95-103.
- นพรัตน์ อินสร. (2552). การปรับปรุงพันธุ์บานชื่นเลี้ยงใบต่างโดยใช้รังสีแกมมา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นันทิยา สมานนท์. (2526). *คู่มือการปลูกไม้ดอก*. กรุงเทพฯ: สยามสปอร์ตคลับบิชซิง.
- วุฒิพงษ์ แป้งใจ และพัฒนา ศรีฟ้า ฮุนเนอร์. (2564). รังสีแกมมาชักนำการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาในบัวดิน (*Zephyranthes* spp.). *แก่นเกษตร*, 49(3), 643-655.
- ภิญญารัตน์ กองประโคน และนันทริยา จิตบำรุง. (2560). การใช้รังสีแกมมาชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาในกุหลาบหนู. *แก่นเกษตร*, 45(1 พิเศษ), 1296-1302.
- ศรัณยู ถนิมลักษณ์ ธัญญะ เตชะศีลพิทักษ์ พัฒนา สุขประเสริฐ พิรุณ จอมพุก และอนันต์ พิริยะภัทรกิจ. (2561). การชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ในบานไม่รู้โรยลูกผสมพันธุ์กลายโดยการฉายรังสีแกมมา. *Thai Journal of Science and Technology*, 7(1), 48-57.

- สุพิชชา สิทธินิสัยสุข ธัญญะ เตชะสีลพิทักษ์ พิรุณ จอมพุก และณัฐพงศ์ จันจุฬา. (2561). ผลของรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันต่อต้านลินเดอร์เนียในสภาพปลอดเชื้อ. *Thai Journal of Science and Technology*, 7(2), 158-168.
- หนึ่งฤทัย ด้านเขตร์แดน อนันต์ พิริยะภัทรกิจ ณัฐพงศ์ จันจุฬา และคมกฤษณ์ แสงเงิน. (2564). ผลของรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของบัวบกแหล่งปลูกอุบลราชธานี. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 40(2), 106-117.
- อรุณี วงศ์ปิยะสกลิตย์ และนวลฉวี รุ่งธนเกียรติ. (2535). ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะและสีดอกแพร์เซีย่งไฮ้. ใน *รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 30 สาขาพืช*. กรุงเทพฯ.
- Blagojevic, D., Lee, J., Brede, D.A., Lind, O.C., Yakovlev, I., Solhaug, K.A., Fossdal, C.G., Salbu, B. and Olsen, J.E. (2019). Comparative sensitivity to gamma radiation at the organismal, cell and DNA level in young plants of Norway spruce, Scots pine and *Arabidopsis thaliana*. *Planta*, 250, 1567-1590, doi: <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03250-y>.
- Cubas, P., Vincent, C. and Coen, E. (1999). An epigenetic mutation responsible for natural variation in floral symmetry. *Nature*, 401, 157-161, doi: <https://doi.org/10.1038/43657>.
- Datta, S.K. and Chakrabarty, D. (2009). Management of chimera and in vitro mutagenesis for development of new flower color/shape and chlorophyll variegated mutants in chrysanthemum. In Shu, Q.Y. (Ed.). *Induced plant mutations in the genomics era*, pp. 303-305. Rome: Food and agriculture organization of the United Nations.
- Din, A., Qadri, Z.A., Wani, M.A., Rather, Z.A., Iqbal, S., Malik, S.A., Hussain, P.R., Rafiq, S. and Nazki, I.T. (2020). Congenial in vitro γ -ray-induced mutagenesis underlying the diverse array of petal colours in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* kitam) cv. "Candid". *Biology and Life Sciences Forum*, 4(1), 21-28, doi: <https://doi.org/10.3390/IECPS2020-08780>.
- Hawthorn, L.R. and Pollard, L.H. (1954). *Vegetable and flower seed productions*. New York: The Blakiston company, Inc.
- Indriyani, D. and Fiatin, H.I. (2015). Lethal dose 50 (LD₅₀) of mungbean (*Vigna radiata* L. wilczek) cultivar Kampar. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 47(4), 510-516.
- IAEA. (2022). *FAO/IAEA mutant variety database*. Retrieved 18 April 2022, from: <https://mvd.iaea.org>.
- Kim, M., Cui, M.L., Cubas, P., Gillies, A., Lee, K., Chapman, M.A., Abbott, R.J. and Coen, E. (2008). Regulatory genes control a key morphological and ecological trait transferred between species. *Science*, 322(5904), 1116-1119, doi: <https://doi.org/10.1126/science.1164371>.

- Okamura, M., Yasuno, N., Ohtsuka, M., Tanaka, A., Shikazono, N. and Hase, Y. (2003). Wide variety of flower-color and shape mutants regenerated from leaf cultures irradiated with ion beams. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 206, 574-578.
- Pallavi, B., Nivas, S.K., Souza, L.D., Ganapathi, T.R. and Hegde, S. (2017). Gamma rays induced variations in seed germination, growth and phenotypic characteristics of *Zinnia elegans* var. Dreamland. *Advances in Horticultural Science*, 31(4), 267-273.
- Rochanabanthit, P. and Jompuk, P. (2014). Effects of chronic gamma irradiation on shallot chromosomes (*Allium Ascalonicum* linn). *Journal of Agricultural and Biological Science*, 9(11), 367-374.
- Sahariya, K., Kaushik, R.A., Khan, R. and Sarolia, D. (2017). Influence of gamma irradiation on flowering of gladiolus (*Gladiolus hybrida* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11), 1362-1368.
- Songsri, P., Suriarn, B., Sanitchon, J., Srisawangwong, S. and Kesmala, T. (2011). Effects of gamma radiation on germination and growth characteristics of physic nut (*Jatropha curcas* L.). *Journal of Biological Sciences*, 11(3), 268-274.
- Takahashi, N., Ogita, N., Takahashi, T., Taniguchi, S., Tanaka, M., Seki, M. and Umeda, M. (2019). A regulatory module controlling stress-induced cell cycle arrest in *Arabidopsis*. *Elife*, doi: <https://doi.org/10.7554/elife.43944>.
- Tan, C., Zhang, X.Q., Wang, Y., Wu, D., Bellgard, M.I., Xu, Y., Shu, X., Zhou, G. and Li, C. (2019). Characterization of genome-wide variations induced by gamma-ray radiation in barley using RNA-Seq. *BMC genomics*, 20(1), doi: <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6182-3>.
- Van Harten, A.M. (1998). *Mutation breeding: Theory and practical applications*. United Kingdom: Cambridge university press.
- Van Harten, A.M., Bouter, H. and Broertjes C. (1981). In vitro adventitious bud techniques for vegetative propagation and mutation breeding of potato (*Solanum tuberosum* L.) II. Significance for mutation breeding. *Euphytica*, 30(1), doi: <https://doi.org/10.1007/BF00033653>.
- Wood, D.R. (1983). *Crop breeding*. Wisconsin: The American society of agronomy. Inc. and the crop science society of American Inc.
- Zhou, G., Guo, J., Yang, J. and Yang, J. (2018). Effect of fertilizers on Cd accumulation and subcellular distribution of two cosmos species (*Cosmos sulphureus* and *Cosmos bipinnata*). *International Journal of Phytoremediation*, 20(9), 930-938.

