

ISSN 2821-9228 (Print)
ISSN 2821-9244 (Online)



วารสารเกษตรและอาหาร มจร. VRU Agricultural and Food Journal

คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

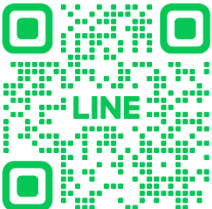
Vol 2 No.1 January - June 2023



วารสารเกษตรและอาหาร มรวอ. (VRU Agricultural and Food Journal)

❖ วารสารเกษตรและอาหาร มรวอ. (VRU Agricultural and Food Journal) เป็นวารสารของคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นวารสารที่เผยแพร่บทความวิจัย และบทความวิชาการ มีกำหนดเผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม วารสารนี้มีการตรวจสอบคุณภาพของบทความ โดยผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบบทความ (peer reviewer) ซึ่งเป็นบุคคลภายในและภายนอกจากหลากหลายสถาบัน อย่างน้อย 3 ท่าน และทางวารสารยินดีเป็นอย่างยิ่งที่จะรับต้นฉบับของทุกท่าน เพื่อประกอบการพิจารณา ตีพิมพ์บทความโดยไม่มีค่าใช้จ่าย

❖ เรื่องที่ลงตีพิมพ์ ได้แก่ เกษตรทั่วไป พืชศาสตร์ พืชไร่ พืชสวน ปฐพีวิทยา สัตวศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร ภูมิทัศน์ ป่าไม้ วาริชศาสตร์ และกีฏวิทยา

❖ ติดต่อสอบถาม รายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับวารสารเกษตรและอาหาร มรวอ. สามารถติดต่อได้ที่
บรรณาธิการวารสารเกษตรและอาหาร มรวอ.
คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
เลขที่ 1 หมู่ที่ 20 ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 13180
โทร: 02-5293002 ต่อ 10, 12
E-mail: afj@vru.ac.th
Website: <http://afj.vru.ac.th/>
Line OA: 

❖ คณะที่ปรึกษา
ศ.ดร.สายันท์ ทัดศรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.ธานี ศรีวงศ์ชัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สุดารัตน์ เจียมยังยืน มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร.ศรีน้อย ชุ่มคำ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ผศ.ดร.ณัฐ พิษกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

❖ บรรณาธิการ
ผศ.ดร.กรรณิกา อัมพข
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

❖ รองบรรณาธิการ
ผศ.ดร.อัมมภา สุขลิ้ม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ผศ.ดร.ศิริพร นามเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
อ.ดร.ธนกร วังสว่าง มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
อ.ศิริวิมล ศรีมีทรัพย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
อ.วรุณยุพา จัตุศรี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

❖ บรรณาธิการจัดเตรียมต้นฉบับ
นายสัมพันธ์ อ่ำสุรา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

❖ พิมพ์ที่
บริษัท แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตปอเรชั่น จำกัด
99/164 ม.2 ถ.แจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่
กรุงเทพฯ 10210
โทรศัพท์: 02-575-1791-3
Email: protexts@hotmail.com

❖ ภาพปก
1. ต้นฟิลิเดนดรอนพิงค์ปรีนเซส
(*Philodendron erubescens*)
ภาพ: อาจารย์ณัฐริยา เกื้อทาน

ข้อความและบทความในวารสารนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนโดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหาและข้อคิดเห็นนั้น ๆ แต่อย่างใด

บทบรรณาธิการ

วารสารเกษตรและอาหาร มรวอ. ดำเนินการตีพิมพ์บทความตามสาขาวิชาต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง พร้อมการวางมาตรฐานและคุณภาพของวารสารที่ทุกบทความที่ได้ตีพิมพ์ได้ผ่านการพิจารณาให้ความเห็นชอบและตรวจแก้ไขทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviewer) อย่างน้อย 3 ท่าน จากหลากหลายสถาบัน เพื่อเตรียมพร้อมเข้าสู่การประเมินคุณภาพวารสารวิชาการตามมาตรฐานศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) และเพื่อส่งเสริมความเข้มแข็งทางวิชาการ และเพื่อเผยแพร่ผลงานอันเป็นประโยชน์ในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ ๆ ทางด้านการเกษตร ภูมิทัศน์ และวิทยาศาสตร์การอาหาร ซึ่งวารสารฉบับนี้เป็นปีที่ 2 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม-มิถุนายน 2566 นี้ ได้รวบรวมบทความวิจัยที่ทันสมัยจากนักวิชาการ คณาจารย์ และนักศึกษาในระดับปริญญาเอก และปริญญาโทจากสถาบันการศึกษาชั้นนำต่าง ๆ โดยมีบทความเกี่ยวข้องทางด้านวิทยาศาสตร์การอาหาร เกษตรทั่วไป และพืชศาสตร์ รวมทั้งสิ้น 5 บทความ

ในโอกาสนี้กองบรรณาธิการวารสารเกษตรและอาหาร มรวอ. ยังเปิดรับบทความจากนักวิจัยและบุคคลทั่วไป ที่มีความสนใจในการเผยแพร่ผลงานวิจัยในลักษณะบทความวิชาการ บทความวิจัยด้านการเกษตรและอาหาร โดยครอบคลุมสาขาดังต่อไปนี้ เกษตรทั่วไป พืชศาสตร์ พืชไร่ พืชสวน ปศุสัตว์ สัตวศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร ภูมิทัศน์ ป่าไม้ วาริชศาสตร์ และกีฏวิทยา และขออนุญาตเชิญชวนผู้สนใจสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่เว็บไซต์วารสารเกษตรและอาหาร มรวอ. <http://afj.vru.ac.th/> และส่งต้นฉบับบทความวิจัยได้ที่อีเมล afj@vru.ac.th

กองบรรณาธิการ

วารสารเกษตรและอาหาร มรวอ. (VRU Agricultural and Food Journal)

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2566

VOLUME 2 NUMBER 1 January-June 2023

บทความวิจัย

หน้า

- การพัฒนาสูตรโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว 1-15
Formulation Development of Instant Rice Berry Porridge Fortified with Egg White Protein
กชกร กันหาเรียง, ทิพวรรณ ทองสุ, ศศิวิมล จิตรากร และ สุธาร์ตน์ เจียมยั้งยืน
- การขยายพันธุ์ต้นฟีโลเดนดรอนพังก์ปรีนเซส (*Philodendron erubescens*) 16-21
โดยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
Effect of Micropropagation of Philodendron Pink Princess (*Philodendron erubescens*) by Tissue Culture Technique
ณัฏฐิยา เกื้อทาน และ วรณยุพา จัตุศรี
- ผลของการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศด้วย *Bacillus subtilis* ต่อความงอก 22-28
ของเมล็ดและการรอดชีวิตของต้นกล้าในโรงเรือนที่เคยมีการระบาดของโรคเหี่ยวเหี่ยว
Effect of Seed Priming with *Bacillus subtilis* on Seed Germination, and Seedling Survival in Outbreak Bacterial Wilt in Greenhouse Condition
ปัทมาวดี คุณวัลลี, เทวี มณีรัตน์ และ กนกวัน พลอดจินดา
- การใช้ประโยชน์ของเหลือจากกระบวนการผลิตหนอนมอดรำข้าวสาลี 29-35
Tenebrio molitor L. (Coleoptera: Tenebrionidae) สู่ความเป็นไปได้
ในการผลิตดอกดาวเรืองอินทรี
Utilization of Mealworm *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) Waste Process for the Possibility of Organic Marigold Production
เทวี มณีรัตน์ และ ปัทมาวดี คุณวัลลี
- การใช้ประโยชน์จากหญ้าเนเปียร์และเศษผักสดในรูปน้ำหมักชีวภาพ: ปริมาณแบคทีเรีย 36-42
ทั้งหมดและค่าความเป็นกรดต่าง
Utilization of Napier Grass and Fresh Vegetable Scraps as Bio-extract: Total Bacteria Count and pH Value
กฤตเมธ ตะนัยศรี และ กรรณิกา อัมพช

การพัฒนาสูตรโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว

Formulation Development of Instant Rice Berry Porridge Fortified with Egg White Protein

กชกร กันหาเรียง¹, ทิพวรรณ ทองสุข¹, ศศิวิมล จิตรากร¹ และ สุธาร์ตนันต์ เจียมยังยืน^{1*}
Kotchakorn Kanhariang¹, Tipawan Thongsook¹, Sasivimon Chittrakorn¹
and Sudarat Jiamyangyuen^{1*}

¹ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์
อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University,
Phitsanulok, Thailand 65000

*Corresponding author: sudaratj@nu.ac.th

Received: 31 March 2023; Accepted: 3 May 2023; Published: 1 June 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาอัตราส่วนของปริมาณปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และปริมาณไข่ขาวต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว โดยศึกษาอัตราส่วน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, และ 20:80 และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว จากการศึกษา พบว่า โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวทุกตัวอย่างมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 และมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.27 และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของไข่ขาวมากขึ้น ทำให้ปริมาณโปรตีน, ค่าแตกต่างสีโดยรวม และค่าดัชนีการละลายน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าดัชนีการดูดซับน้ำลดลง ส่วนโจ๊กคีนรูปมีค่าแตกต่างสีโดยรวมเพิ่มขึ้นและค่าความหนืดลดลง ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้สเกลการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) สเกลวัดความพอดี (Just about right, JAR) และคะแนนความเข้มข้นกลิ่นคาว พบว่า สูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 40 ให้คุณลักษณะที่เหมาะสมที่สุด ในการนำไปปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงขึ้น ผลการทดสอบความเข้มข้นกลิ่นคาว พบว่า มีเพียงสูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 80 มีคะแนนความเข้มข้นกลิ่นคาวสูงกว่าสูตรอื่นๆ ผลการวิเคราะห์ค่าพินอลติ (Penalty analysis) พบว่า คุณลักษณะด้านสีม่วงของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อ่อนเกินไปและเนื้อสัมผัสของโจ๊กที่หยาบเกินไปมีผลต่อการยอมรับรวม (Noteworthy) จึงควรปรับปรุงให้ได้โจ๊กที่มีสีม่วงของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เข้มข้นและปรับเนื้อสัมผัสของโจ๊กให้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น

คำสำคัญ: ไข่ขาว; โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป; ข้าวไรซ์เบอร์รี่; โปรตีน; คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effect of broken rice berry and egg white ratio on chemical and physical properties of instant rice berry porridge fortified with egg white protein. The ratio of broken rice and egg white evaluated were 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, and 20:80 and the consumer acceptance of instant rice berry porridge fortified with egg white protein was investigated. The result obtained indicated that the instant porridge fortified with egg white protein in all samples had moisture content less than 7% with water activity value less than 0.27. Moreover, increase in the addition of egg white resulted in higher protein content, total

color difference (ΔE) and water solubility index while lower the water absorption index. After adding water, the instant porridge fortified with more egg white added showed increased total color difference (ΔE) and decreased viscosity. Sensory evaluation using the 9-point hedonic scale, the just about right (JAR) scale and egg smell intensity score demonstrated that the 40% egg white formula was the most desirable as the overall acceptability scores and properties were improved indicating more acceptance by the consumers. The result of egg smell intensity score demonstrated that only the 80% egg white formula had a higher score for the egg smell intensity than other formula. The result from the penalty analysis indicated that the attributes of the too-soft endpoints of the purple color of rice berry rice and too-rough endpoints of the texture of the porridge had a significant effect on total acceptance (Noteworthy). Therefore, properties of instant porridge fortified with egg white protein could be improved by adjusting the darker purple color of the rice berry rice and adjusting the texture of the porridge to a softer texture.

Keywords: egg white; instant porridge; rice berry; protein; sensory characteristics

คำนำ

ปัจจุบันอาหารกึ่งสำเร็จรูปได้รับความนิยมมากขึ้น ผู้บริโภคเลือกที่จะบริโภคอาหารกึ่งสำเร็จรูปเนื่องจากสะดวกสบาย และรวดเร็ว โดยผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมามุ่งเน้นในเรื่องคุณภาพ และใส่ใจในเรื่องสุขภาพมากขึ้น โดยอาหารกึ่งสำเร็จรูปมีให้เลือกมากมาย เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป อาหารกึ่งสำเร็จรูปแช่แข็ง เป็นต้น (Niyomwet *et al.*, 2018) ซึ่งปัจจุบันตลาดโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป เป็นตลาดที่มีศักยภาพการขยายตัวในการตลาดสูง ดังนั้น จึงทำให้ตลาดโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปมีบทบาทและขยายตัวได้อย่างรวดเร็ว (Khuenpet *et al.*, 2019)

ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเป็นอาหารที่ทำมาจากธัญพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวกล้องโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปยังเป็นที่ยอดนิยมในเอเชียและในประเทศไทย เนื่องจากสะดวกต่อการรับประทาน หาซื้อได้ง่าย มีราคาถูก มีอายุการเก็บรักษาที่นาน (Khuenpet *et al.*, 2019) ทำให้ตลาดโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปมียอดขายเติบโตมากขึ้น โดยในปี 2560 ตลาดโจ๊กและข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูปในประเทศมีมูลค่าทางการตลาด 2 พันล้านบาท และตลาดโจ๊กและข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูป มีการเติบโตเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 44 (Deeprasert, 2018) โจ๊กจัดเป็นอาหารที่คนไทยคุ้นเคย สำหรับบริโภคเป็นอาหารเช้าและนิยมบริโภคเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุและผู้ป่วยพักฟื้น เนื่องจากย่อยง่ายและอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ โจ๊กที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 11.77 (Khuenpet *et al.*, 2019) และส่วนใหญ่ใช้ข้าวหอมมะลิเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งในข้าวหอมมะลิเมื่อผ่านความร้อนจะเกิดเจลลิตินในช่องว่างสมบูรณ์และโครงสร้างโมเลกุลเปลี่ยนแปลงทำให้ช่วยเพิ่มการย่อยเป็นผลให้ค่าดัชนีน้ำตาลในเลือดสูง (Srikaeo and Sopade, 2010) และหากรับประทานอาหารประเภทนี้เป็นประจำ โดยไม่เติมสารอาหารอื่น จะทำให้ได้คุณค่าจากสารอาหารไม่เพียงพอ ในปัจจุบันมีการพัฒนาโจ๊กที่เพิ่มสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น โจ๊กผสมถั่วและลูกเดือย โจ๊กข้าวโอ๊ต โจ๊กข้าวหอมมะลิ และโจ๊กผสมโปรตีนและหางนม (Deeprasert, 2018)

ไข่ขาวจัดว่าเป็นโปรตีนที่มีความบริสุทธิ์และเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย โปรตีนที่มีสัดส่วนมากที่สุดคืออัลบูมิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี มีไขมันต่ำและมีประสิทธิภาพการดูดซึมสูงสุดที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ได้ทันที โดยในเลือดจะมีปริมาณโปรตีนอัลบูมินอยู่ที่ 3.2-5.0 กรัมต่อเดซิลิตร (Nakban, 2020) หากในเลือดมีค่าอัลบูมินต่ำจะทำให้ร่างกายขาดภูมิคุ้มกันโรคและทำให้ติดเชื้อได้ง่าย มีการนำไข่ขาวไปใช้อย่าง

แพร่หลายในอุตสาหกรรมและเป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยในโรงพยาบาล (Deeprasert, 2018) ผู้ป่วยที่เป็นโรคเรื้อรังต้องจำกัดการรับประทานอาหารกลุ่มโปรตีน เนื่องจากเมื่อโปรตีนในร่างกายถูกเผาผลาญจะถูกกำจัดทางไต ทำให้ไตทำงานหนัก ดังนั้นการรับประทานอาหารที่มีโปรตีนคุณภาพดีจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ป่วย (Nakban, 2020) จากข้อมูลที่ได้กล่าวมานั้น จึงเลือกใช้ไข่ขาวเป็นวัตถุดิบหลักในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่เกิดจากการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิล (พันธุ์พ่อ) และข้าวขาวดอกมะลิ 105 (พันธุ์แม่) ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นวัตถุดิบอย่างหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตโจ๊ก โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่มีรงควัตถุหรือสารสีม่วงแดงที่เรียกว่าแอนโทไซยานิน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังมีสารอาหารมากมายหลายชนิดได้แก่ เบต้าแคโรทีน แกมมาโอไรซานอล โอเมก้า 3 ธาตุเหล็ก มีดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลางและมีใยอาหารสูงที่อยู่ในรำข้าวจึงช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาลช้ากว่าข้าวขาวขัดสีหรือข้าวกล้อง ดังนั้นเซลล์ในร่างกายจะรับน้ำตาลในเลือดไปใช้เป็นพลังงานได้มากขึ้นระดับน้ำตาลในเลือดจึงต่ำลง ข้าวไรซ์เบอร์รี่เต็มเมล็ดมีราคาค่อนข้างสูง แต่ระหว่างกระบวนการสีข้าว จะมีข้าวที่เกิดจากการแตกหัก เรียกว่า ปลายข้าวหรือข้าวหัก ซึ่งเป็นส่วนที่เล็กกว่า 2.5 ส่วนจาก 10 ส่วน จัดเป็นข้าวที่ไม่ตรงตามเกณฑ์มาตรฐาน (Tammatanta and Wipusitworakul, 2016) ปลายข้าว จึงมีราคาขายต่ำเฉลี่ย กิโลกรัมละ 15-20 บาท ต่ำกว่าราคาข้าวสารปกติประมาณ 2-3 เท่า (Khwanchai and Fong-In, 2021) ปัจจุบันเริ่มมีการใช้ประโยชน์จากปลายข้าวนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด ได้แก่ การใช้ประโยชน์จากปลายข้าวเพื่อผลิตข้าวแต่น (Charoenphun, 2020) การพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมแป้งเกล็ดเสริมคุณสมบัติของไลโคปีนจากมะละกอสุก (Jakkranuhwat and Kunchansombat, 2021) การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำสลัดลดพลังงานจากข้าวหักไรซ์เบอร์รี่ (Tammatanta and Wipusitworakul, 2016) เป็นต้น เนื่องจากปลายข้าวหรือข้าวหักยังคงมีสารอาหารที่มีประโยชน์ การนำปลายข้าวหรือข้าวหักมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับปลายข้าวหรือข้าวหัก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ยังคงคุณค่าทางโภชนาการ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกข้าว (Charoenphun, 2020)

วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำไข่ขาวมาใช้ประโยชน์โดยเป็นแหล่งของโปรตีนในโจ๊กกึ่งสำเร็จ โดยมีขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของข้าวไรซ์เบอร์รี่และปริมาณไข่ขาวต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว เพื่อเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคในการรับประทานอาหารจากไข่ขาว

