



วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ISSN 3027-8309 (Print), 3027-8325 (Online)

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2567 Vol. 17 No. 1 January - June 2024



จริยธรรม/จรรยาบรรณวารสาร

ผู้แต่ง (Authors)

1. ผู้แต่งต้องรับรองว่าผลงานที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยนำเสนอในรูปแบบรายงานการประชุม (Proceedings) หรือได้รับการตีพิมพ์ที่ใดมาก่อน รวมทั้งการไม่อยู่ระหว่างการส่งหรือรอเพื่อการตีพิมพ์บทความ
2. ผู้แต่งต้องเขียนบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดของวารสาร ตามคำแนะนำของรายละเอียดการจัดเตรียมต้นฉบับ มิฉะนั้นทางบรรณาธิการวารสารจะไม่รับพิจารณาบทความนั้น ๆ
3. บทความต้องนำเสนอรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูลหรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ
4. ผู้แต่งต้องไม่นำผลงานของผู้อื่นมาอ้างเป็นผลงานของตัวเอง โดยบทความต้องมีการอ้างอิงอย่างถูกต้อง หากมีการนำผลงานผู้อื่นมาอ้างอิง และจะต้องจัดทำรายการอ้างอิงของผู้นั้นในรายการอ้างอิงท้ายบทความด้วย
5. ผู้แต่งที่มีชื่อปรากฏในบทความ จะต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการวิจัยจริง และผู้แต่งจะต้องระบุการไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน (กรณีที่เกี่ยวข้องต่อการส่งบทความ)
6. ผู้แต่งต้องระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนในการทำวิจัยในกิตติกรรมประกาศ

บรรณาธิการวารสาร (Editors)

1. มีหน้าที่พิจารณารูปแบบความครบถ้วนและคุณภาพของบทความ ก่อนเริ่มกระบวนการประเมินเพื่อตีพิมพ์ เผยแพร่ในวารสารที่รับผิดชอบ และต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้นิพนธ์และผู้ประเมินบทความ แก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความและการตีพิมพ์วารสารฉบับนั้น ๆ
2. เป็นผู้ประเมินเบื้องต้นในการตัดสินใจคัดเลือกบทความเข้าสู่กระบวนการประเมินบทความ และตัดสินใจรับตีพิมพ์โดยพิจารณาจากผลการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ ทั้งนี้บรรณาธิการวารสารจะต้องคำนึงถึงความใหม่ ความชัดเจน และความสอดคล้องของเนื้อหา กับนโยบายของวารสารเป็นสำคัญ
3. บรรณาธิการวารสารจะไม่รับตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์เผยแพร่จากที่อื่นมาแล้ว ทั้งในรูปแบบของวารสารหรือบทความหลังการนำเสนอในที่ประชุมวิชาการฉบับเต็ม (Proceedings) และต้องมีการตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) อย่างจริงจัง โดยใช้โปรแกรมที่ยอมรับในทางวิชาการ และกรณีตรวจพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่น บรรณาธิการวารสารต้องติดต่อผู้นิพนธ์หลักเพื่อขอคำชี้แจง และหากไม่มีข้อชี้แจงตามหลักวิชาการ บรรณาธิการจะ “ปฏิเสธ” การตีพิมพ์บทความนั้น ๆ
4. บรรณาธิการวารสารต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือเพียงด้วยข้อสงสัยความไม่แน่ใจ จนกว่าจะมีหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยเหล่านั้น
5. บรรณาธิการวารสารจะต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนใด ๆ กับผู้นิพนธ์ ผู้ประเมินบทความ และทีมผู้บริหาร

ผู้ประเมินบทความ (Reviewers)

1. ผู้ประเมินบทความจะต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ เช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้นิพนธ์เป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่จะทำให้ผู้ประเมินไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะได้อย่างอิสระ ซึ่งหากมีกรณีดังกล่าวผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ และต้องไม่เปิดเผยข้อมูลใด ๆ ของบทความและผู้นิพนธ์แก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ
2. ผู้ประเมินบทความ ควรมีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชาของบทความที่ประเมิน โดยพิจารณาจากเนื้อหาของบทความ และการประเมินบทความโดยพิจารณาจากความสำคัญ ความใหม่ ความชัดเจน ความสอดคล้องของเนื้อหา และความเข้มข้นของบทความ ไม่ใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลทางวิชาการรองรับมาเป็นหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจบทความ
3. ผู้ประเมินบทความสามารถเสนอแนะผลงานวิจัยที่สำคัญ ๆ และสอดคล้องกับบทความที่กำลังประเมิน แต่ผู้นิพนธ์ไม่ได้อ้างถึงเข้าไปในการประเมินบทความได้ นอกจากนี้ หากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือนหรือความซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ โดยมีหลักฐานชัดเจน ผู้ประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น ๆ



วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal
ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2567 Vol.17 No.1 January - June 2024

Institute of Research and Development
Rajamangala University of Technology Tawan-ok

ISSN 3027-8309 (Print), 3027-8325 (Online)



วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วัตถุประสงค์เพื่อ

1. เป็นสื่อ รวบรวมเผยแพร่งานวิจัยด้าน (1) วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) เกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร (3) วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมให้มีการนำผลงานวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์
2. เป็นการส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพผลงานของงานวิจัยสู่ระดับมาตรฐานสากล
3. เสริมสร้างให้เกิดผลงานวิจัยใหม่ ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมไทย

ผู้จัดพิมพ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

กำหนดการเผยแพร่

ตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี และเผยแพร่ในเว็บไซต์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

การเผยแพร่

มอบให้หน่วยงาน/บุคคลที่สนใจ และเผยแพร่ในเว็บไซต์ ThaiJO

สำนักงาน

สำนักงานวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาคารสำนักงานอธิการบดี ชั้น 5

เลขที่ 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

โทร. 0-3835-8201 ต่อ 8508-8510

โทรสาร 0-3835-8142

E-mail : journal2rmutto@gmail.com



ชลกิจการพิมพ์

47 ถ.ศรีราชานคร 1 ต.ศรีราชา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

โทร. 038-324711 E-mail : chonlakit555@hotmail.com

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2567

Vol. 17 No. 1 January - June 2024

ISSN 3027-8309 (Print), 3027-8325 (Online)



เจ้าของ

สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ฤกษ์ชัย พุประทีปศิริ
ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ฦ นคร
ศ.ดร.พัฒนา ศรีฟ้า ฮุนเนอร์
ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร
รศ.ดร.จำเริญ อ่อนทอง
รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ
รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ
รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร
รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู
รศ.ดร.กฤษณมณี ภูมิภิตติพิชญ์
รศ.ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก

บรรณาธิการ

รศ.ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผศ.พรทิพย์ พรสุริยา

คณะผู้จัดทำวารสาร

ผศ.ดร.ดวงสิริ สยมภาค
ผศ.ดร.นัจภาค สุขสวัสดิ์
ผศ.ดร.สมทบ สันติเบ็ญจกุล
อาจารย์ทรงวุฒิ บุญส่ง
นางสาวอริษฐาน บุญเสริม

กองบรรณาธิการ

ศ.ดร.สิน พันธุ์พินิจ
ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ฦ นคร
ศ.ดร.พัฒนา ศรีฟ้า ฮุนเนอร์
ศ.ดร.เสาวภา อังสุภาณิช
ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร
ศ.ดร.สุวัจน์ ธีวรรส
ศ.ดร.สนั่น จอกลอย
รศ.ดร.จำเริญ อ่อนทอง
รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ
รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ
รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร
รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู
รศ.ดร.กฤษณมณี ภูมิภิตติพิชญ์
รศ.ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย
ม.เกษตรศาสตร์
สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์
ม.สงขลานครินทร์
ม.ขอนแก่น
มทร.ศรีวิชัย
ม.ขอนแก่น
ม.สงขลานครินทร์
มจพ.
ม.สุโขทัยธรรมาธิราช
ม.เชียงใหม่
ม.ราชภัฏลำปาง
มทร.ธัญบุรี
ม.บูรพา

ผลงานวิจัยหรือบทความที่ปรากฏในวารสารนี้
เป็นแนวคิดและความรับผิดชอบของผู้เขียน ไม่ใช่
แนวคิดของคณะผู้จัดทำ กองบรรณาธิการ ไม่สงวนสิทธิ์
การคัดลอก แต่ควรระบุแหล่งอ้างอิงจาก วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มีบทความวิจัยที่น่าสนใจเป็นอย่างมากในหลายสาขาวิชาที่อยู่ในขอบเขตของวารสารฯ ตัวอย่างเช่น บทความวิจัยเรื่อง การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ ABU 2022 “พิชิตวัฏจักรหอคอย สู่ดินแดนภารตะ”, การจำแนกเชื้อราต้านเชื้อ *Vibrio* (*Penicillium decumbens*) เพื่อยับยั้งการเจริญของ *Vibrio parahaemolyticus* เชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคของกุ้ง, ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชต่อความหนาแน่นของวัชพืชในแปลงปลูกสับปะรด, ความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากรดเหลืองในลำน้ำท่าโดยใช้เทคนิค RAPD, และการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปงราวีโอลีโดยทดแทนน้ำเปล่าด้วยน้ำผักชงชา เป็นต้น บทความทั้งหมดผ่านการตรวจแก้ไขและให้ข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรงสาขาวิชาและจากหลากหลายสถาบันจำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ประกาศ ก.พ.อ. เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ

จากการทำหน้าที่บรรณาธิการวารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกมาเป็นระยะเวลายาวนานตั้งแต่ปี 2558 กระผมขอขอบคุณนักวิจัยที่ได้ส่งบทความวิจัยหรือบทความวิชาการที่มีคุณค่ามาตีพิมพ์ยังวารสารฯ ขอกราบขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ช่วยกันตรวจและให้ข้อเสนอแนะแก่นักวิจัยในการปรับแก้ไขให้บทความมีความถูกต้องทางวิชาการมากยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิในกองบรรณาธิการทุกท่านทั้งภายในและภายนอกสถาบัน และขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ที่ทีมงานผู้จัดทำวารสารซึ่งสังกัดอยู่สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก และขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีได้เอื้อมา ณ ที่นี้ การทำหน้าที่บรรณาธิการของกระผมก็คงต้องส่งไม้ต่อให้อาจารย์รุ่นต่อไปที่จะได้ช่วยกันพัฒนาวารสารฯ ให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้นต่อไป และขอส่งท้ายด้วยคำกล่าวภาษาอังกฤษที่ว่า “All good things must come to an end. At least we'll always have the good memory”

ขอขอบคุณและสวัสดิ์ครับ

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

บรรณาธิการ

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สารบัญ

หน้า

การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น	1
ศศิธร ศรีเฟื่องฟูง สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ อนงค์ศิริ เสาร์แก้ว ปฏิภาณ จันลือ ภูวตล ภูศิริ และ อุษณีย์ มิ่งวิมล	
Landscape Architecture and Site Planning of Green Campus Faculty of Agriculture and Natural Resources Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Bo Thong District, Chonburi Province.....	14
Yiampol Choatpanyatum, Phanu Aiemtom, Phattraporn Soyotong and Angsana Boonyobhas	
การออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนทางการเกษตร อัตลักษณ์พื้นถิ่น : ข้าวเจ้ากเขยเสาไห้ (ข้าว GI) จังหวัดสระบุรี.....	29
รุจิวรรณ อันสงคราม	
ความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองในลำน้ำก้า โดยใช้เทคนิค RAPD.....	42
อนาวิต พรหมเทพ สุธี วงศ์มณีประทีป วาสนา ไพโรสิงห์ขรณ์ และ สมพงษ์ ดุลย์จินดาชบาพร	
ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบัว <i>Nymphaea 'Aurora'</i>	52
เยาวมาลย์ นามใหม่ เสาวณีย์ บัวโทน และ พนารัตน์ ทองเพิ่ม	
การพัฒนาผลิตภัณฑ์แปงราวารีโอสี่โดยทดแทนน้ำเปล่าด้วยน้ำผักชายา (<i>Cnidioscolus aconitifolius</i>).....	65
สินีนาด สุขทนาร์ักษ์ ภิญญาดา มานะกุลชัยกิจ กนกวรรณ นาคเงิน และ เจริญ เจริญศิรินุกูล	
การจำแนกเชื้อราต้านเชื้อ <i>Vibrio (Penicillium decumbens)</i> เพื่อยับยั้งการเจริญของ <i>Vibrio parahaemolyticus</i> เชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคของกุ้ง.....	72
จันทร์ทิพย์ ทองจันทร์ ศรีณยา รักเสรี และ ชนิตดา เกตุมา	
ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชต่อความหนาแน่นของวัชพืชในแปลงปลูกสับปะรด	85
ณัฐญา เรือนแป้น สุพรรณษา ชินวรรณ และ วชิราภรณ์ เรือนแป้น	
การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ ABU 2022 “พิชิตวิภูจักรหอคอย สู้ดินแดนภารตะ”.....	97
พัชรี อุ่นม่วง ธนโรจน์ ศรีฐาน วัฒนะ พงศ์หวัทเกาะ ณัฐฐา ฉิมสุข อภิวัฒน์ สร้อยทองกลาง สุธี เมืองเกษม วิทฤทธิ์ โคตรมณี และ สุประวิทย์ เมืองเจริญ	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

กรรมวิธีการผลิตกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูหมักแบบพร้อมใช้.....	111
เขมพัช ตรีสุวรรณ กนกวรรณ ยอดอินทร์ และ กัญญรัตน์ กัญญาคำ	

การปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น Optimizing The Environment for The Tropical Climate

ศศิธร ศรีเฟื่องฟูง สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ อนงค์ศิริ เสาร์แก้ว ปฏิภาณ จันลือ
ภูวตล ภูศิริ และ อุษณีย์ มิ่งวิมล

Sasitorn Srifuengfung*, Suteewan Lohasuwan, Anongsiri Saokaew, Patipan Junlue,
Phuwadon Phusiri and Usanee Mingvimol

สาขาสถาปัตยกรรม, สถาบันนวัตกรรมการศึกษาและการเรียนรู้ตลอดชีวิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Department of Architecture, Innovation Education and Lifelong Learning Institute,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

*E-mail: sasitorn_sr@mutto.ac.th Tel: 098-7493559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) ศึกษาหาตัวแปรการออกแบบภูมิทัศน์ที่ทำให้สภาพอากาศบริเวณรอบอาคาร ในระดับสภาพภูมิอากาศระดับพื้นที่ (Micro-climate) ที่จะทำให้สภาพอากาศเย็นลงหรือเพื่อให้ใกล้เคียงกับเขตสบายมากขึ้น งานวิจัยนี้ศึกษาพื้นที่บริเวณหน้าอาคารเทคโนโลยีภูมิทัศน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นที่ตั้งของพื้นที่งานวิจัยโครงการศึกษาต้นแบบห้องพักพลังงานแสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้ศึกษาพื้นที่โดยรอบที่มีสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศเหมือนกัน แต่มีการจัดภูมิทัศน์แตกต่างกัน กำหนดพื้นที่ทำการวิจัย 4 ตำแหน่ง คือ 1. บริเวณเหนือลานคอนกรีต 2. บริเวณเหนือสนามหญ้า 3. บริเวณจัดภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าโปร่ง ใกล้บ่อน้ำ และ 4. บริเวณจัดภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าทึบ ใกล้บ่อน้ำ ทำการตรวจสอบอุณหภูมิ และความชื้น โดยติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย คือ UNI-T A12T temperature Humidity Meter ทั้ง 4 จุดเหนือพื้นที่ใช้งานนั้นในระดับ 1.40 เมตร ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลาติดต่อกัน 4 วัน จากการทดลองพบว่า ตัวแปรที่ทำให้สภาพแวดล้อมแตกต่างกัน คือ 1. ผิวพื้นคอนกรีตและหญ้า สะสมความร้อนแตกต่างกัน 2. ร่มเงา พื้นที่ที่อยู่ในพื้นที่จัดสวนแบบป่าโปร่งและป่าทึบ พื้นผิวอยู่ใต้ร่มไม้ แสงแดดถูกสกัดกั้นจากพุ่มใบ ทำให้ผิวพื้นไม่ได้รับแสงแดดโดยตรง และ 3. การเพิ่มความเย็นจากการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling) ผลการวิจัยนี้สรุปได้ว่าสภาพแวดล้อมที่เย็นที่สุดคือสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้บังแดดและแสงแดดตกลงกระทบพื้นผิวด้านล่างน้อย และในงานวิจัยนี้ได้ทำการเพิ่มการระเหยของน้ำให้กับบริเวณพื้นที่ศึกษา พบว่าอิทธิพลจากการระเหยของน้ำในบริเวณการจัดภูมิทัศน์แบบป่าโปร่งที่มีพุ่มใบไม่หนาทึบและใกล้บ่อน้ำ พบว่ามีอุณหภูมิเย็นกว่าบริเวณที่มีการจัดภูมิทัศน์แบบป่าทึบพุ่มใบหนาทึบ และยังพบอีกว่าบริเวณอาคารทดลองมีอุณหภูมิอากาศต่ำกว่าบริเวณอากาศ 4 องศา ในช่วงร้อนสุดของวัน ด้วยอิทธิพลความเย็นที่เกิดขึ้นเป็นผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารทดลองต่างกันประมาณ 4 องศา อิทธิพลดังกล่าวจะทำให้การถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าเดิมถึง 32.8% ซึ่งอาจสรุปได้ว่าการปรับปรุงสภาพแวดล้อมด้วยการเพิ่มการระเหยของน้ำ สามารถทำให้อุณหภูมิบริเวณนี้มีอุณหภูมิลดลงใกล้เคียงเขตสบายมากขึ้น

คำสำคัญ : ปรับปรุงสภาพแวดล้อม ผิวพื้นคอนกรีตและหญ้า ร่มเงา ความเย็นการระเหยของน้ำ เขตสบาย

Abstract

This experimental research aims to find landscape design variables that affect the weather around the building. At the Micro-climate level, the weather will be cooler to get closer to the thermal comfort zone. The research areas were in front of the landscape technology building at Rajamangala University of Technology Tawan-ok Bang Phra Campus Chonburi Province, the location of the research area for the Sustainable Solar Cabin Prototype Study Project. The research study

areas with the same climate and topography were 4 locations as follows: 1. The area above the concrete yard 2. The area above the lawn. 3. The area with trees in a sparse forest style with a pond and 4. The area with trees in a dense forest style with a pond. The temperature and humidity were checked by installing the research tool the UNI-T A12T temperature Humidity Meters, which were installed at all 4 points above the area of use at a level of 1.40 meters above ground, 24 hours a day for 4 days. The research results found that the significant variables were 1. materials, concrete, and grass surface accumulated heat differently; 2. Shade: Areas in landscaping areas such as sparse forests and dense forests. The surface is under the shade of trees, sunlight is blocked by the leaves. This caused the surface to not receive direct sunlight and 3. Increasing cooling from water evaporation (Evaporative cooling). The research conclusion revealed that the coldest environment was the environment that was obscured by trees and sunlight falling on the surface. In this research, water evaporation was added to the study area. It was found that the influence of water evaporation was in the sparse forest landscaping area with not too dense foliage and near a pond. It was found that the temperature was cooler. The area was landscaped design with dense forest and dense foliage and found that the air temperature in the experimental building was 4 degrees lower than in the hottest part of the day. Due to the cooling influence that occurs, the temperature difference between outside and inside the experimental building was approximately 4 degrees. Such influence would cause the heat transfer to be 32.8% less than before, which might be concluded that the environment was manipulated by increasing the evaporation of water which can make the temperature in this area drop closer to the comfort zone.