กรรมวิธีในการฆ่าเชื้ออาหารสูตร MS สำเร็จรูป เพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยง ฟีโลเดนดรอน “เชอร์รี่เรด” ในสภาพปลอดเชื้อ

Sterilization Methods to Prevent Contamination in MS Medium for the Tissue Culture of *Philodendron* “Cherry Red”

นุชรฐ บาลลา¹ ณัฐพงศ์ จันจุฬา^{2*} ธิติพัฒน์ วีเปเลียน³ บุนตริกา นันทา⁴ นฤตยา นันยา²
สุรกันต์ โพธิ์แก้ว² กันยารัตน์ วันนา² และศิริกัญญา คาซิม²

Nutcharat Balla¹, Nattapong Chanchula^{2*}, Thitipat Weepian³, Buntarika Nuntha⁴,
Narittaya Nunya², Surakarn Pokaew², Kanyarat Wanna² and Sirinya Kashima²

บทคัดย่อ

ปัจจุบันไม่ประดับเป็นที่ต้องการของตลาดเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะกลุ่มฟีโลเดนดรอนที่มีมากมายหลากหลายสีส่น และใบหลากหลายรูปทรง ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษา 9 กรรมวิธีอย่างง่ายในการเตรียมอาหารจาก MS ผงสำเร็จรูป ให้ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ และการเจริญเติบโตของต้นฟีโลเดนดรอน “เชอร์รี่เรด” หลังเพาะเลี้ยง ด้วยการเติม Haiter® Betadine® และ Physan20® ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 มิลลิลิตรต่อลิตร และ ClO_2 ® ชนิดเม็ด ½ และ 1 เม็ดต่อลิตรในอาหารจากการทดลองพบว่าทุกกรรมวิธีสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารได้ และยอดฟีโลเดนดรอน “เชอร์รี่เรด” สามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยกรรมวิธีที่ 5 (Betadine® 1.0 มิลลิลิตรต่อลิตร) และกรรมวิธีที่ 7 (ClO_2 ® ชนิดเม็ด 1.0 เม็ดต่อลิตร) ให้จำนวนต้นตอกสูงที่สุด (3.40-3.60 ต้น) ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีที่ 1 หรือชุดควบคุม (1.60 ต้น) ในขณะที่กรรมวิธีอื่น ๆ มีจำนวนต้นตอกกระหว่าง 1.20-2.20 ต้น กรรมวิธีที่ 2 (Haiter® 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร) มีการขยายขนาดกอ 41.04 มิลลิเมตร มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (34.34 มิลลิเมตร) ซึ่งต้นอ่อนที่เจริญเติบโตในกรรมวิธีอื่น ๆ มีการขยายขนาดของกออยู่ระหว่าง 18.18-31.82 มิลลิเมตร และยังพบว่าต้นอ่อนในอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยกรรมวิธีที่ 2 มีการเจริญเติบโตทางลำต้นสูงที่สุด ความกว้างและความยาวใบเฉลี่ย 12.29 และ 23.92 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีความสูงเฉลี่ย 27.72 มิลลิเมตร จำนวนใบ 7.50 ใบ และมีจำนวนราก 8.70 รากต่อกอ โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่าง

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

² ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

³ สำนักวิชาทรัพยากรการเกษตร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

⁴ ศูนย์การเรียนรู้วิชาการเกษตรในเมือง สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

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

Received: 26 April 2022, Revised: 3 June 2022, Accepted: 7 June 2022

มีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีที่ 1 (ชุดควบคุม) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าทุกกรรมวิธีสามารถยับยั้งการปนเปื้อนในอาหารเพาะเลี้ยงได้

คำสำคัญ: ไฮเตอร์ เบตาดีน คลอรีนไดออกไซด์ ฟิซาน การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

Abstract

Currently there is great demand for ornamental plants in markets all over the world. There is a great desire in philodendron because it comes in a variety of colors and with interesting leaf shapes. This research aims to study 9 easy methods of maintaining sterile cultures of philodendron in tissue culture systems when using culture medium prepared from instant MS (Murashige and Skoog) basic medium in powder form. The experimental plant was 'Cherry Red' philodendron. The treatments were control (autoclave), Haite® bleach at 0.5 mg and 1.0 mg per liter, Betadine® disinfectant at 0.5 mg and 1.0 mg per liter, Physan20® fungicide at 0.5 mg and 1.0 mg per liter and ClO₂® in tablet form at ½ tablet and 1 tablet per liter. Results showed that all treatments were effective in inhibiting contamination in culture medium. The best philodendron growth was observed with treatment 5 (Betadine® 1.0 ml/l), while treatment 7 (ClO₂® 1 tablet/liter) resulted in the greatest number of new shoots (3.4 – 3.6), which was greater than the control (1.6) and the other treatments (1.2-2.2). Treatment 2 (0.5 ml/l Haite®) resulted in the greatest growth of the clump at 41.04 mm, which was greater than the control (34.34 mm) to a statistically significant degree. The clump growth of all the other treatments ranged from 18.18 to 31.82 mm. The plantlets grown in medium sterilized with treatment 2 showed the greatest leaf size 12.29 x 23.92 mm. They achieved an average height of 27.72 mm with an average of 7.5 leaves and 8.7 roots per clump. However, this was not a statistically significant difference from the control at confidence level 95%. This research concludes that all tested treatments are effective in preventing contamination.