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ แพ็คสุญญากาศ ซื้อมาจากบริษัทรุ่งนที ดีโรซ์ จำกัด จังหวัดพิษณุโลก ประเทศไทย เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2565 มีอายุการเก็บรักษา 6 เดือน กว๊ารกัม ซื้อมาจากบริษัทเมอร์ เคจี เออจำกัด ประเทศไทย ไข่ขาวเหลว ข้าวโพดหวานกระป๋อง แคร่รอตสด ต้นหอม ชิงสด พริกไทยขาวป่นและน้ำตาลทรายขาว ซื้อจากซูเปอร์มาร์เก็ตท้องถิ่นในจังหวัดพิษณุโลก

การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมไข่ขาวต้ม

นำไข่ขาวใส่ถุงพลาสติกทนความร้อน จากนั้นนำไปต้มในน้ำสะอาด 1000 มิลลิลิตรด้วยเตาแม่เหล็กไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ให้ไข่ขาวเซตตัว

การเตรียมข้าวไรซ์เบอร์รี่

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่หั่นครึ่งแล้วล้างและล้างทำความสะอาด จากนั้นนำไปต้มกับน้ำในสัดส่วนของปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อน้ำ 1:6 โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนด้วยเตาแม่เหล็กไฟฟ้า อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที กวนผสมอย่างต่อเนื่อง พักปลายข้าวต้มให้เย็นลงจนอุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส ได้เป็นข้าวไรซ์เบอร์รี่ชั้นเพื่อนำมาใช้ในการผลิต โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปต่อไป (ดัดแปลงจากวิธีของ Musika *et al.*, 2020)

การเตรียมวัตถุดิบอบแห้งเพื่อผสมกับผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว

การทำแห้งวัตถุดิบอบแห้งสำหรับทำผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป สำหรับแครรอตหั่นเป็นลูกเต๋ารูขนาด $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ เซนติเมตร นำไปต้ม 10 นาทีจนสุก ข้าวโพดหวานหั่นขนาด $0.5 \times 0.5 \times 0.8$ เซนติเมตร นำไปต้ม 10 นาที ต้นหอมหั่นขนาด $0.3 \times 0.3 \times 0.5$ เซนติเมตร หิงหั่นเป็นเส้นขนาด $0.2 \times 1 \times 0.2$ เซนติเมตร จากนั้นนำวัตถุดิบทั้งหมดที่เตรียมไว้ทำแห้งด้วย เครื่องอบแห้งแบบ Tray ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 (ดัดแปลงจากวิธีของ Niyomwet *et al.*, 2018)

การเตรียมผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ชั้นที่ได้ผสมกับไข่ขาวต้มสุกตามอัตราส่วนของข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อไข่ขาวคือ 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80 หรือเรียกว่าสูตรเต็มไข่ขาวร้อยละ 0, 20, 40, 60 และ 80 ตามลำดับ จากนั้นนำไปปั่นและนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่สภาวะอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.5 มิลลิเมตร นำแผ่นโจ๊กที่อบได้มาบดด้วยเครื่องปั่นได้เป็นผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว นำผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวร้อยละ 90 ผสมกับวัตถุดิบที่ผ่านการทำแห้ง ได้แก่ แครรอต, ข้าวโพดหวาน, ต้นหอม และหิง อย่างละร้อยละ 1.5 น้ำตาลทรายขาวร้อยละ 2.5, พริกไทยขาวป่นร้อยละ 1, และกัวร์กัมร้อยละ 0.5 (น้ำหนักรวมของวัตถุดิบอบแห้งรวมร้อยละ 10 ของน้ำหนักโจ๊กทั้งหมด) บรรจุผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ในซองพอยล์ปิดสนิท ปริมาณซองละ 5 กรัม เก็บในโถสุญญากาศความชื้นตลอดเวลาก่อนนำมาวิเคราะห์ จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ และวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

1. วิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การวิเคราะห์ความชื้นของตัวอย่างผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว ใช้วิธีการของ AOAC (2000) ชั่งตัวอย่าง 3 g ลงในถ้วยอลูมิเนียม นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ทำซ้ำ 3 ซ้ำ คำนวณหาค่าปริมาณความชื้น จากสมการ

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{w_1 - w_2 \times 100}{w_1}$$

โดย w_1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (g)

w_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (g)

2. การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี

ชั่งตัวอย่างผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว 2 กรัม นำไปใส่ในภาชนะสำหรับบรรจุตัวอย่าง จากนั้นนำไปวัดค่า a_w ทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง Water Activity, a_w (Aqua Lab, model: Series 4TE, U.S.A) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3. วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ไนโตรเจน โปรตีนอัตโนมัติ (Automatic Nitrogen protein analyser) (ยี่ห้อ Leco รุ่น TruMac N, U.S.A) ใช้วิธีการของ AOAC Official Method 990.03: Combustion Method การวิเคราะห์เริ่มจากชั่งน้ำหนักตัวอย่างผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว ใส่ภาชนะที่ปราศจากไนโตรเจน จากนั้นนำตัวอย่างไปเผาในเตาเผา (Combustion tube) ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ภายใต้ออกซิเจนที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.97 % ประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ แสดงผลเป็นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและสามารถคำนวณเป็นปริมาณโปรตีนโดยคูณด้วยแฟกเตอร์ 6.25 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4. การวิเคราะห์ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab, Color Flex EZ, UK) มีค่ามาตรฐาน white plate คือ ค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 94.16 ค่าสีแดง (a^*) เท่ากับ -0.81 และค่าสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 1.46 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ รายงานผลค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) วิเคราะห์โดยใช้ตัวอย่าง 2 แบบคือ เป็นผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวและโจ๊กคินรูป ใช้ตัวอย่างผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวปริมาณ 25-30 กรัม อุณหภูมิตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 °C) และนำตัวอย่างผงโจ๊กที่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว 10 กรัม เติมน้ำร้อน 72 มิลลิลิตร (ปริมาณน้ำร้อนเท่ากันทุกตัวอย่าง) อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส คนให้เข้ากัน รอจนอุณหภูมิตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นคำนวณค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE) จากสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

L^* , a^* และ b^* คือค่าความสว่าง ค่าสีแดงและสีเขียว และค่าสีเหลืองและสีน้ำเงินของตัวอย่างเดิมไข่ขาวร้อยละ 20, 40, 60 และ 80

L_0^* , a_0^* และ b_0^* คือค่าความสว่าง ค่าสีแดงและสีเขียว และค่าสีเหลืองและสีน้ำเงินของตัวอย่างเดิมไข่ขาวร้อยละ 0

5. การวิเคราะห์ความหนืด

วิเคราะห์ค่าความหนืดโดยชั่งตัวอย่างผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว 35 กรัม เติมน้ำร้อน 250 มิลลิลิตร (ปริมาณน้ำร้อนเท่ากันทุกตัวอย่าง) อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิตัวอย่างลดลงถึง 60-65 °C จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer ใช้หัววัด R7 (ตัวอย่างโจ๊กคินรูปเดิมไข่ขาวร้อยละ 0 และ 20) ใช้หัววัด R5 (ตัวอย่างโจ๊กคินรูปเดิมไข่ขาวร้อยละ 40) ใช้หัววัด R2 (ตัวอย่างโจ๊กคินรูปเดิมไข่ขาวร้อยละ 60 และ 80) โดยอธิบายค่าความหนืดที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

6. การวิเคราะห์ดัชนีการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index, WAI)

การวัดดัชนีการดูดซับน้ำวิเคราะห์ตามวิธีของ Anderson et al. (1969) ทำโดยชั่งผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว ปริมาณ 2.5 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิลิตร จากนั้นทำการคนทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที นำส่วนที่ติดกับแท่งแก้วมาล้างด้วยน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แยกน้ำส่วนใสด้านบนออก และนำหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมส่วนที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก ทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณค่าดัชนีการดูดซับน้ำ ดังสมการ

$$WAI = \frac{\text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมตะกอน} - \text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

7. การวิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำ (Water Soluble Index, WSI)

การวัดดัชนีการละลายน้ำวิเคราะห์ตามวิธีของ Anderson et al. (1969) ทำโดยชั่งผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว ปริมาณ 2.5 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เทส่วนใสลงในถ้วยออสุมิเนียม นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณค่าดัชนีการละลายน้ำ จากสมการ

$$WSI = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำได้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การศึกษาสุตรโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด ทำโดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 30 คน เตรียมตัวอย่างผงโจ๊กสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว 5 กรัม (ปริมาณเท่ากันทุกตัวอย่าง) เติมน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ปริมาณ 36, 35, 30, 25 และ 20 มิลลิลิตร ในตัวอย่างที่เติมน้ำข้าวร้อยละ 0, 20, 40, 60 และ 80 ตามลำดับ เสิร์ฟ ในถ้วยพลาสติกทนร้อนขนาด 2 ออนซ์ พร้อมน้ำเปล่า ใส่รหัสตัวอย่างโดยใช้เลขสุ่ม 3 หลัก ทำการเสิร์ฟตัวอย่างให้ผู้ทดสอบขณะที่โจ๊กมีอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบโดยใช้ 3 วิธี ดังนี้

วิธีการทดสอบโดยใช้สเกล 9-point hedonic scale โดยให้คะแนน 9 = ชอบมากที่สุด, 5 = เฉยๆ, และ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ประเมินในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม

วิธีการทดสอบโดยใช้สเกลวัดความพอดี (Just about right, JAR scale) 5 ระดับ ทำการทดสอบคุณลักษณะ ได้แก่ สีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ (สีม่วงอ่อนเกินไป สีม่วงอ่อนไป พอดี สีม่วงเข้มไป และสีม่วงเข้มมากไป) เนื้อสัมผัสของโจ๊ก (ละเอียดเกินไป และไปพอดี หยากไป และหยากมากไป) และความข้นหนืดของโจ๊ก (น้อยเกินไป น้อยไป พอดี มากไป และมากเกินไป)

วิธีการทดสอบโดยใช้สเกลความเข้มข้น 5 ระดับ โดยทำการประเมินด้านกลิ่นไข่ขาวของผลิตภัณฑ์ 1=ไม่มีกลิ่นคาว 2=กลิ่นคาวเล็กน้อย 3=กลิ่นคาวปานกลาง 4=กลิ่นคาวมาก 5=กลิ่นคาวมากไป

จากนั้น คัดเลือกสุตรโจ๊กคั้นรูปที่มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด นำไปประเมินแนวทางในการตัดสินใจเกี่ยวกับการปรับปรุงลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มากขึ้นโดยใช้การวิเคราะห์แบบพินอลติ (ค่าเฉลี่ยที่ลดลง) หรือ Penalty (mean drop) analysis (Wangcharoen, 2013) การคำนวณวิเคราะห์แบบพินอลติ ดังสมการ

Mean Drop = ค่าเฉลี่ยความชอบโดยรวมของระดับที่ไม่พอดี - ค่าเฉลี่ยความชอบโดยรวมของระดับพอดี

$$\text{Total Penalty} = \text{Mean Drop} \times \text{ร้อยละของคำตอบของระดับที่ไม่พอดี}$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) สำหรับวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีทดลอง 3 ซ้ำ และวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized

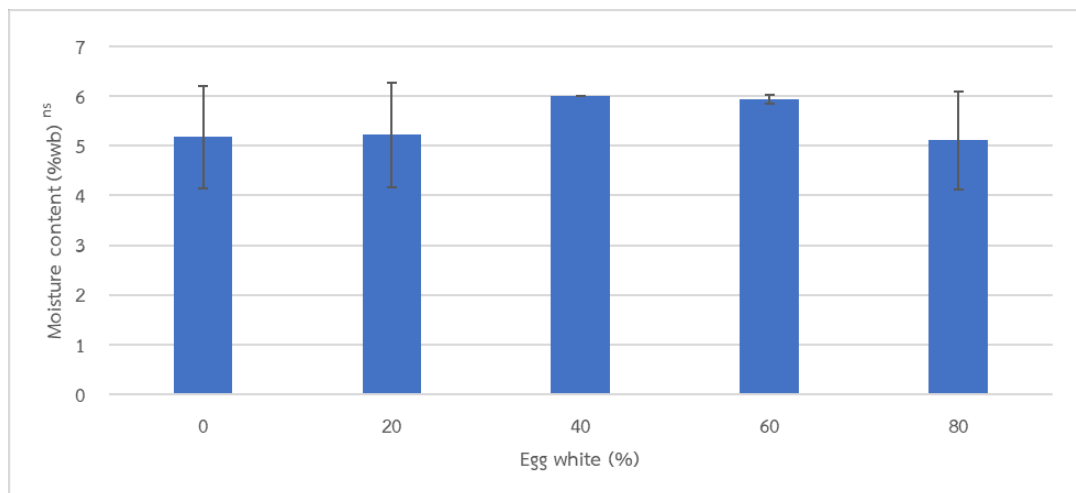
Complete Block Design) สำหรับการประเมินทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยวิธี Analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

โครงการวิจัยผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์เอกสารเลขที่ COA No. 469/2022

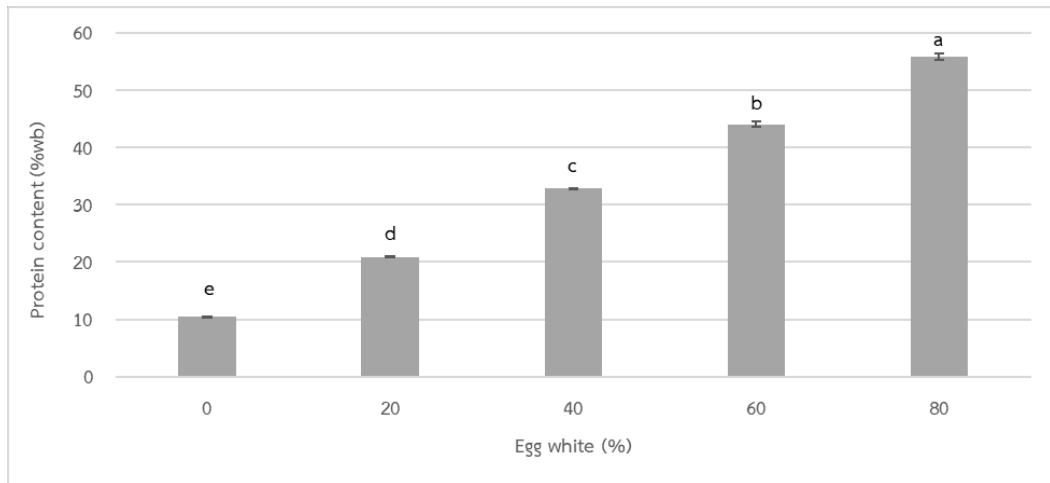
ผลการทดลองและวิจารณ์

การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

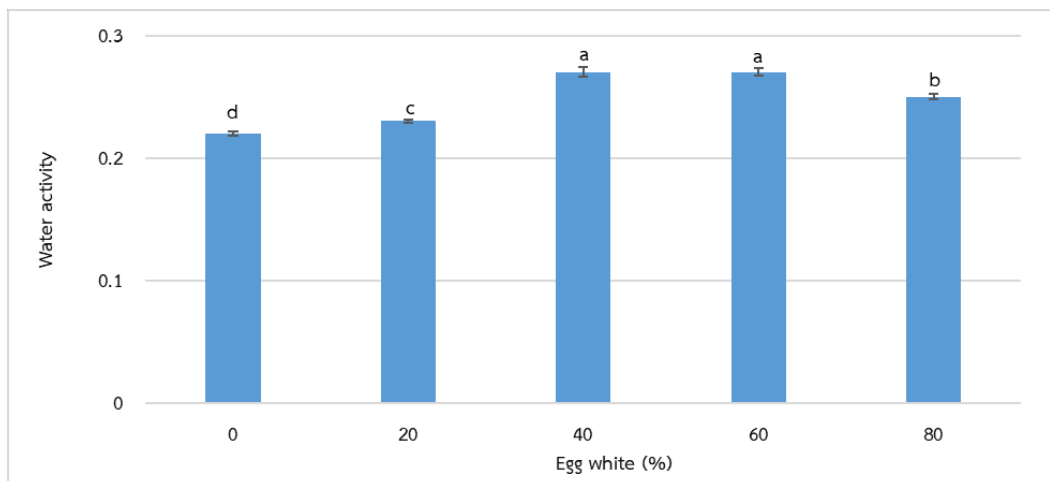
จากผลการทดลองพบว่า ผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวทุกตัวอย่าง (Figure 1a) มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5.11-6.00 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป (มอก.) (Ministry of industry-TISs 315/2005) ที่กำหนดไว้ว่า ต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีน (Figure 1b) พบว่าตัวอย่างที่เติมไข่ขาวร้อยละ 0 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 11.14 ซึ่งใกล้เคียงกับผลของ Khuenpet *et al.* (2019) รายงานว่าโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 11.48 และเมื่อเติมไข่ขาวลงไป โดยในไข่ขาวมีโปรตีนร้อยละ 9.7-10.6 (Deeprasert, 2018) ทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ปริมาณโปรตีนของผงโจ๊กกึ่งข้าวไรซ์เบอร์รี่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวทุกตัวอย่าง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่กำหนดให้โปรตีนต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อพิจารณาค่า a_w ของผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว แสดงใน Figure 1c พบว่าผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวทุกตัวอย่างมีค่าน้อยกว่า 0.6 เมื่อค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ทำให้เชื้อจุลินทรีย์หยุดการเจริญเติบโตสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน (Khuenpet *et al.*, 2019) และเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป (มผช.) (Ministry of Industry- No.1068, 2015) ที่กำหนดไว้ว่า มีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ไม่เกิน 0.6



(a) Moisture content of instant rice berry porridge fortified with egg white protein powder



(b) Protein content of instant rice berry porridge fortified with egg white protein powder



(c) Water activity of instant rice berry porridge fortified with egg white protein powder

Figure 1 Moisture content (%); (a) Protein content (%); (b) and water activity; (c) of instant rice berry porridge fortified with egg white protein powder. [^{a-e} Means with different letters above each column indicate significant differences ($P < 0.05$); ^{ns} not significant ($P > 0.05$).]