Keywords : environmental improvement, concrete and grass surface, shade, water evaporation, comfort zone

1. บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น อากาศร้อนทั้งในด้านของอุณหภูมิสูง ความชื้นสูง และการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์สูง การออกแบบภูมิทัศน์ที่ตอบสนองต่อสภาพอากาศสามารถสร้างสภาพอากาศระดับจุลภาคให้เย็นลงกว่าสภาพอากาศทั่วไป จะช่วยให้ทำให้พื้นที่ในเมืองน่าอยู่ และลดภาระการทำความเย็นในอาคารให้เกิดการประหยัดพลังงาน รวมไปถึงส่งผลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ได้ สภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิคือสภาวะทางจิตใจที่บ่งบอกถึงความรู้สึกทั้งร่างกายและจิตใจที่รู้สึกพึงพอใจกับสภาพแวดล้อมทางอุณหภูมิเกิดจากความรู้สึกส่วนบุคคล (ASHRAE, 1992) สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers--ASHRAE) ได้กำหนดช่วงอุณหภูมิและความชื้นของสภาวะน่าสบายอยู่ที่ 22-27°C และมีช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 25-60% จากข้อมูลสถิติค่าเฉลี่ยคาบ 30 ปี ของชลบุรี ประเทศไทย พ.ศ. 2534-2563 ระบุว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28-34°C และมีช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 60-90% กล่าวได้ว่า สภาพอากาศโดยทั่วไปของชลบุรี การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมประเทศไทยมีปัญหาความไม่สบายเชิงอุณหภูมิเมื่อเทียบกับมาตรฐานสากล

เท่าที่ผ่านมามีการออกแบบภูมิทัศน์และการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมส่วนใหญ่ในประเทศไทย ไม่ได้ส่งเสริมให้บรรยากาศหรือภูมิอากาศสามารถเกิดความเย็นเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้ประโยชน์จากภูมิทัศน์ จะต้องเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยทำให้ภูมิอากาศดีขึ้น หรือใกล้เคียงกับสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) มากที่สุด การออกแบบองค์ประกอบทางภูมิทัศน์ที่สำคัญสามารถช่วยให้อากาศเย็นลงได้คือต้นไม้ แหล่งน้ำ ยิ่งเลือกสรรให้เหมาะสมก็ยิ่งเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างความเย็นในสภาพอากาศมากขึ้น การใช้ประโยชน์จากธรรมชาติโดยรอบมาประยุกต์ใช้ให้มากที่สุดก่อน ซึ่งในประเทศไทย

มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ 35 องศาเซลเซียส (Boonyatikarn, 1999) ควรศึกษาหาวิธีที่จะทำการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมให้มีอุณหภูมิลดลง ใกล้เคียงน่ำสบายมากที่สุด งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาตัวแปรเพื่อศึกษาปัจจัยที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมอะไรบ้างที่ทำให้อุณหภูมิร้อนขึ้นหรือเย็นลง ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นในอากาศ ลม รังสีดวงอาทิตย์ การนำและการพาความร้อนจากพื้นดิน ร่มเงา ลักษณะการออกแบบองค์ประกอบของภูมิทัศน์ส่งผลให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ร้อนเย็นแตกต่างกัน การศึกษาหาตัวแปรเพื่อใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ เช่น ต้นไม้ ร่มเงาจากต้นไม้ ดินที่มีอุณหภูมิต่ำ แหล่งน้ำใกล้เคียง และลมที่พัดผ่าน ซึ่งคาดว่าวิธีการดังกล่าวจะสามารถลดอุณหภูมิความร้อนให้ต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกได้ และสามารถนำประโยชน์จากการที่ได้ศึกษาวิจัยในครั้งนี้ไปพัฒนาการออกแบบให้มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดได้

1.1 วัตถุประสงค์งานวิจัย

- 1.1.1 เพื่อศึกษาหาตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิแวดล้อมทำให้อุณหภูมิร้อนขึ้นและเย็นลงได้อย่างไร โดยศึกษาทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ได้แก่ ลานคอนกรีต สนามหญ้า พื้นที่ป่าโปร่งใกล้บ่อน้ำ พื้นที่ป่าทึบใกล้บ่อน้ำ
- 1.1.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าหาความสามารถในการลดอุณหภูมิของของพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 ตำแหน่ง
- 1.1.3 เพื่อหาข้อเสนอแนะองค์ความรู้ด้านการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น

2. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาหาตัวแปรที่เป็นปัจจัยงานวิจัยนี้ศึกษาพื้นที่บริเวณหน้าอาคารเทคโนโลยีภูมิทัศน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นที่ตั้งของพื้นที่งานวิจัยโครงการศึกษาด้านแบบห้องพักพลังงานแสงอาทิตย์ (Sustainable Solar Cabin Prototype Study Project) ซึ่งเป็นงานวิจัยของสถาบันวิจัยพลังงานบริสุทธิ์เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน แห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก โดยได้รับเงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2566 ศึกษาพื้นที่โดยรอบที่มีสภาพภูมิอากาศ กระแสลม รังสีดวงอาทิตย์เหมือนกัน และภูมิประเทศเหมือนกันในบริเวณใกล้กัน จึงเป็นตัวแปรที่เหมือนกันในทุกพื้นที่การศึกษาของงานวิจัยนี้ โดยแต่ละตำแหน่งที่ทำการศึกษาอยู่ในรัศมี ไม่เกิน 100 เมตร จัดเก็บข้อมูลในเวลาเดียวกัน ทั้ง 4 ตำแหน่งพื้นที่ศึกษา โดยกำหนดพื้นที่ทำการวิจัยแต่ละพื้นที่ศึกษามีการจัดลักษณะภูมิทัศน์แตกต่างกัน 4 ตำแหน่ง คือ 1. บริเวณเหนือลานคอนกรีต 2. บริเวณเหนือสนามหญ้า 3. บริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าโปร่งใกล้บ่อน้ำ และ 4. บริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าทึบ ใกล้บ่อน้ำ

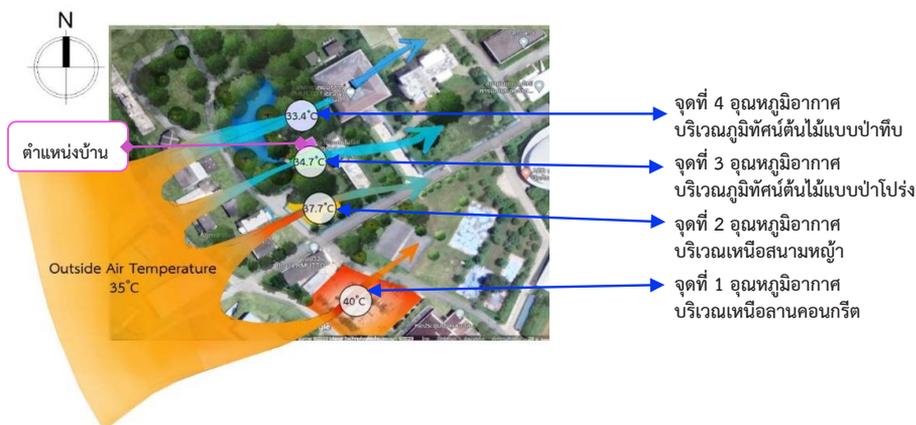
2.1 เครื่องมือวิจัย

งานวิจัยนี้ มีเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ดังนี้

- 1) เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัล
- 2) เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด
- 3) ชุดหัวพ่นหมอก
- 4) ท่อ PE 20 มม.



ภาพที่ 1 (ก) เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัล UNI-T A12T temperature Humidity Meter (ข) เครื่องวัดอุณหภูมิเลเซอร์อินฟราเรด UNI-T UT300A+ (ค) หัวพันหมอก (ง) ท่อ PE 20 มม. (จ) อุปกรณ์ชุดหัวพันน้ำละอองฝอย ชุดพันหมอก 30 อัน สายท่อ PE 20 มม. ยาว 15 เมตร



ภาพที่ 2 แสดง ทิศทางลมและแผนผังแสดงตำแหน่งที่เก็บข้อมูลทั้ง 4 จุด เพื่อศึกษาตัวแปรที่ทำให้อุณหภูมิอากาศร้อนหรือเย็นโดยมีตำแหน่งพื้นที่ศึกษา 4 ตำแหน่ง

2.2 การดำเนินการวิจัย

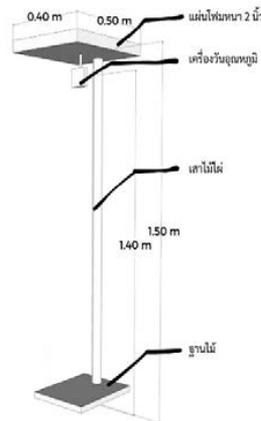
งานวิจัยนี้ใช้วิธีวิจัยโดยหาตัวแปรที่ทำให้อุณหภูมิอากาศร้อนขึ้นหรือเย็นลง ด้วยการสำรวจพื้นที่ ทั้งหมด 4 จุด ที่ได้กำหนดไว้ โดยลักษณะแต่ละจุดมีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน จากนั้นเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

โดยมีขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

2.2.1 วัดค่าอุณหภูมิที่แท้จริง (actual temperature) โดยใช้วิธีการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัล ทุก ๆ 1 ชั่วโมง โดยติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย คือ UNI-T A12T temperature Humidity Meter (ภาพที่ 1 ก) ที่ระดับ 1.40 เมตรจากระดับพื้นดิน (ดังภาพที่ 3) วัดค่าตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลาติดต่อกัน 4 วัน ทั้ง 4 พื้นที่ศึกษา

2.2.2 ทำการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมจากข้อมูลที่ได้สรุปจากการหาตัวแปรทั้ง 4 จุด ในข้อ 2.1 เพื่อให้อุณหภูมิเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศ และต่ำลงกว่าอุณหภูมิก่อนการปรุงแต่งสภาพแวดล้อม

2.2.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิก่อนและหลังปรุงแต่งสภาพแวดล้อมหาตัวแปรที่ทำให้อุณหภูมิอากาศร้อนขึ้นหรือเย็นลง



ภาพที่ 3 การติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัล UNI-T A12T temperature Humidity Meter

3. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

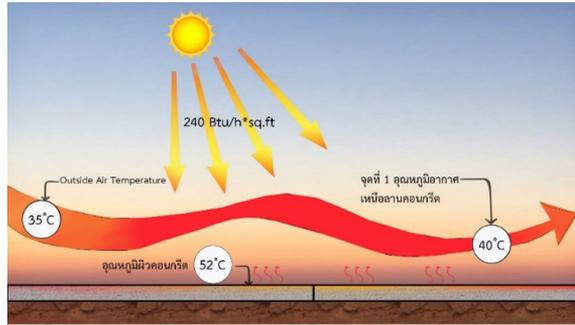
การทดลองในงานวิจัย วัดอุณหภูมิทุกชั่วโมงในพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 จุด ได้แสดงดังภาพ 4 ถึงภาพที่ 11 โดยมีรายละเอียดของแต่ละพื้นที่ศึกษา คือ 1. บริเวณเหนือลานคอนกรีต 2. บริเวณเหนือสนามหญ้า 3. บริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าโปร่ง ใกล้บ่อน้ำ และ 4. บริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าทึบ ใกล้บ่อน้ำ ได้ผลการทดลอง โดยมีอุณหภูมิสูงสุดของวันแต่ละพื้นที่ศึกษา เป็น 40, 37.7, 34.7, 33.4 องศาเซลเซียส ดังจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิสูงสุดของวันของอากาศเหนือพื้นที่ศึกษา ทั้ง 4 จุด มีค่ามากไปน้อย ตามลำดับ กล่าวคือ บริเวณจุดที่ 1 บริเวณเหนือลานคอนกรีต มีอุณหภูมิสูงกว่า บริเวณจุดที่ 2 บริเวณเหนือสนามหญ้าโล่ง ๆ มีอุณหภูมิสูงกว่า บริเวณจุดที่ 3 บริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าโปร่ง ใกล้บ่อน้ำ ๆ มีอุณหภูมิสูงกว่า บริเวณจุดที่ 4 บริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าทึบ ใกล้บ่อน้ำ (ดังแสดงค่าอุณหภูมิในภาพที่ 2) และมีรายละเอียดผลการศึกษาและการอภิปรายผลของแต่ละพื้นที่ศึกษา ดังนี้

3.1 ผลการศึกษาจุดที่ 1 อุณหภูมิอากาศเหนือลานคอนกรีต

ผลการศึกษาอุณหภูมิอากาศเหนือลานคอนกรีตโล่ง ที่เป็นพื้นที่คอนกรีตบริเวณกว้าง ไม่มีสิ่งปกคลุมรับแสงแดดเต็มที่ จะมีอุณหภูมิสูงสุดของวันของอากาศพื้นที่เหนือพื้นผิวนิดต่าง ๆ ทั้ง 4 กรณีศึกษา พบว่า บริเวณจุดที่ 1 อุณหภูมิอากาศเหนือลานคอนกรีต สูงที่สุด เมื่อเทียบกับพื้นที่ศึกษาทั้งหมด คือ 40 องศาเซลเซียส อภิปรายผลได้ว่า พื้นผิวคอนกรีตคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีมวลสารมากหรือมีความทึบสูง เมื่อได้รับรังสีอาทิตย์โดยตรงจะเกิดการสะสมความร้อนไว้ภายในตลอดทั้งวัน เกิดการถ่ายเทความร้อนจากที่บริเวณโดยรอบ ทำให้อุณหภูมิผิวคอนกรีตสูงสุดของวันที่วัดได้ประมาณ 52 องศาเซลเซียส และปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อมด้วยการพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ผสมกับอุณหภูมิอากาศที่ไหลผ่าน เป็นผลให้อุณหภูมิอากาศภายในอุณหภูมิบริเวณพื้นที่เหนือลานคอนกรีตสูงกว่าอุณหภูมิอากาศปกติ (ดังแสดงค่าอุณหภูมิในภาพที่ 5)



ภาพที่ 4 ลักษณะบริเวณพื้นที่ลานคอนกรีต



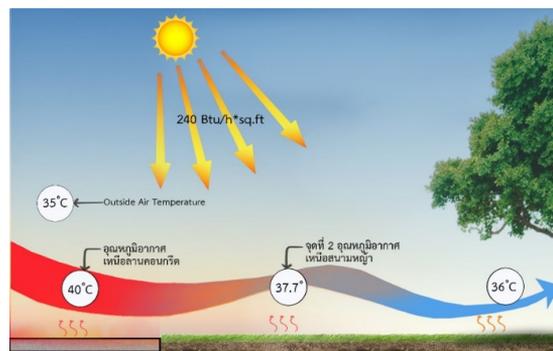
ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ของบริเวณลานคอนกรีต

3.2 ผลการศึกษาจุดที่ 2 อุณหภูมิอากาศเหนือสนามหญ้า

ผลการศึกษาอุณหภูมิอากาศเหนือลานกว้างที่เป็นสนามหญ้าโล่ง เหนือพื้นสนามหญ้า ไม่มีต้นไม้ใหญ่ปกคลุม รับแสงแดดเต็มที่ พบว่ามีอุณหภูมิอากาศเหนือพื้นผิวที่สูงสุดของวัน สูงเป็นอันดับ 2 คือ 37.70 องศาเซลเซียส พบว่ามีอุณหภูมิอากาศเหนือพื้นผิวสูงที่สุด เมื่อเทียบกับพื้นที่ศึกษาทั้งหมด คือ 40 องศาเซลเซียส อภิปรายผลได้ว่า พื้นที่ลานสนามหญ้าแม้ว่าจะได้รับรังสีอาทิตย์หรือแสงแดดตลอดทั้งวัน แต่หญ้าที่ปกคลุมช่วยกันแสงแดดไม่ให้แผ่สู่ดินโดยตรงจึงไม่ทำให้ดินเกิดการสะสมความร้อน พื้นหญ้าจึงสะสมความร้อนได้น้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับพื้นผิวคอนกรีต ตลอดทั้งวัน อุณหภูมิจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศปกติ ซึ่งในตอนร้อนสุดของวัน แต่ในตอนกลางคืนด้วยลักษณะความโปร่งของพื้นที่และพื้นผิวหญ้าและดินบริเวณดังกล่าวจึงไม่สะสมความร้อน ในตอนกลางคืนทำให้แลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับท้องฟ้าได้รวดเร็วและมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศปกติ (ดังแสดงค่าอุณหภูมิในภาพที่ 7)



ภาพที่ 6 ลักษณะบริเวณสนามหญ้า



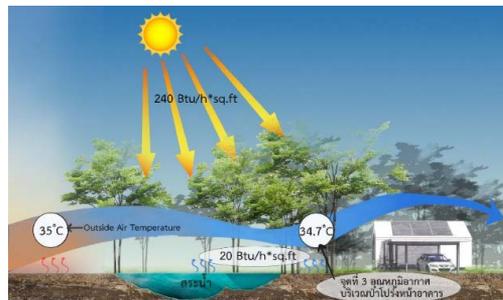
ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ของบริเวณสนามหญ้า

3.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิอากาศเหนือจุดที่ 3 บริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าโปร่งใกล้บ่อน้ำ

ผลการศึกษาอุณหภูมิอากาศเหนือบริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าโปร่ง ใกล้บ่อน้ำ พบว่า มีอุณหภูมิอากาศสูงสุดของวันที่เหนือพื้นผิวที่วัดได้สูงเป็นอันดับ 3 คือ 34.70 องศาเซลเซียส อภิปรายผลได้ว่า พื้นที่บริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าโปร่ง ใกล้บ่อน้ำ ใกล้ที่ตั้งงานวิจัยอาคารต้นแบบห้องพักพลังงานแสงอาทิตย์ ของสถาบันวิจัยพลังงานวิศวะ เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน แห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก พื้นที่มีลักษณะเป็นบริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าโปร่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้หมายถึง พื้นที่ที่มีกลุ่มไม้ยืนต้นอยู่บ้างมีภูมิทัศน์ต้นไม้คล้ายกับพื้นที่ป่าโปร่ง ไม้ยืนต้นเป็นแบบชนิดที่มีใบไม้สีเขียวขนาดเล็ก ต้นสูงชะลูดพุ่มไม่กว้างมากนักแต่ต้นสูงโปร่ง อีกทั้งบริเวณนี้อยู่ใกล้แหล่งน้ำ บริเวณพื้นบางส่วนมีหญ้าปกคลุม บางส่วนดินเปียกและบางส่วนเป็นดินแห้ง แต่มีลมพัดผ่านได้ดี ประกอบกับลักษณะที่ลานกว้าง ด้านหน้าสามารถตกแต่งทัศนียภาพให้สวยงามดึงดูดผู้พบเห็น และน่าสนใจแรกพบ และเป็นส่วนที่จะทำให้อาคารดูสวยงาม น่าอยู่อาศัยมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงเลือกพื้นที่ บริเวณจุดนี้ คือ พื้นที่บริเวณจุดที่ 3 บริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าโปร่ง ใกล้บ่อน้ำ มีศักยภาพสูงที่จะเตรียมเป็นพื้นที่ทดลองที่จะทำการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมการปรุงแต่งสภาพแวดล้อม โดยใช้การใช้ความเย็นจากการระเหยของน้ำเพื่อแสวงหาแนวทางให้อุณหภูมิในพื้นที่ลดต่ำลง (ดังแสดงค่าอุณหภูมิในภาพที่ 9)



ภาพที่ 8 ลักษณะป่าโปร่งหน้าอาคาร



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ของบริเวณป่าโปร่งหน้าอาคาร

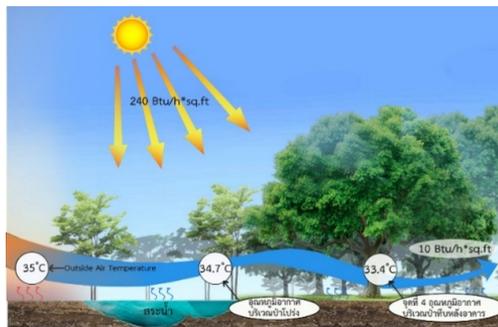
3.4 ผลการศึกษาอุณหภูมิอากาศเหนือจุดที่ 4 บริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าทึบ ใกล้บ่อน้ำ

ผลการศึกษาอุณหภูมิอากาศเหนือบริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าทึบ ใกล้บ่อน้ำ พบว่า มีอุณหภูมิอากาศสูงสุดของวันที่เหนือพื้นผิวที่วัดได้สูงเป็นอันดับ 4 คือ 33.40 องศาเซลเซียส นับได้ว่า เป็นพื้นที่ที่มีอุณหภูมิอากาศสูงสุดของวันที่เหนือพื้นผิวที่วัดได้ต่ำที่สุด ซึ่งสามารถอภิปรายผลได้ว่า อุณหภูมิอากาศบริเวณป่าทึบหลังอาคารที่ตั้งงานวิจัยอาคารต้นแบบห้องพักพลังงานแสงอาทิตย์ ของสถาบันวิจัยพลังงานวิศวะ เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน แห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก พื้นที่มีลักษณะเป็นบริเวณที่มีภูมิทัศน์ต้นไม้แบบป่าทึบ ซึ่งในงานวิจัยนี้หมายถึง พื้นที่ที่มีกลุ่มไม้ยืนต้นอยู่บ้างมีภูมิทัศน์ต้นไม้คล้ายกับพื้นที่ป่าทึบ ซึ่งมีลักษณะเป็นต้นไม้ใหญ่ปลูกชิดกันในระยะรัศมี 2-3 เมตร ทำให้เกิดร่มเงาตลอดทั้งวัน แสงแดดไม่สามารถส่องลงผิวพื้นได้โดยตรงมากนัก พื้นที่มีต้นจามจุรีต้นใหญ่ปกคลุม ทำให้อุณหภูมิ