Keywords: Haite®, Betadine®, Chlorine dioxide, Physan20®, Tissue culture

บทนำ

ฟีโลเดนดรอนจัดเป็นพืชในสกุล *Philodendron* จัดอยู่ในวงศ์ Araceae มีถิ่นกำเนิดแถบประเทศอเมริกากลาง อเมริกาใต้ และประเทศบราซิล ตลอดจนหมู่เกาะแคริบเบียน ปัจจุบันพบ 482 ชนิด (Loss-Oliveira *et al.*, 2016) ฟีโลเดนดรอน “เซอร์รีเรด” มีลักษณะใบเดี่ยว เรียงเวียน รูปรีถึงรูปใบหอก กว้าง 7.6-8.4 เซนติเมตร ยาว 18.2-21.6 เซนติเมตร ปลายติ่งแหลม โคนรูปติ่ง ขอบเรียบ ใบหนาคล้ายแผ่นหนัง เกลี้ยง เป็นมัน แผ่นใบด้านสีเขียวเข้ม ขอบเยื่อแดง ใต้ใบสีซีดกว่า ใบอ่อนใต้ใบมีสีแดงอมส้ม เส้นกลางใบนูนเด่นชัด สีม่วงแดง ก้านใบคล้ายรูปทรงกระบอก ด้านบนเป็นร่องตื้น ยาว 12-19 เซนติเมตร ไม่มีลิ้น ปลอกหุ้มยอดสีม่วงแดง และในปัจจุบันมีนักปรับปรุงพันธุ์ได้การผสมข้ามพืชชนิดนี้ เพื่อพัฒนาสายพันธุ์เพื่อให้ได้ลักษณะใบรูปทรงใหม่ ๆ จำนวนมาก ทำให้ตลาดของไม้ประดับชนิดนี้กระจายเป็นวงกว้าง ในประเทศไทยมักใช้เป็นไม้ประดับประเภทกระถาง ใช้ในการตกแต่งอาคารบ้านเรือน และเป็นพืชที่ชอบอยู่อาศัยได้ร่มเงา จากแนวโน้มกระแสไม้ประดับ ทำให้ความต้องการของผู้บริโภคสูงขึ้น จึงมีความต้องการในการขยายตลาด เร่งกำลังการผลิตให้เพียงพอ กับความต้องการทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตในปัจจุบันคือการใช้เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ทำให้ได้ต้นพันธุ์ที่ปลอดโรค ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว และการปรับปรุงพันธุ์ควบคุมการผลิตตามจำนวนได้ และได้ต้นพันธุ์ที่ตรงตามพันธุ์ที่ต้องการ เช่น เมล็ดเบญจมาศ (ชญาณี และคณะ, 2559) ข้าวพื้นเมือง (กมลทิพย์ และคณะ, 2560) มะรุ้ม (ฤทัยชนก และคณะ, 2561)

ในปัจจุบันการฆ่าเชื้อสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมักใช้การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแห้งในการฆ่าเชื้ออุปกรณ์ และใช้หม้อนึ่งความดันสูง (autoclave) ทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหาร แต่มีข้อจำกัดเรื่องต้นทุนที่ราคาสูง ใช้งานยาก จึงได้นำสารเคมีที่มีคุณสมบัติในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เช่น sodium hypochlorite calcium hypochlorite chlorine dioxide hydrogen peroxide povidone-iodine (Russell, 2003) มาเติมในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อทำให้อาหารมีสภาพปลอดเชื้อ แล้วนำไปเพาะเลี้ยงพืชหลายชนิด เช่น กล้วย (Habiba *et al.*, 2002) เยอบีร่า (Pais *et al.*, 2016) กล้วยไม้ฟาแลนนอปซิส (Yanagawa *et al.*, 2006) สับปะรด (Texeira, 2006) ยูคาลิปตัส (Brondani *et al.*, 2013) ฟีโลเดนดรอน “รอยทรัพย์” (ราธิมา และคณะ, 2564) การใช้สารเคมีเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดต้นทุนการผลิต อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีเพื่อฆ่าเชื้อในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อยังมีรายงานไม่มากนัก ในการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อปลอดเชื้อด้วยวิธีการอย่างง่าย และพืชมีการเจริญเติบโตหลังเพาะเลี้ยง โดยใช้สารเคมีฆ่าเชื้อราคาถูก เช่น Haiter[®] Betadine[®] ClO₂[®] และ Physan20[®] ทดแทนการใช้หม้อนึ่ง ความร้อนแรงดันสูง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมชิ้นส่วนพืช

นำยอดอ่อนฟีโลเดนดรอนที่มาจากอาหารเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็ง MS (Murashige and Skoog) สำเร็จรูป ที่เติม BA (6-benzyladenine) เข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร วุ้นผง (gelrite) 2.5 กรัมต่อลิตร คัดเลือกต้นที่มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 1 เซนติเมตร

มีใบ 2 ใบ (ราฮีมา และคณะ, 2564) เลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโตเป็นเวลานาน 7 วัน เพื่อลดผลกระทบการตกค้างของสารควบคุมการเจริญเติบโตในชิ้นส่วนพืช เพาะเลี้ยงต้นอ่อนภายใต้อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 60 ± 5 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ (TLD 36W/84 3350 lm Philips Thailand) เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ก่อนเริ่มทำการทดลอง