เมื่อพิจารณาค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวและโจ๊กคั้นรูป (Table 1) พบว่าเมื่อเติมไข่ขาวมากขึ้น ทำให้ค่าความสว่าง (L^*) ของผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวและโจ๊กคั้นรูปมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสีม่วงเข้มเมื่อเติมไข่ขาวส่งผลทำให้มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีแดง (a^*) ของผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวและโจ๊กคั้นรูป มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสารแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นรงควัตถุหรือสารสีแดงถึงม่วง เมื่อเติมไข่ขาวที่มีสีขาวยาวไปจึงส่งผลทำให้ค่า a^* ลดลง ค่าสีเหลือง (b^*) ของผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว มีค่าเพิ่มขึ้น

เนื่องจากการใช้ความร้อนในการทำแห้งของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีในข้าวไรซ์เบอร์รี่กับโปรตีนที่มีในไข่ ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ (Deeprasert, 2018) ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณไข่ขาวผลิตภัณฑ์จึงมีค่า b^* เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสีเหลือง (b^*) ของโจ๊กคีนรูป พบว่ามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจาก สีของตัวอย่างถูกเจือจางเมื่อเติมน้ำลงไป ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Niyomwet *et al.* (2018) ที่ศึกษาเกี่ยวกับอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อน้ำ พบว่า เมื่อเติมน้ำในตัวอย่างโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ ทำให้ค่าสีเหลือง (b^*) ลดลง เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE) ของผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวและโจ๊กคีนรูปพบว่า เมื่อปริมาณไข่ขาวมากขึ้นค่าความแตกต่างสีโดยรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Table 1 Analysis of color (L^* , a^* and b^*) of non-rehydrated and rehydrated instant rice berry porridge fortified with egg white protein

Sample (egg white %)	Color of instant rice berry porridge fortified with egg white protein powder				Color of rehydrated instant rice berry porridge fortified with egg white protein			
	L^*	a^*	b^*	ΔE	L^*	a^*	b^*	ΔE
0	40.88 $\pm$ 0.01 ^a	8.08 $\pm$ 0.01 ^a	6.50 $\pm$ 0.01 ^a	-	29.96 $\pm$ 0.01 ^e	6.80 $\pm$ 0.02 ^a	4.72 $\pm$ 0.01 ^a	-
20	43.62 $\pm$ 0.00 ^d	7.85 $\pm$ 0.01 ^b	7.23 $\pm$ 0.02 ^d	2.84 $\pm$ 0.01 ^d	35.44 $\pm$ 0.00 ^d	5.27 $\pm$ 0.00 ^b	4.52 $\pm$ 0.01 ^b	5.70 $\pm$ 0.01 ^d
40	47.33 $\pm$ 0.01 ^c	6.58 $\pm$ 0.01 ^c	7.82 $\pm$ 0.01 ^c	6.75 $\pm$ 0.01 ^c	37.24 $\pm$ 0.01 ^c	4.14 $\pm$ 0.01 ^c	4.44 $\pm$ 0.01 ^c	7.76 $\pm$ 0.01 ^c
60	48.74 $\pm$ 0.01 ^b	5.95 $\pm$ 0.01 ^d	7.90 $\pm$ 0.01 ^b	8.26 $\pm$ 0.00 ^b	39.59 $\pm$ 0.01 ^b	3.19 $\pm$ 0.01 ^d	4.35 $\pm$ 0.01 ^d	10.29 $\pm$ 0.01 ^b
80	52.74 $\pm$ 0.00 ^a	4.53 $\pm$ 0.02 ^e	8.12 $\pm$ 0.00 ^a	12.49 $\pm$ 0.01 ^a	42.71 $\pm$ 0.02 ^a	2.61 $\pm$ 0.01 ^e	4.32 $\pm$ 0.01 ^e	13.44 $\pm$ 0.02 ^a

a-e Mean values and standard deviations with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดของโจ๊กคีนรูปที่มีสัดส่วนของไข่ขาวที่แตกต่างกัน 5 ระดับ (Table 2) พบว่าตัวอย่างเติมไข่ขาวร้อยละ 0 มีค่าความหนืดสูงสุด โดยการเปลี่ยนแปลงความหนืดของโจ๊กคีนรูปขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดของอะมิโนและอะมิโนเลคตินที่มีในข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Khuenpet *et al.*, 2019) เมื่อปริมาณข้าวไรซ์เบอร์รี่ลดลง ทำให้ค่าความหนืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อปริมาณไข่ขาวเพิ่มขึ้นทำให้โจ๊กคีนรูปมีความหนืดน้อยลง เนื่องจาก โปรตีนในไข่ขาวเมื่อผ่านความร้อนสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (denaturation) และเกิดการรวมตัวกันทำให้โปรตีนตกตะกอน (aggregation) (Akkouche *et al.*, 2012) ส่งผลทำให้เมื่อปริมาณไข่ขาวเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จึงมีความหนืดน้อยลง ($p < 0.05$)

ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) และค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ของผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว (Table 2) ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับน้ำของสตาร์ช ส่วนค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณโพลีแซ็กคาไรด์ในอาหารที่ละลายน้ำได้ โดยจะถูกปล่อยจากองค์ประกอบของแป้งหลังกระบวนการผลิตและขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่ละลายน้ำได้ (Khuenpet *et al.*, 2019) จากผลการทดลองพบว่า ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) ของตัวอย่างเติมไข่ขาวร้อยละ 0 มีค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) สูงสุด เนื่องจากในข้าวไรซ์เบอร์รี่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบเมื่อผ่านความร้อนที่อุณหภูมิสูง ความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้ง ส่งผลทำให้ข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าตัวอย่างอื่นๆ เมื่อปริมาณข้าวไรซ์เบอร์รี่ลดลง ทำให้ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Niyomwet *et al.* (2018) ที่ได้ทำการศึกษาการพัฒนาสูตรโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป โดยศึกษาผลของอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง ผลของความเร็วยรอบการหมุนของลูกกลิ้ง และผลของ

ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง และความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าดัชนีการดูดซับน้ำ จากการทดลอง พบว่า ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) ของผงข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งและอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งสูงขึ้น เนื่องจาก เมื่อผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ผ่านความร้อนสูง พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งถูกทำลาย ส่งผลทำให้แป้งเม็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถดักจับน้ำและดูดซับน้ำได้มากขึ้น ค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ของผงแป้งที่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่เติมไข่ขาว ร้อยละ 40, 60 และ 80 มีค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) สูงกว่าตัวอย่างที่เติมไข่ขาวร้อยละ 0 และ 20 เป็นผลมาจาก ความร้อนสูงส่งผล ทำให้โครงสร้างของเม็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีลักษณะเป็นเกล็ดที่เหลื่อม พื้นผิวของอนุภาคบางส่วนมีลักษณะเรียบและบางส่วนมีลักษณะเป็นหลุม ส่วนโครงสร้างของไข่ขาวจะขึ้นขนาดและพื้นผิวของอนุภาคที่เล็กและเรียบ เมื่อเพิ่มปริมาณไข่ขาวมากขึ้น ค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) จึงมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vargas-del-Rio *et al.* (2022) ได้ผลิตผงไข่ไก่และศึกษาอัตราส่วนของไข่แดงต่อไข่ขาว การเติมน้ำตาลซูโครสต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณสมบัติทางโภชนาการและกรดอะมิโนของผงไข่ไก่ พบว่า ค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ของผงไข่ไก่ทุกตัวอย่างมีค่าสูงกว่าร้อยละ 80 เนื่องจากผลของอุณหภูมิในการทำแห้ง ส่งผลทำให้ขนาดอนุภาคของตัวอย่างเล็กลง ตัวอย่างจึงมีพื้นที่สัมผัสน้ำมากขึ้น การละลายน้ำจึงมีค่าสูงขึ้น

Table 2 Analysis of viscosity, water absorption index (WAI), and water solubility index (WSI) of instant rice berry porridge fortified with egg white protein powder

Sample (egg white %)	Viscosity (cp)	WAI	WSI
0	18466.67 $\pm$ 305.51 ^a	647.15 $\pm$ 19.28 ^a	4.25 $\pm$ 0.13 ^b
20	10333.33 $\pm$ 57.74 ^b	547.81 $\pm$ 10.11 ^b	4.62 $\pm$ 0.22 ^b
40	1553.33 $\pm$ 20.82 ^c	439.97 $\pm$ 8.91 ^{cd}	6.63 $\pm$ 0.20 ^a
60	575.67 $\pm$ 4.16 ^d	443.38 $\pm$ 6.46 ^c	6.93 $\pm$ 0.68 ^a
80	117.67 $\pm$ 15.5 ^e	419.73 $\pm$ 5.58 ^d	7.26 $\pm$ 0.10 ^a

a-e Mean values and standard deviations with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 30 คน ที่มีต่อตัวอย่างโจ๊กคีนรูปที่มีสัดส่วนของไข่ขาวที่แตกต่างกัน 5 ระดับ (Table 3) พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมของสูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 40 สูงกว่าคะแนนความชอบโดยรวมของสูตรอื่นๆ ยกเว้น สูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านคุณลักษณะต่างๆพบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัสของสูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 20 และ 40 ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติของสูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 40 สูงกว่าคะแนนของสูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาคะแนนความเข้มข้นด้านกลิ่นคาว พบว่า สูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 0, 20, 40, 60, และ 80 มีคะแนนความเข้มข้นด้านกลิ่นคาวเท่ากับ 1.27 $\pm$ 0.64, 1.33 $\pm$ 0.55, 1.20 $\pm$ 0.41, 1.67 $\pm$ 0.96, และ 2.17 $\pm$ 1.02 ตามลำดับ โดยผู้ทดสอบให้คะแนนสูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 0, 20, 40, และ 60 อยู่ในระดับไม่มีกลิ่นคาว มีเพียงสูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 80 มีคะแนนความเข้มข้นด้านกลิ่นคาวสูงกว่าสูตรอื่นๆ โดยอยู่ในระดับมีกลิ่นคาวเล็กน้อย สูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 60 และ 80 ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณโปรตีนสูงแต่มีคะแนนความชอบรวมน้อยกว่าสูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 20 และ 40 ทั้งนี้เนื่องจากการเติมไข่ขาวปริมาณมากมีผลต่อลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และเนื้อ

สัมผัสของโจ๊กคีนรูป ดังนั้น การคัดเลือกสูตรโจ๊กคีนรูปที่เหมาะสมในการนำไปพัฒนาต่อ ได้แก่ สูตรเติมไข่ขาว ร้อยละ 40 เพราะนอกจากมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติสูงกว่าสูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 20 แล้วยังเป็น สูตรที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 20

Table 3 Sensory characteristics of instant rice berry porridge fortified with egg white protein evaluated by 9-point hedonic scale

Sample (egg white %)	Appearance	Color	Flavor	Taste	Texture	Overall preference
0	5.10 ± 1.69 ^b	5.47 ± 1.91 ^{ab}	5.17 ± 1.21 ^b	4.00 ± 1.70 ^c	5.20 ± 2.12 ^{ab}	5.27 ± 1.68 ^b
20	6.20 ± 1.19 ^a	5.77 ± 1.77 ^a	5.27 ± 1.20 ^b	4.80 ± 1.37 ^{bc}	5.67 ± 2.09 ^a	5.73 ± 1.31 ^{ab}
40	6.00 ± 1.55 ^a	5.70 ± 1.53 ^a	6.40 ± 1.38 ^a	5.70 ± 1.90 ^a	5.67 ± 1.67 ^a	6.37 ± 1.45 ^a
60	5.30 ± 1.37 ^b	5.33 ± 1.29 ^{ab}	5.67 ± 1.79 ^b	5.30 ± 1.72 ^{ab}	4.90 ± 1.75 ^{ab}	5.57 ± 1.48 ^b
80	5.17 ± 1.46 ^b	4.93 ± 1.44 ^b	5.10 ± 1.69 ^b	5.47 ± 1.94 ^{ab}	4.57 ± 1.87 ^b	5.23 ± 1.48 ^b

a-c Mean values and standard deviations with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาว ของสูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 40 โดยการทดสอบด้วยวิธี 9-point hedonic scale ร่วมกับวิธี 5-point just about right (Table 4) พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ เนื้อสัมผัสของโจ๊ก และความข้นหนืดของโจ๊ก โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.52-6.94

ผลการทดสอบความพอดี โดยเกณฑ์การพิจารณาค่าความถี่ที่อยู่ในระดับพอดีมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 65 ไม่ต้องการปรับปรุงลักษณะ (Supanpayak *et al.*, 2020) จากผลการทดสอบความพอดี พบว่า ผู้ทดสอบชิมระบุด้านความข้นหนืดของโจ๊ก ไม่ต้องการปรับปรุง เนื่องจาก มีค่าความพอดีร้อยละ 83.33 ในขณะที่ด้านสีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ และเนื้อสัมผัสของโจ๊ก มีค่าความพอดีร้อยละ 53.33 จึงควรมีการปรับปรุงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

Table 4 Mean and standard deviation evaluated by 9-point hedonic scale and degree of change scale (just about right scale) of instant rice berry porridge fortified with egg white protein with 40% egg white

Attributes	Direction for improvement (%)				
	Greatly decrease	Slightly decrease	Just-right	Slightly increase	Greatly increase
Color of rice berry	0.00	6.67	53.33	40.00	0.00
Texture of porridge	6.67	23.33	53.33	16.67	0.00
Viscosity of porridge	0.00	6.67	83.33	10.00	0.00

การวิเคราะห์แบบพินอลติ (ค่าเฉลี่ยที่ลดลง)

เนื่องจากสูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 40 มีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง จึงใช้การวิเคราะห์แบบพินอลติเพื่อสรุปแนวทางที่ควรตัดสินใจปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ได้รับคะแนนความชอบสูงขึ้น โดยนำผลการทดสอบจากมาตราความชอบ 9 จุด (9-point hedonic scale) และการประเมินโดยใช้มาตราพอดี (Just about right scale, JAR) จาก Table 4 มาคำนวณค่าเฉลี่ยที่ลดลง (Mean drop value) และ ค่าพินอลติทั้งหมด (Total penalty value) ดังแสดงใน (Table 5) จากผลทดสอบด้วยการวัดสเกลความพอดีและผลการทดสอบจากมาตราความชอบ 9 จุด พบว่า

ด้านสีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ อยู่ในระดับไม่พอดี เนื่องจากความถี่ของผู้บริโภคเท่ากับ ร้อยละ 53.33 และให้คะแนนความชอบเท่ากับ 6.88 สีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อ่อนเกินไป มีค่าเฉลี่ยที่ลดลงเท่ากับ -0.71 ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 0.0 ถึง -0.99 แสดงว่าสีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อ่อนเกินไป มีความสัมพันธ์กับการยอมรับรวมน้อยมาก (Very slightly concerning) และสีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เข้มเกินไป มีค่าเฉลี่ยที่ลดลงเท่ากับ -1.88 ค่าที่ได้อยู่ในช่วง -1.5 ถึง -1.99 แสดงว่า สีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เข้มเกินไป มีความสัมพันธ์กับการยอมรับรวมปานกลาง (concerning) เมื่อพิจารณาค่าพินอลติทั้งหมด พบว่า สีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อ่อนเกินไป มีค่าพินอลติทั้งหมดเท่ากับ 0.2840 ค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่า สีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อ่อนเกินไป มีผลต่อการยอมรับรวม (Noteworthy) ในขณะที่สีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เข้มเกินไป มีค่าพินอลติทั้งหมดเท่ากับ 0.1254 และไม่มีผลต่อการยอมรับรวม (No effect)

ด้านเนื้อสัมผัสของโจ๊ก อยู่ในระดับไม่พอดี เนื่องจากความถี่ของผู้บริโภคเท่ากับ ร้อยละ 53.33 และให้คะแนนความชอบเท่ากับ 6.94 เนื้อสัมผัสของโจ๊กที่ละเอียดเกินไปและหยาบเกินไป มีค่าเฉลี่ยที่ลดลงเท่ากับ -1.14 และ -1.08 ตามลำดับ ค่าที่ได้อยู่ในช่วง -1.0 ถึง -1.49 แสดงว่า เนื้อสัมผัสของโจ๊กที่ละเอียดเกินไปและหยาบเกินไป มีความสัมพันธ์กับการยอมรับรวมน้อย (slightly concerning) เมื่อพิจารณาค่าพินอลติทั้งหมด พบว่า เนื้อสัมผัสของโจ๊กที่ละเอียดเกินไป มีค่าพินอลติทั้งหมดเท่ากับ 0.1900 ค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่า เนื้อสัมผัสของโจ๊กที่ละเอียดเกินไป ไม่มีผลต่อการยอมรับรวม (No effect) ในขณะที่ เนื้อสัมผัสของโจ๊กที่หยาบเกินไป ค่าพินอลติทั้งหมดเท่ากับ 0.3240 และมีผลต่อการยอมรับรวม (Noteworthy)

คุณลักษณะด้านความขุ่นหนืดของโจ๊กคินรูป อยู่ในระดับพอดี และให้คะแนนความชอบเท่ากับ 6.52 (ความถี่ที่ระดับพอดีมีร้อยละ 83.33) ความขุ่นหนืดของโจ๊กคินรูปที่น้อยเกินไป มีค่าเฉลี่ยที่ลดลงเท่ากับ 0.15 แสดงว่า ความขุ่นหนืดของโจ๊กคินรูปที่น้อยเกินไป มีความสัมพันธ์กับการยอมรับรวมน้อยมาก (Very slightly concerning) และความขุ่นหนืดของโจ๊กคินรูปที่ข้นเกินไป มีค่าเฉลี่ยที่ลดลงเท่ากับ -1.02 ค่าที่ได้อยู่ในช่วง -1.0 ถึง -1.49 แสดงว่า ความขุ่นหนืดของโจ๊กคินรูปที่ข้นเกินไป มีความสัมพันธ์กับการยอมรับรวมน้อย (slightly concerning) เมื่อพิจารณาค่าพินอลติทั้งหมด พบว่า ความขุ่นหนืดของโจ๊กคินรูปที่น้อยเกินไปและข้นเกินไป มีค่าพินอลติทั้งหมดเท่ากับ 0.0150 และ 0.0680 ตามลำดับ ค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่า ความขุ่นหนืดของโจ๊กคินรูปที่น้อยเกินไปและข้นเกินไป ไม่มีผลต่อการยอมรับรวม (No effect)

การที่สีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อ่อนเกินไปและเนื้อสัมผัสของโจ๊กที่หยาบเกินไป อยู่ในระดับไม่พอดี ส่งผลต่อการยอมรับรวม ดังนั้น แนวทางในการพัฒนาสูตรที่เติมไข่ขาวร้อยละ 40 ให้ได้รับคะแนนความชอบเพิ่มขึ้น จึงควรปรับปรุงสูตรให้ได้โจ๊กที่มีสีม่วงของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เข้มข้น โดยการเพิ่มปริมาณปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ และเนื้อสัมผัสของโจ๊กควรปรับให้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น

Table 5 Mean drop and total penalty of instant rice berry porridge fortified with egg white protein with 40% egg white.