การคายน้ำของต้นไม้บริเวณนี้มีปริมาณสูงและบริเวณผิวดินปกคลุมไปด้วยต้นหญ้าและเศษใบไม้ทับถม ร่มเงาต้นไม้ช่วยบดบังแสงแดดให้ลงมาสู่ผิวดินประมาณ 10% ทำให้ดินเก็บความชุ่มชื้นได้ตลอดทั้งวัน ประกอบกับบริเวณนี้อยู่ใกล้แหล่งน้ำ จึงทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณจุดที่ 4 มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ประโยชน์จากร่มเงาต้นไม้ช่วยกันแสงแดดโดยตรงลงสู่พื้นดิน ดินจึงไม่มีการสะสมความร้อน อีกทั้งเมื่อลมพัดผ่านมาลมได้เหนี่ยวนำความเย็นบริเวณใต้ร่มไม้ และผิวดิน จึงทำให้อุณหภูมิบริเวณนี้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ เมื่อมีลมพัดผ่านเข้ามาจึงทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ ซึ่งวัดได้ประมาณ 33.4 องศาเซลเซียส

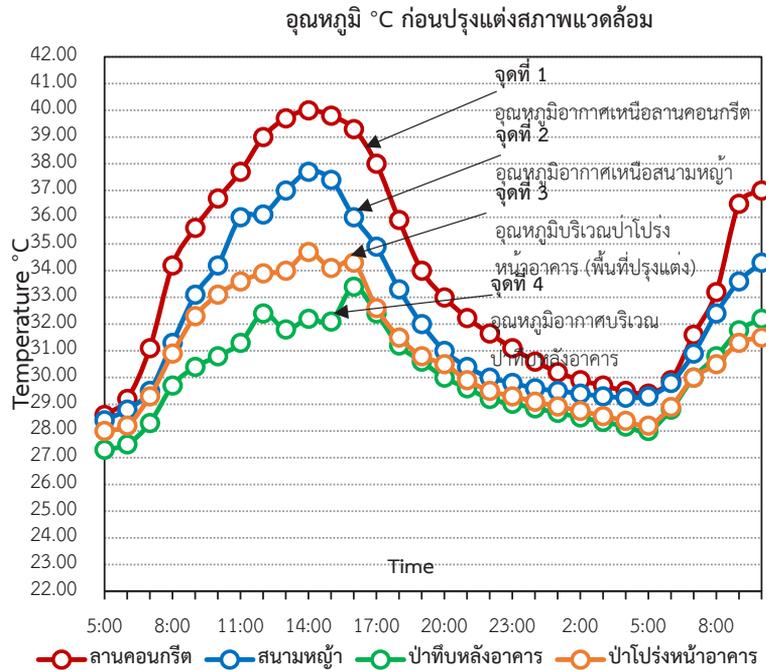


ภาพที่ 10 ลักษณะป่าที่บหลังอาคาร



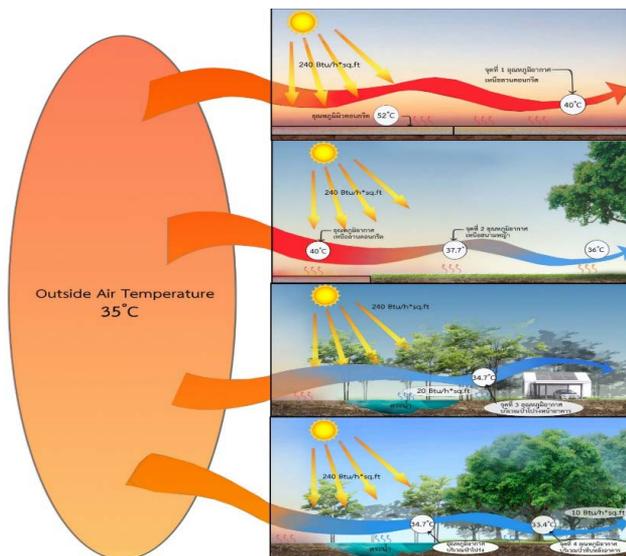
ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ของบริเวณป่าที่บหลังอาคาร

สภาพแวดล้อมที่มีพื้นผิวดินคอนกรีตที่โดนแดดมากมีอุณหภูมิอากาศสูงกว่าอุณหภูมิอากาศปกติตลอดวัน เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูง เกิดการกักเก็บความร้อนไว้ภายใน จากนั้นวัสดุจะคายความร้อนที่กักเก็บไว้ให้กับอากาศโดยการพาบริเวณเหนือลานคอนกรีตจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศปกติ สภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้ให้ร่มเงามีหญ้าหรือดินเปียกอุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศปกติในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ เมื่ออุณหภูมิภายนอกไหลผ่านเข้ามาภายในพื้นที่จึงเกิดการคายความร้อนให้กับดินเปียก เมื่อลมที่พัดผ่านเข้ามาจะเหนี่ยวนำความเย็นจากดินเปียกไปผสมกับอุณหภูมิอากาศทำให้อากาศที่พัดผ่านเข้ามาอุณหภูมิต่ำลง



แผนภูมิที่ 1

แสดงอุณหภูมิก่อนปรุงแต่งสภาพแวดล้อมที่เก็บข้อมูล ของทั้ง 4 จุด พบว่า บริเวณลานคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงสุดของวันที่วัดได้ประมาณ 40.00 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่ตำแหน่ง จุดที่ 4 บริเวณป่าที่บหลังอาคาร วัดอุณหภูมิสูงสุดของได้ประมาณ 33.40 องศาเซลเซียส และบริเวณ จุดที่ 3 ซึ่งจะใช้เป็นจุดทดลองการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมโดยก่อนการปรุงแต่ง อุณหภูมิสูงสุดของวันที่วัดได้ประมาณ 34.70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศทั้ง 4 จุด โดยศึกษาอุณหภูมิอากาศในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาตัวแปรที่ทำให้สภาพอากาศเย็นลง ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 17 พฤษภาคม 2566 เวลา 05.00 น. ถึงวันที่ 18 พฤษภาคม 2566 เวลา 10.00 น. พบว่าอุณหภูมิเหนือลานคอนกรีตสูงสุดประมาณ 40.00 องศาเซลเซียส สนามหญ้าอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 37.70 องศาเซลเซียส พื้นที่ป่าโปร่งหน้าอาคาร อุณหภูมิสูงสุดประมาณ

34.70 องศาเซลเซียส และพื้นที่ป่าที่บหลังอาคาร อุณหภูมิได้สูงสุดที่วัดได้ประมาณ 33.40 องศาเซลเซียส อิทธิพลที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น อิทธิพลของความเร็วลม และอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ ความแตกต่างของสภาพแวดล้อมในจุดที่ 1 ที่เป็นอุณหภูมิเหนือลานคอนกรีต ด้วยลักษณะความทึบของวัสดุจึงสะสมกักเก็บความร้อนจากแสงแดดไว้ เมื่อคอนกรีตดูดซับไว้กลายเป็นความร้อนซึ่งเป็นคลื่นยาวทำให้ถ่ายเทความร้อนออกสู่บรรยากาศได้ปริมาณที่ต่ำ ในขณะที่อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ คือ จุดที่ 4 บริเวณป่าที่บหลังอาคาร เนื่องจากสภาพแวดล้อมเป็นป่าที่บมีไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ปกคลุมป้องกันแสงอาทิตย์ให้หลังสุ่มพื้นดินน้อย เกิดร่มเงา ประกอบกับที่พื้นมีพืชคลุมดิน อุณหภูมิอากาศจึงต่ำกว่าทุกพื้นที่ ที่ทำการศึกษาคือข้อมูลทั้ง 4 จุด

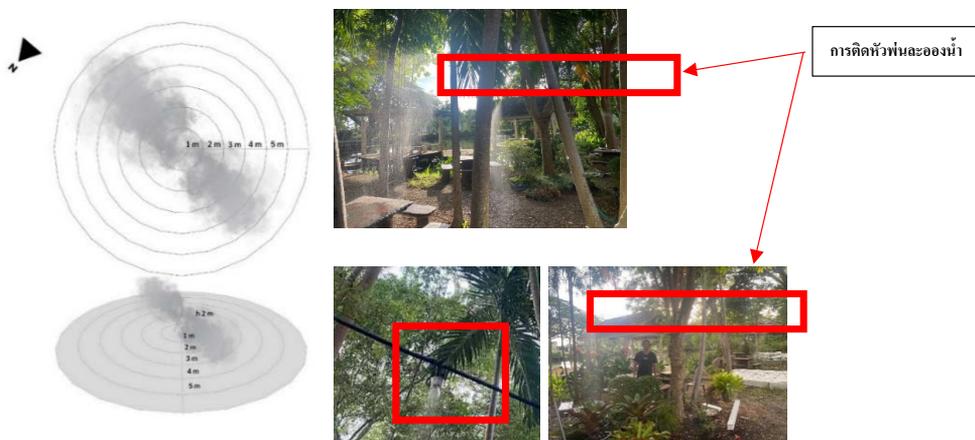
ดังนั้นจึงได้กำหนดพื้นที่ในการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมเพื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศโดยการนำความรู้ที่ได้ทำการศึกษาคือข้อมูลทั้ง 4 จุด ที่มีลักษณะสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน นำมาวิเคราะห์และทำการทดลอง โดยเลือกจุดที่ 3 ที่บริเวณเป็นป่าโปร่งหน้าอาคาร เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวสามารถมองเห็นง่ายและเป็นทางเข้าอาคาร จึงควรจะมีทัศนียภาพภูมิทัศน์ที่สวยงามดึงดูดความสนใจต่อผู้พบเห็น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นทำให้อุณหภูมิบริเวณหน้าอาคารต่ำลงเพื่อที่จะสามารถทำให้ความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ระหว่างภายนอกและภายในบ้านลดต่ำลงตามไปด้วย และสามารถลดภาระการทำความเย็นของอาคาร ตลอดจนเป็นสถานที่พักผ่อนภายนอกที่ไม่ร้อนจนทำให้เกิดความทรมานต่อผู้ใช้งาน

3.5 การปรุงแต่งสภาพแวดล้อม

การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมจะใช้วิธีเพิ่มความชื้นในบริเวณที่ทำการทดลองด้วยการพ่นละอองน้ำ เพื่อช่วยให้เกิดการระเหยของน้ำเข้าไปในอากาศ ด้วยการแลกเปลี่ยนกับพลังงานความร้อนจากแสงแดดบริเวณดังกล่าว จนถึงจุดที่อุณหภูมิอากาศต่ำลง โดยไม่ทำพื้นที่บริเวณนั้นเกิดการเปียกและเกิดน้ำขัง โดยติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ บันทึกข้อมูลจากเครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัลทุก ๆ 1 ชั่วโมง

เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัล สูงจากพื้นระยะ 1.40 เมตร เป็นระดับที่เหมาะสมตาม Human scale ในระดับใกล้เคียงกับบริเวณสัมผัสสักร้อนหนาวของมนุษย์ เสาทำจากลำไผ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว และฐานทำจากแผ่นไม้อัดนำไปวางบริเวณจุดที่ทำการทดลอง

การติดตั้งหัวพ่นหมอกนั้นก่อนการวางตำแหน่งหัวพ่นหมอก ได้ทำการหาระยะการกระจายตัวของละอองน้ำโดยวิธีการติดตั้งระบบและกำหนดระยะโดยรอบหัวพ่น จากจุดที่ตั้งทุกระยะ 1 เมตร ชุดพ่นหมอกประกอบด้วย 1. สายไมโคร 5/7 ยาว 15 เมตร 2. หัวพ่นหมอก 30 ตัว 3. หัวต่อก็อกสนาม 2 ตัว 4. ข้อต่อสาย 30 ตัว และ 5. ข้อต่อปิดปลายสาย 2 ตัว ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงหัวพ่นละอองน้ำในสถานที่ทำวิจัยระยะของไอน้ำจากหัวพ่นจะกระจายตัวออกห่างจากหัวจ่าย 5 เมตร และระยะของพื้นดินเปียกแฉะไม่เหมาะแก่การใช้งานอยู่ในระยะพ่น 2-3 เมตร จึงกำหนดให้ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิห่างจากหัวพ่นที่ระยะ 5 เมตร

4. สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยสรุปผลได้ว่า ตัวแปรที่ทำให้เกิดความร้อนคือ ในบริเวณจุดที่ 1 การที่ให้แสงแดดกระทบพื้นผิวคอนกรีตทำให้อุณหภูมิการแผ่รังสีโดยรอบ (Mean Radiant Temperature: MRT) สูงขึ้น เมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่พื้นที่งานวิจัยตำแหน่งอื่นที่เป็นพื้นหญ้าทั้งหมด อีก 3 พื้นที่ศึกษา อภิปรายผลได้ว่าเกิดจากแสงแดดกระทบวัสดุที่บดแสงทำให้อากาศเหนือพื้นผิวร้อนขึ้นกว่าปกติ เกิดกระบวนการนำความร้อน (Conduction) เมื่อมีลมพัดผ่านมา เกิดกระบวนการพาความร้อน (Convection) ผสมกับอุณหภูมิปกติที่ร้อนอยู่แล้วส่งผลให้ร้อนเพิ่มขึ้น ในจุดที่ 2 สังเกตเห็นผิวหญ้าจะไม่ร้อนเท่ากับพื้นผิวคอนกรีตเนื่องจากพื้นหญ้าที่ปกคลุมดินจึงทำให้เกิดการสะสมความร้อนน้อยกว่าจึงเย็นลงกว่าจุดที่ 1 ต่อมาในจุดที่ 3 มีต้นไม้ปกคลุมแต่เป็นไม้พุ่มบางสูงโปร่งกันแสงแดดที่ลงมาได้ประมาณ 30% ต้นไม้ทำให้เกิดร่มเงาบางส่วนที่พื้นด้านล่างจึงมีสภาพอากาศที่เย็นลงกว่า 2 จุดแรก ประกอบกับการอยู่ใกล้บ่อน้ำ ที่มีความลึกประมาณ 0.90 เมตร อภิปรายผลได้ว่า น้ำมีคุณสมบัติกักเก็บความร้อนได้สูง และมีการระเหยเหนือผิวน้ำทำให้บริเวณโดยรอบเย็นขึ้น และในจุดที่ 4 นั้นมีต้นไม้ใหญ่ที่มีพุ่มใบกว้างและค่อนข้างหนาที่บังช่วยสกัดกั้นแสงแดดเกือบทั้งหมดมีแสงแดดลงมาสู่พื้นดินประมาณ 10% ต้นไม้เกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากแสงแดด อีกทั้งยังทำให้เกิดร่มเงาบริเวณกว้าง เมื่อผิวดินไม่โดนแสงแดดอากาศที่ผิวดินจะเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศปกติ (actual temperature) และอยู่ใกล้บ่อน้ำ บ่อเดียวกันทำให้บริเวณโดยรอบเย็นขึ้นเช่นเดียวกับจุดที่ 3 จากการศึกษาที่กล่าวมา พบว่า ตัวแปรที่ทำให้สภาพแวดล้อมร้อนขึ้นกว่าสภาพแวดล้อมปกติเกิดจากแสงแดดที่ตกกระทบพื้นผิวที่บดแสง ซึ่งจะทำให้พื้นผิวนั้นร้อนขึ้นกว่าปกติ และเหนี่ยวนำความร้อนให้บริเวณนั้นร้อน เมื่อมีลมพัดผ่านมาผสมจึงทำให้ร้อนเพิ่มขึ้น ตัวแปรที่สองคือการที่แสงแดดถูกสกัดกั้นจากพุ่มใบเหนือพื้นที่ซึ่งงานซึ่งจะทำให้บริเวณใต้พุ่มใบไม่ร้อนเท่าบริเวณพื้นผิวคอนกรีต และประเด็นสุดท้าย คือการที่พื้นผิวดินมีความชื้น เมื่อมีลมพัดผ่านจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำ ซึ่งมีผลทำให้บริเวณนั้นเย็นลงกว่าปกติเนื่องจากการระเหยของน้ำดึงเอาความร้อนจากสภาพแวดล้อมมาใช้ในการระเหยของน้ำเพื่อทำให้เย็นลง จากสาเหตุทั้งสามประการทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณที่ใช้งานเปลี่ยนแปลงตามอิทธิพลของตัวแปรที่กล่าวมา จากผลการวิจัยนี้อาจสรุปได้ว่า สภาพแวดล้อมที่เย็นที่สุด คือ สภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้บดบังและแสงแดดตกลงกระทบพื้นผิวด้านล่างน้อย อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ได้ทำการเพิ่มการระเหยของน้ำให้กับบริเวณรอบอาคารทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลจากการระเหยของน้ำในบริเวณอาคารที่มีพุ่มใบไม่หนาที่บันทึก พบว่าด้วยการระเหยของน้ำบริเวณบ้านทดลองมีอุณหภูมิเย็นกว่า บริเวณที่มีพุ่มใบหนาที่บันทึก และยังพบอีกว่า บริเวณอาคารทดลองมีอุณหภูมิอากาศต่ำกว่าบริเวณอากาศประมาณ 4 องศาในช่วงร้อนสุดของวัน ด้วยอิทธิพลความเย็นที่เกิดขึ้นเป็นผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารทดลองต่างกันประมาณ 4 องศา อิทธิพลดังกล่าวจะทำให้การถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าเดิมถึง 32.8% ซึ่งอาจสรุปได้ว่า ในการปรุงแต่งสภาพแวดล้อม การจัดภูมิทัศน์ ตัวแปรที่ทำให้สภาพแวดล้อมแตกต่างกัน คือ 1. ผิวดินคอนกรีตและหญ้า สะสมความร้อนแตกต่างกัน ผิวดินคอนกรีตร้อนควรลดพื้นที่การใช้คอนกรีตลง วางผิวดินคอนกรีตให้ห่างจากพื้นที่จะใช้สอยพักผ่อนและปลูกหญ้าหรือต้นไม้ให้มากกว่าผิวดินคอนกรีต 2. ร่มเงา พื้นที่ที่อยู่ในพื้นที่จัดสวนแบบป่าโปร่งและป่าทึบ พื้นผิวอยู่ใต้ร่มไม้ แสงแดดถูกสกัดกั้นจากพุ่มใบ ควรทำให้ผิวดินได้รับร่มเงาจากต้นไม้ เพื่อที่จะไม่ต้องรับแสงแดดโดยตรง และ 3. การเพิ่มความเย็นจากการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling) โดยการใช้ ชุดพ่นหมอก ที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไปดังกล่าว สามารถทำให้การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมอุณหภูมิบริเวณนี้ใกล้เคียงเขตสบายมากขึ้น ควรมีการใช้การเพิ่มความเย็นจากการระเหยของน้ำ

ผลจากการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับประชาชนทั่วไป เพราะเป็นความรู้ที่ทำความเข้าใจได้ไม่ยากเกินไป และเครื่องมือหาซื้อได้ง่าย

5. บรรณานุกรม

ASHRAE. (1992). ANSI/ASHRAE standard 55-2013, thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: Author.

- ASHRAE. (2004). **ANSI/ASHRAE standard 140-2014**, standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs. Atlanta: Author.
- Boonyatikarn, S. (2004). **Bio-Solar home: It is power by the Sun**. Bangkok: Chulalongkorn University Press, 50-61.
- Boonyatikarn, S. (1999). **Energy efficient home design technique for better quality of life**. Bangkok: Property market Co., Ltd, 46-47., 58-62., 95-100.
- Boonyatikarn, S. (2002). **Integrated Design Approve: Shinawatra University**. Bangkok: G M Max Media, 39-55.
- Kongsuk, P., Khaosoi, W., Sothong, S., & Losuwan, S. (2022). **Techniques for designing energy-saving systems for buildings. Case study of the Business Innovation Center Building, Rajamangala University of Technology Tawanok, Chanthaburi Campus**. 14th Electrical Engineering Network Conference: 293-299.
- Meteorological Department. (2023). **Climate of Chonburi Province**. Climate Center Meteorological Development Division. Meteorological Department. <http://climate.tmd.go.th/data/province/Chonburi>. [Accessed June 17, 2023].
- Mirrahimi, S., Mohamed, M. F., & Haw, L. C. (2016). **The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate**. 1508-1519. <https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115010254?via%3Dihub>
- National Institute of Metrology. (2022). **Understanding and interpreting temperature measurement and calibration certificates**. Bureau of Standards. Bureau of Freight Forwarding Department of Land Transport.

(Received: 1/Jan/2023, Revised: 26/Dec/2023, Accepted: 2/May/2024)

Landscape Architecture and Site Planning of Green Campus Faculty of Agriculture and Natural Resources Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Bo Thong District, Chonburi Province

Yiampol Choatpanyatum*, Phanu Aiemtom, Phattraporn Soyong
and Angsana Boonyobhas

Geoinformatics curriculum Department of Geoinformatics Faculty of Geoinformatics Burapha University

E-mail: yiampol@yahoo.co.th Tel. 091-1554655

Abstract

This research is an extension of the study on “Geographic Information in Analyzing the Site Potential for Planning the Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Bo Thong District, Chonburi Province.” The main objective is to design landscape architecture of Bo Thong institution as a Green Campus, utilizing experimental results, discussion outcomes, and overall recommendations. Additionally, it involves synthesizing the area to design a schematic layout and creating appropriate alternative or detail designs and construction for future development.