2. การวางแผนการทดลอง

นำยอดอ่อนที่ตัดแยกไว้ในอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโตเป็นเวลานาน 7 วัน มาทำการคัดเลือกชิ้นส่วนที่มีขนาดเท่ากัน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) โดยแบ่งออกเป็น 9 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 10 ซ้ำ โดยแต่ละกรรมวิธี ซึ่งอาหาร MS สำเร็จรูป 4.4 กรัมต่อลิตร ละลายด้วยน้ำกรอง เติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 5.7 เติมน้ำผง 2.5 กรัมต่อลิตร ปรับปริมาตรจนครบ 1 ลิตร ซึ่งกรรมวิธีในการฆ่าเชื้ออาหารเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางเมตร 121 องศาเซลเซียส (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ต้มให้เดือดจนสารละลายมีสีใส แล้วเติม Haiter® 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 3 ต้มให้เดือดจนสารละลายมีสีใส แล้วเติม Haiter® 1.0 มิลลิลิตรต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 4 ต้มให้เดือดจนสารละลายมีสีใส แล้วเติม Betadine® 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 5 ต้มให้เดือดจนสารละลายมีสีใส แล้วเติม Betadine® 1.0 มิลลิลิตรต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 6 ต้มให้เดือดจนสารละลายมีสีใส แล้วเติม ClO_2 ® ชนิดเม็ด 0.5 เม็ดต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 7 ต้มให้เดือดจนสารละลายมีสีใส แล้วเติม ClO_2 ® ชนิดเม็ด 1.0 เม็ดต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 8 ต้มให้เดือดจนสารละลายมีสีใส แล้วเติม Physan20® 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 9 ต้มให้เดือดจนสารละลายมีสีใส แล้วเติม Physan20® 1.0 มิลลิลิตรต่อลิตร

โดยกรรมวิธีที่ 2-9 เมื่อเติมสารฆ่าเชื้อลงในสารละลายอาหารแล้ว คนให้เข้ากัน ตักใส่กระป๋องพลาสติกขนาด 4 ออนซ์ ครอบปิดฝาให้สนิท รอให้อาหารเย็น หลังจากนั้นทำการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนฟีโลเดนดรอนบนอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ แล้วมาเพาะเลี้ยงภายใต้อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 60 ± 5 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ (TLD 36W/84 3350 lm Philips Thailand) เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน เป็นระยะเวลา 60 วัน

3. การบันทึกผลการทดลอง

ศึกษาเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนของอาหารเพาะเลี้ยง หลังวางทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 14 วัน และศึกษาการปนเปื้อนของชิ้นส่วนพืชในอาหาร จำนวนต้นตอกเฉลี่ย ขนาดกอเฉลี่ย ความสูงเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความกว้างใบเฉลี่ย ความยาวใบเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย ที่ระยะเวลา 60 วัน

ผลการวิจัย

1. การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในอาหารเพาะเลี้ยง และการรอดชีวิตของต้นอ่อนพิโลเดนดรอน “เซอร์รีเรด”

หลังจากวางอาหารทิ้งไว้เป็นเวลา 14 วัน ในอุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร จึงทำการย้ายยอดอ่อนพิโลเดนดรอน “เซอร์รีเรด” ในอาหารสูตร MS ที่ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโต เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน ไม่พบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทั้งในอาหารและระหว่างการเลี้ยงต้นอ่อน ดังนั้นต้นอ่อนมีการรอดชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ ในทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 1)

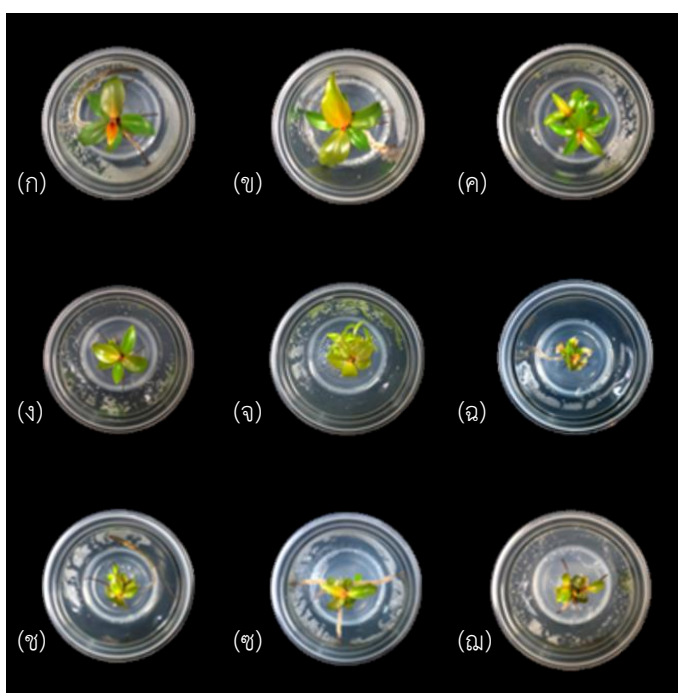
ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนและการรอดชีวิตของยอดพิโลเดนดรอน “เซอร์รีเรด” หลังเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็ง MS สำเร็จรูป ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ

กรรมวิธี	เปอร์เซ็นต์การปนเปื้อน ในอาหาร	เปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนของต้น ในอาหาร	เปอร์เซ็นต์การ รอดชีวิต
1	0.00	0.00	100
2	0.00	0.00	100
3	0.00	0.00	100
4	0.00	0.00	100
5	0.00	0.00	100
6	0.00	0.00	100
7	0.00	0.00	100
8	0.00	0.00	100
9	0.00	0.00	100

2. การเจริญเติบโตของต้นอ่อนพิโลเดนดรอน “เซอร์รีเรด”