Attributes	Attributes meaning	Percent of respondent #	9-point hedonic scale*	Mean drop	Mean drop meaning	Total penalty value*	Total penalty meaning
Color of rice berry	too pale	40	6.17	-0.71	Very slightly concerning	0.2840	Noteworthy
	JAR	53.33	6.88				
	too dark	6.67	5.00	-1.88	concerning	0.1254	No effect
Texture of porridge	too soft	16.67	5.80	-1.14	slightly concerning	0.1900	No effect
	JAR	53.33	6.94				
	too grainy	30	5.86	-1.08	slightly concerning	0.3240	Noteworthy
Viscosity of porridge	too thin	10	6.67	0.15	Very slightly concerning	0.0150	No effect
	JAR	83.33	6.52				
	too thick	6.67	5.50	-1.02	slightly concerning	0.0680	No effect

$<|0.25|$ = No effect

$>|0.25|$ = Noteworthy

$>|0.50|$ = High Impact

Percent of respondent who found the sensory attribute from JAR score to be greatly decrease + slightly decrease and slightly increase + greatly increase (Table 4)

* 9-point hedonic scale is mean of the overall preference scores from 9-point hedonic test for respondent who found the sensory attribute from JAR score to be greatly decrease + slightly decrease and slightly increase + greatly increase (Table 4)

สรุป

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวที่มีสัดส่วนไข่ขาวแตกต่างกัน 5 ระดับ พบว่า ผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวทั้ง 5 ตัวอย่าง มีปริมาณความชื้นไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ มีค่า a_w ที่ต่ำ ผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวเมื่อเพิ่มปริมาณไข่ขาวมากขึ้นทำให้ปริมาณโปรตีน, ค่าแตกต่างสีโดยรวมและค่าดัชนีการกลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าดัชนีการดูดซับน้ำลดลง ส่วนโจ๊กคีนรูปมีค่าแตกต่างสีโดยรวมเพิ่มขึ้นและค่าความหนืดลดลง ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ได้แก่ สูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 40 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าสูตรอื่นๆ ยกเว้นสูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 20 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาคะแนนความเข้มข้นกลิ่นคาวพบว่า สูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 0, 20, 40, และ 60 อยู่ในระดับไม่มีกลิ่นคาว ในขณะที่สูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 80 มีกลิ่นคาวเล็กน้อย ดังนั้น สูตรเติมไข่ขาวร้อยละ 40 ที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 34.91 และมีปริมาณโปรตีนสูงมากกว่าโจ๊กที่มีจำหน่ายทั่วไปถึง 3 เท่า อีกทั้งยังมีคะแนนรวมด้านกลิ่นสูงกว่าสูตรอื่นๆ จึงเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาต่อ โดยมีแนวทางในการปรับปรุงสูตร ผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนไข่ขาวที่เติมไข่ขาวร้อยละ

ละ 40 คือควรปรับปรุงให้ได้โจ๊กที่มีสีม่วงของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เข้มข้นและปรับเนื้อสัมผัสของโจ๊กให้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Akkouche, Z., Aissat, L. and Madani, K. 2012. Effect of heat on egg white proteins. International Conference on Applied Life Sciences. 407-413.
- Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F. and Griffin, E. L. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today, 14(1), 4-11.
- AOAC Official Method 990.03 (2005) Official Methods of Analysis of AOAC international, 18th Ed., AOAC international, Gaithersburg, MD.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official Method of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Arlington.
- Charoenphun, N. 2020. Utilization of broken rice for rice cracker production. Thai Science and Technology Journal. 28(12): 2150-2163. (in Thai).
- Deeprasert, A. 2018. Development of ready-to-eat egg white porridge. MS Thesis, Thammasat University, Bangkok. (in Thai).
- Jakkranuhwat, N. and Jakkranuhwat, P. 2021. Development of snack from broken-milled riceberry flours mixed with chestnut flours enriched with papaya lycopene. YRU Journal of Science and Technology. 6(2): 145-153. (in Thai).
- Khwanchai, P. and Khwancha, S. 2021. Effect of heat treatment of broken rice flour as partial substitution of wheat flour on the qualities of bread. Burapha science journal. 27(1): 171-187. (in Thai).
- Khuenpet, K., Polpued, R., Leevanichayakul, K. and Kaveekiew, S. 2019. Effect of Different Rice Varieties and Drying Methods on the Quality of Instant Riceberry Porridge Fortified with Jerusalem Artichoke. Thai Science and Technology. J. 28(10): 1813-1833. (in Thai).
- Ministry of industry. 2005. Thai Industrials Standards Institute. Instant rice porridge (congee). TISs 315/2005. Bangkok. 11p. (in Thai).
- Ministry of Industry. 2015. Thai Community Product Standard: Instant Brown Rice No. 1068, Thai Industrial Standards, Bangkok. (in Thai).
- Musika, S., Khongla, C., Woraratphoka, J., Soisungnoen, P., Buangern, W., Ausavasukhi, A., Pienpoompong, P. and Boonmasungsong, D. T. 2020. Study of Instant Organic Jasmine Rice Porridge Properties. Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. J. 13(3): 88-105. (in Thai).
- Nakban, S. 2020. The egg white substitution in curry puff with chicken for elders. VRU. Research and development. J. 15(1): 37-46. (in Thai).
- Niyomwet, P., Sappasit, P., Waree, A. and Khongsit, P. 2018. Product Development of Instant Rice berry Porridge. Burapha Sci. J. 23(3): 1638-1654. (in Thai).
- Srikao, K. and Sopade, P. A. 2010. Functional properties and starch digestibility of instant Jasmine rice porridges. Carbohydrate Polymers. J. 82: 952-957.

- Supanpayak, J., Chalermchaiwat, P. and Limsuwan, T. 2020. Effect of microwave puffing times on the physical and sensory properties of sea lettuce crackers. Proceedings of 58th Kasetsart University Annual Conference, Bangkok, Thailand, 5-7 Feb 2020. 643-652. (in Thai).
- Thammatanta, N. and Wipusitworakul, B. 2016. Product Development of Reduced Energy- Salad Dressing from Broken Rice berry. BS Thesis, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok. (in Thai).
- Vargas-del-Río, L. M., García-Figueroa, A. and Fernández-Quintero, A. 2022. Spray-drying hen eggs: effects of the egg yolk to egg white ratio and sucrose addition on the physicochemical, functional, and nutritional properties of dried products and on their amino acid profiles. *Appl Sci.* 12:4516.
- Wangcharoen, W. 2013. Penalty analysis in sensory characterization. Academic Article, Maejo University, Chiang Mai. 43(4): 20-23. (in Thai).

การขยายพันธุ์ต้นฟีโลเดนดรอนพิงค์ปรินเซส (*Philodendron erubescens*)

โดยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

Effect of Micropropagation of *Philodendron* Pink Princess

(*Philodendron erubescens*) by Tissue Culture Technique

ณัฐธิยา เกื้อทาน^{1*} และ วรณยุพา จู้ดศรี²

Nuttiya Kuathan^{1*} and Waroonyupa Judsri²

¹สาขาเทคโนโลยีการเกษตร คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ

¹Department of Agricultural Technology, Faculty of Liberal Arts and Sciences, Sisaket Rajabhat University

²คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

²Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

*Corresponding author: nuttiya.k1985@gmail.com

Received: 9 February 2023; Accepted: 12 May 2023; Published: 1 June 2023

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อขยายพันธุ์ต้นฟีโลเดนดรอน พิงค์ ปรินเซส (*Philodendron erubescens*) โดยใช้อาหารสังเคราะห์สูตร Murashige and Skoog (MS) ร่วมกับการใช้ 6-Benzyladenine (BA) ความเข้มข้น 0 1 2 3 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1-Naphthaleneacetic acid (NAA) ความเข้มข้น 0 1 2 3 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ทั้งหมด 5 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ชิ้นส่วนในการชักนำยอดและชักนำราก ผลการทดลองพบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1 และ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดการเพิ่มค่าเฉลี่ยของจำนวนยอดได้มากที่สุดเท่ากับ 2.67 ± 0.58 เมื่อนำมาเพาะเลี้ยงต่อบนอาหารสูตร MS เติม NAA ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถชักนำให้เกิดการเพิ่มของจำนวนรากได้มากที่สุดเท่ากับ 1.33 ± 0.58

คำสำคัญ: BA; NAA; ฟีโลเดนดรอนพิงค์ปรินเซส

ABSTRACT

The aim of this study was to propagate *Philodendron* Pink Princess (*Philodendron erubescens*) by using Murashige and Skoog (MS) medium with 6-Benzyladenine (BA) at concentrations 0 1 2 3 and 4 mg/L and 1-Naphthaleneacetic acid (NAA) at concentrations 0 1 2 3 and 4 mg/L for 8 weeks. Completely randomized design, total of 5 treatments, 3 repetitions of each treatment, 5 repetitions of apical induction and root induction. The results showed that MS medium with BA at concentrations of 1 and 2 mg/l. was able to induce root number increase as much as 2.67 ± 0.58 . When cultured on MS medium added with NAA at a concentration of 4 mg/l, induce root number as much as $1.33. \pm 0.58$

Keywords: BA; NAA; *Philodendron erubescens*

คำนำ

ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา ได้เกิดโรคระบาดทั่วโลกซึ่งเป็นการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบจากโรคระบาดนี้เช่นกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้ชีวิต เพื่อป้องกันการติดเชื้อ เช่น การทำงานที่บ้าน (work from home) ผู้คนที่พักอาศัย ไม่สามารถออกไปใช้ชีวิตได้ตามปกติ จึงทำให้เกิดกิจกรรมที่สามารถทำภายในบ้านได้ เช่น การปลูกต้นไม้ ซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากกิจกรรมการปลูกต้นไม้ทำให้เกิดการผ่อนคลายจากสถานการณ์ความเครียดจากโรคระบาด และสามารถวางระดับตามมุมบ้านเพื่อความสวยงามได้ ทำให้ไม้ดอกไม้ประดับได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะไม้ประดับที่มีลักษณะใบสีสนสวยงาม ซึ่งหนึ่งในไม้ประดับที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีใบที่มีสีสนสวยงาม คือ ฟิโลเดนดรอน พิงค์ ปริ้นเซส (*Philodendron Pink Princess*) ซึ่งอยู่ในวงศ์ Araceae สกุล *Philodendron* มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Philodendron erubescens* 'Pink Princess' ฟิโลเดนดรอนเป็นหนึ่งในไม้ที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากลักษณะใบที่มีความหลากหลายและสวยงาม บางชนิดมีใบที่มีสีสน สำหรับฟิโลเดนดรอน พิงค์ ปริ้นเซส มีลักษณะลำต้นเลื้อย สีแดง ใบเป็นรูปหัวใจ ความยาวของใบ 10-40 เซนติเมตร ใบอ่อน มีลักษณะสีเขียวเข้มกอกเข็มมีสีขาวจนถึงสีเขียวเข้มเกือบดำ มีจุดสีชมพูสดใสหรือรอยด่างสีชมพูอ่อน ก้านใบยาวเป็นสีแดง มีร่องเกิดที่บริเวณก้านใบ การขยายพันธุ์ได้ทั้งเพาะเมล็ด การตัดชำ การแยกหน่อและการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (Rattanaanan, 2021) ซึ่งการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นวิธีการขยายพันธุ์ที่ทำให้ได้พืชจำนวนมากในระยะเวลาที่รวดเร็ว นิยมใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อการขยายพันธุ์พืชเป็นการค้า การศึกษาวิจัยเพื่อศึกษาคุณสมบัติของสารควบคุมการเจริญเติบโต การพัฒนาสูตรอาหารต่าง ๆ ก็เป็นสิ่งที่สำคัญมากต่อการพัฒนาองค์ความรู้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและเซลล์พืช (Prammanee, 2015) ปัจจุบันเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อถูกนำไปใช้เป็นเทคนิคขยายพันธุ์พืชในกลุ่มไม้ดอกไม้ประดับอย่างแพร่หลาย เช่น บอนสี (Rattana *et al.*, 2015) ดาหลาขาว (Muangkaewngam *et al.*, 2016) กุหลาบหนู (Tibkwang *et al.*, 2018) แก้วหน้าม้า (Chanchula *et al.*, 2020) ฟิโลเดนดรอน “เซอร์รีเรด” (Balla *et al.*, 2022) เป็นต้น ดังนั้นในการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการขยายพันธุ์ต้นฟิโลเดนดรอน พิงค์ ปริ้นเซส โดยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อร่วมกับการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต 6-Benzyladenine (BA) และ 1-Naphthaleneacetic acid (NAA) ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการชักนำยอดและชักนำรากของต้นฟิโลเดนดรอนพิงค์ปริ้นเซสให้ได้จำนวนมากในระยะเวลาอันสั้น

อุปกรณ์และวิธีการ

ขั้นตอนทดสอบการเพิ่มจำนวนและการขยายพันธุ์ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

นำเนื้อเยื่อฟิโลเดนดรอนพิงค์ ปริ้นเซส ขนาด 1.5 เซนติเมตร ที่ได้เพิ่มจำนวนมาแล้วจากห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช สาขาเทคโนโลยีการเกษตร คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ มาทดสอบการชักนำยอดโดยใช้อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ MS ที่เติม BA ที่มีปริมาณแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0 1 2 3 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะแสง 16 ชั่วโมงต่อวัน ความเข้มแสงที่ 2000 ลักซ์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ทั้งหมด 5 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ชิ้นส่วนของเนื้อเยื่อ

- ทรีตเมนต์ 1 ไม่มีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA
- ทรีตเมนต์ 2 เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ทรีตเมนต์ 3 เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ทรีตเมนต์ 4 เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร

- ทรีตเมนต์ 5 เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นนำเนื้อเยื่อขนาด 1.5 เซนติเมตร ฟิโลเดนดรอนพิงค์ ปริ้นเซสมาทดสอบการชักนำรากอีกครั้ง โดยใช้อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ MS ที่เติม NAA ที่มีปริมาณแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0 1 2 3 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะแสง 16 ชั่วโมงต่อวัน ความเข้มแสงที่ 2000 ลักซ์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ทั้งหมด 5 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ชิ้นส่วนของเนื้อเยื่อ

- ทรีตเมนต์ 1 ไม่มีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA
- ทรีตเมนต์ 2 เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ทรีตเมนต์ 3 เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ทรีตเมนต์ 4 เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ทรีตเมนต์ 5 เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

การบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัย มีดังนี้ ค่าเฉลี่ยจำนวนยอด (8 สัปดาห์) อัตราการรอดชีวิต (%) และค่าเฉลี่ยจำนวนราก (8 สัปดาห์)

ขั้นตอนการวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS ด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

ผลการทดลองและวิจารณ์

Table 1 Effects of plant growth regulators MS medium supplemented with BA for apical induction of Philodendron Pink Princess after were cultured in vitro for 8 weeks

6-Benzyladenine (BA) (mg/l)	total number of apical (apical)	survival rate (%)
0	1.67 $\pm$ 1.15	100
1	2.67 $\pm$ 0.58	95
2	2.67 $\pm$ 0.58	95
3	2.00 $\pm$ 1.00	88.5
4	2.33 $\pm$ 1.53	86.5
F-test	ns	-
C.V. (%)	6.41	-

Mean in the same column followed by different letters were different significantly by Duncan Multiple Range Test. ns = non significant different

จากผลการทดลองหลังจากเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อด้วยอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชที่เติม BA ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าฟิโลเดนดรอนพิงค์ ปริ้นเซสที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตมีอัตราการรอดชีวิตสูงสุดร้อยละ 100 นอกจากนี้ Table 1 พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของ BA ทุกระดับไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเข้มข้นของ BA 1 และ 2 มก./ล

สามารถชักนำให้เกิดค่าเฉลี่ยของจำนวนยอดได้มากที่สุดเท่ากับ 2.67 ± 0.58 ยอด และพบว่าอาหารเพาะเลี้ยงที่ไม่ได้เติม BA ให้ค่าเฉลี่ยของจำนวนยอดน้อยที่สุดเท่ากับ 1.67 ± 1.15 ยอด

Table 2 Effects of plant growth regulators MS medium supplemented with NAA for root induction of Philodendron Pink Princess after were cultured in vitro for 8 weeks

1-Naphthaleneacetic acid (NAA) (mg/l)	total number of root (root)
0	0.63 ± 0.15^b
1	0.73 ± 0.31^{ab}
2	0.89 ± 0.28^{ab}
3	0.75 ± 0.25^{ab}
4	1.33 ± 0.58^a
F-test	*
C.V. (%)	2.58

Mean in the same column followed by different letters were different significantly by Duncan Multiple Range Test. *= significant different at $P \leq 0.05$

Table 2 ผลการทดลองหลังจากเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อด้วยอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชที่เติม NAA ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าระดับความเข้มข้นของ NAA ที่ระดับความเข้มข้นของ 4 มก./ล สามารถชักนำให้เกิดค่าเฉลี่ยของจำนวนรากได้มากที่สุดเท่ากับ 1.33 ± 0.58 ราก และพบว่าอาหารเพาะเลี้ยงที่ไม่ได้เติม NAA ให้ค่าเฉลี่ยของจำนวนรากน้อยที่สุดเท่ากับ 0.63 ± 0.15 ราก

จากการวิจัยผลของการรอดชีวิตของฟีโลเดนดรอนและเพิ่มจำนวนยอดฟีโลเดนดรอนพังก์ ปรีนเซสด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต BA พบว่าเมื่อนำมาเลี้ยงด้วยอาหารเพาะเลี้ยงสูตร MS ที่ไม่ได้เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตมีอัตราการรอดชีวิตร้อยละ 100 แต่เมื่อเติม BA ที่ความเข้มข้นสูงชันพบว่าอัตราการรอดชีวิตลดลงทุกระดับความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโต BA สามารถชักนำการเพิ่มจำนวนของยอดฟีโลเดนดรอน พังก์ ปรีนเซสได้ แต่ที่ความเข้มข้น 1 และ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดยอดได้มากที่สุด และพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นไป 3 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวนยอดจะลดลง เนื่องจากการความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มากเกินไปจะทำให้ยับยั้งของพืชแต่ละชนิดมีการเจริญเติบโตที่ไม่สัมพันธ์กัน เช่น การแบ่งเซลล์เพิ่มขึ้นแต่เซลล์ไม่มีการขยายขนาด อวัยวะบิดเบี้ยวเสียรูปทรง การเจริญของพืชลดลงและหยุดไปในที่สุด ตามรายงาน Sritapunya and Chotikadachanarong, (2020) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ BA จาก 1 ถึง 3 มิลลิกรัมต่อลิตรจะสามารถเพิ่มจำนวนยอดของต้นจันทน์ผาได้ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ BA เป็น 4 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่าจำนวนยอดลดลง Khwanduean *et al.*, (2015) ที่ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต BA ชักนำให้เกิดยอดใหม่ของบอนสี (*Caladium bicolor* Vent.) ได้มากที่สุด นอกจากบอนสีแล้วยังพบอีกว่ามีการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต BA กับพืชชนิดอื่นๆอีกด้วยที่สามารถชักนำให้เกิดการเพิ่มของจำนวนยอดได้ เช่น ดาหลาขาว (Arunee ,2016) แวมยูรา (Nontakorn *et al.*, 2019) กล้วยหิน (Nootjaree *et al.*, 2019) ต้นแก้วหนาม้า (Nattapong and Pimpan, 2020) ต้นนนทรี (Pailin and Phruet, 2020) ส่วนผลของการเพิ่มจำนวนรากฟีโลเดนดรอนพังก์ ปรีน