The analysis of developing the 660 Rai Bo Thong Institute in the hilly plain area with abundant water resources, dense communities, and accessibility to roads, infrastructure and communication, allows for the classification of three zones: 1. Public Zone, 2. Semi-public Zone serving as an educational and service center, and 3. Private zone include recreational and residential Zone. Furthermore, the usable areas are divided into eight zones, with two additional connecting points. These designs propose a green educational institution (Green campus) with ten areas known as Zones A-J, including 1) Academic Area, 2) Administrative Building Area, 3) Staff Residence -Dormitory Area, 4) Commercial Area, 5) Sports and Recreational Area, 6) Conservation Area, 7) Agriculture Area, 8) Service and Maintenance Area, 9) Plaza/Landmark Area, and 10) Green Walkway.

Summarizing the analysis of requirements, attitudes, university image, and the green university (Green campus) concept, the proposed educational institution layout for Bo Thong can be summarized as follows: 1) Space improvement planning, 2) Community involvement, 3) Development of renewable energy utilization, 4) Reduction of wasteful resource usage, reuse, and recycling, 5) Knowledge development for the community, 6) Landscape development for tourism, 7) Resource management, disaster prevention, and mitigation through creative development. The crucial aspects to consider for the green institution (Green campus) are energy and climate change, infrastructure planning, transportation, waste management, research, and water resources.

Regarding the design and layout, there are two options presented for utilizing the land in the green campus: 1. Using the existing roads as main thoroughfares, and 2. Using the existing roads as green walkways (Green Way) and moving the road north of the project.

Keywords : Green Campus, Land use zoning, Site Planning, Zoning design

1. Introduction

The Policy and Strategy for Higher Education, Science, Research, and Innovation for the years 2020-2027 provides a framework for the development of the education, science, research, and innovation system in Thailand in line with the direction of the national strategy, master plans, and government policies. Its vision is to “prepare Thai people for the 21st century, develop an inclusive economy, a stable society, and a sustainable environment, while fostering cutting-edge innovation internationally and leading the country towards developed status.” The development objectives include: 1) developing human resources and institutions of knowledge, 2) conducting research and creating innovations to address societal challenges, 3) promoting research, innovation, and entrepreneurship, and 4) developing the capacity and reducing disparities through spatial development.

This policy is implemented in conjunction with the reform of the higher education, science, research, and innovation system of the country, which currently lacks a sufficient large-scale infrastructure to support future research. Developing research infrastructure is essential to support investment in creating and developing foundational structures on a broad scale, capable of accommodating advanced global research. It is important to strive for excellence, enhance competitiveness, promote sustainable economic prosperity, and foster collaboration both domestically and internationally. The reform of the higher education, science, research, and innovation system aims to propel Thailand towards full and sustainable development by reforming university management systems, designing management systems, policies, strategies, and plans. It includes the design of funding allocation and budget management systems, result tracking systems, and data integration systems. It also focuses on the development of convenient facilities for higher education institutions, state research institutes, and the industrial sector. Additionally, it emphasizes the development of highly skilled human resources to support the special economic zones in the Eastern Economic Corridor (EEC) region through curriculum alignment and collaborative research between educational institutions and businesses in the EEC area.

The Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Bang Phra Campus, is an educational institution that provides higher education in various academic and professional fields, offering certifications, diplomas, and degrees, including bachelor’s, master’s, and doctoral degrees. It also engages in research and provides academic services to society. The Faculty of Agriculture and Natural Resources is one of the faculties under its administration. It aims to develop the mentioned area into a new educational precinct called Bo Thong Campus, managed by the Faculty. The plan involves enhancing the efficiency of the existing space, promoting and participating in community development, implementing integrated farming practices, promoting self-sufficiency, creating beautiful environments and landscapes, and managing university resources effectively.

The analysis leading to the design of the educational precinct covers an area of approximately 660 Rai. The current state of the area is described as abandoned and encroached upon by local residents. Therefore, the Faculty of Agriculture and Natural Resources of Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Bang Phra Campus, aims to develop the area into Bo Thong Campus by maximizing the efficiency of the existing space for educational institutions, promoting and

participating in community development, improving the area for recreational activities, tourism, and sports, creating beautiful environments and landscapes, and ensuring the quality of life by managing university resources, planning for natural disaster prevention and mitigation, and designing appropriate physical space utilization.

To achieve these objectives, a master plan has been designed to align with the context of the educational precinct and the goals set forth in the national higher education, science, research, and innovation policy. The plan encompasses the utilization of resources, energy efficiency, waste management, green transportation, and the establishment of a green educational institution. It also includes the design of a comprehensive plan that takes into account the existing landscape, cultural heritage, and community needs. The plan aims to integrate the educational precinct with the surrounding area and promote sustainable development, green spaces, and the conservation

2. Research method

The study focuses on the development of a creative urban planning framework using integrated analysis and geographic information system (GIS) data in the study area of Bo Thong Institute in Chonburi province, which covers 660 acres of land. The study is conducted by the Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, located in the hilly area with a large water source in Bo Thong District, Chonburi Province. Additionally, the study includes conducting surveys of important surrounding areas. The research methodology employed in this study involves the following steps:

The study examines the research findings and summarizes the data obtained from the Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing (RS) through high-resolution satellite imagery. The analysis includes physical factors such as land use, geology, hydrology, topography, soil types, vegetation, temperature, as well as the results and conclusions derived from interviews and questionnaires, which are human-created factors. These factors encompass transportation routes, public utilities, public services, history, society, culture, and the conclusions derived from factors related to aesthetics, including visual quality and the character of open spaces, natural landscapes, and in-depth interviews with three key representative groups: 1) Local administrators: District Chief, Tambon Administrative Organization Representatives, and Community Representatives; 2) Faculty of Agriculture administrators and department heads: Dean and Department Head; and 3) Experts in university planning and design and experts in institution design or academics who have experience in designing green institutions. The purpose is to apply the data and classify the land use requirements in each zone of the entire 660 Rai area.

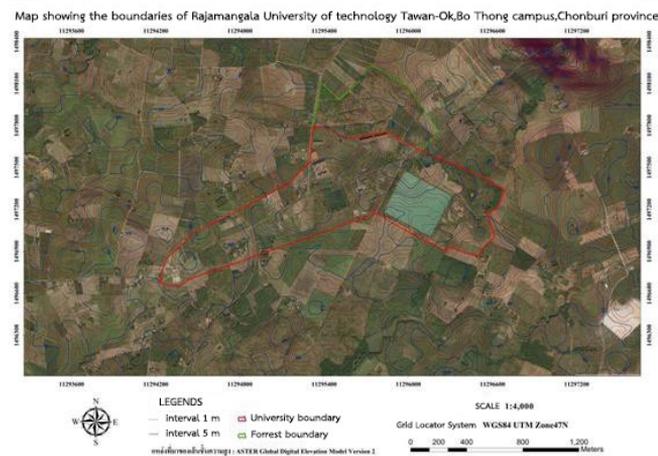
Based on the analysis of topographic data from theoretical frameworks and literature reviews of each factor, including natural factors, human-made factors, and aesthetics from planning experts, including both academic and experienced professionals, the synthesis results in a summary of the proposed educational institution layout guidelines for Bo Thong, Chonburi Province. The guidelines divide the area into 10 usable zones. Subsequently, these 10 zones are used to explore two alternative layout options, which are based on the research findings and discussion results. These

options then lead to recommendations for the design and layout of the green educational institution in Bo Thong, Chonburi Province, in this study.

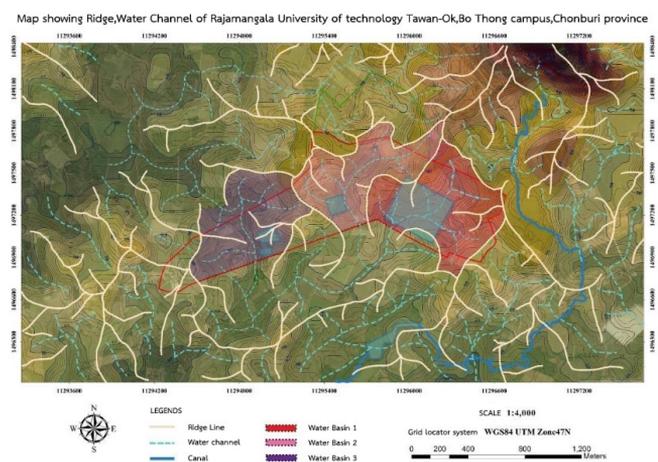
3. Results and Discussion

The analysis of physical and spatial factors of the educational zone in Bo Thong, which spans an area of 660 Rai, reveals the following:

The development of Bo Thong as an educational institution zone is a suitable option for utilizing this vacant land. The location, situated in a hilly area with a large water source, offers favorable conditions for the establishment of an educational institution that aligns with the changing land use patterns in the Eastern Economic Corridor, as depicted in Pictures 1 and 2.



Picture 1 Boundaries and contour lines of Bo Thong Campus



Picture 2 Physical potential: contour lines, waterways and ridges

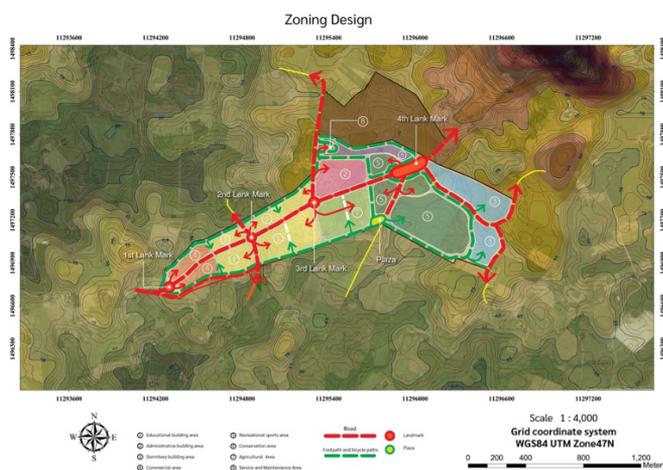
The analysis of spatial accessibility and the prioritization of areas for foundational development and spatial layout of the educational institution zone in Bo Thong focuses on the physical aspect and the perspective that encompasses both the external and internal architectural forms. It also involves organizing the land use or establishing static zoning based on the physical characteristics studied and analyzed in Pictures 3, 4.

5) Zone E: This zone is similar to Zone 4. 6) Zone F: This zone has characteristics similar to Zones 1 and 4 but is located on the northern side adjacent to forest and mountain areas. It has water sources and a view towards the east/north direction. 7) Zone G: This zone is similar to Zone 6 but has a southern entrance. It is centrally located in the area, intersecting with two main roads. 8) Zone H: This zone is similar to Zone 6 but has good accessibility from both the north and south entrances. It has a rectangular shape and a large water source as a primary component. 9) Zone I: This zone is similar to the aforementioned zones, but accessibility is available from the southern road and the eastern/northern border. It has adjacent water sources in the southeast direction and a view of large bodies of water and hills in the north direction. The main road exits towards the east/north direction. 10) Zone J: This zone is similar to the aforementioned zones but has the most difficult accessibility from the main entrance compared to other areas. It has a wide-angle view of the water bodies in the west direction and forest/mountain ranges in the north direction. The vegetation is minimal, and it is an extensive area almost in the shape of a rectangle. The main road passes through the northern direction and is located near the water bodies in the east direction. It serves as a connection point with the external area and has a view from the east direction. Refer to Pictures 1-4 for details.

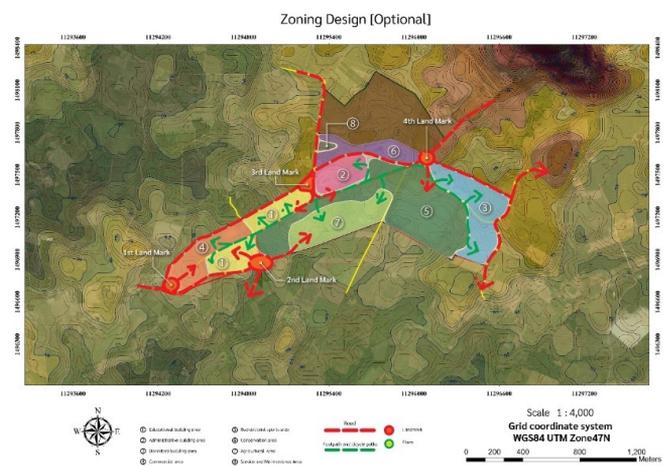
Table 1 The scores and their relationship with function program

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
Natural Factor	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Characteristic of soil/rock
	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	Land form
	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	Altitude
	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	slope
	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	slope
	4	3	5	4	4	4	4	4	3	3	Water intake - drainage
	4	4	5	5	4	4	4	2	2	2	Surface water
	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	Native animals
	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3	Wind speed and direction
	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	Microcirculation temperature
Man Made factor	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	transportation route
	3	3	2	3	3	5	3	3	2	2	Buildings
	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	Utilization of the existing area
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Law
	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	public Utilities
	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	Cultural significance
Aesthetic factor	4	4	3	2	3	2	3	3	4	4	Site Approach (Access to the Area)
	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	Outward view
	3	4	5	5	4	4	3	2	2	2	Area Specialty
	3	3	4	4	3	3	4	4	5	5	Site Approach From External view (assess from External)
	4	4	5	4	4	4	4	3	4	3	Quality of View
Relationship with Area utility											other
											1) Educational building area
											2) Administrative building area
											3) Dormitory building area
											4) Commercial area
											5) Recreational sports area
											6) Conservation area
											7) Agricultural Area
										8) Service and Maintenance Area	

Suitability of ZONING must be overlay analyzed to find the needs in detail of the area to be suitable for the Function Program according to the needs of the Faculty of Agriculture and Natural Resources. Rajamangala University of Technology Tawan-Ok for the land use of each zone. The 8 zones as follows: 1) Educational building area 2) Administrative building area 3) Residential area 4) Commercial area 5) Sports and recreation areas 6) Conservation areas 7) Agricultural land 8) Service, maintenance area. 8 Land use Functions leads to the needs of the space, the synthesis of the site potential to be suitable for the utilization of each activity that will be available in Bo Thong institution. In relation to the function program, it will be used to make a table model showing the relationship of scoring values of site potential of each zone that is suitable for the function program. There are scores valued 1-5. From ascending to descending which are shown in the form of Table 1.



Picture 6 Map showing the analysis of the site potential to the Zoning Design Guidelines, alternative 1



Picture 7 Map showing the analysis of the site potential to the Zoning Design Guidelines, alternative 2

The results of the research lead to the Zoning design guidelines, which can be classified into 8 areas, namely 1) Educational building area (yellow) 24%, 2) Administrative building area (pink) 7.5%,

3) Residential area (blue) 17%, 4) Commercial area (light orange) 9%, 5) Sports area Recreation (dark green) 23%, 6) Conservation Area (Purple) 5%, 7) Agricultural Area (Light Green) 10%, 8) Maintenance Service Area (Grey) 1%, and add 2 more connecting areas, namely 1) Plaza area (dark orange) 1%, and 2) 4 landmark areas (dark yellow) 2.5% in which the main road in the project is represented by a red dashed line. Secondary roads leading into each area are represented by a small red solid line. The Green Pedestrian or Green Way is represented by a green dotted line. And brown represents the area of the Royal Forest Department adjacent to the conservation area of the project. There are two possible approaches to designing the static zone: Approach 1: Utilizing the existing road as the main pathway (Picture 6) Approach 2: Creating a new road and transforming the existing road into a green connection (Picture 7)

4. Conclusion and suggestions

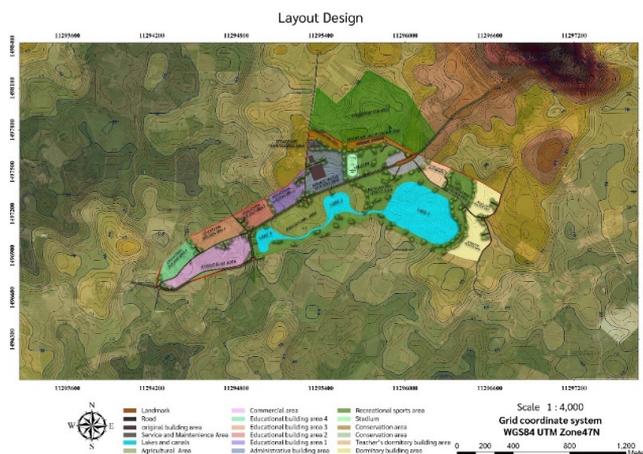
Creative development in project areas requires surveying, studying, and analyzing each sub-factor through the overlaying of maps. This process helps uncover the deep potential required for designing and planning the spatial layout of each zone according to the designated land use program. It leads to appropriate architectural and landscape designs. Research findings indicate that the site determines which functions are suitable, and the required functions determine the type of site.

In the development of green institutions, important considerations in management and administration include: 1. Energy and climate change: Strategies for sustainable energy sources and addressing climate change impacts. 2. Planning and infrastructure for public utilities: Designing an efficient and sustainable infrastructure for essential services such as water, electricity, and waste management. 3. Transportation and mobility: Developing a transportation system that promotes sustainable and efficient modes of travel, reducing carbon emissions and congestion. 4. Waste management: Implementing effective waste management practices, including recycling, waste reduction, and proper disposal methods. 5. Research: Conducting research to advance knowledge and innovation in sustainable practices, technology, and environmental conservation. 6. Water resources: Ensuring sustainable management of water resources, considering conservation, allocation, and quality control measures.

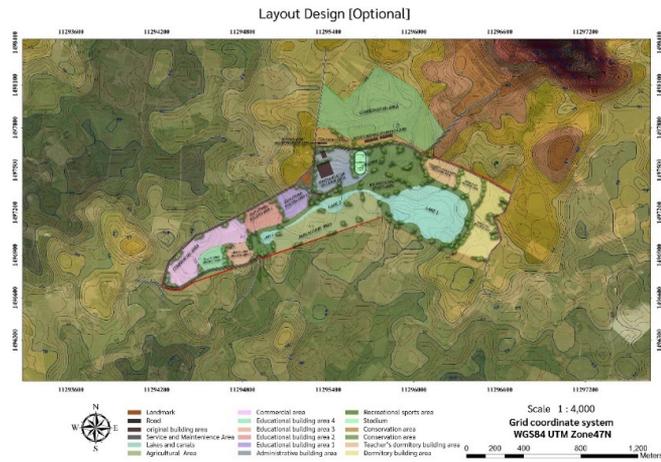
By considering these key issues in management and administration, the development of creative and sustainable projects can be achieved, leading to a greener and more environmentally conscious institution. The summary of the educational institution campus layout in Bo Thong can be outlined as follows: 1) Optimizing the layout to maximize efficiency: The campus layout should be designed in a way that enhances the existing space to its fullest potential, ensuring efficient utilization. 2) Community involvement and promotion: Encouraging community participation and collaboration in the development process to create a strong sense of community and foster mutual growth. 3) Sustainable energy and integrated agriculture: Promoting the use of renewable energy sources and implementing sustainable agricultural practices such as agroforestry and rotational farming. 4) Resource conservation and reuse: Reducing resource wastage through efficient management, promoting reuse

practices, and implementing water recycling systems. 5) Knowledge development for the community: Fostering the development of knowledge and education within the community, providing opportunities for learning and skill enhancement. 6) Development as a tourism landscape: Enhancing the campus to become a scenic and attractive destination for tourism, highlighting the unique features and promoting cultural and natural heritage. 7) Resource management and disaster prevention: Implementing effective resource management strategies and developing comprehensive plans for disaster prevention and mitigation.

In analyzing the potential of the Bo Thong area to be transformed into a green educational institution, the following analysis and recommendations for the campus layout can be made, considering eight zones: 1) Faculty of Agriculture Zone: Designated space for the agricultural faculty's classrooms and facilities. 2) Administration Zone: Area for administrative buildings, management offices, support facilities, and certification offices. 3) Faculty and Student Residential Zone: Residential space for faculty members and students. 4) Commercial Zone: Space for commercial activities, exhibition and trade centers, food courts, community service centers, and OTOP (One Tambon One Product) market. 5) Recreational Zone: Areas for sports, recreational activities, lakes, canals, and reservoirs. 6) Conservation and Forest Zone: Preserved areas for conservation and forest protection. 7) Agricultural Zone: Agricultural fields and farms. 8) Service Zone: Maintenance and service areas. Additionally, there are two connecting areas to enhance the green concept and provide focal points: 9) Plaza: A central plaza area that serves as a gathering space and promotes community interaction. 10) Landmark and Roundabout



Picture 8 Map showing Guidelines for Site Planning towards green campus, alternative 1



Picture 9 Map showing Guidelines for Site Planning towards green campus, alternative 2

Site planning design concept

The area for administrative buildings, educational buildings, service buildings, and maintenance facilities is considered based on the existing building area near the main internal roads within the project. This area consists of previously disturbed land that needs to be renovated according to architectural principles to enhance its aesthetic appeal. It should be surrounded by natural elements and should not obstruct the natural waterways entering the project area.