จากการเพาะเลี้ยงยอดอ่อนพิโลเดนดรอน “เซอร์รีเรด” บนอาหารสูตร MS ที่ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโตและผ่านการฆ่าเชื้อทั้ง 9 กรรมวิธี เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าการเจริญเติบโตของต้นอ่อนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกรรมวิธีที่ศึกษาดังแสดงในตารางที่ 2 โดยกรรมวิธีที่ 5 (Betadine® 1.0 มิลลิตรต่อลิตร) และกรรมวิธีที่ 7 (ClO₂® ชนิดเม็ด 1.0 เม็ดต่อลิตร) ให้จำนวนต้นต่อกอสูงที่สุด (3.40-3.60 ต้น) ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีที่ 1 หรือชุดควบคุม (1.60 ต้น) ในขณะที่กรรมวิธีอื่น ๆ มีจำนวนต้นต่อกอระหว่าง 1.20-2.20 ต้น กรรมวิธีที่ 2 (Haite® 0.5 มิลลิตรต่อลิตร) มีการขยายขนาดกอ 41.04 มิลลิเมตร มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (34.34 มิลลิเมตร) ซึ่งต้นอ่อนที่เจริญเติบโตในกรรมวิธีอื่น ๆ มีการขยายขนาดของกออยู่ระหว่าง 18.18-31.82 มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าต้นอ่อนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยกรรมวิธีที่ 2 มีการเจริญเติบโตทางลำต้นสูงที่สุด โดยมีขนาดกอเฉลี่ยใหญ่ที่สุด 41.04 มิลลิเมตร ความกว้างและความยาวใบเฉลี่ย 12.29 และ 23.92 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ต้นอ่อนมีความสูงเฉลี่ย 27.72 มิลลิเมตร จำนวนใบ 7.50 ใบ และมีจำนวนราก 8.70 รากต่อกอ ซึ่งไม่มีความ

แตกต่างกันทางสถิติจากกรรมวิธีที่ 1 (ชุดควบคุม) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ต้นอ่อนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยกรรมวิธีที่ 3-9 มีผลทำให้การขยายขนาดกอลและความสูงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยต้นอ่อนมีขนาดกอเฉลี่ย 18.18-31.82 มิลลิเมตร และมีความสูงเฉลี่ย 14.89-21.72 มิลลิเมตร ส่วนการเจริญเติบโตของต้นอ่อนในอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วย Physan20[®] 0.5-1.0 มิลลิลิตรต่อลิตร (กรรมวิธีที่ 8 และ 9) พบว่าจะมีการเจริญเติบโตของต้นอ่อนต่ำกว่าชุดควบคุม แต่ต้นอ่อนก็ยังสามารถขยายขนาดของกอและสร้างรากและใบใหม่ได้ ส่วนการเติม ClO₂[®] ชนิดเม็ด 1.0 เม็ดต่อลิตร (กรรมวิธีที่ 7) มีแนวโน้มต่อการยับยั้งการเจริญของราก โดยมีจำนวนราก 4.20 รากต่อกอ ซึ่งน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และกรรมวิธีอื่น ๆ (7.20-9.90 รากต่อกอ)



ภาพที่ 1 การเจริญเติบโตของฟิโลเดนดรอน “เซอร์เรต” หลังการเพาะเลี้ยงบนสูตรอาหารกึ่งแข็ง MS สำเร็จรูป ที่ผ่านการฆ่าเชื้อทั้ง 9 กรรมวิธี ทำการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน
 หนึ่งฆ่าเชื้อ (ก) Haiter[®] 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร (ข) Haiter[®] 1.0 มิลลิลิตรต่อลิตร (ค) Betadine[®] 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร (ง) Betadine[®] 1.0 มิลลิลิตรต่อลิตร (จ) ClO₂[®] ½ เม็ดต่อลิตร (ฉ) ClO₂[®] 1 เม็ดต่อลิตร (ช) Physan20[®] 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร (ซ) และ Physan20[®] 1.0 มิลลิลิตรต่อลิตร (ฌ)

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตของยอดพื้โลเดนดรอน “เซอร์รีเรด” ในอาหารเพาะเลี้ยงเยื่อหลอดเชื้อใน 9 กรรมวิธีอย่างง่าย

กรรมวิธี	การเจริญเติบโตเฉลี่ย						
	จำนวนต้นตอก (ต้น)	ขนาดกอ (มิลลิเมตร)	ความสูง (มิลลิเมตร)	จำนวนใบ (ใบ)	ความกว้างใบ (มิลลิเมตร)	ความยาวใบ (มิลลิเมตร)	จำนวนราก (ราก)
1	1.60±1.58 ^b	34.34±4.53 ^a	28.29±5.78 ^a	7.20±0.92 ^a	9.48±2.49 ^b	19.38±3.47 ^b	9.90±2.47 ^a
2	1.20±1.32 ^b	41.04±3.66 ^a	27.72±2.52 ^a	7.50±0.53 ^a	12.29±1.62 ^a	23.92±3.09 ^a	8.70±2.26 ^a
3	2.20±1.87 ^{ab}	31.82±17.42 ^{bc}	21.72±12.34 ^b	6.10±3.25 ^{ab}	10.39±5.75 ^{ab}	19.84±7.42 ^b	7.20±4.48 ^{ab}
4	1.40±1.71 ^b	18.18±10.47 ^e	14.89±5.92 ^c	5.20±2.30 ^b	6.26±2.24 ^d	11.46±4.33 ^e	7.40±5.06 ^{ab}
5	3.60±1.84 ^a	22.33±3.98 ^{de}	17.06±2.64 ^{bc}	6.10±0.88 ^{ab}	6.72±1.14 ^{cd}	13.15±3.24 ^{de}	8.60±2.07 ^a
6	1.30±1.16 ^b	30.44±3.27 ^{bcd}	19.05±2.49 ^{bc}	6.50±0.53 ^{ab}	8.77±1.44 ^{bc}	16.86±2.63 ^{bc}	9.00±2.98 ^a
7	3.40±1.65 ^a	25.82±3.48 ^{cde}	21.12±3.66 ^b	7.30±0.67 ^a	10.63±2.07 ^{ab}	15.45±2.92 ^{cd}	4.20±3.19 ^b
8	1.80±1.03 ^b	25.02±12.15 ^{cde}	15.59±2.91 ^c	6.50±1.08 ^{ab}	5.56±1.46 ^d	11.32±2.68 ^e	9.90±4.63 ^a
9	1.70±1.16 ^b	18.64±3.64 ^e	16.25±3.87 ^{bc}	6.00±0.82 ^{ab}	5.98±1.00 ^d	11.52±2.02 ^e	8.50±2.22 ^a
F-test	*	*	*	*	*	*	*
% C.V.	83.5	39.8	35.3	23.9	39.4	36.4	46.5