เซส ด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ทุกระดับความเข้มข้นสามารถชักนำให้เกิดรากได้โดยสอดคล้องกับงานวิจัย Nontakorn *et al.*, (2019) พบว่าที่ทำการศึกษามีเพิ่มจำนวนรากโดยใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต NAA พบว่าสามารถชักนำให้เกิดรากในต้นแววมยุราที่ทำการเพาะเลี้ยงด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้ และยังคงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nootjaree *et al.*, (2019) ที่ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ในการชักนำให้เกิดรากในกล้วยหินโดยสภาพปลอดเชื้อ (Nattapong and Pimpan, 2020) ได้ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ร่วมกับเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยระบบไบโอรีแอคเตอร์แบบจมชั่วคราวพบว่าสามารถชักนำให้เกิดการเพิ่มจำนวนของรากในต้นแก้วหน้าม้าได้

สรุป

ผลของการขยายพันธุ์ต้นฟิลิเดนดรอน พิงค์ บรีนเซส (*Philodendron erubescens*) โดยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต ผลการทดลองพบว่านำมาเลี้ยงด้วยอาหารเพาะเลี้ยงสูตร MS ที่ไม่ได้เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตมีอัตราการรอดชีวิตร้อยละ 100 อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1 และ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์ สามารถชักนำให้เกิดการเพิ่มค่าเฉลี่ยของจำนวนยอดได้มากที่สุดเท่ากับ 2.67 ± 0.58 ยอด เมื่อนำมาเพาะเลี้ยงต่อบนอาหารสูตร MS เติมนAA ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์สามารถชักนำให้เกิดการเพิ่มของจำนวนรากได้มากที่สุดเท่ากับ 1.33 ± 0.58

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565

เอกสารอ้างอิง

- Balla, N., N. Chanchula, T. Weeplian, B. Nuntha, N. Nunya, S. Pokaew, K. Wanna and S. Kashima. 2022. Sterilization Methods to Prevent Contamination in MS Medium for the Tissue Culture of *Philodendron* "Cherry Red". *Wichcha Journal*. 41(1): 119-129. (in Thai)
- Chanchula, N. and P. Pimonrat. 2020. Influence of BA and duration times of feeding in temporary Immersion bioreactor on micropropagation of *Alocasia sanderiana* Bull. *in vitro*. *TJST*. 9(5): 642-649. (in Thai)
- Muangkaewngam, A. 2016. Micropropagation of white torch ginger. *Songklanakarin J. Pl. Sci*. 3(Suppl. II): 8-11. (in Thai)
- Prammanee, S. 2015. Techniques for plant cell and tissue culture for propagation and breeding. Kasetsart University Publishing, Bangkok. (in Thai)
- Porntanawat, N., T. Taychasinpitak, T. Jaruwattanaphan, N. Chanchula and N. Balla. 2019. Effect of NAA and BA on development of different type of *Torenia fournieri* explants under aseptic conditions. *TJST*. 8(6): 642-649. (in Thai)
- Rattana, K., S. Sangchanjiradet and P. Munglue. 2015. Effect of BA and NAA on in Vitro Culture Young Leaf of *Caladium bicolor* Vent. Available Source: <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/SDUJ/10986830.pdf>, August 14, 2021. (in Thai)

- Rattanaanan, J. 2021. Philodendron Pink Princess. Technologychaoban Publishing, Bangkok. 33(735): 62-63. (in Thai)
- Sritapunya, T. and K. Chotikadachanarong. 2020. Micropropagation of *Dracaena loureiroi* Gagnep. Burapha Science Journal. 26(1): 59-70. (in Thai)
- Surakhotand, P. and P. Racharak. 2020. Shoot and root induction of *Peltophorum pterocarpum* (DC.) Back.ex Heyne in *in vitro* culture. Thai J. For. 39(2): 1-11. (in Thai)
- Tibkwang, A., S. Junkasiraporn and K. Chotikadachanarong. 2018. Effects of Cytokinin and Sucrose on Tissue Culture of *Rosa chinensis* Jacq. var. *minima* Voss. Burapha Science Journal. 23(2): 712-721. (in Thai)
- Tudses, N., K. Phungbunhan and L. Audta. 2019. Effects of BA and NAA on growth and development of *Musa sapientum* (ABB group) cv 'Kluai Hin' *in vitro* and effects of substrate on growth *in vivo*. King Mongkut's Agricultural Journal. 37(2): 262-273. (in Thai)

ผลของการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศด้วย *Bacillus subtilis* ต่อความงอกของเมล็ดและการรอดชีวิตของต้นกล้าในโรงเรือนที่เคยมีการระบาดของโรคเหี่ยวเหี่ยว

Effect of Tomato Seed Priming with *Bacillus subtilis* on Seed Germination, and Seedling Survival in Outbreak Bacterial Wilt in Greenhouse Condition

ปัทมาวดี คุณวัลลี^{1*}, เทวี มณีรัตน์¹ และ กนกวัน ปลอดจินดา¹

Pattamavadee Kunwanlee^{1*}, Tewee Maneerat¹ and Kanokwan Plodjinda¹

¹สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

¹Division of Agricultural Innovation and Management, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

*Corresponding author: pattamavadee.k@psu.ac.th

Received: 30 April 2023; Accepted: 26 May 2023; Published: 1 June 2023

บทคัดย่อ

การปลูกมะเขือเทศมักประสบปัญหาจากโรคเหี่ยวเหี่ยว เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Ralstonia solanacearum* จัดเป็นเชื้อโรคในดินที่สำคัญ *Bacillus subtilis* เป็นเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ที่สามารถควบคุมโรคเหี่ยวเหี่ยวได้ การเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ (Bio-priming) สามารถควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์และจากดินได้ ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศด้วย *Bacillus subtilis* ต่อความงอกของเมล็ดและการรอดชีวิตของต้นกล้าในโรงเรือนที่มีการระบาดของโรคเหี่ยวเหี่ยว วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design จำนวน 4 ซ้ำ พบว่า การเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศด้วย *B. subtilis* ทำให้ความงอกมาตรฐาน (98.00%-100.00%) ความเร็วเฉลี่ยในการงอก 4.08-4.18 วัน และความงอกในสภาพแปลง 96.00%-97.00% ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นกล้ามะเขือเทศภายหลังการย้ายปลูกในสภาพพื้นที่ที่เคยมีการระบาดของโรคเหี่ยวเหี่ยวในสัปดาห์ที่ 2 พบว่า เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นกล้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ สัปดาห์ที่ 4 และ 6 พบว่า เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นกล้าลดลง ยกเว้น T3 (100.00%) และ T4 (100.00%) มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สรุปได้ว่าการเตรียมความพร้อมของเมล็ดมะเขือเทศด้วยน้ำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ *B. subtilis* เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำให้ต้นกล้ามะเขือเทศสามารถเจริญเติบโตในโรงเรือนที่มีการระบาดของโรคเหี่ยวเหี่ยว อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นเพียงการทดสอบเบื้องต้นสำหรับทดสอบความงอกและการรอดชีวิตเท่านั้น ยังมีความจำเป็นต้องศึกษาการเตรียมความพร้อมของเมล็ดเพื่อความสามารถในการควบคุมโรคพืช

คำสำคัญ: มะเขือเทศ; การเตรียมความพร้อมเมล็ด; โรคเหี่ยวเหี่ยว *Bacillus subtilis*; ความงอก; การรอดชีวิตของต้นกล้า

ABSTRACT

Tomato cultivation is often suffered from bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*), an important soil-born plant disease. *B. subtilis* is an antagonist bacterium of controlling bacterial wilt. Seed priming with antagonist microorganisms (Bio-priming) can control seed- and soil born

wilt. Therefore, this study was aimed to investigate the effects of tomato seed priming with *B. subtilis* on seed germination and seedling survival in greenhouses with bacterial wilt outbreak. Completely randomized design of 4 replications was conducted. Results found that tomato seeds priming with *B. subtilis* gave standard germination (98.00%-100.00%), mean germination time (4.08-4.18 days) and field emergence (96.00%-97.00%) were not statistically different. The survival percentage of tomato seedlings after transplanting in the area with bacterial wilt at the second week shown non statistically different. In week 4 and 6 found that percentage of seedling survival of T1 T2 and T5 were decreased, except T3 and T4 which had the highest of seedling survival at 100% with significant statistical difference. This study could be concluded that tomato seed priming with water for 24 hours and *B. subtilis* for 12 hours gave seedlings could grow in greenhouses with an outbreak of bacterial wilt. However, this study is only preliminary seed germination and seedling survival testing. It is also necessary to further study seed priming on controlling plant diseases.

Keywords: Tomato; Seed priming; *Bacillus subtilis*; Bacterial wilt; Seed germination; Seedling survival

คำนำ

มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill) อยู่ในวงศ์ Solanaceae เป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ผลของมะเขือเทศสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ทั้งบริโภคผลสด และด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศ น้ำมะเขือเทศ เป็นต้น มะเขือเทศสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีในทุกภาคของประเทศไทย ให้ผลผลิตต่อไร่สูง (Ketsakul *et al.*, 2015) อย่างไรก็ตามการปลูกมะเขือเทศในภูมิประเทศที่มีสภาพอากาศแบบร้อนชื้นมักประสบปัญหาโรคพืชที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพผลผลิตมะเขือเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ปลูกที่มีสภาพอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งหนึ่งในปัญหาโรคพืชที่สำคัญในมะเขือเทศ คือ โรคเหี่ยวเหี่ยว (bacterial wilt) เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Ralstonia solanacearum* จัดเป็นเชื้อโรคในดินที่สำคัญ เนื่องจากสามารถเข้าทำลายพืชได้มากกว่า 250 ชนิด มากกว่า 30 ตระกูล ทั้งพืชเศรษฐกิจ เช่น มะเขือเทศ พริก มันฝรั่ง ขิง ยาสูบ ถั่วลิสง ถั่วเขียว วัชพืช ไม้ยืนต้น โดยเฉพาะพืชในวงศ์ Solanaceae การเกิดโรคจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว และรุนแรง โดยจะแสดงอาการเหี่ยว และตายทั้งต้นภายในเวลาไม่กี่วันหลังจากที่เชื้อแบคทีเรียเข้าทำลาย (Soontarasing, 1987)

การป้องกันกำจัดหรือการควบคุมลดความเสียหายที่จะเกิดโรคนี้ได้ สามารถทำได้โดยการเลือกใช้พันธุ์ต้านทาน การปลูกพืชหมุนเวียน การทำการเกษตรกรรม การปรับปรุงดินด้วยยูเรียและแคลเซียมออกไซด์ นอกจากนี้การป้องกันกันการเกิดโรคเหี่ยวเหี่ยวสามารถใช้เชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในการยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคเหี่ยวเหี่ยว ได้แก่ *Bacillus* spp. *Pseudomonas fluorescens* (Leksomboon and Jumpee, 2007) และ *Streptomyces* sp. โดยสามารถทำได้ตั้งแต่ในขั้นตอนการเตรียมดิน เพื่อป้องกันโรคก่อนการปลูก หรือการฉีดพ่นลงบนต้นพืชในระยะการเจริญเติบโตของต้นพืช ทั้งวิธีการนี้ยังเป็นวิธีการที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

การบูรณาการการนำเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์มาใช้ร่วมกับเทคนิคการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์หรือการไพรม์เมล็ด (seed priming) ซึ่งเป็นวิธีการที่ช่วยส่งเสริมให้พืชมีความแข็งแรงตั้งแต่ระยะต้นกล้า เมล็ดมีความงอกสูงและสม่ำเสมอ ส่งผลให้ได้ผลผลิตสูง (Bewley and Black, 1982) และยังส่งผลให้เมล็ดสามารถงอกได้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่างๆ ได้ (Mathre *et al.*, 1994) ดังนั้นการไพรม์เมล็ดร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ (Bio-priming) ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ทางด้านเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืชที่ช่วยให้สามารถควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเมล็ด

พันธุ์และจากดินได้ (El-Mohamedy, 2008) การเลือกใช้เชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์สำหรับการควบคุมโรคเหี่ยวเหี่ยวเชื้อสาเหตุ *R. Solanacearum* ได้ ได้แก่ *Bacillus* sp., *Pseudomonas fluorescens* (Anuratha and Gnanamanickam 1990), *Stenotrophomonas maltophilia*, *Streptomyces setonii* อย่างไรก็ตามการเลือกใช้เชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต้องคำนึงถึงความยากง่ายในการเลือกหาในท้องถิ่นด้วย ดังนั้นการศึกษานี้จึงเลือกใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ *Bacillus subtilis* เพื่อศึกษาผลของการไพร้มเมล็ดมะเขือเทศด้วย *Bacillus subtilis* ต่อความงอกของเมล็ด และการรอดชีวิตในสภาพโรงเรือนแปลงปลูกพืชที่มีการระบาดของโรคเหี่ยวเหี่ยว

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาผลของการเตรียมเมล็ดด้วย *Bacillus subtilis* ต่อความงอกของเมล็ด

การเตรียมเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์

บ่มเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์สำเร็จรูป โดยใช้ความเข้มข้นและอัตราตามคำแนะนำที่ระบุไว้บนฉลากผลิตภัณฑ์ ได้แก่ *Bacillus subtilis* (u.3P Protection) ความเข้มข้นของเชื้อ 1×10^8 CFU/กรัม อัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร บ่มในอุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง

การเตรียมเมล็ดพันธุ์

ล้างเมล็ดมะเขือเทศเชอร์รี่ลูกผสมพันธุ์ Lucky 107 (Siam star seeds CO.,LTD.) ด้วยสารละลาย Sodium hypochlorite ความเข้มข้น 0.02% เวลา 1 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง ผึ่งลมให้แห้งในอุณหภูมิห้องจากนั้นนำเมล็ดแช่ในสารละลายแขวนลอยของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *B. subtilis* และแช่น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ อัตรา 20 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักเมล็ด 2 กรัม ในปิเก็ตขนาด 50 มิลลิลิตร โดยจัดทรีตเมนต์ ดังนี้

ทรีตเมนต์ที่ 1 (T1) เมล็ดปกติ

ทรีตเมนต์ที่ 2 (T2) แช่เมล็ดในน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ทรีตเมนต์ที่ 3 (T3) แช่เมล็ดในน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ทรีตเมนต์ที่ 4 (T4) แช่เมล็ดในสารแขวนลอย *Bacillus subtilis* เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ทรีตเมนต์ที่ 5 (T5) แช่เมล็ดในสารแขวนลอย *Bacillus subtilis* เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

หลังจากการไพร้มเมล็ดทุกวิธีการ นำเมล็ดผึ่งลมให้แห้งในอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างแต่ละทรีตเมนต์ทดสอบความงอกมาตรฐาน ความเร็วในการงอกของเมล็ด และความงอกในสภาพแปลงปลูก ดังนี้

- การทดสอบความงอกมาตรฐาน

สุ่มเมล็ดมะเขือเทศแต่ละทรีตเมนต์จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด ทดสอบความงอกโดยวิธี Top of paper (TP) วางตัวอย่างในตู้เพาะความงอก ตรวจสอบจำนวนต้นกล้าปกติครั้งแรก (first count) 5 วันหลังเพาะ และครั้งสุดท้าย 14 วัน หลังเพาะ (ISTA, 2018) คำนวณเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ด โดย

$$\text{ความงอก (\%)} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะทั้งหมด}} \times 100$$

- ความเร็วเฉลี่ยในการงอก (Mean germination time; MGT)

เพาะเมล็ดตามวิธีทดสอบความงอกมาตรฐาน โดยตรวจนับจำนวนต้นกล้าที่งอกปกติทุกวันจนครบ 14 วันหลังเพาะ คำนวณหาความเร็วเฉลี่ยในการงอก โดย

$$MGT = \Sigma\left(\frac{nD}{\Sigma n}\right)$$

n = จำนวนเมล็ดที่งอกในวันที่ D

D = จำนวนวัน

การศึกษาผลของการเตรียมเมล็ดด้วย *Bacillus subtilis* ต่อรอดชีวิตของต้นกล้าอายุ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

การเตรียมพื้นที่ปลูก

สำรวจและเลือกพื้นที่ปลูกมะเขือเทศที่ได้รับผลกระทบจากโรคเหี่ยวเฉาของเกษตรกรในอำเภอสังขละบุรี จังหวัดสงขลา เกษตรกรปลูกมะเขือเทศในโรงเรือนขนาด 6x12 เมตร (Figure 1A) ภายในโรงเรือนมีต้นมะเขือเทศที่ได้รับความเสียหายจากโรคเหี่ยวเฉา (Figure 1B) ทำการเก็บต้นมะเขือเทศมาทดสอบโรคพืชเบื้องต้น โดยตัดส่วนของต้นพืชเหนือดินตามยาวหรือตามขวาง สังเกตท่อน้ำท่ออาหารมีลักษณะสีน้ำตาลเนื่องจากการเข้าทำลายของโรค และตัดส่วนลำต้นพืชตามขวางแช่น้ำใสสักครู่จะพบเมือกของแบคทีเรียไหลออกมาในน้ำ (bacterial ooze) (Figure 1C)

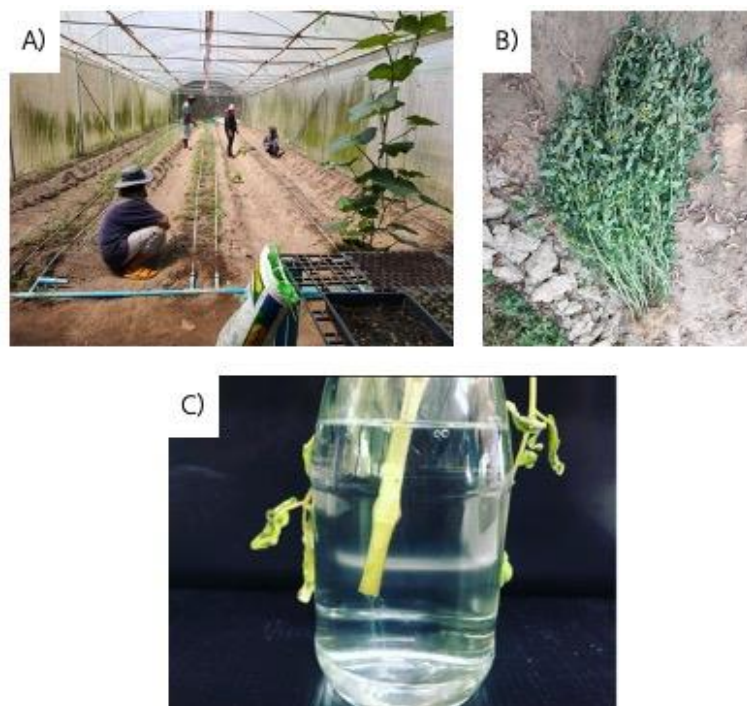


Figure 1 Tomato planting areas suffer from bacterial wilt (A) tomato plant suffered from bacterial wilt (B) and bacterial ooze (C)

การเตรียมต้นกล้าและการย้ายปลูก

เพาะเมล็ดมะเขือเทศในถาดหลุมขนาด 105 หลุม ใช้พีทมอสเป็นวัสดุในการเพาะ เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วัน ย้ายปลูกต้นกล้าในโรงเรือนปลูกมะเขือเทศขนาด 6×12 เมตร พื้นที่แปลงปลูกขนาด 1.5×5 เมตร ระยะห่างระหว่างต้น 80×70 เซนติเมตร

การรอดชีวิตของต้นกล้า

นับจำนวนต้นกล้าอายุ 2 4 และ 6 สัปดาห์หลังย้ายปลูก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต โดย

$$\text{การรอดชีวิต (\%)} = \frac{\text{จำนวนต้นกล้าที่รอดชีวิต}}{\text{จำนวนต้นกล้าทั้งหมด}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองโดยวิธี Completely Randomized Design จำนวน 4 ซ้ำ วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม R statistic analysis version 2.14.0

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย *Bacillus subtilis* ต่อความงอก ความเร็วเฉลี่ยในการงอก

การเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วย *B. subtilis* ต่อความงอก และความเร็วเฉลี่ยในการงอก จำนวน 5 ทรีตเมนต์ (Table 1) พบว่า ความงอกมาตรฐาน ความเร็วในการงอก และความงอกในสภาพแปลงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดในชุดควบคุม มีความงอกตั้งแต่ 98.00% (T3 และ T4) ถึง 100.00% (T1) มีความเร็วเฉลี่ยในการงอก 4.08 วัน (T5) ถึง 4.18 วัน (T1) และมีความงอกในสภาพแปลง 96.00% (T3 T4 และ T5) ถึง 97.00% (T1 และ T2) อย่างไรก็ตามการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ และ *B. subtilis* มีแนวโน้มในการงอกเร็วกว่าเมล็ดชุดควบคุม Bewley and Black (1982) รายงานว่า การเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์เป็นการเพิ่มความชื้นให้กับเมล็ดพันธุ์ โดยการแช่เมล็ดในน้ำ หรือสารละลายที่มีความเข้มข้นเหมาะสม ในอุณหภูมิที่เหมาะสม ในระยะเวลาที่เพียงพอที่จะทำให้เมล็ดมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวเคมี และสรีรวิทยาต่างๆ ของเมล็ด

Table 1 Mean values of percentage of seed germination, mean germination time and percentage of field emergence.