The residential area within the project is determined based on the accessibility to the deepest areas and proximity to recreational areas such as parks, public ponds, and lakes. It is situated in visually appealing areas with moderate slopes and excellent views. The atmosphere and views should not be disrupted by hazardous pollutants, dust, or natural disasters.

The commercial area is determined based on its closest proximity to the main access point, which is the first point of entry into the project. It is located along the primary internal road within the project. The area undergoes land improvement while ensuring it does not obstruct the natural waterways.

The recreational area, including public parks and sports fields, is determined based on its location in low-lying flat areas, natural water flow paths, and fertile soil. It is situated near water sources and allows for easy access to various functions within the project. It promotes walking and cycling as means of transportation, supporting residents' active lifestyles and reducing energy consumption from motor vehicles. The design ensures that pedestrian and cycling paths are separate from high-traffic roads to prioritize safety for residents.

The conservation and forest preservation area is designed to increase green space in the city and community. It serves as a recreational area for both passive and active activities in the form of a forest garden, allowing students and university staff to experience a diverse environmental system. The area is characterized by steep slopes and a significant number of existing forests, which can be developed into a forest that maintains the original characteristics of Bo Thong's natural forests. The

design explores the concept of a forest garden with a variety of rare and important tree species that may be difficult to find elsewhere. It aims to create awareness of the diverse wildlife that inhabits the forest and emphasizes the forest's role as a habitat for small animals, as well as its significance as a producer of essential resources such as water and clean air, which are vital for human survival.

The agricultural, horticultural, and fishery department areas are located in low-lying plains where some soil disturbance has occurred. Although there are not many large trees, the soil is fertile, and the area is close to water sources. The connection to water bodies allows for the distribution of moisture to the surrounding soil, aligning with the concept of incorporating mound, wetland, and paddy field models. The small canals play a role in distributing moisture to plant species. Moreover, the water connectivity contributes to the diversity of both aquatic and riparian ecosystems. It serves as a habitat for aquatic animals, an egg-laying site, and also helps facilitate water circulation through the design and layout of the area.

The green connectivity areas, including landmarks, roundabouts, and plazas, are designed to enhance the land use benefits of all eight zones by providing pedestrian and bicycle-friendly green pathways that seamlessly connect to each zone without intersecting with vehicular traffic routes. Landmarks, roundabouts, and plazas are strategically placed in junctions or intersections with three to four roads, allowing road users to easily identify and remember the characteristics of each zone as local landmarks. They also serve as speed regulators for motor vehicles before reaching the intersections. Additionally, these areas provide open spaces along the roadways with gentle curves and viewpoints, allowing certain areas to enjoy the beautiful scenic views of the project's surrounding environment.

Ponds or lakes are water bodies that are important components of the environment. In urban and landscape planning, they hold significant importance in various aspects and are closely related to people's way of life, including agriculture, culture, and tourism. They serve as recreational areas and places for relaxation. Utilizing the water resources spanning over 100 acres in the area can be a driving force for development in multiple aspects. For instance, they can be open spaces along the waterfront, with roads meandering through the riverbanks, activity areas, public parks, and residential areas.

The decision to have curved or straight riverbank edges depends on whether it would be more beneficial to combine both designs for the improvement of the existing area. The riverbank should have a suitable slope that is not too steep, allowing access to the water in various ways, both in natural and manmade areas. Creating a riverfront public park would enable people in the area and the community to have closer interaction with nature.

The recommendation for Green campus based on SDG are creating a green university aligned with Sustainable Development Goals involves integrating sustainability into various aspects:

1. Curriculum Design

- Develop courses that address environmental, social, and economic sustainability.
- Incorporate SDGs into existing programs and create interdisciplinary courses.

2. Campus Operations
 - Implement energy-efficient technologies and renewable energy sources.
 - Establish waste reduction and recycling programs.
 - Promote water conservation measures.
3. Infrastructure and Design
 - Construct eco-friendly buildings using sustainable materials.
 - Design green spaces and promote biodiversity on campus.
4. Transportation
 - Encourage eco-friendly commuting options (cycling, public transit).
 - Provide electric vehicle charging stations.
5. Community Engagement
 - Foster partnerships with local communities to address regional SDGs.
 - Organize awareness campaigns and events on sustainability.
6. Research Initiatives
 - Support research projects focused on sustainable solutions.
 - Encourage faculty and student involvement in sustainability research.
7. Governance and Policies
 - Develop and enforce sustainability policies for the university.
 - Establish a sustainability committee to oversee initiatives.
8. Student Involvement
 - Encourage student-led sustainability clubs and initiatives.
 - Integrate sustainability into student orientation programs.
9. Global Collaboration
 - Engage in international partnerships to address global sustainability challenges.
 - Participate in conferences and initiatives promoting SDGs.
10. Monitoring and Reporting
 - Implement systems to monitor and measure sustainability performance.
 - Regularly report progress on SDGs to stakeholders.

In conclusion, establishing a green university committed to the Sustainable Development Goals (SDGs) requires a holistic approach encompassing curriculum design, campus operations, infrastructure, community engagement, research initiatives, governance, student involvement, and global collaboration. By integrating sustainability into every facet of its existence, from energy-efficient buildings to eco-friendly transportation options, a green university can serve as a beacon for environmental, social, and economic responsibility. The ongoing commitment to monitoring, evaluating, and adapting initiatives ensures that the university remains at the forefront of sustainable practices, contributing significantly to the global pursuit of a more environmentally conscious and socially equitable future.

Summary of benefit and draw backs of digital geographic model
Advantages and Disadvantages of Creating Digital Models and Designing Digital Cartography.**

Advantages

1. **Testing and Simulation:** The use of digital models helps test various scenarios and simulate potential impacts before implementing the actual project, reducing risks and post-implementation problem-solving costs.

2. **Resource Efficiency:** Digital models aid in efficient resource management by allowing for precise planning and analysis, minimizing resource wastage during the design and planning phases.

Disadvantages

1. **Technical Complexity:** The creation and utilization of digital models and digital cartography require technical expertise, and individuals involved may need specialized training, potentially posing a barrier to widespread adoption.

2. **Initial Costs:** Implementing digital models and digital cartography systems may involve significant initial costs for acquiring technology, software, and training personnel, which could be a constraint for some organizations or projects.

Recommendations for future researches are to study feasibility and analyze benefit and limitation of 2 master plan patterns to apply in a site planning for each zone. It is recommended to add more details of site planning for each zone in order to smoothen development plan including budgets and construction phrases.

5. Bibliography

- Alfonso T., Dina S. & Pietro, P. (2015). **Rural landscape planning through spatial modelling and imageprocessing of historical maps**. Retrieved on August 6, 2016, <http://www.science direct.com>.
- Amornsanguansin, J. (2011). **GIS for Sustainable Development**. Journal of Environmental Management. Faculty of Social and Environmental Development National Institute of Development Administration. (in Thai)
- Arunin, A. (2016). **City Fair Festival: Cultural landscape for a livable city**. Retrieved on August 9, 2016, from <http://www.land.arch.chula.ac.th/pdf/events.pdf>, M.P.A. (in Thai)
- Ashihara, Y. (1983). **The Aesthetics Townscape**. Cambridge: MIT Press.
- Barredo, J.I., Lavallo, C. & Kasanko, M. (2006). **Urban Scenario Modeling and Forecast for Sustainable Urban and Regional Planning**. In GIS for Sustainable Development. Michele Campagna, eds. New York. Taylor & Francis. Pp. 329-345.
- Boonkham, D. (2014). **Lay out planning and site planning**. 3rd edition. V. Print (1991) Co., Ltd. publisher of Chulalongkorn University. (in Thai)
- Chuenarom, S. (2011). **Guidelines for creative space development**. a case study of the R.C. Master's thesis of Architecture. Faculty of Architecture and Planning. Thammasat University. (in Thai).
- De Chiara, J. (1978). **Site Planning Standards**. New York: McGraw - Hill Book Company.
- Department of Public Works and Town & Country Planning Ministry of the Interior. (2018). **Eastern Special Development Zone Act, 2018**. Royal Gazette, Volume 135, Chapter 34 Kor, Bangkok, Thailand. (in Thai)

- Dober, R.P. (1964). **Campus Planning**. New York: Rein-hold Publishing Corporation.
- Gaines, T.A. (1991). **The Campus as a Work of Art**. New York, NY: Praeger.
- GISTDA. (2004). **Thailand Earth Observation Satellite (THEOS)**. Retrieved December 3, 2004. <http://www.gistda.or.th/Gistda/HtmlGistda/Html/Index1.htm>. (in Thai)
- Gordon, C. & David G. (1996). **Visions of urban design**. London: Academy Editions.
- Horayangkun, W. (N.D.). **Creation of a livable urban environment: Invisible problems and solutions**. Faculty of Architecture and Town Planning. Thammasat University. (in Thai)
- Jarvis, F.D. (1993). **Site Planning and Community Design for Great Neighborhoods**. Washington, D.C.: Home Builder Press.
- Klongvessa, N. (N.D.). **Landscape Planning Recreation**. Recreational architecture. Faculty of Architecture Chulalongkorn University. (in Thai)
- Klongvessa, N. (2009). **Nature, Environment, Site plan**. Teaching document for Site Planning course, Faculty. Architecture Chulalongkorn University. (in Thai)
- Lynch, K. (1977). **The image of the city**. Cambridge: The MIT Press.
- Lynch, K. (1962). **Site Planning**. Cambridge, Mass., M.I.T. Press.
- McHarg, I.L. (1992). **Design with nature**. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Ministry of Education. (2017). **National Education Plan 2017-2036**. Education Council Secretariat Office, Sukhothai Road, Dusit, Bangkok. (in Thai)
- Ministry of Education. (2018). **Educational Standards 2018**. Secretariat Office of the Council of Education, Sukhothai Road, Dusit District, Bangkok. (in Thai)
- Office of the National Higher Education, Science, Research and Innovation Policy Council and Office of the Science Promotion Board Research and innovation. (2019). **Higher Education, Science, Research and Innovation Policies and Strategies 2020-2027 and Science Plan Research and Innovation B.E. 2020-2022**. 319 Chamchuri Square Building, 14th Floor, Phayathai Road, Pathumwan Subdistrict, Pathumwan District, Bangkok 10330. (in Thai)
- Peeradorn, K. & Thipsuda, J. (2013). **Creative City: Urban Development Approach from Thai Local Creative Assets**. Local Government Development College. King Prajadhipok's Institute. (in Thai)
- Phimpha, P. (2018). **Current Thai Studies**. Office of Education Region 10 Udon Thani, Office of the Permanent Secretary for Education Ministry of Education. Journal of Mahamakut Buddhist University Roi Et Campus, Vol.7 No.1 January - June 2018. (in Thai)
- Pleerak, N., Nakpathom, P. & Choatpanyatum, Y. (2018). **Research report "Manorom" Landscape Improvement for touristic cities Creative culture Chainat Province**. Faculty of Geoinformatics Burapha University. (in Thai)
- Robinstein, H. (M.A.). **Guide to Site and Environmental Planning**. New Jercey. Prentice Hall P T R, Eagle wood Cliffs, 07632.
- Sangawong, S. 2009. **Remote sensing in land use/land cover and its applications**. Bangkok. Chulalongkorn University. (in Thai)
- Simond, J.O. (1998). **Landscape Architecture**. New York: McGraw - Hill.

Strange, C.C. & Banning, J.H. (2000). **Educating by Design: Creating Campus Learning Environments that Work**. San Francisco: Jossey-Bass.

Tourbier, J. & Westmacott, R. (1976). **Technical Bulletin: 72 Lakes and Ponds**. Washington, D.C.: ULI- the Urban Land Institute.

Wikipedia. (2022). **University**. The free encyclopedia, accessible from <https://en.wikipedia.org/wiki/University>.

(Received: 28/Jun/2023, Revised: 28/Dec/2023, Accepted: 18/Jun/2024)

การออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนทางการเกษตร อัตลักษณ์พื้นถิ่น : ข้าวเจ๊กเขยเส้าไห้ (ข้าว GI) จังหวัดสระบุรี

The Design Distribution Centers and Agricultural Community Map the locality: Khao Jek Chuey Sao Hai, Saraburi Province

รุจิวรรณ อันสงคราม

Ruchiwan Ansongkham

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10300
Faculty of Architecture and Design, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok 10300

E-mail: ruchiwan.a@rmutp.ac.th โทร. 0626596649

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนทางการเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น : ข้าวเจ๊กเขยเส้าไห้ (ข้าว GI) จ.สระบุรี และเพื่อเป็นต้นแบบให้กับชุมชนอื่นต่อไป ตามโครงการวิจัยตามแผนงาน เรื่อง “การพัฒนาและยกระดับผลิตภัณฑ์การเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืน: กลุ่มข้าวเจ๊กเขยเส้าไห้ (ข้าว GI) จังหวัดสระบุรี” โดยการมีสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบบสอบถาม แบบสัมภาษณ์ แบบสำรวจ การวิเคราะห์ การสรุปผล สร้างแบบแนวทางการออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนที่เหมาะสมกับชุมชน และประเมินผลความพึงพอใจ พบว่ากลุ่มผู้บริโภคชุมชนและจังหวัดสระบุรี เกิดการรับรู้และรู้จักข้อมูลทางการเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่นได้มากขึ้นและกว้างขึ้นในเชิงพื้นที่ และเกิดความพึงพอใจต่อการพัฒนาและการออกแบบของผลงาน โดยใช้ทุนการเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่นภายในชุมชนที่มีให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากนี้ได้ยังมีข้อเสนอแนะในการนำรูปแบบที่นำไปสู่กระบวนการวัดผลค่าของการประหยัดพลังงานอย่างยั่งยืน ต่อยอดไปสู่การก่อสร้างเพื่อใช้งานได้จริงในชุมชนต่อไป

คำสำคัญ : อัตลักษณ์ แนวทางการออกแบบ ยั่งยืน

Abstract

This research aims to design a distribution center and a community map for local agricultural identity products: Jek Chuey Sao Hai rice (GI rice) in Saraburi Province. It also serves as a model for other communities as part of a research project on the development and enhancement of local agricultural identity products for sustainable community economic development: the Jek Chuey Sao Hai rice group (GI rice) in Saraburi Province. The research tools included questionnaires, interviews, surveys, analysis, and summarization to create guidelines for designing the distribution center and community map suited to the community and evaluate satisfaction. The findings revealed that consumers in Saraburi province became more aware and knowledgeable about local agricultural identity products spatially, and they expressed satisfaction with the development and design of the project. This was achieved by maximizing the benefits of local agricultural identity resources within the community. Additionally, there are recommendations for adopting the model to include sustainable energy-saving measurement processes, which can be extended to actual construction and use in the community.

Keywords : Identity, Design Guidelines, Sustainable

1. บทนำ

ข้าวเจ๊กเซยได้มีการนำมาปลูกในพื้นที่อำเภอเสาไห้ จังหวัดสระบุรี แล้วชาวบ้านมีการนำข้าวมาแลกเปลี่ยนสินค้ากับพ่อค้าคนจีน จึงมีชื่อว่า “ข้าวเจ๊กเซย” ปัจจุบันข้าวเจ๊กเซยหรือ (ข้าว GI) เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ได้รับการจดทะเบียนสินค้าทางภูมิศาสตร์ เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดสระบุรี มีคุณสมบัติคือปริมาณอมิโลสสูง (27-28%) มีเส้นใยสูง เป็นข้าวไวแสง เมล็ดมีความเรียวยาว เมื่อหุงแล้วข้าวจะสุกร่วนเป็นตัว ไม่เกาะเป็นก้อน หุงขึ้นหม้อ ข้าวสุกจะนุ่มไม่แฉะ ไม่แข็งกระด้างไม่บูดง่าย อีกทั้งเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการรักษาโรคเบาหวาน สามารถควบคุมโรคมะเร็ง โรคอ้วน พิษสุราเรื้อรัง เหน็บชา จากคุณสมบัติที่หลากหลาย อันเป็นสิ่งที่ช่วยสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน จากการค้นคว้าพบว่ายังไม่เป็นที่รู้จักและสร้างรายได้ให้กับชุมชนเท่าที่ควร อาจจะช่วยหลายปัจจัย เช่น การตลาดการประชาสัมพันธ์ การพัฒนาผลผลิตการแปรรูปและบรรจุภัณฑ์ แหล่งจำหน่ายสินค้า และสถานะเศรษฐกิจ

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความจำเป็นและความสำคัญในการสร้างรายได้ให้ชุมชน โดยใช้องค์ความรู้ทางสถาปัตยกรรม การออกแบบได้เป็นไปตามทฤษฎีที่กำหนดไว้จากศึกษาการออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้า การจัดแสดงสินค้า ทำเลเกี่ยวกับการออกแบบร้านค้า การจัดแสดงสินค้าภายในร้านค้า/รูปแบบการจัดวาง และสินค้าชุมชน การศึกษาข้อมูลพื้นที่โครงการ ลักษณะทางกายภาพเอกลักษณ์เฉพาะหรือวัฒนธรรมของท้องถิ่น กฎหมายที่เกี่ยวข้อง และศึกษาหลักการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน ได้มาซึ่งแนวทางการออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าทางการเกษตร อัตลักษณ์พื้นถิ่น ชุมชนสามารถนำสินค้ามาวางจัดจำหน่ายที่ศูนย์แห่งนี้ ซึ่งสินค้าอาจจะเปลี่ยนไปตามฤดูกาล ผนวกกับแผนที่ชุมชนที่แสดงช่วงเวลาของการท่องเที่ยวในแต่ละช่วงเดือน ส่งผลถึงการท่องเที่ยวและสร้างรายได้ให้ชุมชนเวียนในชุมชนได้ตลอดทั้งปี สู่การพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืน อีกทั้งยังเป็นต้นแบบในการพัฒนาเกษตรกรกลุ่มอื่นได้อีกด้วย

จากงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยคาดหวังว่าชุมชนสามารถที่จะนำรูปแบบของศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าทางการเกษตร อัตลักษณ์พื้นถิ่น ที่มีความสวยงามตามหลักการออกแบบสถาปัตยกรรม มีอัตลักษณ์ของชุมชน ช่วยดึงดูดความสนใจของนักท่องเที่ยว ช่วยสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน นอกจากนี้ยังมีเรื่องของการประหยัดพลังงานลดการใช้เครื่องปรับอากาศ ไฟฟ้าแสงสว่างในช่วงกลางวัน เพื่อมุ่งสู่ชุมชนยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

- 1) เพื่อการออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนทางเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น: ข้าวเจ๊กเซยเสาไห้ (ข้าว GI) จ.สระบุรี
- 2) เพื่อเป็นต้นแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนทางเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่นให้กับชุมชนอื่นต่อไป

2. วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้รูปแบบการวิจัยแบบผสมผสาน คือการวิจัยเชิงคุณภาพใช้ในการศึกษาค้นคว้าข้อมูล การวิเคราะห์องค์ความรู้ทางบริบทพื้นที่ความเป็นมาของข้าวเจ๊กเซยเสาไห้ (ข้าว GI) ที่มีลักษณะทางเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น มีการวิเคราะห์และสังเคราะห์ผล นำผลที่ได้สู่กระบวนการกำหนดแนวคิดและผลงานการออกแบบต่อไป และการวิจัยเชิงปริมาณ ใช้แบบสอบถามเพื่อหาความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมาย (กลุ่มตัวอย่าง) ของศูนย์จำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนทางเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น : ข้าวเจ๊กเซยเสาไห้ (ข้าว GI) จ.สระบุรี

โดยมีประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

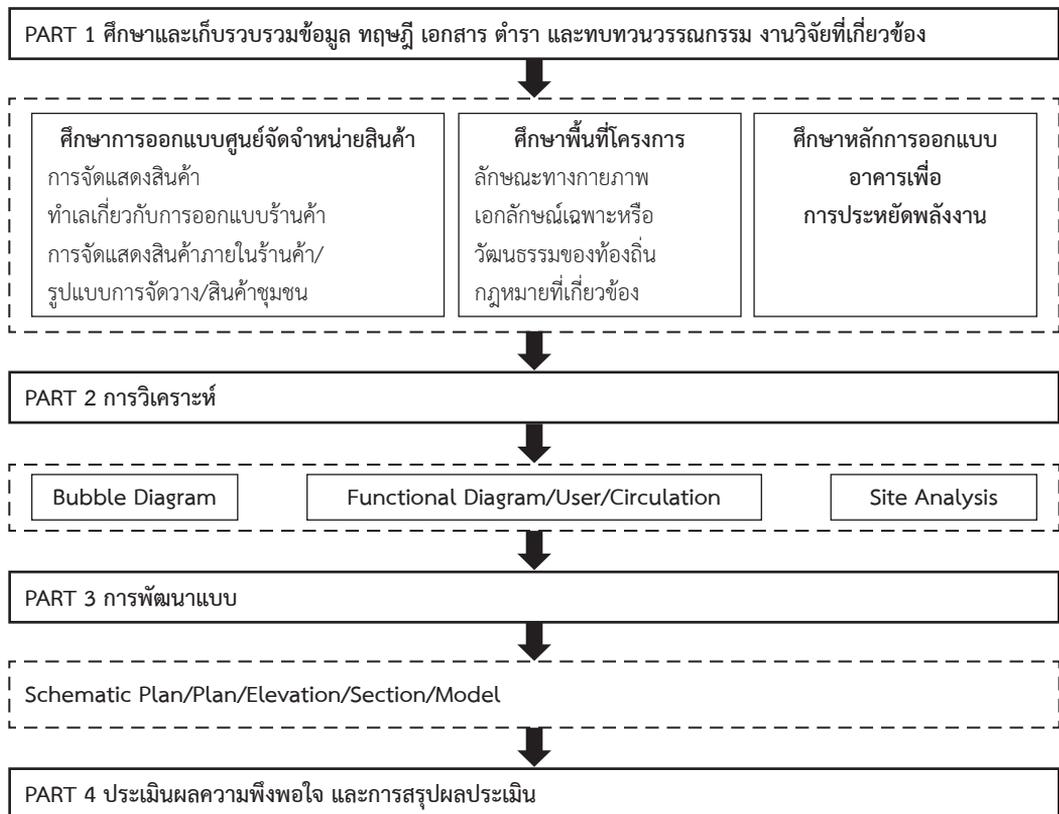
- 1) ศึกษาสภาพปัจจุบันของพื้นที่โครงการ ความสำคัญความเป็นมา สินค้าชุมชน สู่กระบวนการหาแนวคิดพัฒนาแบบ แล้วสรุปผล
 - กลุ่มตัวอย่างและผู้ให้ข้อมูล ได้แก่ ผู้ประกอบการร้านค้า ผู้นำชุมชน หน่วยงานราชการในพื้นที่ ประชาชน และนักท่องเที่ยวภายในจังหวัดสระบุรี

2) ประเมินผลความพึงพอใจต่อรูปแบบใหม่ของการออกแบบศูนย์จำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชน

- ประชากร ได้แก่ ประชาชนและนักท่องเที่ยวภายในจังหวัดสระบุรี จำนวน 85 คน
- กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ประชาชนและนักท่องเที่ยวภายในจังหวัดสระบุรี จำนวน 70 คน

โดยวิธีการกำหนดกลุ่มตัวอย่างของ Yamane (อ้างใน นิรัช สุดสังข์, 2548) ตามความคาดเคลื่อน 10% และวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงและโดยบังเอิญ

การออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนทางเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น : ข้าวเจ้าเขยเส้าไห้ (ข้าว GI) จ.สระบุรี ซึ่งประกอบด้วยวิธีดำเนินการวิจัยที่มีการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลของพื้นที่โครงการ เอกลักษณ์วัฒนธรรมของท้องถิ่น สินค้าชุมชน หลักการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน สู่กระบวนการวิเคราะห์เพื่อให้ได้มาซึ่งการออกแบบสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมกับพื้นที่นี้ มีรูปแบบความสวยงามทางสถาปัตยกรรมเพื่อดึงดูดความสนใจในการซื้อสินค้าได้ ชุมชนสามารถก่อสร้างได้ง่ายต้นทุนน้อย ประหยัดพลังงานสู่ความยั่งยืนของชุมชนต่อไป



ภาพที่ 1 แสดงวิธีการดำเนินการวิจัย

3. ผลการศึกษา

จากกระบวนการในการออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าทางการเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น : ข้าวเจ้าเขยเส้าไห้ (ข้าว GI) จังหวัดสระบุรี ซึ่งขั้นตอนในการออกแบบดังนี้

3.1 PART 1 ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล ทฤษฎี เอกสาร ตำรา และบททวนวรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยผู้วิจัยได้ศึกษาการออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้า เช่น การจัดแสดงสินค้า ทำเลเกี่ยวกับการออกแบบร้านค้า การจัดแสดงสินค้าภายในร้านค้า/รูปแบบการจัดวาง สินค้าชุมชน ศึกษาข้อมูลพื้นที่โครงการ เช่น ลักษณะทางกายภาพ เอกลักษณ์เฉพาะหรือวัฒนธรรมของท้องถิ่นกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ศึกษาหลักการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

พบว่าสินค้าที่มีในชุมชน จุดเด่นคือ ข้าวสาวไห้ และมีผลิตภัณฑ์แปรรูปจากอาหารตามฤดูกาล รวมไปถึงผลไม้ ผักสด ขนم กระเป่า พรหมเช็ดเท้า ไม้กวาดดอกหญ้า ด้วยสินค้าที่หลากหลายดังนั้นแล้วพื้นที่ในศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าจึงควรเป็นพื้นที่ที่สามารถเคลื่อนย้าย ปรับขนาดได้ตามสินค้าชุมชน

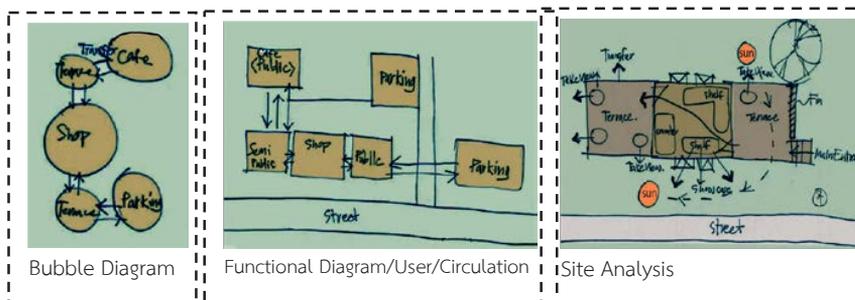
พื้นที่ตั้งโครงการเป็นศูนย์การเรียนรู้ ภูมิทัศน์ของนา ทอชวานาโคกนาคัย ตำบล: ม่วงงาม อำเภอ: เสาไห้ จังหวัด: สระบุรี ดังนั้นจึงมีนักท่องเที่ยวที่มาจากศึกษาหาความรู้ มาท่องเที่ยวทางการเกษตร ยังขาดศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าชุมชน เพื่อให้ชุมชนได้นำสินค้ามาฝากจำหน่าย ช่วยสร้างรายได้ชุมชนสู่ความเป็นอยู่ที่ดีต่อไป



ภาพที่ 2 แสดงการลงพื้นที่เก็บข้อมูลและตรวจแบบผลงานวิจัย

3.2 PART 2 การวิเคราะห์

จากการศึกษาข้อมูลพื้นที่ตั้งโครงการพบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมกับการจัดตั้งศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าทางการเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น : ข้าวเจ้าเขยเสาไห้ (ข้าว GI) จังหวัดสระบุรี คือมีบทบาทโดยรอบเป็นทุ่งข้าว ต้นไม้รายล้อม พื้นที่ที่ติดถนน และอยู่หน้าโครงการ เพื่อสะดวกการเข้าถึงง่ายและการมองเห็นได้ชัดเจน โดดเด่น ต่อมาผู้วิจัยได้กำหนดฟังก์ชัน คือ ร้านค้า ระเบียงพักผ่อน และทางเชื่อมต่อไปยังพื้นที่ข้างเคียง จากการศึกษาที่ตั้งโครงการนั้น มีคาเฟ่ และพื้นที่นั่ง ในโคกนาคัย อ.เสาไห้ จ.สระบุรี ออกมาเป็น Bubble Diagram/ Functional Diagram/User/Circulation ผวนกับ Site Analysis เพื่อพัฒนาไปสู่กระบวนการออกแบบในขั้นต่อไป



ภาพที่ 3 แสดงการวิเคราะห์

จาก Site Analysis สู่กระบวนการวิเคราะห์การวางตำแหน่งของอาคารที่เหมาะสมแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการจำลองอาคารโดยการศึกษาวิเคราะห์การโคจรของพระอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานของอาคาร คือ ช่วงเวลา 9.00 11.00 14.00 และ 17.00 พบว่าระเบียงทางเข้าหลักอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้จะมีผลต่อการรับความร้อนในช่วงเช้า และด้านหน้าอาคารฝั่งทางทิศตะวันตกเฉียงใต้จะมีผลต่อการรับความร้อนในช่วงบ่ายจนถึงเย็นของวัน โดยกำหนดช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่เดือนมิถุนายนคือช่วงกลางเดือนของทุกปี

จากการศึกษาเชิงข้ามจะมีเสาและโครงคร่าวอยู่ภายนอกทำให้ห้องภายในเรียบจึงเหมาะแก่การบรรจุข้าวเปลือก ไม่มีข้าวเปลือกติดคาอยู่ที่คร่าวหรือระหว่างซอก อันเป็นภูมิปัญญาที่ควรค่าแก่การอนุรักษ์ไว้และปัจจุบันยังข้าวค่อย ๆ หมดไปด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ ๆ ในยุคปัจจุบัน ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ยังข้าวที่เป็นที่เก็บข้าวเปลือกมาเป็นแนวความคิดในการเก็บสินค้าทางการเกษตรของศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าชุมชนทางการเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น : ข้าวเจ้าเขยเส้าไห้ (ข้าว GI) จังหวัดสระบุรีด้วยเช่นกัน โดยการนำเอาถังข้าวซึ่งเป็นอาคารไม้ยกใต้ถุนสูง จุดเด่นคือนำโครงสร้างเสาโครงคร่าว มาไว้ด้านนอก เพื่อดำเนินเรียบสำหรับเก็บไว้ข้าวเปลือกของชาวนา ผนวกกับแนวความคิดทางการประหยัดพลังงาน เน้นการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติและการออกแบบให้พื้นที่ภายในสามารถปรับประยุกต์ได้ตามผลิตภัณฑ์ในชุมชน

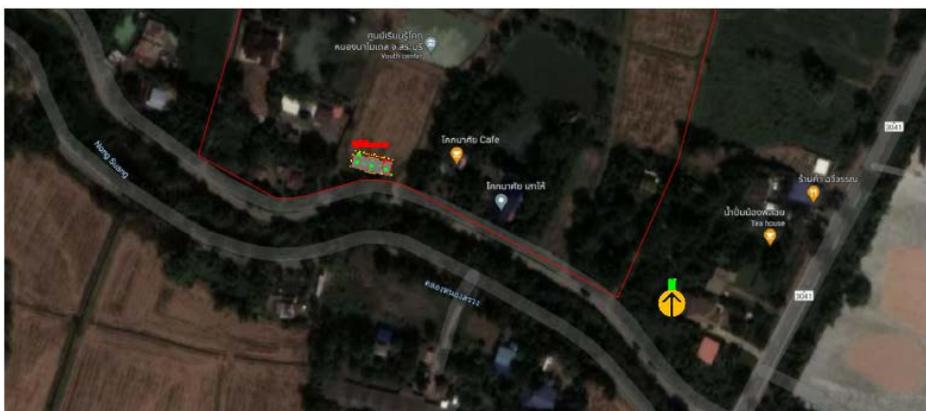
โดยใช้หลักการออกแบบทางสถาปัตยกรรม นำเอกลักษณ์เฉพาะหรือวัฒนธรรมของท้องถิ่น เลือกวัสดุก่อสร้างที่มีในท้องถิ่น รวมไปถึงการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน โดยใช้เทคโนโลยีสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมกับชุมชน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นต้นแบบให้ชุมชนและพื้นที่อื่น ๆ สามารถก่อสร้างได้อย่างง่าย ด้วยวัสดุที่มีในท้องถิ่น การอาศัยหลักการทางธรรมชาติเข้าใช้อย่างคุ้มค่า เช่น แสงธรรมชาติในช่วงกลางวัน การเปิดระบายอากาศและการนำลมธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคาร โดยพึ่งพาเทคโนโลยีให้น้อยลง ดังภาพแสดงที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงแนวความคิดโครงการ

2) ผังบริเวณ

ที่ตั้งโครงการโคกนาศัย อ.เส้าไห้ จ.สระบุรี มีพื้นที่มากกว่า 10 ไร่ พื้นที่เป็นศูนย์การเรียนรู้ การทำนา วิถีชีวิต ส่งเสริมการอยู่อย่างยั่งยืนได้ จากการวิเคราะห์ตำแหน่งที่เหมาะสมของศูนย์จัดจำหน่ายสินค้า คือตั้งอยู่ด้านหน้า ใกล้เคียงทางเข้าหลักเข้าถึงได้สะดวก มองเห็นได้ง่ายจากภายนอก พื้นที่โล่งไม่มีสิ่งบดบัง



ภาพที่ 7 แสดงผังบริเวณ

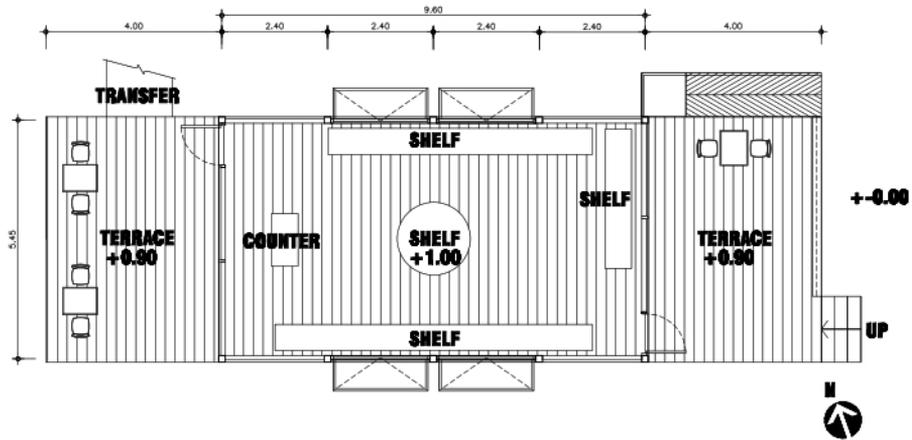
3) ผังพื้นที่

ศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าทางการเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น : ข้าวเจ้าเขยเส้าไห้ (ข้าว GI) จังหวัดสระบุรี มีขนาดพื้นที่ใช้สอยภายใน 55 ตารางเมตร และระเบียง 48 ตารางเมตร โดยพื้นที่ใช้สอยประกอบด้วยพื้นที่ภายในจำหน่ายสินค้า โดยมีชั้นวางที่สามารถปรับขนาดได้ตามสินค้าชุมชน เป็นการแสดงสินค้าที่มีในชุมชน ส่วนเก็บของผู้วิจัยออกแบบให้แยกตัว

อาคารต่างหากเพราะต้องมีพื้นที่สำหรับการเก็บและตุนสินค้าเพราะขนาดของสินค้าที่จะเก็บสต็อกนั้นไม่สามารถกำหนดจำนวนและปริมาณได้แน่นอน

วัสดุที่เลือกใช้ในการทำอาคารมีดังนี้ โครงสร้างไม้ เสาไม้ พื้นไม้ ผนังไม้ หลังคาและโครงหลังคาไม้ วัสดุผนังหลังคาหญ้าคา (วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น เช่น ไม้ไผ่ ไม้เนื้อแข็ง)

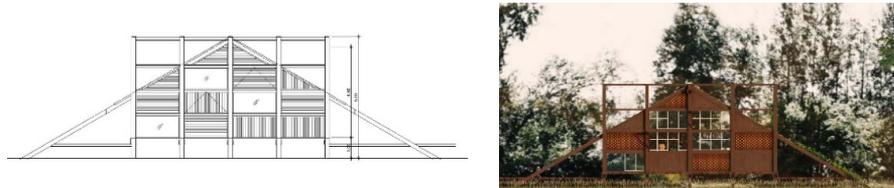
เนื่องด้วยวัสดุสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม เช่น ความคงทน อายุการใช้งานยาวนาน ผู้วิจัยจึงแนะนำวัสดุที่คงทนนำมาผสมผสานได้ เช่น โครงสร้างเหล็ก ผนังไม้เทียมเพื่อป้องกันปลวกได้ หลังคาและโครงเหล็กและมุงด้วยหญ้าคาเทียม เป็นต้น



ภาพที่ 8 แสดงผังพื้น

4) รูปด้าน

ผู้วิจัยได้ออกแบบเป็นหน้าต่างบานกระทุ้งที่เวลาเปิดสามารถบังแดดได้ รูปแบบใช้โครงสร้างเสาและผนังติดตั้งด้านนอกให้เหมือนยุงข้าว เพื่อความเรียบของผนังด้านในที่จะเรียบและจัดวางสินค้าได้ง่าย



รูปด้านหน้าโครงการ



รูปด้านข้างโครงการ

ภาพที่ 9 แสดงรูปด้าน

5) รูปตัด

ความสูงของพื้นถึงฝ้าเพดานมีความสูงที่สุดที่ 4.60 เมตร และ 2.20 ม.



ภาพที่ 10 แสดงรูปตัด

6) ภาพทัศนียภาพ

ด้วยที่ตั้งโครงการเดิมพื้นที่เป็นทุ่งข้าวเดิม ที่จัดเป็นพื้นที่ให้ประชาชนได้มาศึกษาถึงการทำการ เช่น การดำนา ตัวอาคารจึงตั้งอยู่ในทุ่งนาที่เป็นพื้นที่การเรียนรู้การทำงานจริง ต้นข้าวจึงเป็นแลนด์สเคปจึงจำลองบรรยากาศทุ่งนา ให้นักท่องเที่ยวได้สัมผัสวิถีของชาวนาได้ด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 11 แสดงภาพทัศนียภาพ

7) วัสดุ

โครงสร้างไม้เสาไม้ พื้นไม้ ผนังไม้และกระจกกันความร้อนบางส่วน หลังคาและโครงหลังคาไม้ วัสดุผนังหลังคา หญ้าคา (วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น เช่น ไม้ไผ่ ไม้เนื้อแข็ง)

เนื่องด้วยวัสดุสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม เช่น ความคงทน อายุการใช้งานยาวนาน ผู้วิจัยจึงแนะนำวัสดุที่คงทนนำมาผสมผสานได้ เช่น โครงสร้างเหล็ก ผนังไม้เทียมเพื่อป้องกันปลวกได้ หลังคาและโครงเหล็กและมุงด้วยหญ้าคาเทียม เป็นต้น



ภาพที่ 12 แสดงวัสดุ

8) แบบขยาย

- หน้าต่างบานกระทุ้ง หน้าบานเป็นลายสานขัดไม้ไผ่ ที่แสดงลวดลายและสร้าง Texture เพื่อดึงดูดความน่าสนใจ
- ระแนงไม้เลื้อย ใช้ในการบังแดด หรือกรองความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารโดยตรง เช่น ม่านบาหลี่ จันทร์กระจ่างฟ้า พวงแสด มาลัยทอง ลดาวัลย์ พวงประติษฐ์ เป็นต้น (ที่มา : <https://www.technologychaoban.com>)
- ชั้นวางของ โครงเหล็กที่ชั้นวางสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 13 แสดงแบบขยาย

9) โมเดลจำลอง

โมเดลจำลอง ขนาด 1:50 โดยแสดงสีที่แสดงถึงวัสดุจริง เช่น โครงสร้างไม้ ผนังไม้ พื้นไม้



ภาพที่ 14 แสดงโมเดลจำลอง

10) ภาพการนำเสนอผลงาน



ภาพที่ 15 แสดงภาพการนำเสนอผลงาน

11) แผนที่ชุมชน

แผนที่ชุมชนทางการเกษตรอัตลักษณ์พื้นที่ : ข้าวเจ้าเขยเส้าไห้ (ข้าว GI) จังหวัดสระบุรี แสดงวงจรชีวิตในรอบปีของชุมชนลาวเวียงอำเภอเส้าไห้ จังหวัดสระบุรี โดยแสดงวิธีการทำนาอันเป็นเอกลักษณ์ของพื้นที่ในแต่ละเดือน ประกอบกับเทศกาลหรือประเพณีในแต่ละช่วงเดือน เพื่อให้ผู้ที่สนใจเข้ามาชมวิถีชีวิตของชุมชนได้แต่ละช่วงเดือนได้ (ที่มา: หอชานาโคกนาค้ายและตลาดลาวเวียง) ดังนี้

เดือนมกราคม ประเพณีเรียกขวัญข้าวเข้างุ้ง โดยจะมีการพาดข้าว ขนข้าวเปลือกขึ้นยั้ง

เดือนพฤษภาคม ตกกล้า ไถตะ

เดือนมิถุนายน-กรกฎาคม ปักข้าวแรก พิธีแรกนาดำ โดยจะมีการหว่านกล้า ไถนา ดำนา

เดือนสิงหาคม-กันยายน ประเพณีทำบุญวันสารท ช่วงเข้าพรรษา โดยจะมีการดูแลหญ้า คัตรูพีช

เดือนตุลาคม-พฤศจิกายน ทำบุญออกพรรษา ทำบุญกลางบ้าน พิธีปลงขวัญข้าวหรือเรียกขวัญข้าว ทำบุญ