หมายเหตุ - * ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีค่าทางสถิติแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

การอภิปรายผลการวิจัย

อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 9 กรรมวิธี ไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อในอาหาร หลังจากวางอาหารทิ้งไว้เป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส และไม่พบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทั้งในอาหารและระหว่างการเลี้ยงยดอ่อน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของราฮิมา และคณะ (2564) ที่ได้ทำการทดลองใช้ Haiter® และ Betadine® เติมนลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสำหรับเพาะเลี้ยงฟีโลเดนดรอน “รยพทรัพย์” พบไม่มีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในอาหาร และต้นฟีโลเดนดรอนสามารถเจริญเติบโตได้ อาจเนื่องมาจาก Haiter® มีสารออกฤทธิ์ที่ละลายน้ำและมีคุณสมบัติเป็นกลาง เกิดการแตกตัวของโมเลกุล และจะปลดปล่อยออกซิเจน (O_2) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น oxidizing agent และ hypochlorous acid (HClO) ซึ่งทำหน้าที่ปลดปล่อย active chlorine ในการเพาะเลี้ยงพืชบางชนิดมีการเติม active chlorine ลงไปในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยตรงก่อนทำการเพาะเลี้ยง เช่น เบญจมาศ (Deein *et al.*, 2013) เมล็ดกล้วยไม้กะเหรี่ยง (Chansean and Syoichi, 2007) กล้วยไม้ฟาแลนนอปซิส (Yanagawa *et al.*, 2006) กล้วย (Teixeira, 2006) ทำให้สามารถทำลายโปรตีนของเชื้อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย รา ไวรัส (Matsumoto *et al.*, 2009) จึงส่งผลให้ทำลายเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้ได้ สำหรับ Betadine® มีสาร providone-iodine ที่ออกฤทธิ์ทำลายจุลินทรีย์ ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวและปลดปล่อยโมเลกุล free iodine (I_2) ซึ่งมีคุณสมบัติทะลุทะลวงผ่านผนังเซลล์จุลินทรีย์อย่างรวดเร็วก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยไปแทนที่ในองค์ประกอบของสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ ส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ ในกระบวนการการทำงาน จึงไม่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนหรือไขมันที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการเจริญเติบโตได้ และนำไปสู่การทำลายเซลล์และตายไปในที่สุด (Lepelletier *et al.*, 2020; McKeen, 2012) การใช้คลอรีนไดออกไซด์ในการฆ่าเชื้ออาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสามารถทำลายเชื้อในอาหารได้ ซึ่งในการศึกษาผลของคลอรีนไดออกไซด์ต่อการทำให้ปลอดเชื้อในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสับประตูกุ้งด้วยระบบไบโอรีแอคเตอร์ พบว่าสับประตูกุ้งสามารถเพิ่มจำนวนและสร้างยดได้ดีกว่าในอาหารนิ่งด้วยความดัน แต่หากใส่ในปริมาณมากจะทำให้การยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช (วุฒิชัย และสมปอง, 2557) และในการทดลองของรวงคณา และคณะ (2563) สามารถใช้คลอรีนไดออกไซด์ในการฆ่าเชื้ออาหารสำหรับเพาะเลี้ยงต้นไวทอนูเบียสได้เช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับกรรมวิธีที่ 7 (ClO_2 ® ชนิดเม็ด 1.0 เม็ดต่อลิตร) ให้จำนวนต้นตอสูงที่สุด (3.40 ต้น) การใช้ ClO_2 ® ชนิดเม็ด สามารถทำได้ง่าย และหยิบใช้ได้ง่าย มีคุณสมบัติในการออกฤทธิ์ได้ครอบคลุม (broad spectrum) เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้มากมายหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัส เนื่องจากมีความสามารถในการออกซิไดซ์สูง ทำให้ระบบเอนไซม์และระบบการสังเคราะห์โปรตีนถูกทำลาย (Huang *et al.*, 1997; Gordon and Rosenblatt, 2005) เริ่มนิยมนำมาใช้ในการควบคุมจุลินทรีย์ และปรับปรุงคุณภาพของน้ำดื่ม (Yang *et al.*, 2013; Al-Otoun *et al.*, 2016) รวมถึงการใช้คลอรีนไดออกไซด์เพื่อฆ่าเชื้อในอาหาร สังเคราะห์สำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ช่วยเพิ่มความรวดเร็วในการเตรียมอาหาร ลดการใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำที่มีระยะเวลาในการฆ่าเชื้อนาน จึงลดการใช้พลังงานมีผลทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง (Cardoso and Silva, 2012) และที่สำคัญมีประสิทธิภาพกำจัดเชื้อโรคได้ดีกว่าคลอรีน (สุภัทราพร, 2536) และคลอรีนไดออกไซด์ยังสามารถกำจัดเชื้อโรคได้ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.0-9.0 (Huang *et al.*,

1997) จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนต่ำ Physan20® 0.5-1.0 มิลลิลิตรต่อลิตร (กรรมวิธีที่ 8 และ 9) แม้จะมีการเจริญเติบโตของต้นอ่อนต่ำกว่าชุดควบคุม แต่ต้นอ่อนก็ยังสามารถขยายขนาดของกอและสร้างรากและใบใหม่ได้ สาร Physan20® มีส่วนผสมของ dimethyl benzyl ammonium chloride และ dimethyl ethylbenzyl ammonium chloride ซึ่งสามารถจับกับฟอสโฟลิปิดและโปรตีนเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการแยกตัวของชั้นไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย ส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของเซลล์ทำให้จุลินทรีย์ตายในที่สุด (Maris, 1995)