Treatments	Germination (%)	MGT (Days)	Field emergence (%)
T1 (Control)	100	4.18	97
T2 (DW 12 hours)	99	4.11	97
T3 (DW 24 hours)	98	4.14	96
T4 (B.S. 12 hours)	98	4.17	96
T5 (B.S. 24 hours)	99	4.08	96
F-test	ns	ns	ns
C.V. (%)	2.45	2.77	3.63

ผลของการเตรียมความพร้อมเมล็ดด้วย *Bacillus subtilis* ต่อรอดชีวิตของต้นกล้า

การศึกษาผลของการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย *B. subtilis* ต่อการรอดชีวิตของต้นกล้ามะเขือเทศภายหลังการย้ายปลูกในสภาพพื้นที่ที่เคยมีการระบาดของโรคเหี่ยวเฉียว เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ในสัปดาห์ที่ 2 เปอร์เซนต์การรอดชีวิตของต้นกล้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ T3 และ T4 ซึ่งเป็นการเตรียมความพร้อมเมล็ดด้วยน้ำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ *B. subtilis* เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีแนวโน้มให้ต้นกล้ารอดชีวิตในสภาพที่มีการระบาดของโรคเหี่ยวเฉียวสูงสุด (100%) ในสัปดาห์ที่ 4 และ 6 พบว่า เปอร์เซนต์การรอดชีวิตของต้นกล้าลดลง โดย T3 (100.00%) และ T4 (100.00%) มีเปอร์เซนต์การรอดชีวิตสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Mahmood *et al.* (2016) รายงานว่า การเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์โดยใช้จุลินทรีย์ชีวภาพเป็นวิธีการที่ดีวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยให้เมล็ดมีความงอกดี งอกได้อย่างสม่ำเสมอ และได้ต้นกล้าที่แข็งแรง ซึ่งการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์โดยใช้จุลินทรีย์สามารถทำให้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนประชากรที่ผิวของเมล็ดผ่านการแช่น้ำหรือสารละลาย โดยการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยแบคทีเรียสามารถเพิ่มจำนวนจาก 10 เป็น 10,000 เท่าได้ (Callan *et al.*, 1990) จึงทำให้การเตรียมความพร้อมเมล็ดด้วย *B. subtilis* เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีผลให้ต้นกล้ามีชีวิตรอดสูงสุด ในขณะที่การเตรียมความพร้อมด้วยน้ำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมีผลให้ต้นกล้ามีชีวิตรอดสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ การเตรียมความพร้อมเมล็ดด้วย *B. subtilis* เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมความพร้อมด้วยน้ำ สามารถชักนำให้ต้นกล้าแข็งแรง และสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ (Fakthongphan, 2016) อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่สำคัญของวิธีการแช่เมล็ดในน้ำ หรือสารละลาย คือ อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ (Kaya *et al.*, 2006) ระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมช่วยให้เมล็ดมีความงอก งอกได้สม่ำเสมอ (Bewley and Black, 1985)

Table 2 Percentage of tomato seedling survival in outbreak bacterial wilt in greenhouse condition.

Treatments	Percentage of seedling survival (%)		
	Week 2	Week 4	Week 6
T1 (Control)	80.09	78.09 b	78.09 ab
T2 (DW 12 hours)	80.87	72.47 b	63.86 b
T3 (DW 24 hours)	100.00	100.00 a	100.00 a
T4 (B.S. 12 hours)	100.00	100.00 a	100.00 a
T5 (B.S. 24 hours)	97.83	97.83 a	91.31 a
F-test	ns	*	*
C.V. (%)	10.84	8.24	9.67

สรุป

การเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศด้วยเชื้อแบคทีเรีย *B. subtilis* และน้ำ ช่วยส่งเสริมให้เมล็ดมีแนวโน้มงอกได้เร็ว ได้ต้นกล้าที่มีความแข็งแรง โดยการเตรียมความพร้อมของเมล็ดมะเขือเทศด้วย *B. subtilis* เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และน้ำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ต้นกล้ามะเขือเทศสามารถเจริญเติบโตในโรงเรือนที่มีการระบาดของโรคเหี่ยวเฉียวได้ดี อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นเพียงการทดสอบเบื้องต้นสำหรับทดสอบความงอกและการรอดชีวิตเท่านั้น ยังมีความจำเป็นต้องศึกษาการเตรียมความพร้อมของเมล็ดเพื่อความสามารถในการควบคุมโรคพืช

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากศูนย์วิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและ
ทรัพยากรธรรมชาติ ระยะที่ 3 คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

- Anuratha C.S. and S.S. Gnanamanickam. 1990. Biological control of bacterial wilt cause by *Pseudomonas solanacearum* in India with antagonistic bacteria. **Plant and Soil** 124:109-116.
- Bewley, J. D. and M. Black. 1985. **Seeds Physiology of Development and Germination**. Plenum Press, New York. 392 p.
- Bewley, J.D. and Black, M. 1982. **Physiology and Biochemistry of Seed in Relation to Germination** .Vol. II. Dormancy and Environmental Control, Springer-Verlay, New York.
- Bewley, J.D. and M. Black. 1982. **Physiology and bio-chemistry of seeds in relation to germination**. 2nd edition, Springer-Verlag press, New York, 365.
- Callan, N.W., Mathre, D. and Miller, J.B. 1990. Bio-priming seed treatment for biological control of *Pythium ultimum* preemergence damping-off in sh-2 sweet corn. **Plant Disease Journal** 74: 368-372.
- El-Mohamedy, R.S.R. and M.M.H. Abd El-Baky. 2008. Evaluation of different types of seed treatment on control of root rot disease, improvement growth and yield quality of Pea plant in Nobaria province. **Res. J. Agric. & Biol. Sci.** 4(6):611-622.
- Fakthongphan, J. 2016. Seed priming for unfavorable condition tolerance. **Thai Agricultural Research Journal**. 34: 196 - 210. (in Thai)
- ISTA. 2018. **International Rules for Seed Testing**, Edition 2018. International Seed Testing Association, Bassersdorf.
- Ketsakul, S., Austin, J., Siriyan, R., Rukkaphan, A., Sirisuwanma, P., KaewSida, W., *et al.* 2015. **Tomato Production Technology**. Department of Agriculture. (in Thai)
- Kaya, M.D., G. Okcu, M. Atak, Y. Cikili and O. Kolsarici. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Eur. J. Agron.** 24: 291–295.
- Leksomboon, C. and Jumpee, N. 2007. Effect of antagonistic bacterium *Bacillus subtilis* on the growth of sugarcane. *In* The 8th National Plant Protection Conference, Amarin lagoon hotel, Phitsanulok, 20-22 November 2007. 296 – 302. (in Thai)
- Mahmood, A., Turgay, O.C., Farooq, M. and Hayat, R. 2016. Seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria: a review. **FEMS Microbiology Ecology**. 92(8): 1-14. fiw112.
- Mathre D.E., N.W. Callan, R.H. Johnston, J.B. Miller and A. Schwend. 1994. Factors influencing the control of *Pythium ultimum*-induces seed decay by seed treatment with *Pseudomonas aureofaciens* AB254. **Crop Protection** 13(4):301-307.
- Soontarasing, S. 1987. **Vegetable diseases and control**. Department of plant pathology, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

การใช้ประโยชน์ของเหลือจากกระบวนการผลิตหนอนมอดรำข้าวสาลี *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) สู่ความเป็นไปได้

ในการผลิตดอกดาวเรืองอินทรีย์

Utilization of Mealworm *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) Waste Process for the Possibility of Organic Marigold Production

เทวี มณีรัตน์^{1*} และ ปัทมาวดี คุณวัลลี¹

Tewee Maneerat^{1*} and Pattamavadee Kunwanlee¹

¹สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

¹Division of Agricultural Innovation and Management, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

*Corresponding author: tewee.m@psu.ac.th

Received: 30 April 2023; Accepted: 27 May 2023; Published: 1 June 2023

บทคัดย่อ

หนอนมอดรำข้าวสาลี หรือหนอนนก *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) เป็นแมลงเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ ในกระบวนการเลี้ยงแมลงของเสียที่เกิดขึ้นคือมูลของหนอนมอดรำข้าวสาลี ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์และเป็นช่องทางสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรเจ้าของฟาร์ม วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชจากมูลหนอนมอดรำข้าวสาลี และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีมาใช้ประโยชน์สำหรับเป็นปุ๋ยอินทรีย์ในกระบวนการผลิตดอกดาวเรือง จากการวิเคราะห์มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี พบธาตุอาหารพืชทั้ง ธาตุหลักไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เท่ากับ ร้อยละ 4.24 4.86 และ 2.27 อินทรีย์วัตถุ (OM) เท่ากับ ร้อยละ 57.93 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) เท่ากับ 9:1 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 7.06 และ pH เท่ากับ 5.71 จากการศึกษาเปรียบเทียบการปลูกดาวเรือง 4 กรรมวิธี การใช้ปุ๋ยเคมี (T1) มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี (T2) มูลไก่ (T3) และไม้ใส่ปุ๋ยเคมี (T4) พบว่า ดาวเรืองที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยจากมูลมอดรำข้าวสาลี สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตดอกดาวเรืองครั้งแรก ในวันที่ 62 หลังการปลูก และ 66 วัน ค่าเฉลี่ยจำนวนดอกของปุ๋ยเคมี (T1) มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี (T2) มูลไก่ (T3) และ ชุดควบคุม/ไม้ใส่ปุ๋ย (T4) เท่ากับ 10.33 ± 3.57 10.17 ± 1.74 6.73 ± 1.72 และ 2.13 ± 2.37 ดอก/ต้น น้ำหนักสดดอก เท่ากับ 9.37 ± 3.64 8.11 ± 2.43 7.48 ± 1.81 และ 4.75 ± 1.05 กรัม/ดอก และ เส้นผ่านศูนย์กลางดอก เท่ากับ 6.56 ± 0.91 6.11 ± 0.54 5.83 ± 0.50 และ 4.77 ± 0.42 เซนติเมตร ตามลำดับ และการใช้มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี สำหรับเป็นปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกดอกดาวเรืองให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใช้ปุ๋ยเคมี ($P \geq 0.05$)

คำสำคัญ: ของเสียจากหนอนมอดรำข้าวสาลี; ดาวเรืองอินทรีย์; การใช้ประโยชน์; ความเป็นไปได้

ABSTRACT

Mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) is an important economic insect in southern Thailand. Waste of insects in farming process is frass or excrement which can be utilized and increased income for the farmers. The objectives of this research were to analyze plant nutrients of mealworm frass and feasibility study on the utilization of mealworm frass in

the organic marigold production process. Results revealed plant nutrients were macronutrient and micronutrient. The primary macronutrients were nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) were 4.24, 4.86 and 2.27%, organic matter (OM) was 57.93 %, carbon to nitrogen (C/N) ratio was 9:1, electrical conductivity (EC) was 7.06 and pH was 5.71, respectively. The possibility of organic marigold production was compared with 4 marigold cultivation treatments; chemical fertilizers (T1), wheat bran weevil manure (T2), chicken manure (T3) and without chemical fertilizers (T4). This study was found that the first harvested marigolds flowers was on the 62nd day in mealworm frass treatment while the other treatments were on 66nd day after planting. The average number of flowers of chemical fertilizers (T1), wheat bran weevil manure (T2), chicken manure (T3) and control/no fertilizer application (T4) was 10.33 ± 3.57 , 10.17 ± 1.74 , 6.73 ± 1.72 , and 2.13 ± 2.37 flowers per plant. Fresh flower weight was 9.37 ± 3.64 , 8.11 ± 2.43 , 7.48 ± 1.81 , and 4.75 ± 1.05 g. per flower and flower diameter was 6.56 ± 0.91 , 6.11 ± 0.54 , 5.83 ± 0.50 , and 4.77 ± 0.42 cm, respectively. Data analysis of average number of flowers, fresh flower weight and flower diameter of marigold on mealworm frass and chemical fertilizer were not significant different ($P > 0.05$).

Keywords: mealworm waste; organic marigold; utilization; possibility

คำนำ

ดาวเรือง (marigold) *Tagetes erecta* L. เป็นไม้ดอกเศรษฐกิจที่สำคัญนิยมปลูกและจำหน่ายภายในประเทศ เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่าย เจริญเติบโตเร็ว ดอกมีขนาดใหญ่ ให้ผลผลิตสูง ใช้ระยะเวลาสั้น คือ ดาวเรืองสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังจากปลูกเพียง 60-70 วัน สามารถปลูกและเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตลอดปี ส่งผลให้เกษตรกรสามารถกำหนดช่วงระยะเวลาการปลูกและการเก็บเกี่ยวได้ นอกจากดาวเรืองจะเป็นไม้ดอกที่ปลูกเพื่อใช้สำหรับประดับ ตกแต่ง และใช้ในเทศกาลสำคัญต่างๆ แล้ว ปัจจุบันความนิยมเกี่ยวกับการนำดอกไม้มาใช้สำหรับบริโภค หรือเรียกว่าไม้ดอกกินได้ (edible flower) การบริโภคไม้ดอกเพื่อเป็นอาหาร ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพ และอาหารฟังก์ชัน (Functional food) คืออาหารที่ประกอบด้วยสารสำคัญหรือสารออกฤทธิ์ที่ไม่ได้มีเพียงคุณค่าทางโภชนาการพื้นฐานที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย แต่ยังมีส่วนช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ ซึ่งกระแสดังกล่าวและความต้องการของอาหารเหล่านี้มีเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการนำไม้ดอกมาเป็นอาหาร ดาวเรืองเป็นไม้ดอกอีกชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากดอกดาวเรืองมีสารแซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) ซึ่งเป็นสารให้สีกลุ่มแคโรทีนอยด์ ที่มีสรรพคุณในการเป็นสารบำรุงสายตา ป้องกันความเสื่อมของจอประสาทตา และสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เทอร์ปีนอยด์ (Terpenoids) ฟีนอลิก (Phenolic) และเบตาแคโรทีน (β -carotene) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Nattakit et al., 2021)

การปลูกดาวเรืองหรือไม้ดอก เพื่อนำมาใช้สำหรับเป็นอาหารเสริมสุขภาพหรืออาหารฟังก์ชันสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเป็นอย่างยิ่ง คือ การตกค้างของสารเคมีในกระบวนการผลิต ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้แก่ ปุ๋ยเคมี และสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ในขณะที่สารเคมีส่งผลกระทบต่อสุขภาพผู้บริโภคแต่ในขณะเดียวกันในการเจริญเติบโตของพืชจำเป็นต้องได้รับธาตุอาหารในปริมาณที่เพียงพอและเหมาะสมจึงจะสามารถให้ผลผลิตที่มีคุณภาพเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับพืช อีกทั้งการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานส่งผลให้ดินเสื่อมโทรม และทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต การนำของเสียหรือของเหลือที่ได้

จากการทำปศุสัตว์มาใช้ประโยชน์สำหรับเป็นปุ๋ยอินทรีย์มีอย่างแพร่หลาย ประกอบกับปัจจุบันแมลงเข้ามามีบทบาทในการเป็นสัตว์เศรษฐกิจ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารทางเลือกหรือโปรตีนทางเลือก หรืออาหารใหม่ (Novel food) สำหรับมนุษย์และสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันตลาดแมลงทั่วโลกมีมูลค่ามากกว่า 400 ล้านเหรียญสหรัฐ และคาดการณ์ว่าในปี 2570 มูลค่าการตลาดของอาหารโปรตีนจากแมลงจะสูงถึง 2,067.9 ล้านเหรียญสหรัฐ (Trade Policy and Strategy Office, 2022) ส่งผลให้ในกระบวนการผลิตเกิดของเสีย คือ มูลของแมลงที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์สำหรับเป็นปุ๋ยให้กับพืช อีกทั้งยังเป็นการลดขยะให้เป็นศูนย์ (Zero waste)