ข้าวยาคุ ทำบุญลานหรือทำบุญกุ่มข้าวใหญ่ ประเพณีรับขวัญข้าว โดยจะมีการเตรียมลานตากข้าวเรียงข้าวในลาน

เดือนธันวาคม เทศน์มหาชาติประเพณีแห่ข้าวพันก้อน โดยจะมีการเกี่ยวข้าวหนักทำลานตากข้าว



ภาพที่ 16 แสดงแผนที่ชุมชน

3.4 PART 4 ประเมินผลความพึงพอใจ และการสรุปผลประเมิน

แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อรูปแบบใหม่ของการออกแบบศูนย์จำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนของกลุ่มเป้าหมาย (กลุ่มตัวอย่าง) จำนวน 70 ชุด ผู้วิจัยได้นำเสนอในรูปแบบตารางประกอบคำอธิบาย โดยแบ่งระดับเกณฑ์ประเมิน ดังนี้

- 4.50 - 5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมมากที่สุด
- 3.50 - 4.49 หมายถึง มีความเหมาะสมมาก
- 2.50 - 3.49 หมายถึง มีความเหมาะสมปานกลาง
- 1.50 - 2.49 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อย
- 1.00 - 1.49 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อยที่สุด

ผลการวิเคราะห์การประเมินผลความพึงพอใจต่อรูปแบบใหม่ของงานวิจัย (ตามขอบเขตการวิจัย)

ตารางที่ 1 แสดงระดับการประเมินความพึงพอใจต่อรูปแบบใหม่ของศูนย์จำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชน

การออกแบบศูนย์จำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชน				
รายการประเมิน	ระดับคะแนน		ระดับความพึงพอใจ	ลำดับที่
	x	SD		
1. การออกแบบ แสดงออกถึงอัตลักษณ์ที่สื่อ ถึงรูปลักษณ์ของยุ่งข้าว, ข้าวเจ๊กเขยได้เหมาะสม	4.31	0.610	มาก	1
2. พื้นที่สามารถรองรับการทำกิจกรรมได้อย่างหลากหลาย การใช้งานสะดวก	4.26	0.588	มาก	2
3. ความเหมาะสมของวัสดุอาคาร	4.19	0.649	มาก	4
4. ความเหมาะสมของแสงสว่าง การระบายอากาศที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานของอาคาร	4.15	0.734	มาก	5
5. มีป้าย/แผนที่ชุมชนที่อย่างเหมาะสม สวยงาม แสดงเส้นทางที่ชัดเจน	4.20	0.650	มาก	3
รวม	4.22	0.646	ระดับดีมาก	

จากตารางที่ 1 กลุ่มเป้าหมาย (กลุ่มตัวอย่าง) จำนวน 70 คน ได้ตอบแบบสอบถามต่อรูปแบบใหม่ของศูนย์จำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนพบว่าภาพรวมการออกแบบศูนย์จำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชน โดยมีเกณฑ์การประเมินคือ 1) การออกแบบแสดงออกถึงอัตลักษณ์ที่สื่อถึงรูปลักษณ์ของยุ่งข้าว, ข้าวเจ๊กเขยได้เหมาะสมมีค่าเฉลี่ย 4.31 2) พื้นที่สามารถรองรับการทำกิจกรรมได้อย่างหลากหลาย การใช้งานสะดวกค่าเฉลี่ย 4.26 3) ความเหมาะสมของวัสดุอาคารค่าเฉลี่ย 4.19 4) ความเหมาะสมของแสงสว่าง การระบายอากาศที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานของอาคารค่าเฉลี่ย 4.15 5) มีป้าย/แผนที่ชุมชนที่อย่างเหมาะสม สวยงาม แสดงเส้นทางที่ชัดเจนค่าเฉลี่ย 4.20 ดังนั้นคะแนนรวมค่าเฉลี่ย 4.22 อยู่ในระดับมาก และแยกการประเมินผลดังนี้

การออกแบบศูนย์จำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนจากภาพรวมกลุ่มเป้าหมาย (กลุ่มตัวอย่าง) มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากโดยลำดับที่ 1 คือ ข้อ 1 ที่การออกแบบแสดงออกถึงอัตลักษณ์ของการเพาะปลูกข้าวโดยดึงเอารูปแบบของยุ่งข้าวในอดีตมาถ่ายทอดในงานออกแบบให้สามารถเชื่อมโยงกับพื้นที่ของการปลูกข้าวข้าวเจ๊กเขยเสาให้ได้เป็นอย่างดี เหมาะสม มีค่าเฉลี่ย 4.31

4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนทางเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น : ข้าวเจ้าเขยเส้าไห้ (ข้าวGI) จ.สระบุรี โดยการจัดทำแบบทางสถาปัตยกรรมเพื่อให้เห็นถึงรูปแบบอาคาร สถานการณ์ ให้เหมาะสมกับพื้นที่ตั้งโครงการนี้ และอันเป็นประโยชน์ต้องประมาณที่เพียงพอในการออกแบบและช่วงระยะให้เหมาะสมกับระยะเวลาของการดำเนินงานวิจัยในระยะเวลา 1 ปี เพื่อเป็นแนวทางและเป็นต้นแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนทางเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่นให้กับชุมชนอื่นต่อไป

จากวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนทางเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น : ข้าวเจ้าเขยเส้าไห้ (ข้าวGI) จ.สระบุรี พบว่าได้เป็นไปตามสมมติฐานที่ว่า กลุ่มผู้บริโภค ชุมชนและจังหวัดสระบุรี เกิดการรับรู้และรู้จักข้อมูลทางการเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น “ข้าวเจ้าเขย จ.สระบุรี” ได้มากขึ้นและกว้างขึ้นในเชิงพื้นที่ และเกิดความพึงพอใจต่อการพัฒนาและการออกแบบของผลงาน ตามขอบเขตของวัตถุประสงค์ที่เขียนกำหนดไว้โดยใช้ทุนการเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่นภายในชุมชนที่มีให้เกิดประโยชน์สูงสุด ต่อไปสู่เศรษฐกิจฐานรากต่อยอดสู่ความเข้มแข็งของเศรษฐกิจของชุมชน สังคมและประเทศอย่างยั่งยืน ทั้งยังเป็นต้นแบบในการพัฒนาเกษตรกรกลุ่มอื่น ๆ ได้อีกทาง ตามผลการประเมินความพึงพอใจจากชุมชน

อภิปรายผลการวิจัย จากวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนทางเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น : ข้าวเจ้าเขยเส้าไห้ (ข้าวGI) จ.สระบุรี พบว่าการออกแบบได้เป็นไปตามทฤษฎีที่กำหนดไว้จากศึกษาการออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้า การจัดแสดงสินค้า ทำเลเกี่ยวกับกรออกแบบร้านค้า การจัดแสดงสินค้าภายในร้านค้า/รูปแบบการจัดการจัดวาง และสินค้าชุมชน การศึกษาข้อมูลพื้นที่โครงการ ลักษณะทางกายภาพเอกลักษณ์เฉพาะหรือวัฒนธรรมของท้องถิ่น ภูมิหายที่เกี่ยวข้อง และศึกษาหลักการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการที่นำเรื่องหลักการประหยัดพลังงานเข้ามาร่วมด้วยนั้น ช่วยให้รูปแบบที่ได้มีความน่าสนใจและเป็นการช่วยประหยัดพลังงาน เช่น พลังงานไฟฟ้า แสงสว่าง ลดการใช้แอร์ มีช่องเปิดที่ช่วยเรื่องของการระบายอากาศได้ แผงบังแดดระแนงไม้เลื้อยช่วยลดความร้อนด้านทิศตะวันออก อันสอดคล้องกับเอกสารการออกแบบอาคารที่เหมาะสมของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน หรือแม้กระทั่งการยกตัวอาคารขึ้นสูงเพื่อลดการสะสมความชื้นอันที่ส่งผลต่อสินค้าภายในอาคารได้ เช่นเดียวกันแนวความคิดของการออกแบบยังชาวที่มีการยกตัวขึ้นสูงเพื่อลดความชื้นอันจะทำให้ข้าวที่เก็บเกี่ยวไว้นั้นเสียหาย

จากผลการประเมินความพึงพอใจ กลุ่มเป้าหมาย (กลุ่มตัวอย่าง) จำนวน 70 คน ได้ตอบแบบสอบถามต่อรูปแบบใหม่ของศูนย์จำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนพบว่าภาพรวมการออกแบบศูนย์จำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชน โดยมีเกณฑ์การประเมินคือ 1) การออกแบบแสดงออกถึงอัตลักษณ์ที่สื่อถึงรูปลักษณ์ของยังข้าว, ข้าวเจ้าเขยได้เหมาะสมมีค่าเฉลี่ย 4.31 2) พื้นที่ที่สามารถรองรับการทำกิจกรรมได้อย่างหลากหลาย การใช้งานสะดวกค่าเฉลี่ย 4.26 3) ความเหมาะสมของวัสดุอาคารค่าเฉลี่ย 4.19 4) ความเหมาะสมของแสงสว่าง การระบายอากาศที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานของอาคารค่าเฉลี่ย 4.15 5) มีป้าย/แผนที่ชุมชนที่อย่างเหมาะสม สวยงาม แสดงเส้นทางที่ชัดเจนค่าเฉลี่ย 4.20 ดังนั้นคะแนนรวมค่าเฉลี่ย 4.22 อยู่ในระดับมาก

ข้อเสนอแนะการวิจัย

1) ควรมีการนำรูปแบบที่ออกแบบแล้วเสร็จ ไปสู่กระบวนการวัดผลค่าของพลังงาน เช่น โปรแกรม BEC หรือ Building Energy Code เป็นเครื่องมือคำนวณค่าการอนุรักษ์พลังงานตามเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานประกอบด้วยระบบเปลือกอาคารผนังอาคารและหลังคาอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ การใช้พลังงานหมุนเวียน และการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร เป็นต้น

2) การจัดทำแบบก่อสร้างและการประมาณราคาค่าก่อสร้าง ตามราคากลางที่สามารถช่วยให้ผู้ที่สนใจนำไปสู่ขั้นการก่อสร้างจริงได้ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการออกแบบศูนย์จัดจำหน่ายสินค้าและแผนที่ชุมชนทางเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น : ข้าวเจ้าเขยเส้าไห้ (ข้าว GI) จ.สระบุรี เป็นโครงการย่อยภายใต้โครงการวิจัยตามแผนงาน เรื่อง “การพัฒนาและยกระดับผลิตภัณฑ์การเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืน : กลุ่มข้าวเจ้าเขยเส้าไห้ (ข้าวGI) จังหวัดสระบุรี” ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณด้านวิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2565 และขอขอบคุณศูนย์การเรียนรู้โคกหนองนา โคนาคัย ต.ม่วงงาม อ.เส้าไห้ และผู้มีส่วนขับเคลื่อนการดำเนินงานนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- Bunaree, Y. (2011). **Rice Granaries in Tai-Isan Culture**. *Isan* (Academic Journal). Khon Kaen: Faculty of Architecture, Khon Kaen University.
- Chaisena, A. (2018). **Online Lessons on Trade Show Management**. Retrieved 1 March 2022, from <https://sites.google.com/site/karcadsaedngsinkha/home>. (in Thai)
- Inphanthang, W. (2004). **Vernacular Architecture in Rice Culture** (Complete Research Report). Bangkok: Faculty of Architecture, Silpakorn University.
- Kaewkiew, J. (2003). **Appropriate Building Design for the Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy**. Retrieved 10 March 2022, from <https://e-report.energy.go.th>. (in Thai)
- Khok Na Sai Farmers' Hall and Lao Wiang Market. (2018). **Annual Life Cycle Calendar of the Lao Wiang Community, Sao Hai District, Saraburi Province in the Past**. Retrieved 1 March 2022, from <https://www.facebook.com/KokNaSai>. (in Thai)
- Moung Ngam Subdistrict Administrative Organization. (2021). **Local Development Plan 2018-2022, Additional, Revised, and Amended, Edition 7**. Retrieved 1 March 2022, from www.moungngam.go.th/detail.php?id=499. (in Thai)
- Princess Maha Chakri Sirindhorn Anthropology Centre (Public Organization). (2021). **Community Maps**. Retrieved 15 March 2022, from <https://communityarchive.sac.or.th>. (in Thai)
- Saraburi Provincial Office. (2017). **General Information of Saraburi Province**. Retrieved 16 June 2024, from <http://www.saraburi.go.th>. (in Thai)
- Specialty Rice Information Center (Rice Department). **Jeck Chuey Sao Hai Rice**. Retrieved 15 March 2022, from <https://www.thairicedb.com/rice-detail.php?id=5>. (in Thai)
- Technology Chaoban, Matichon Co., Ltd. (2024). **Compilation of 6 Climbing Plants**. Retrieved 16 June 2024, from https://www.technologychaoban.com/flower-and-decorating-plants/article_268944. (in Thai)

(Received: 13/Dec/2023, Revised: 13/Jun/2024, Accepted: 21/Jun/2024)

ความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองในลำน้ำก่ำ โดยใช้เทคนิค RAPD
Genetic variation of *Mystus nemurus* (Cuv. & Val.) in Lam Nam Kam
by Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) Technique

อนาวิล พรหมเทพ สุธี วงศ์มณีประทีป วาสนา ไพโรสิงห์ขรณ์ และ สมพงษ์ ดุลย์จินดาชบาพร*
Anawil Promthep, Sutee Wongmaneeprateep, Wassana Prisinkorn and
Sompong Doolgindachbaporn*

สาขาวิชาการประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Department of fisheries, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University
E-mail: Sompng_d@kku.ac.th โทร. 087-6436300

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองในลำน้ำก่ำ ทั้งหมด 5 ประชากรย่อย ได้แก่ ประตูน้้ำน้ำสุรสวีต (A) ประตูน้้ำบ้านหนองบึง (B) ประตูน้้ำบ้านนาคู (C) ประตูน้้ำบ้านนาขาม (D) และประตูน้้ำน้ำก่ำตอนล่างที่จะไหลลงไปสู่น้้ำโขงที่อำเภอธาตุนวม จังหวัดนครพนม (E) ด้วยไพโรเมอร์ทั้งหมด 9 ไพโรเมอร์ คือ OPB-07, OPB-10, OPC-02, OPC-05, OPC-11, OPC-13, OPC-15, OPC-16 และ UBC122 พบขนาดของแถบดีเอ็นเอ อยู่ระหว่าง 200-2,500 คู่เบส พบแถบดีเอ็นเอ ทั้งหมด 97 แถบ มี 95 แถบ เป็น Polymorphic band อยู่ระหว่างร้อยละ 46.39-81.44 ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม (H) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.18-0.32 ค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม (GST) และค่าการถ่ายเทยีน (Nm) รวมทั้งหมดทุกประชากรมีค่าเท่ากับ 0.29 และ 1.22 ตามลำดับ และค่าระยะห่างทางพันธุกรรม (D) มีค่าระหว่าง 0.132-0.341 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมด้วยวิธี UPGMA พบว่า ประชากรปลากดเหลืองในลำน้ำก่ำ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 คือประชากรประตูน้้ำสุรสวีต (A) ส่วนกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย ประชากรประตูน้้ำบ้านหนองบึง (B) ประชากรประตูน้้ำบ้านนาคู (C) ประชากรประตูน้้ำบ้านนาขาม (D) และประชากรประตูน้้ำน้ำก่ำตอนล่างที่จะไหลลงไปสู่น้้ำโขงที่อำเภอธาตุนวมจังหวัดนครพนม (E) ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการคัดพันธุ์ การจัดการ และการศึกษาโครงสร้างทางพันธุกรรมของกลุ่มประชากรปลากดเหลืองในลำน้ำก่ำต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : ความหลากหลายทางพันธุกรรม ปลากดเหลือง เทคนิค RAPD

Abstract

The purpose of this research was to assess genetic diversity of Yellow catfish (*Mystus nemurus*) (Cuv. & Val.) from five subpopulations including Sarasawadi Floodgate (A), Bang Nong Bueng Floodgate (B), Ban Na Khu Floodgate (C), Ban Nakham Floodgate (D), Lower Nam Kam Floodgate and flowing down to Mekong River at That Phanom district, Nakhon Phanom province (E). The genetic variation was done with nine primers (OPB-07, OPB-10, OPC-02, OPC-05, OPC-11, OPC-13, OPC-15, OPC-16 and UBC122). The size was between 200-2,500 and the total number of 97 DNA bands of 95 bands were found to be percent of polymorphic band between 46.39-81.44. The gene diversity (H) value was between 0.18-0.32. The value of gene differentiation (GST) and value of gene flow (Nm) overall populations in this study was 0.29 and 1.22, respectively. The genetic distance (D) values were found between 0.132-0.341. The UPGMA (Unweighted pair group method with arithmetic means) dendrogram clearly separated yellow catfish (*Mystus nemurus*) from Lum Nam Kam into two groups:

the first group consisted of Sarasawadi Floodgate (A) and the second group consisted of Bang Nong Bueng Floodgate (B), Bang Na Khu Floodgate (C), Bang Nakham Floodgate (D) and Lower Num Khum Floodgate, flowing down to Mekong River at That Phanom district, Nakhon Phanom province (E). This research was very useful for breeding, management, and studying on the genetic structure of yellow catfish population in Lam Nam Kam in the future.

Keywords : Genetic diversity, *Mystus nemurus* (Cuv. & Val.), RAPD technique

1. บทนำ

ปลากัดเหลือง (Yellow catfish, *Mystus nemurus*) (Cuv. & Val.) จัดเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเนื้อปลามีรสชาติดี มีคุณค่าทางอาหารสูง เป็นปลาที่นิยมบริโภคทั้งในและต่างประเทศในรูปของปลาสดและปลาแห้ง รวมถึงการแปรรูปเป็นปลารมควัน (Amatyakul *et al.*, 1995) นอกจากนี้ ยังนิยมเลี้ยงเป็นปลาสวยงามจึงเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ ทำให้มีราคาจำหน่ายค่อนข้างสูง ทำให้เป็นที่สนใจในการเพาะเลี้ยงเพื่อประกอบอาชีพของเกษตรกร (Phromkunthong & Midcadee, 2001) ปลากัดเหลืองเป็นปลาน้ำจืดที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับปลาสวาย ปลาเทโพ ปลาบึก เป็นปลากลุ่มที่ไม่มีเกล็ด พบแพร่กระจายในแหล่งน้ำธรรมชาติ อ่างเก็บน้ำทั่วทุกภาคของประเทศ และสามารถอาศัยได้ในที่มีความเค็มสูงถึง 12 ppt (Kasiswan *et al.*, 2000) ลำน้ำก่ำเป็นลำน้ำสาขาของแม่น้ำโขง มีต้นกำเนิดมาจากเขตป่าสงวนภูพาน จังหวัดสกลนคร ไหลผ่านหนองหารที่อำเภอเมืองสกลนคร ผ่านอำเภอโพนนาแก้ว อำเภอโคกศรีสุพรรณ อำเภอนาแก ไปบรรจบกับแม่น้ำโขงที่ตำบลน้ำก่ำ อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม มรวมระยะทาง 123 กิโลเมตร ลำน้ำก่ำเป็นลำน้ำที่ระบายน้ำส่วนที่มากเกินออกจากหนองหารทางด้านทิศใต้ ทางประตูระบายน้ำสุรัสวดี และไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ประตูระบายน้ำในลำน้ำก่ำ มีจำนวน 4 แห่ง ประกอบด้วย ประตูระบายน้ำบ้านหนองบึง ประตูระบายน้ำบ้านนาขาม ประตูระบายน้ำบ้านนาคู่ และ ประตูระบายน้ำก่าตอนล่าง การจัดการเปิดปิดบันไดปลาในปัจจุบันนั้น ประตูน้ำสุรัสวดีได้รับการดูแลโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสกลนคร กรมประมง ส่วนประตูบ้านนาขามและประตูน้ำบ้านนาคู่ได้รับการดูแลโดยชลประทานนครพนม กรมชลประทาน การจัดการโดยยึดถือระดับน้ำที่กักเก็บน้ำของแต่ละแห่ง ถ้ามีระดับน้ำสูงเกินกว่าระดับกักเก็บน้ำจึงมีการเปิดประตูระบายน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม ประตูน้ำสุรัสวดีมีการปล่อยน้ำเพื่อให้ปลาวายน้ำผ่านทางบันไดปลาจนถึงช่วงที่ต้องปิดประตูระบายน้ำในช่วงปลายตุลาคมของทุกปี หลังจากเดือนตุลาคมระดับน้ำในลำน้ำก่ำจะลดระดับลงอย่างมาก ส่วนประตูน้ำบ้านนาขามและบ้านนาคู่มีการจัดการบันไดปลายังมีประสิทธิภาพน้อย เนื่องจากเจ้าหน้าที่ให้ความสำคัญเฉพาะการกักเก็บน้ำ อีกทั้งยังประสบปัญหาชาวบ้านเข้ามาทำประมงในบริเวณบันไดปลาโจนและท้ายบันไดโจน ซึ่งเป็นเพราะว่าที่บริเวณประตูน้ำทั้ง 2 แห่ง ยังไม่ได้ประกาศเขตให้เป็นที่รักษาพืชพันธุ์ และขาดการประชาสัมพันธ์ ทำให้ชาวบ้านขาดความรู้ความเข้าใจในการอนุรักษ์ทรัพยากรประมง (Pongsri *et al.*, 2008) ในส่วนการศึกษาผลกระทบต่อทรัพยากรและระบบนิเวศในการสร้างประตูระบายน้ำ มีรายงานว่าส่งผลให้ระบบนิเวศของแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงจากระบบนิเวศแบบน้ำไหลเป็นระบบนิเวศแบบน้ำนิ่ง ประชาคมสิ่งมีชีวิตจะเปลี่ยนไปเป็นประชาคมแหล่งน้ำนิ่ง เช่น พบจำนวนแพลงก์ตอนพืชมากขึ้น สัตว์พื้นท้องน้ำในกลุ่มหอยสองฝา กลุ่มไส้เดือนน้ำ กลุ่มตัวอ่อนแมลงมากขึ้นส่วนประชากรปลาที่เป็นพันธุ์ปลาน้ำไหลจะเปลี่ยนเป็นพันธุ์ปลาน้ำนิ่ง เช่น ปลาช่อน ปลาหมอช้างเหยียบจะเพิ่มมากขึ้น ปลากัด ปลาตะโกกจะมีจำนวนลดน้อยลง (Phomikong, 2014) ในปัจจุบันปริมาณปลากัดเหลืองในแหล่งน้ำธรรมชาติมีจำนวนลดน้อยลงมาก เนื่องจากการสร้างเขื่อนขวางกั้นการอพยพของปลา ความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำทำให้ไม่เหมาะสมแก่การดำรงชีวิตและการแพร่ขยายพันธุ์ปลา ประกอบกับจำนวนประชากรของประเทศไทยมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้มีความต้องการอาหารเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ปลากัดเหลืองที่จับได้ตามธรรมชาติ มีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค จึงมีความต้องการที่จะส่งเสริมและพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้นและเป็นการอนุรักษ์พันธุ์ปลาน้ำจืดในแหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป (Thephakone, 2005) การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมและโครงสร้างทางพันธุกรรม