สรุปผลการวิจัย

ในการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนฟิโลเดนดรอน “เซอร์รีเรด” สามารถใช้กรรมวิธีทั้ง 9 กรรมวิธีในการกำจัดจุลินทรีย์ในอาหารเพาะเลี้ยงได้ ขึ้นอยู่กับระดับความพร้อมของห้องปฏิบัติการที่นำไปปรับใช้ โดยใช้ Haiter® Betadine® ClO₂® และ Physan20® ในการทดแทนด้วยการนึ่งด้วยความดันไอน้ำ ทำให้ประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายได้มากขึ้น โดยการเติม Haiter® 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร ส่งผลให้ต้นอ่อนมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- กมลทิพย์ ลำลีแก้ว อรพิมล แทนทอง ผการัตน์ โรจน์ดวง และสุภาวดี รามสูตร. (2560). การขยายพันธุ์ข้าวพื้นเมืองพันธุ์กาบดำด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 36(2), 25-35.
- ชญานีย์ สังวาลย์ ผการัตน์ โรจน์ดวง สุภาวดี รามสูตร ศุภมาส แซ่เตียว และเสาวลักษณ์ ชูด้วง. (2558). ผลของสูตรอาหารต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดเบญจมาศในสภาพปลอดเชื้อ. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 34(2), 45-51.
- ราฮิมา วาแมตชีวา บักเร็น อาลี นูร์ซานิซา เจดาโอ๊ะ และศุภณัฐ กาญจนวัฒนาวงศ์. (2564). การใช้สารเคมีฆ่าเชื้อเดิมในอาหารสูตร MS เพื่อเพาะเลี้ยงฟิโลเดนดรอน “รอยทรัพย์สิน” ในสภาพปลอดเชื้อ. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 13(1), 377-387.
- ฤทัยชนก ชิตเดชะ พิมพ์โพยม บุญมา ผการัตน์ โรจน์ดวง และสุภาวดี รามสูตร. (2561). การขยายพันธุ์มะรุ้มโดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (*Moringa oleifera* Lam.). *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 37(2), 86-95.
- วรารณ กาชิม มณีนรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ และนงนุช เลาหะวิสุทธ์. (2563). ผลของคลอรีนไดออกไซด์ต่อการทำให้ปลอดเชื้อในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไวน์อดูเบียส. *วารสารเทคโนโลยีการประมง*, 14(1), 65-72.
- วุฒิชัย ศรีช่วย และสมปอง เตชะโต. (2557). ผลของคลอรีนไดออกไซด์ต่อการทำให้ปลอดเชื้อในการเพาะเลี้ยงสับปะรดภูแลด้วยระบบไบโอรีแอคเตอร์. *แก่นเกษตร*, 42 (ฉบับพิเศษ 3), 75-80.
- สุภัทราพร มหาแก้ว. (2536). *ประสิทธิภาพของคลอรีนไดออกไซด์ในการลดปริมาณเชื้อ Salmonella typhimurium ในกระบวนการผลิตไก่แช่เยือกแข็ง*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- Al-Otoum, F., Al-Ghauthi, M.A. and Ahmed, T.A. (2016). Disinfection by-products of chlorine dioxide (chlorite, chlorate and trihalomethanes): Occurrence in drinking water in Qatar. *Chemosphere*, 164, 649-656, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.008>.
- Brondani, G., Oliveira, L., Bergonci, T., Brondani, A., França, F., Silva, A. and Gonçalves, A. (2013). Chemical sterilization of culture medium: A low cost alternative to in vitro establishment of plants. *Scientia Forestalis*, 41(98), 257-267.
- Cardoso, J.C. and Silva, J.A.T. (2012). Micropropagation of gerbera using chlorine dioxide (ClO₂) to sterilize the culture medium. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 48(3), 362-368, doi: <https://doi.org/10.1007/s11627-011-9418-8>.
- Chansean, M. and Syoichi, I. (2007). Conservation of wild orchids in Cambodia by simple aseptic culture method. In *proceeding of Nagoya International Orchid Conference* (page 13-19). Nagoya: Nagoya University.
- Deein, W., Thepsithar, C., Thongpukdee, A. and Tippornwong, S. (2013). Growth of chrysanthemum explants on MS medium sterilized by disinfectants and essential oils. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 3(6), 609-613, doi: <https://doi.org/10.7763/IJBBB.2013.V3.286>.
- Gordon, G. and Rosenblatt, A.A. (2005). Chlorine dioxide: The current state of the art. *Ozone Science and Engineering*, 27(3), 203-207, doi: <https://doi.org/10.1080/01919510590945741>.
- Huang, J., Wang, L., Ren, N., Ma, F. and Ma, J. (1997). Disinfection effect of chlorine dioxide on bacteria in water. *Water Research*, 31(3), 607-613, doi: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00275-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00275-8).
- Habiba, U., Reza, S., Saha, M.L., Khan, M.R. and Hadiuzzaman, S. (2002). Endogenous bacterial contamination during *in vitro* culture of table banana: Identification and prevention. *Plant Tissue Cult*, 12(2), 117-124.
- Lepelletier, D., Maillard, J.Y., Pozzetto, B. and Simon, A. (2020). Povidone iodine: Properties, mechanisms of action, and role in infection control and *Staphylococcus aureus* decolonization. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 64(9), doi: <https://doi.org/10.1128/AAC.00682-20>.
- Loss-Oliveira, L., Sakuragui, C., Soares, M. and Schrago, C.G. (2016). Evolution of *Philodendron* (Araceae) species in Neotropical biomes. *Peer Journal Life and Environment*, 4, doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.1744>.
- Maris, P. (1995). Modes of action of disinfectants. *Revue Scientifique et Technique*, 14(1), 47-55, doi: <https://doi.org/10.20506/rst.14.1.829>.