หนอนมอดราข้าวสาลี หรือหนอนนก mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) เป็นแมลงเศรษฐกิจที่มีการเลี้ยงอย่างแพร่หลายในภาคใต้ เพื่อใช้สำหรับเป็นอาหารของสัตว์น้ำ สัตว์ปีก และสัตว์เลี้ยง เนื่องจากมีโปรตีนสูงและสามารถนำมาเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนในอาหารสัตว์ได้ (Kanok, 2013) การทำฟาร์มหนอนมอดราข้าวสาลีเพื่อเป็นแหล่งอาหารสัตว์ ของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิต คือ มูลของหนอน ซึ่งเป็นแหล่งธาตุอาหารที่ดีของพืช (David et al., 2020) สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยและส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี (Kunwanlee and Maneerat, 2021) ธาตุอาหารพืชที่ได้จากมูลแมลงมีความแตกต่างกันขึ้นกับอาหารที่ใช้ในการเลี้ยง (Poveda et al., 2019) ปัจจุบันผู้วิจัยได้มีการผลิตสูตรอาหารที่ใช้สำหรับเลี้ยงหนอนมอดราข้าวสาลีในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้สำหรับเป็นเหยื่อเลี้ยงแมลงตัวห้ำ มูลของหนอนมอดราข้าวสาลีเป็นของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงและจากงานวิจัยที่กล่าวข้างต้นจึงได้มีแนวคิดต่อยอดเพื่อใช้ประโยชน์สำหรับเป็นแหล่งอาหารพืช วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชจากของเสียจากกระบวนการผลิตหนอนมอดราข้าวสาลีในห้องปฏิบัติการ และศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตดอกดาวเรืองอินทรีย์ด้วยมูลหนอนมอดราข้าวสาลี

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชจากของเสียในกระบวนการผลิตหนอนมอดราข้าวสาลี

นำของเสียหรือมูลหนอนที่เหลือจากกระบวนการผลิตหนอนมอดราข้าวสาลี ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้สูตรอาหารที่ผลิตโดยหน่วยผลิตมวลพหุผสม *Sycaus collaris* (F.) และแมลงตัวห้ำตัวเบียน มาคัดแยกเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของหนอนและดักแด้มอดราข้าวสาลี โดยใช้ตะแกรงร่อนตาข่ายถี่ ขนาด 10 เมช (เส้นผ่านศูนย์กลางตาข่าย 0.51 มิลลิเมตร) นำตัวอย่างมูลหนอนมอดราข้าวสาลีที่เตรียม ปริมาณ 500 กรัม ส่งศูนย์ปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุที่สำคัญสำหรับพืช จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง “กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์” พ.ศ.2557

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตดอกดาวเรืองอินทรีย์

การศึกษาความเป็นไปได้เพื่อการผลิตดอกดาวเรืองโดยใช้มูลหนอนมอดราข้าวสาลีเป็นปุ๋ย (ธาตุอาหารพืช) เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยที่เกษตรกรมีการใช้ คือ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลไก่ และไม่ใช้สารเคมี (control)

ดำเนินการปลูกดาวเรือง ณ แปลงปฏิบัติการภาควิชาการจัดการศัตรูพืช คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี คือ ปุ๋ยเคมี (T1) มูลหนอนมอดราข้าวสาลี (T2) มูลไก่ (T3) และ ชุดควบคุม/ไม่ใส่ปุ๋ย (T4) เริ่มดำเนินการโดยเพาะเมล็ดดาวเรืองในถาดหลุมขนาด 104 หลุม เป็นเวลา 14 วัน จากนั้นย้ายต้นกล้าลงในกระถางปลูกขนาด 8 นิ้ว ที่ผสมดินเตรียมใส่ไว้ในกระถางแล้ว กรรมวิธี T1 ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 เมื่อดาวเรืองอายุ 4 และ สัปดาห์ และสูตร 8-24-24 เมื่อดาวเรืองอายุ 7-10 สัปดาห์ และ

กรรมวิธี T2 และ T3 ใส่ปุ๋ยในอัตรา 5.5 กรัม/ต้น/สัปดาห์ แต่ละกรรมวิธีทำ 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้ต้นดาวเรืองจำนวน 10 ต้น ให้ปุ๋ยแต่ละชนิดครั้งแรกหลังจากทำการย้ายปลูกลงกล้าดาวเรืองลงกระถางเป็นเวลา 7 วัน และให้ปุ๋ยทุกสัปดาห์จนกระทั่งดาวเรืองอายุ 10 สัปดาห์ บันทึกข้อมูล วันแรกของการเก็บเกี่ยวผลผลิต จำนวนดอก น้ำหนักสด และเส้นผ่านศูนย์กลางดอก ที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละครั้ง เก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 20 วันหลังจากย้ายปลูกลงเป็นเวลา 60 วัน นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วย Analysis of variance, ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดลองและวิจารณ์

การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชจากของเสียในกระบวนการผลิตหนอนมอดรำข้าวสาลี

จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชจากของเสียในกระบวนการผลิตหนอนมอดรำข้าวสาลี (มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี) โดยศูนย์ปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ พบว่า มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี มีธาตุอาหารพืชทั้ง ธาตุหลักไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เท่ากับ ร้อยละ 4.24 4.86 และ 2.27 ธาตุรอง ที่วิเคราะห์ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และโซเดียม (Na) เท่ากับ ร้อยละ 0.54 0.91 และ 0.04 และจุลธาตุพืช ที่วิเคราะห์ 5 ชนิด คือ เหล็ก(Fe) แมงกานีส(Mn) คอปเปอร์(Cu) สังกะสี(Zn) และโบรอน(B) เท่ากับ 140.1 130.30 10.52 และ 119.73 ppm ตามลำดับ ความชื้น เท่ากับ ร้อยละ 8.44 อินทรีย์วัตถุ (OM) เท่ากับ ร้อยละ 57.93 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) เท่ากับ 9:1 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 7.06 และ pH เท่ากับ 5.71 ซึ่งค่าที่ได้สูงกว่าประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง “กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์” พ.ศ.2557 (Table 1)

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตดอกดาวเรืองอินทรีย์

จากการศึกษาเปรียบเทียบการปลูกดาวเรือง 4 กรรมวิธี ประกอบด้วย การใช้ปุ๋ยเคมี มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี มูลไก่ และไม้ใส่ปุ๋ยเคมี พบว่า ดาวเรืองที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยจากมูลมอดรำข้าวสาลี สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตดอกดาวเรืองครั้งแรก ในวันที่ 62 หลังการปลูก และ 66 วัน เมื่อใช้ปุ๋ยกรรมวิธีอื่น ค่าเฉลี่ยจำนวนดอกของปุ๋ยเคมี (T1) มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี (T2) มูลไก่ (T3) และ ชุตควบคุม/ไม้ใส่ปุ๋ย (T4) เท่ากับ 10.33 ± 3.57 10.17 ± 1.74 6.73 ± 1.72 และ 2.13 ± 2.37 ดอก/ต้น น้ำหนักสดดอก เท่ากับ 9.37 ± 3.64 8.11 ± 2.43 7.48 ± 1.81 และ 4.75 ± 1.05 กรัม/ดอก และ เส้นผ่านศูนย์กลางดอก เท่ากับ 6.56 ± 0.91 6.11 ± 0.54 5.83 ± 0.50 และ 4.77 ± 0.42 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า การใช้มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีซึ่งเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตหนอนมอดรำข้าวสาลี ให้ค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใช้ปุ๋ยเคมี ($P \geq 0.05$) (Table 2)

ในกระบวนการผลิตแอมलगซึ่งเป็นของเหลือที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือ มูลของแอมलग ซึ่งการนำมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีมาใช้ประโยชน์เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของวัสดุทางการเกษตรเป็นสิ่งจำเป็นอีกทั้งยังเป็นการช่วยลดขยะ (Zero waste) ต่างประเทศได้มีการนำมูลของแอมलगชนิดนี้มาใช้ประโยชน์ และพบว่า มูลของหนอนมอดรำข้าวสาลีประกอบด้วย ธาตุอาหารพืชทั้งธาตุหลัก ธาตุรอง และจุลธาตุ (Poveda *et al.*, 2019; Houben *et al.*, 2020) และมีการนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการชักนำการเจริญเติบโต และเพิ่มความทนทานให้กับพืช เช่นสภาวะการทนแล้ง และชักนำการสร้างความแข็งแรงให้กับพืช (Poveda *et al.*, 2019) นอกจากนี้การใช้มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีเป็นส่วนประกอบในวัสดุเพาะสำหรับผักและไม้ผล ยังสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ ลดปริมาณแคลเซียมที่มีอยู่ในวัสดุปลูก เป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ (Nogalska *et al.*, 2023) จากการใช้มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีเพื่อเป็นปุ๋ยในการปลูกดาวเรืองพบว่า

จำนวนดอกต่อต้น น้ำหนักสดและเส้นผ่านศูนย์กลางของดอก มีค่าใกล้เคียงและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งสอดคล้องกับ Kunwanlee and Tewee (2001) พบว่าการใช้มูลหนอนมอดราข้าวสาลีสามารถให้ผลผลิตเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ. และการใส่ปุ๋ยอัดเม็ดมูลหนอนนก ปุ๋ยอัดเม็ดมูลจิ้งหรีด และปุ๋ยอัดเม็ดมูลหนอนนกผสมหินฟอสเฟส ให้ผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ไม่แตกต่างกันกับการใช้ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยที่มีส่วนประกอบของมูลแมลง ช่วยเพิ่มธาตุอาหารหลัก และเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งเป็นการปรับโครงสร้างดินให้ดีขึ้น (Prachwanee, 2021)

Table 1 Plant nutrition of mealworm frass from laboratory compared with organic fertilizer standard of DOA

Plant nutrition	DOA organic fertilizer standard	Mealworm frass
Macronutrients		
Primary (%weight/weight)		
- Nitrogen	≥1.0	4.24
- Phosphorus	≥0.5	4.84
- Potassium	≥0.5	2.36
Secondary (%weight/weight)		
- Calcium	-	0.54
- Magnesium	-	1.32
- Sulfur	-	NA
Micronutrients		
- Boron	-	NA
- Copper	-	10.47
- Iron	-	140.10
- Chloride	-	NA
- Manganese	-	130.30
- Molybdenum	-	NA
- Zinc	-	119.73
pH	5.5-8.5	5.71
Moisture	≤30	8.44
Organic matter (OM) (%)	≥20	57.93
OC		33.68
C/N ratio	≤20:1	9:1
EC (ds/m)	≤10	7.06

Table 2 The 1st harvested flower, number of marigold, average number of flower fresh weight, and flower diameter on different fertilizers

Treatment	1 st harvested flower (Day after plant)	No. of marigold (flowers)			Flower fresh weight (g.) (mean±sd)	Flower diameter (cm.) (mean±sd)
		Min	Max	Mean±SD		
T1 (Chemical)	66	7	19	10.33±3.57 a	9.37±3.64 a	6.56±0.91 a
T2 (Mealworm frass)	62	6	13	10.17±1.74 a	8.11±2.43 ab	6.11±0.54 a
T3 (Chicken manure)	66	1	10	6.73±1.72 b	7.48±1.81 b	5.83±0.50 b
T4 (Control)	66	1	4	2.13±2.37 c	4.75±1.05 c	4.77±0.42 c
F-test				*	*	*

* Different letters within the same column was indicated the significant different at $P \leq 0.05$

สรุป

การนำของเหลือจากกระบวนการผลิตแมลงหรือมูลแมลงมาสร้างมูลค่าและใช้ประโยชน์ มูลหนอนมอด รำข้าวสาลีมีธาตุอาหารพืชครบทั้งธาตุหลัก ธาตุรอง และธาตุเสริม รวมถึงความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ของพืช การนำไปใช้ในการผลิตดอกดาวเรืองมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีและสามารถนำมาใช้สำหรับเป็นธาตุอาหารพืชเพื่อการผลิตดอกดาวเรืองในระบบอินทรีย์

เอกสารอ้างอิง

- Chaovapasee, K. 2013. Estimation of genetic parameters and breeding values for economic traits in mealworm (*Tenebrio molitor* L.). Princess of Naradhiwas University Journal, 5(1): 61-68. (in Thai)
- Houben, D., G. Daoulas, M. Faucon and A. Dulaurent. 2020. Potential use of mealworm frass as a fertilizer: impact on crop growth and soil properties. Scientific Reports, 10: 4659. 9 p.
- Kunwanlee, K. and Maneerat, T. 2021. Comparison between mealworm (*Tenebrio molitor* L.) waste and chemical fertilizer on the growth and yield of selected-PSU green pepper. VRU Research and Development Journal Science and Technology, 16(1): 47-56. (in Thai)
- Nattakit, P., N. Thanakornvises, N. Luengprapha, K. Boonwitian, and N. Srisuvor. 2021. Sensory characteristics of soybean breads and marigold (*Tagetes erecta* L.) breads. Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 20(1): 2651-2289. (in Thai)
- Nogalska, A., S. W. Przemieniecki, S. J. Krzbiec, D. Zaluski, A. Kosewska, M. Skwierawska and S. Sienkiewicz. 2013. The effect of mealworm frass on the chemical and microbiological properties of horticultural peat in an incubation experiment. International Journal of Environmental Research and Public Health 20, 21. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010021>.

- Pibumrung, P. 2021. Effect of cricket frass and mealworm waste compost pellet applications on soil properties and yield of Pathum Thani 1 rice. *Journal of Agricultural Research & Extension* 39(1): 52-64.
- Poveda J., A. Jimenez-Gomez, Z. Saati-Santamaria, R. Usategui-Martin R. Rivas and P. Garcia-Fraile. 2019. Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance-inductor in plants. *Applied Soil Ecology* 142: 110-122.
- Trade Policy and Strategy Office. 2022. Insect novel food: Value added agricultural products. Source: <http://www.tpsoc.moc.go.th/th/node/11829>.

การใช้ประโยชน์จากหญ้าเนเปียร์และเศษผักสดในรูปน้ำหมักชีวภาพ: ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและค่าความเป็นกรดต่าง

Utilization of Napier Grass and Fresh Vegetable Scraps as Bio-extract: Total Bacteria Count and pH Value

กฤตเมธ ตะนัยศรี¹ และ กรรณิกา อัมพูช^{1*}

Krittamet Tanaisi¹ and Kannika Umpuch^{1*}

¹หลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

¹Agricultural Program, Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University
under The Royal Patronage

*Corresponding author: kannika.um@vru.ac.th

Received: 30 April 2023; Accepted: 19 May 2023; Published: 1 June 2023

บทคัดย่อ

หญ้าเนเปียร์เป็นหญ้าที่ให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง พบได้ทั่วไปจากการใช้เป็นพืชอาหารสัตว์ในรูปแบบต่างๆ ตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม แต่หากในอายุหรือส่วนประกอบของต้นที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อาจกลายเป็นเศษหญ้าเหลือทิ้งเช่นเดียวกับเศษผักสดจากตลาดที่มีปริมาณมาก การหาแนวทางการจัดการเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจแบบบีซีจี หนึ่งในนั้นคือการนำมาทำน้ำหมักชีวภาพเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากการหมักหญ้าเนเปียร์และเศษผักสด ซึ่งได้แก่ ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด และค่าความเป็นกรดต่างที่อายุการหมัก 2 ระยะ โดยวางแผนการทดลองแบบ independent t-test แบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ กลุ่มที่ 1 หมักนาน 21 วัน กลุ่มที่ 2 หมักนาน 28 วัน จากผลการศึกษาพบว่า น้ำหมักทั้งสองกลุ่ม มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดแตกต่างกัน คือ 22.5×10^6 และ 5.76×10^6 cfu/g ตามลำดับ ($P < 0.05$) ในขณะที่ความเป็นกรดต่างไม่แตกต่างกัน คือ 4.11 และ 4.42 ตามลำดับ ($P > 0.05$) ซึ่งเป็นช่วงใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำหมักชีวภาพทั่วไปที่ใช้กันในปัจจุบัน สุดท้ายการนำไปขยายผลโดยการทดสอบประสิทธิภาพทั้งทางเคมีและกายภาพของน้ำหมักชีวภาพ จึงควรดำเนินการต่อเพื่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้น และน่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากของเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด มีการใช้ซ้ำ และเข้าสู่กระบวนการแปรสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ในภาคการเกษตรต่อไป

คำสำคัญ: น้ำหมักชีวภาพ; หญ้าเนเปียร์; เศษผักสด; การนำมาใช้ประโยชน์ใหม่; เศรษฐกิจบีซีจี

ABSTRACT

Napier grass is a high yielding grass commonly uses as a forage in various ways according to the appropriate harvesting period. But if at the age or plant components of cannot be utilized, it may become agricultural waste as well as leftover vegetable scraps from fresh markets that are plentiful nowadays. Finding simple ways to manage the agricultural waste and align with the BCG economic concept is interesting. One of them is to make bio-extract for agricultural use. Therefore, this study aimed to study the basic properties of the bio-extract obtained from napiergrass and fresh vegetable wastes, namely a microbial content and a pH value at two

fermentation periods. The experiment was planned as an independent t-test. The trial was divided into two groups with six replicates each. Group one; fermented for 21 days and group two fermented for 28 days. The results showed that the two groups of bio-extract were different in the total bacteria content that were 22.5×10^6 and 5.76×10^6 cfu/g, respectively ($P < 0.05$). Whereas the pH content reviewed at 4.11 and 4.42, respectively ($P > 0.05$), which is close to the pH value of general bio-extract used today. Extending the results by testing the efficiency of the bio-extract both chemical and physical should be continued for more benefits. Finally, it seems to be another way to take advantage of agricultural waste to create zero waste, reuse, recycle and upcycle in agricultural sector.