- Matsumoto, K., Coelho, M.C., Momte, D.C. and Teixeira, J.B. (2009). Sterilization of non-autoclavable vessels and culture media by sodium hypochlorite for in vitro culture. *Acta Horticulturae*, 839, 329-336, doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.839.42>.
- McKeen, L. (2012). Introduction to food irradiation and medical sterilization. In Norwich, N.Y. and William Andrew. *The effect of sterilization on plastics and elastomers* (3rd edition). pp. 1-39. Waltham (Mass): Applied Science Publishers.
- Pais, A., Silva, A., Souza, J., Teixeira, S., Ribeiro, J., Peixoto, A. and Paz, C. (2016). Sodium hypochlorite sterilization of culture medium in micropropagation of *Gerbera hybrida* cv. Essandre. *African Journal of Biotechnology*, 15(36), 1995-1998, doi: <https://doi.org/10.5897/AJB2016.15405>.
- Russell, A.D. (2003). Similarities and differences in the responses of microorganisms to biocides. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 52(5), 750-763, doi: <https://doi.org/10.1093/jac/dkg422>.
- Teixeira, S.L., Ribeiro, J.M. and Teixeira, M.T. (2006). Influence of NaClO on nutrient medium sterilization and on pineapple (*Ananas comosus* cv Smooth cayenne) behavior. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 86(2006), 375-378. doi: <https://doi.org/10.1007/s11240-006-9121-3>.
- Yanagawa, T., Nagai, M., Ogino, T. and Maeguch, M. (2006). Application of disinfection to orchid seeds, plantlet and media as a means to prevent in vitro contamination. *Lindleyana*, 10(1), 33-36.
- Yang, X., Guo, W. and Lee, W. (2013). Formation of disinfection byproducts upon chlorine dioxide preoxidation followed by chlorination or chlorination of natural organic matter. *Chemosphere*, 91(11), 1477-1485, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.12.014>.

**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 “ต้องไม่เคยได้รับการตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ใดมาก่อน 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) ให้ระบุว่างานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนหรือความช่วยเหลือจากองค์กรใด 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) ให้ระบุเฉพาะเอกสารที่ผู้เขียนบทความได้นำมาอ้างอิงในบทความวิชาการอย่างครบถ้วนรูปแบบของการเขียนเอกสารอ้างอิงให้จัดทำตามที่ระบุไว้ในข้อ 4 (เอกสารอ้างอิง)

3.3 ตารางและภาพประกอบ ให้จัดแทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็นเท่านั้น โดยเนื้อหาและคำอธิบายในตารางและภาพสามารถใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น

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

ตารางที่ 1 จำนวนฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง และความเร็รรอบของจานโซ่

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

ที่มา: จารุณี (2559)

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

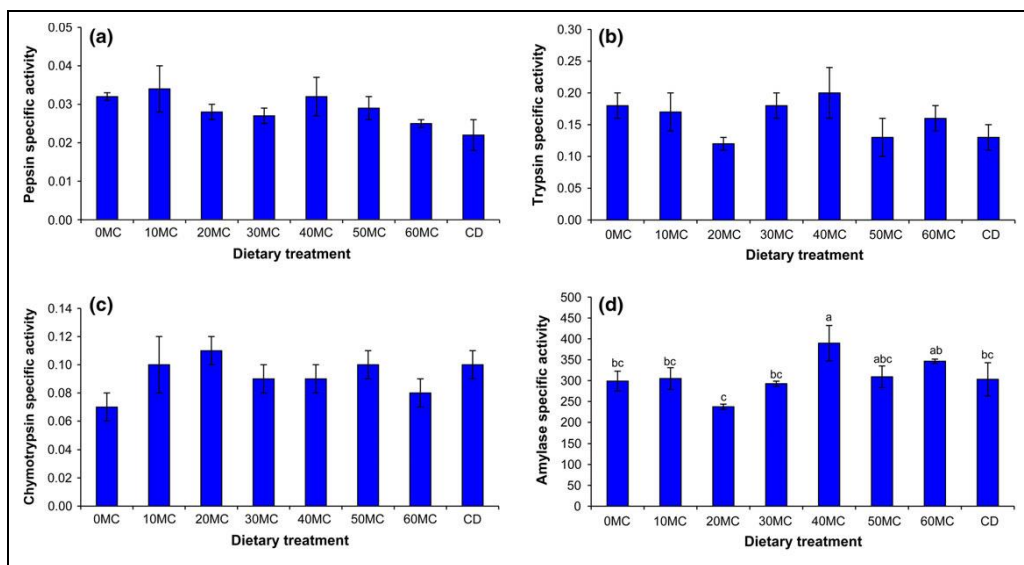


Figure 1 The specific activities (U/mg protein) of pepsin (a), trypsin (b), chymotrypsin (c) and amylase (d) in giant freshwater prawns subjected to various dietary replacements of protein from fish meal with mackerel condensate (MC). The data are expressed as mean $\pm$ SEM ($n = 3$). Different superscripts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

Source: Wattanakul *et al.* (2017)

ตารางสรุปรูปแบบการพิมพ์ส่วนประกอบของบทความ

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

4. การอ้างอิง (References)

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชใช้รูปแบบการอ้างอิงที่ดัดแปลงมาจากสมาคมจิตวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (American Psychological Association: APA) ดังนี้

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

4.1.1 การเขียนอ้างอิงก่อนเนื้อหา

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

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

4.1.2 การเขียนเนื้อหาก่อนการอ้างอิง

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

บทหนึ่งในหนังสือการประชุม (proceeding) และเอกสารการสัมมนา
ชื่อ/ชื่อสกุล./ (ปีที่พิมพ์)./ชื่อบทความหรือบท./ใน/ชื่อการประชุมหรือการสัมมนา/(หน้าแรก-หน้าสุดท้าย)./เมืองที่พิมพ์:/หน่วยงานที่จัดทำ.
ตัวอย่าง กรวรรณ มากสุข. (2555). วากรรมความงามของเต็กมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัด นครศรีธรรมราช. 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