Keywords: bio-extract; napiergrass; vegetable waste; upcycle; BCG economy

คำนำ

BCG Economy หรือ เศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว (Bio-Circular-Green Economy) คือ โมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน เป็นแนวทางการนำวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมไปยกระดับความสามารถในการแข่งขันอย่างยั่งยืนให้กับ 4 อุตสาหกรรมเป้าหมาย (S-curves) ได้แก่ อุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร อุตสาหกรรมพลังงานและวัสดุ อุตสาหกรรมสุขภาพและการแพทย์ และอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวและบริการ โดยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมจะเข้าไปช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับผู้ผลิตที่เป็นฐานการผลิตเดิม เช่น เกษตรกรและชุมชน ตลอดจนสนับสนุนให้เกิดผู้ประกอบการที่ผลิตสินค้าและบริการที่มีมูลค่าเพิ่มสูงหรือนวัตกรรม (NXPO, 2023)

แนวทางการพัฒนานวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจหมุนเวียน คือ สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด (Eco-design & Zero-Waste) ส่งเสริมการใช้ซ้ำ (Reuse, Refurbish, Sharing) และให้ความสำคัญกับการจัดการของเสียจากการผลิตและบริโภค ด้วยการนำวัตถุดิบที่ผ่านการผลิตและบริโภคแล้วเข้าสู่กระบวนการแปรสภาพเพื่อกลับมาใช้ใหม่ (Recycle, Upcycle) ซึ่งต่างจากระบบเศรษฐกิจแบบดั้งเดิม ที่เน้นการใช้ทรัพยากร การผลิต และการสร้างของเสีย (Linear Economy) (NXPO, 2023)

ในด้านการเกษตรนั้นเกี่ยวข้องโดยตรงกับแนวคิดดังกล่าว และมีการนำแนวคิดนี้มาใช้กันมาอย่างต่อเนื่อง และหนึ่งในนวัตกรรมอย่างง่ายที่แพร่หลายในเกษตรกรหรือผู้ที่สนใจคือ การทำน้ำหมักชีวภาพ (Bioextract) ซึ่งเป็นสารละลายเข้มข้นที่ได้จากการหมักเศษพืช หรือสัตว์ กับสารที่ให้ความหวานจนถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการแล้วจะได้สารละลายเข้มข้นสีน้ำตาลเมื่อผ่านการหมักที่สมบูรณ์จะพบสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมนและ แบคทีเรียอยู่เป็นจำนวนมาก (Samrakkit, 1999) การนำน้ำหมักชีวภาพ มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ ในด้านอื่นๆ เช่น ด้านการเกษตร น้ำหมักชีวภาพ มีธาตุอาหารสำคัญ ทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และกำมะถัน จึงสามารถนำไปเป็นปุ๋ย เร่งอัตราการเจริญเติบโตของพืช เพิ่มคุณภาพของผลผลิตให้ดีขึ้น และยังสามารถใช้ไล่แมลงศัตรูพืชได้ โดยการฉีดพ่นหรือเติมในดินหรือน้ำ ช่วยปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ในดินและน้ำ ช่วยปรับสภาพโครงสร้างของดินทำให้ดินร่วนซุย อุ่มน้ำได้ดี ช่วยเพิ่มจำนวนแบคทีเรียในดิน ช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินและน้ำ ใช้รดต้นพืชหรือแช่เมล็ดพันธุ์ ท่อนพันธุ์เพื่อเร่งการเกิดราก และการเจริญเติบโตของพืช เป็นสารที่ทำหน้าที่เหมือนฮอร์โมนพืชกระตุ้นการเกิดราก ใช้ฉีดพ่นในแปลงเกษตรช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช (Pornpisuthimas *et al.*, 2009) สำหรับคุณสมบัติทั่วไปของน้ำหมักชีวภาพ Nobamombodee *et al.* (2004) ได้เก็บรวบรวมตัวอย่างน้ำหมักชีวภาพและวิเคราะห์คุณสมบัติดังแสดงใน Table 1

Table 1 General properties of bio-extract from various sources (117 samples)

Properties	Plant	Herb	Fish	shell	mix
pH	3.3-5.1	3.5-8.8	3.6-6.2	3.4-8.4	3.7-9.0
EC (ds/m)	0.12-8.54	0.17-9.85	3.1-33.8	0.24-10.92	0.63-12.52
Organic carbon (%)	0.14-18.88	0.04-21.49	3.2-19.4	0.12-20.59	1.02-14.25
Humic acid (%)	0.03-0.98	0.01-0.35	0.03-0.18	0.03-0.50	0.004-0.42
	(found 23%)	(found 32%)	(found 46%)	(found 39%)	(found 55%)

Source: Nobamornbodee *et al.* (2004)

สำหรับจุลินทรีย์ที่พบในน้ำหมักชีวภาพ มีทั้งที่ต้องการ ออกซิเจน และไม่ต้องการออกซิเจน จุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำหมักชีวภาพคือแบคทีเรียและรา แบคทีเรียที่พบส่วนใหญ่ เป็นแบคทีเรีย แกรมบวก และเป็นแบคทีเรียพวกสร้างกรดแลกติก เช่น *Bacillus* sp., *Lactobacillus* sp., *Streptococcus* sp., มีบทบาทย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่นำมาทำน้ำหมักชีวภาพจากสารโมเลกุลใหญ่ให้มีโมเลกุลเล็กลง ปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ให้แก่พืช และช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิดได้ แบคทีเรียเป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ที่พบมีปริมาณมากและหลากหลายที่สุด และจะลดปริมาณและความหลากหลายของสายพันธุ์ลงไปตามระยะเวลาของการหมัก

หญ้าเนเปียร์ (Napiergrass) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Pennisetum purpureum* หญ้าเนเปียร์จัดเป็นหญ้าในเขตร้อนมีลักษณะ ใบหนาและกว้างมีลำต้นคล้ายอ้อย นำมาใช้ประโยชน์ในด้านเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้หลายรูปแบบทั้งปลูกเพื่อการตัดสด ปลูกเพื่อปล่อยโค กระบือ แพะ แกะ ลงทะเลในแปลง หรือนำมาหมักในรูปหญ้าหมักสำหรับใช้เป็นอาหารสำรองในช่วงขาดแคลนหญ้าสด แต่ทั้งนี้สัตว์จะได้รับโภชนะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ อายุและองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์ที่นำมาใช้ (Umpuch, 2021) ในส่วนของคุณสมบัติของหญ้าหมักนั้น มีงานวิจัยที่ได้วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างของหญ้าเนเปียร์หมักและปริมาณแบคทีเรีย เช่น ค่าความเป็นกรดต่าง หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 อายุ 6 เดือนมีอายุการหมัก 21 และ 28 วัน โดยไม่มีการเติมสารเติมแต่งลงไป พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ต่าง เท่ากับ 4.31 และ 4.30 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Umpuch *et al.*, 2019) Kongjak and Umpuch (2019) ได้ทดลองหมักหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมักร่วมกับใบกระถินสด พบว่า หญ้าเนเปียร์สีม่วงหมักร่วมกับกระถินและการนำตาลมีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.08 และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับค่าความเป็นกรดต่างของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมักร่วมกับกระถินและกากน้ำตาลที่มีค่ากรดต่าง เท่ากับ 4.39 สำหรับปริมาณแบคทีเรียพบว่าหญ้าหมักที่อายุการหมัก 21 วัน มีปริมาณแบคทีเรีย ทั้งหมด 2.50×10^7 (CFU/g) เมื่อเพิ่มระยะการหมักเป็นอายุการหมัก 28 วัน มีปริมาณแบคทีเรีย ทั้งหมด 3.92×10^6 (CFU/g) (Umpuch *et al.*, 2019) เป็นต้น

จากข้อมูลดังกล่าวทั้งในด้านการทำน้ำหมักชีวภาพ และการใช้ประโยชน์จากหญ้าเนเปียร์ที่มีข้อมูลการนำมาหมักเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์แล้วนั้น การทดลองใช้หญ้าอายุมากที่สัตว์อาจใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่และเกษตรกรอาจตัดทิ้ง หรือ เผาทิ้ง นำมาเป็นวัตถุดิบหนึ่งในการหมักร่วมกับเศษผัก (Kromrattanapom, 2010) ซึ่งพบได้ทั่วไปตามครัวเรือนหรือตลาดสดเพื่อทำน้ำหมักชีวภาพ น่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากของเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด (zero waste) มีการใช้ซ้ำ (reuse) และเข้าสู่กระบวนการแปรสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) ในภาคการเกษตรต่อไปได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากการหมักหญ้าเนเปียร์และเศษผักสด โดยตรวจวิเคราะห์

ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด และค่าความเป็นกรดต่าง เพื่อจะเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ในภาคการเกษตรต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์และวัสดุสำหรับทำน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ ผักสดที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากตลาดไท อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ซึ่งประกอบด้วยเศษของ ผักกาดขาว ผักกาดหอม ผักกะหล่ำปลี ผักกวางตุ้ง สำหรับส่วนของหญ้าเนเปียร์จะใช้หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 อายุประมาณ 6 เดือนนำมาสับลดขนาดด้วยเครื่องสับหญ้า เครื่องชั่งน้ำหนัก ถังหมักแบบมีฝาปิด ขนาด 20 ลิตรจำนวน 12 ถัง กากน้ำตาล จำนวน 6 ลิตร แบคทีเรียสังเคราะห์แสง จำนวน 2.4 ลิตร น้ำเปล่า 120 ลิตร และผ้าขาวบาง

อุปกรณ์ และวัสดุสำหรับเก็บตัวอย่าง ได้แก่ ขวดดูแรน ปีกเกอร์ ขนาด 800 มิลลิลิตร หลอดทดลอง ปีเปต หลอดเลี้ยงเชื้อก้นกลมปริมาณ 15 มิลลิลิตร หลอดแก้วหยดสาร และขวดชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร

อุปกรณ์ และวัสดุสำหรับวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรีย ได้แก่ ขวดดูแรน ปีกเกอร์ ขนาด 1000 มิลลิลิตร ปีเปต จานเพาะเชื้อแบบแก้ว สาร Agar-Agar powder และสาร Nutrient Broth (NA)

อุปกรณ์ และวัสดุสำหรับวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ได้แก่ pH meter ปีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร ผ้าขาวบาง ขวดพลาสติก (สำหรับใส่ผสม) เครื่องชั่งดิจิทัล หลอดทดลองแก้ว เครื่องเขย่า

วิธีการ

วิธีการทำน้ำหมักชีวภาพในการศึกษาครั้งนี้ ใช้วิธีการทำตามสูตรอ้างอิง (Kromrattanaporn, 2010) โดยเปลี่ยนวัตถุดิบด้วยหญ้าเนเปียร์ ดังแสดงใน Table 2

Table 2 formula used in the experiment.

Ingredient	Reference formula	Treatment 1	Treatment 2
	(Kromrattanaporn, 2010)		
1. water (L.)	200	120	120
2. molasses (L.)	10	6	6
3. fresh napiergrass (kg.)	-	1.2	1.2
4. vegetable waste (kg.)	2.3	1.8	1.8
5. molasses solution (ml./L. of water)	50	50	50
6. Photosynthetic bacteria (ml.)	200	200	200
Fermentation period (day)	21 and 28	21	28

สับหญ้าเนเปียร์ด้วยเครื่องสับจำนวน 1.2 กิโลกรัมและเศษผักสด จำนวน 1.8 กิโลกรัม ใส่รวมลงในถังหมัก และ ใส่กากน้ำตาล จำนวน 500 มิลลิลิตร ในน้ำสะอาด 10 ลิตร ใส่จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง 200 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน เทส่วนผสมทั้งหมดใส่ถังหมัก ปิดฝาดังให้ สนิทวางถังไว้ในที่ร่ม เปิดฝาดังทุกๆ 7 วัน โดยแบ่งเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 หมักไว้เป็นระยะเวลา 21 วัน และ กลุ่มที่ 2 หมักไว้เป็นระยะเวลา 28 วัน โดยวางแผนการทดลองแบบ t-test ประกอบด้วยน้ำหมักชีวภาพ 2 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ (6 ถัง)

การเก็บข้อมูลต่างๆ เมื่อสิ้นสุดระยะการหมักในแต่ละกลุ่ม ดังต่อไปนี้

ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (total bacteria count, cfu/g.) สุ่มตัวอย่างน้ำหมักถังละ 20 มิลลิลิตร ผสมน้ำกลั่นปริมาณ 300 มิลลิลิตรและกรองแยกชิ้นส่วนของหญ้าและเศษผักกับน้ำด้วยผ้าขาวบางสองชั้น จากนั้นนำน้ำที่กรองมาเพาะเลี้ยงเชื้อเพื่อหาแบคทีเรียโดยนำตัวอย่างที่กรองแล้วมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ ด้วยวิธีการ Dilution method มีอัตราการเจือจางอยู่ที่ 10^{-4} - 10^{-6} ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่อัตราการเจือจาง ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar (NA) ทำการ spread plate บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นนับจำนวนโคโลนี ค่าความเป็นกรดต่างหาได้จากการสุ่มตัวอย่างน้ำหมัก 50 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตรในขวดพลาสติก และนำไปเขย่าโดยเครื่องเขย่า เป็นเวลา 10 วินาที แล้วกรองผ่านผ้าขาวบางสองชั้น นำน้ำที่กรองไปวัดความเป็นกรดต่างด้วยเครื่อง pH meter โดยการเก็บข้อมูลดำเนินการ ณ ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

ข้อมูลดิบที่ได้นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหาความแตกต่างของข้อมูล โดย independent t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรม MS Excel

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการเปรียบเทียบระยะเวลาในการหมักน้ำหมักชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์และเศษผักสด 2 ระยะ คือ 21 และ 28 วันโดยใช้หญ้าเนเปียร์อายุการตัดมากที่สุดที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ร่วมกับเศษผักสด ได้ผลการศึกษา ดังนี้

ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด

จากการศึกษาพบว่า ระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 2 ซึ่งจากงานวิจัยของ Kromrattanaorn (2010) พบว่า น้ำหมักชีวภาพที่ทำการหมักที่ 28 วัน จะมีปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ย 3.6×10^6 cfu/g ซึ่งน้อยกว่างานวิจัยนี้ที่ต่างกันที่การเพิ่มหญ้าเนเปียร์ลงไป และได้อธิบายเสริมว่าการที่แบคทีเรียในน้ำหมักชีวภาพลดลงเนื่องจากพบเชื้อรา *Penicillium sp.* ปนเปื้อนอยู่ในน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องจากการปนเปื้อนเชื้อราจากอากาศ ไม่ได้เกิดจากขบวนการหมัก ซึ่งหมายความว่าจำนวนแบคทีเรียนั้นอยู่ในเกณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับ Buayam (2011) ได้กล่าวว่าหลักการทำน้ำหมักให้มีประสิทธิภาพ พบว่า น้ำหมักอยู่ในระยะมีไซฟิสิก เป็นช่วงที่แบคทีเรียเพิ่มจำนวนมากขึ้นและทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วงประมาณ 25-40 องศาเซลเซียส ในกรณีหญ้าเนเปียร์หมักของ Umpuch *et al.* (2019) พบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด 3.92×10^6 cfu/g ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าการทำน้ำหมักโดยเฉพาะ เนื่องจากการทำน้ำหมักมีการเติมกากน้ำตาล ตลอดจนแบคทีเรียสังเคราะห์แสงลงไปเพื่อกระตุ้นกระบวนการหมักให้เกิดเร็วขึ้น จึงเห็นได้ว่า ในช่วงการหมักเพียงแค่สามสัปดาห์ ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำหมักมีปริมาณที่สูงมาก ซึ่งในงานวิจัยต่อไปอาจต้องเพาะเชื้อหาชนิดแบคทีเรียที่เฉพาะเจาะจงตลอดจนการทดสอบปลูกในพืชต่อไป

Table 3 Total bacteria and pH value of different ages of bio-extract water

Duration	Total bacteria count (cfu/g.)	pH Value
21 days	22.5×10^6	4.11 ± 0.49
28 days	5.76×10^6	4.42 ± 0.60
P-value	0.38	0.00
Significant	ns	*

ns = means in the same column are not statistically significantly different

* = Means followed by the same column are significantly different at $P < 0.05$

ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)

จากการศึกษาพบว่า ระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นเพียงหนึ่งสัปดาห์ไม่มีผลต่อความเป็นกรดต่าง หรือค่า pH (Table 3) แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้พบว่ามีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน คือ 3.0-4.0 เล็กน้อย และถ้าหากเพิ่มระยะเวลาในการหมักนานขึ้นค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ทั้งนี้ ค่า pH มีความสัมพันธ์กับชนิดและจำนวนของแบคทีเรีย โดยน้ำหมักชีวภาพจะมีความเป็นกรดสูง (ค่า pH<4) การที่ค่า pH ของน้ำหมักเป็นกรดแสดงถึงการเกิดกระบวนการหมัก และถ้าค่า pH ของน้ำหมักชีวภาพมีประมาณ 3.0 - 4.0 แสดงว่ากระบวนการหมักเกิดสมบูรณ์แล้ว โดยสังเกตได้ จากฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นและระยะกลางของกระบวนการหมัก (Sutthitham *et al.*, 2004) ซึ่งสภาวะดังกล่าวอยู่ในช่วง pH ที่พบได้ทั่วไปจากน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากพืช (pH 3.3-5.1) ตามที่ Nobamornbodee *et al.* (2004) ได้รายงานไว้ใน Table 1

สรุป

จากการศึกษาน้ำหมักชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์และเศษผักสดที่มีระยะการหมัก 21 และ 28 วัน พบว่ามีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดเท่ากับ 22.5×10^6 และ 5.76×10^6 cfu/ml. และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.11 และ 4.42 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทดลองขนาดเล็ก และเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นอย่างง่าย การนำไปขยายผลโดยการทดสอบประสิทธิภาพเพิ่มด้านการเกษตร ปศุสัตว์ หรือปรับปรุงคุณภาพดิน ทั้งทางเคมีและกายภาพของน้ำหมักชีวภาพ จึงควรดำเนินการต่อเพื่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้น และน่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากของเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด (zero waste) มีการใช้ซ้ำ (reuse) และเข้าสู่กระบวนการแปรสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) ในภาคการเกษตรต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Buayam, S. 2011. **Principles of Efficient Fertilizer Production**. 2nd Edition. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Kongjak, P. and K. Umpuch. 2019. Silage quality between purple napier grass and pakchong 1 napier grass added with fresh leucaena leaves. *In The Proceedings of the 7th Academic Science and Technology Conference 2019*, Rangsit University, Pathumthani, Thailand, 7 June 2019. 322-326. (in Thai)
- Kromrattanaporn, P. 2010. **Making Bio-extract Water and Herb**. 1st Edition. Faculty of Veterinary, Khon Kaen University. (in Thai)
- Nobamornbodee, A., Isaranurak, S., Chompunich, S., Likkananont, P., Kanlong, N., Charoensathaporn, R., and Bhromsaththa, R. 2004. **Science Data: Bio-extract water (Part 1)**. Department of Agriculture. 1st Edition., Quick Print Offset, Bangkok. (in Thai)
- NXPO. 2023. **BCG Economy**. The Office of National Higher Education Science Research and Innovation Policy Council. <https://www.nxpo.or.th/th/bcg-economy/#> 30 April 2023.
- Pornpisuthimas, S., Limchuwong, S., Laloknam, S., and Laohakoat, T. 2009. **Effects of Bio-Fermentation on The Growth of Fabaceae Plants**. 4th Edition. Neon Book Media, Bangkok. (in Thai)

- Sarnrakkit, S. 1999. **Bio-extract Fertilizer**. Thailand Institute of Scientific and Technological Research. (in Thai)
- Sutthitham, W., Phosri, P., and Washirapattama, N. 2004. **Effects of bio-extract water on growth and yield of fresh bean pods in hydroponics system**. Faculty of Science and Technology, Thammasat University. (in Thai)
- Umpuch, K. 2021. New developments in forage crops production in Thailand. **40th Malaysian Society of Animal Production Annual Conference “Livestock industries surviving the COVID-19 pandemic”**. 3rd – 4th August 2021. 50-58. Online Conference.
- Umpuch, K., K. Kokkhuntod, P. Chuchuy, P. Pangsi and P. Pangsi. 2019. The study of chemical components and quality of microorganisms in napier grass silage at different ensiling periods. *In The Proceedings of the 13th National Conference of Rambhai Barni Research*, Chanthaburi, Thailand, 19 December 2019. 631-637. (in Thai)