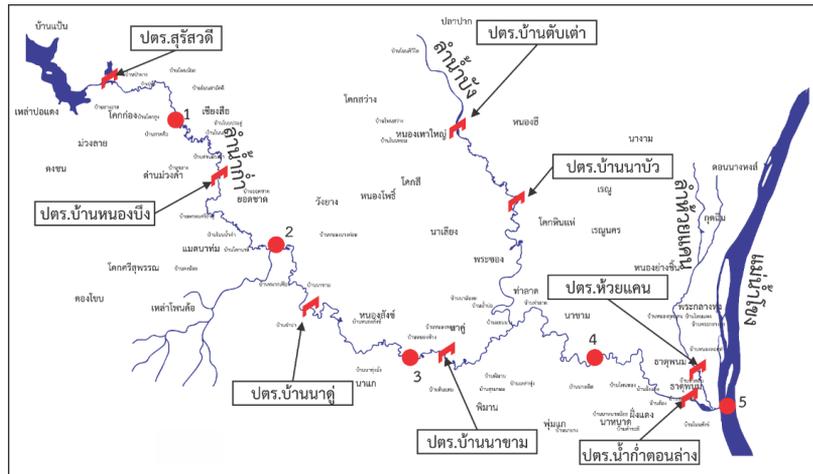
ของปลากดเหลือง ทำให้ทราบถึงความหลากหลายชนิดของปลากดเหลืองและรักษาระดับความหลากหลายทางพันธุกรรมไปด้ว สามารถศึกษาได้จากลักษณะภายนอกทางสัณฐานวิทยา และเครื่องหมายทางพันธุกรรมทั้งในระดับโปรตีน และในระดับดีเอ็นเอ แต่การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาเพียงอย่างเดียวอาจเกิดการผิดพลาดได้ เนื่องจากลักษณะทางสัณฐานขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่อาศัยจึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม ส่วนการศึกษาทางพันธุกรรมจะขึ้นกับยีนของสิ่งมีชีวิต ถึงแม้ว่าจะมีแหล่งอาศัยที่แตกต่างกันแต่ลักษณะของยีนจะไม่เปลี่ยนแปลงตาม การศึกษาด้านพันธุกรรมของปลากดเหลืองในลำน้ำก้ำยังมีน้อย การวิจัยครั้งนี้เป็นการนำเอาเครื่องหมายโมเลกุลอาร์เอพีดี (RAPD : Random Amplified Polymorphic DNA) เป็นเทคนิคที่อาศัยการเพิ่มปริมาณชิ้นดีเอ็นเอภายใต้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรส (Polymerase Chain Reaction : PCR) ในบริเวณต่าง ๆ บนสายดีเอ็นเอต้นแบบที่ถูกเข้าจับได้ด้วยไพรเมอร์อาร์เอพีดี ที่เป็นโอลิโกนิวคลีโอไทด์ขนาดเล็ก (ขนาดสิบเบส) และมีลำดับแบบสุ่ม (Arbitrary sequence) เป็นเทคนิคที่ง่าย รวดเร็ว ประหยัด และที่สำคัญคือไม่จำเป็นต้องทราบข้อมูลทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตที่ต้องการศึกษา (William *et al.*, 1990) ได้มีการนำเทคนิคนี้มาใช้ศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตหลายชนิดเพื่อศึกษาโครงสร้างทางพันธุกรรม รวมถึงความแตกต่างทางพันธุกรรมของสัตว์น้ำ ได้แก่ ปลาไนล (*Oreochromis niloticus*) (Mahboob *et al.*, 2019) กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) (Bala *et al.*, 2017) และ หอยเชลล์ (*Crassostrea belcheri*) (Klinbunga *et al.*, 2000) เป็นต้น

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองโดยใช้เทคนิคอาร์เอพีดี ซึ่งเครื่องหมายโมเลกุลนี้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะนำมาศึกษาพันธุกรรมและโครงสร้างของประชากร ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นข้อมูลที่สำคััญ สำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรปลากดเหลืองทั้งในด้านการเพาะเลี้ยงเพื่อนำไปสู่การพัฒนาการเลี้ยงปลากดเหลืองเชิงพาณิชย์ และเพื่อการอนุรักษ์ปลากดเหลืองในลำน้ำก้ำต่อไปในอนาคต

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเก็บรวบรวมตัวอย่างปลากดเหลือง

การทดลองนี้กำหนดการใช้สัตว์ทดลอง เพื่อให้มีความเหมาะสมและเพียงพอตามหลักจรรยาบรรณการใช้สัตว์ โดยมีใบอนุญาตใช้สัตว์ U1-03564-2559 โดยเก็บรวบรวมตัวอย่างปลากดเหลืองในบริเวณลำน้ำก้ำ จากประตูน้ำ 5 จุด ประกอบด้วยจุดที่ 1 ประตูน้ำสุรสวัสดิ จำนวน 5 ตัว จุดที่ 2 ประตูน้ำบ้านหนองบึง จำนวน 3 ตัว จุดที่ 3 ประตูน้ำบ้านนาคู่ จำนวน 4 ตัว จุดที่ 4 ประตูน้ำบ้านนาขาม จำนวน 5 ตัว และจุดที่ 5 ประตูน้ำน้ำก้ำตอนล่างที่จะไหลลงไปสู่แม่น้ำโขงที่อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม จำนวน 5 ตัว รวมจำนวน รวมทั้งสิ้น 22 ตัว (ภาพที่ 1) โดยรวบรวมตัวอย่างปลากดเหลืองจากชาวประมงในบริเวณจุดที่กำหนดโดยใช้เครื่องมือประมงพื้นบ้าน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - กันยายน 2563 หลังจากนั้น บันทึกวันที่ สถานที่เก็บ จุดเก็บ และจำนวนตัวอย่าง โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาในการคัดแยกเบื้องต้นว่าเป็นปลากดเหลืองตามหลักอนุกรมวิธาน (Sontirat, 1984)



ภาพที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างของปลากดเหลืองในลำน้ำก่า

หมายเหตุ : จุดที่ 1 ประตุน้ำสุรัสวดี จุดที่ 2 ประตุน้ำบ้านหนองบึง จุดที่ 3 ประตุน้ำบ้านนาคู่

จุดที่ 4 ประตุน้ำบ้านนาขาม จุดที่ 5 ประตุน้ำน้ำก่าตอนล่างที่จะไหลลงไปสู่แม่น้ำโขงที่อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม

2.2 การสกัดดีเอ็นเอของประชากรปลากดเหลือง

สกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างโดยดัดแปลงตามวิธีของ Kumla (2011) นำตัวอย่างปลากดเหลืองที่เก็บรวบรวมได้มาตัดบริเวณปลายครีบหางให้มีน้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม นำครีบหางที่ตัดแช่ด้วย Absolute ethyl alcohol จากนั้นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธี Proteinase K/Phenol-Chloroform ดีเอ็นเอทั้งหมดที่สกัดได้จากเนื้อเยื่อครีบปลานำไปวัดปริมาณดีเอ็นเอ และตรวจสอบคุณภาพ ที่ความยาวคลื่นแสง 260 nm และ 280 nm โดยใช้เครื่อง spectrophotometer หากอัตราส่วน 260/280 nm มีค่าประมาณ 1.7-1.9 แสดงว่าดีเอ็นเอที่ได้นั้นมีคุณภาพดี เก็บดีเอ็นเอที่เหลือไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

2.3 ไพรมเมอร์สำหรับใช้ในปฏิกิริยาอาร์เอพีดี

ไพรมเมอร์ที่ใช้ในปฏิกิริยาอาร์เอพีดี เป็นไพรมเมอร์ขนาด 10 เบส ที่ออกแบบและผลิตโดย Operon Technologies (Alameda CA, USA) จำนวน 12 ไพรมเมอร์ โดยไพรมเมอร์เหล่านี้เป็นไพรมเมอร์แบบสุ่ม (Random or arbitrary primers) ทดสอบหาไพรมเมอร์ที่เหมาะสมโดยนำตัวอย่างดีเอ็นเอที่สกัดได้จากปลากดเหลืองทั้ง 5 ประชากรย่อย ๆ ละ 1 ตัว นำไปเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ ในปฏิกิริยา PCR โดยซีไพรมเมอร์ ครั้งละ 1 ไพรมเมอร์ ทั้ง 12 ไพรมเมอร์ เลือกไพรมเมอร์ที่ทำให้เกิดแถบดีเอ็นเอที่มีความชัดเจน มีจำนวนแถบดีเอ็นเอที่เหมาะสม สามารถทำซ้ำได้ และมีความหลากหลาย (Polymorphic) นำไพรมเมอร์ดังกล่าวไปใช้ในการทำ RAPDs fingerprint เพื่อตรวจสอบความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองในลำน้ำก่าต่อไป ซึ่งไพรมเมอร์ที่ให้ผลสม่ำเสมอและเกิดแถบขึ้นอย่างชัดเจน ทั้ง 5 ประชากร มีจำนวน 9 ไพรมเมอร์ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ใช้ในการศึกษา และอุณหภูมิในการ Annealing (TA) ของไพรเมอร์ ทั้ง 9 คู่

No.	Primers	Nucleotide sequence 5' → 3'	TA (°C)
1	OPB-07	GGTGACGCAG	37
2	OPB-10	CTGCTGGGAC	37
3	OPC-02	GTGAGGCGTC	37
4	OPC-05	GATGACCGCC	37
5	OPC-11	AAAGCTGCGG	37
6	OPC-13	AAGCCTCGTC	37
7	OPC-15	GACGGATCAG	37
8	OPC-16	CACACTCCAG	37
9	UBC122	GTAGACGAGC	37

2.4 การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองด้วยเทคนิคอาร์เอพีดี

เจือจางตัวอย่างดีเอ็นเอปลากดเหลืองที่สกัดได้จากข้อ 2.1 ให้มีความเข้มข้น 25 ng/μl นำมาเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยไพรเมอร์จำนวน 9 ชนิด (ตารางที่ 1) เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอในปฏิกิริยาพีซีอาร์ ปริมาตรรวม 10 μl ประกอบด้วย 1 μl แม่แบบดีเอ็นเอ (25 ng), 5 μl Go Taq® Green Master Mix (Promega, USA), 25mM MgCl₂, 1.6 μmol ไพรเมอร์ เติม Pure water จนได้ปริมาตร 10 μl จากนั้นทำปฏิกิริยาในเครื่องพีซีอาร์ (Gene Amp® PCR system, 9700) ประกอบด้วย อุณหภูมิ 94°C 5 นาที แล้วตามด้วยโปรแกรมการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ 3 ระดับ คือ 94°C 30 วินาที, 37°C 1 นาที, 72°C 2 นาที จำนวน 40 รอบ แล้วปรับปฏิกิริยาให้มีอุณหภูมิ 72°C 5 นาที โดยดัดแปลงตามวิธีของ Kumla (2011)

2.5 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบความแตกต่างทางพันธุกรรมของประชากรปลากดเหลืองโดยอ่านแถบดีเอ็นเอที่ปรากฏเปรียบเทียบตำแหน่งกับดีเอ็นเอมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรม Gene tools (Syngene, USA) ในการวิเคราะห์ แล้วบันทึกข้อมูล โดยกำหนดสัญลักษณ์ “1” เท่ากับการเกิดแถบดีเอ็นเอ และ “0” เท่ากับการไม่เกิดแถบดีเอ็นเอ หรือไม่มีตำแหน่งดีเอ็นเอเดียวกันนั้น แล้วนำข้อมูลที่เกิดและไม่เกิดแถบดีเอ็นเอที่บันทึกมาคำนวณค่าต่าง ๆ ดังนี้ ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม (Nei's gene diversity; H) ค่าความหลากหลายพันธุกรรมโดยรวมของประชากรทั้งหมด (Nei's gene diversity among populations: H_d) ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมเฉลี่ยภายในประชากร (Nei's gene diversity within subpopulations: H_s) ค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม (Coefficient of differentiation: G_{ST}) ค่าการถ่ายเทยีน (Gene flow: N_m) โดยใช้โปรแกรม Popgene เวอร์ชัน 1.31 (Yeh *et al.*, 1999) ค่าระยะห่างทางพันธุกรรม (Genetic distance) โดยใช้โปรแกรม NTSYS-pc 2.1 และสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการด้วยวิธี Unweighted pair group method with arithmetic means (UPGMA) (Rohlf, 2000)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

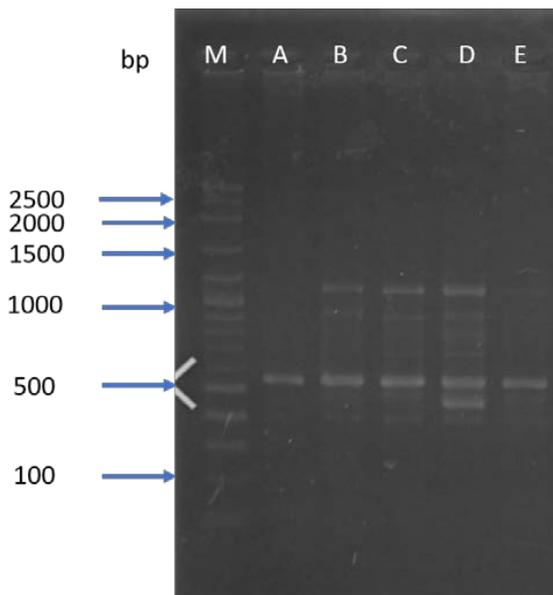
ผลการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองด้วยเทคนิคอาร์เอพีดี จากการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของปลากดเหลืองทั้งหมด 5 ประชากรย่อย โดยใช้ 9 ไพรเมอร์ คือ OPB-07, OPB-10, OPC-02, OPC-05, OPC-11, OPC-13, OPC-15, OPC-16 และ UBC122 พบขนาดของแถบดีเอ็นเอ อยู่ระหว่าง 200-2,500 คู่เบส (ภาพที่ 2) พบแถบดีเอ็นเอทั้งหมด 97 แถบ มี 95 แถบ เป็น Polymorphic loci ร้อยละ 97.94 มี Polymorphic band อยู่ระหว่างร้อยละ 46.39-81.44 (ตารางที่ 2) มีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Kumla *et al.* (2016) ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลือง *Mystus nemurus* (C & V) ในเขื่อนน้ำอูน จังหวัดสกลนคร พบแถบ

ดีเอ็นเอทั้งหมด 49 แถบ มี 23 แถบ เป็น Polymorphic loci (46.94%) มีเปอร์เซ็นต์ Polymorphic band อยู่ระหว่าง 51.11-69.77 เปอร์เซ็นต์ ขนาดของแถบดีเอ็นเอที่พบมีขนาดอยู่ระหว่าง 300-2,500 คู่ และสอดคล้องกับ Kumla *et al.* (2012) ที่ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองในประเทศไทยโดยใช้เทคนิค RAPD โดยใช้ไพรเมอร์ทั้งหมด 7 ไพรเมอร์ พบแถบดีเอ็นเอทั้งหมด 83 แถบ มีเปอร์เซ็นต์ Polymorphic band 96.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในครั้งนี้ ไพรเมอร์ที่นำมาใช้ในการศึกษาให้ polymorphic band จำนวนมาก โดยมีเปอร์เซ็นต์ polymorphic band อยู่ระหว่าง 46.39-81.44 เปอร์เซ็นต์ จึงมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอทำให้ผลที่ได้สามารถสรุปความสัมพันธ์ในระหว่างกลุ่มประชากรได้

ตารางที่ 2 จำนวนและเปอร์เซ็นต์ของ Polymorphic ในตัวอย่างปลากดเหลืองในลำน้ำก่า

Populations	Total number of band	Number of polymorphic bands	Percentage of polymorphic (%)	H
A	76	63	64.95	0.24
B	72	45	46.39	0.18
C	82	55	56.70	0.23
D	88	79	81.44	0.32
E	88	74	76.29	0.30
Total	94	95	97.94	0.37

หมายเหตุ : จุด A ประตูน้่าสุรสวัสดิ จุด B ประตูน้่าบ้านหนองบึง จุด C ประตูน้่าบ้านนาขาม
จุด D ประตูน้่าบ้านนาคู่ จุด E ประตูน้่าน้ำก่าตอนล่างที่จะไหลลงไปสู่น้่าโขงที่อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม



ภาพที่ 2 RAPD patterns ของปลากดเหลืองโดยใช้ไพรเมอร์ OPC 15

หมายเหตุ : จุดที่ A ประตูน้่าสุรสวัสดิ จุดที่ B ประตูน้่าบ้านหนองบึง จุดที่ C ประตูน้่าบ้านนาขาม
จุดที่ D ประตูน้่าบ้านนาคู่ จุดที่ E ประตูน้่าน้ำก่าตอนล่างที่จะไหลลงไปสู่น้่าโขงที่อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม

การวิเคราะห์ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองทั้ง 5 ประชากรย่อย พบความหลากหลายทางพันธุกรรม (H) สูงสุดในประชากรประตูน้่านาขาม 0.32 และความหลากหลายทางพันธุกรรมต่ำสุดในประชากรประตูน้่าบ้านหนองบึง มีค่าเท่ากับ 0.18 (ตารางที่ 3) ค่าความหลากหลายพันธุกรรมโดยรวม (H_T) ของประชากร

ปลากดเหลือง มีค่าเท่ากับ 0.37 และมีค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมเฉลี่ยภายในประชากร (H_s) เท่ากับ 0.26 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับ Kumla (2011) ศึกษาการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ปลากดเหลือง (*Mystus nemurus*) โดยใช้เทคนิค RAPD ISSR และ Microsatellite โดยศึกษาโครงสร้างทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองในประเทศไทย 4 ประชากรย่อย ได้แก่ เชียงราย ราชบุรี ขอนแก่น และสงขลา โดยใช้ไพรเมอร์ RAPD ทั้ง 7 แบบ ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม (H) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.115-0.309 ค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม (G_{ST}) และค่าการถ่ายเทยีน (N_m) รวมทั้งหมดทุกประชากรมีค่าเท่ากับ 0.46 และ 0.58 ตามลำดับ การวิเคราะห์ความแตกต่างทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองในลำน้ำก่า จำนวน 22 ตัว 5 ประชากรย่อย โดยใช้ไพรเมอร์ จำนวน 9 ไพรเมอร์ พบค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม (G_{ST}) ของประชากรปลากดเหลืองทั้ง 5 ประชากรย่อย มีค่าเท่ากับ 0.29 และค่าการถ่ายเทยีน (N_m) ระหว่างประชากรมีค่าเท่ากับ 1.22 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Kumla *et al.* (2016) ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลือง *Mystus nemurus* (C & V) ในเขื่อนน้ำอูน จังหวัดสกลนคร ซึ่งมีค่าการถ่ายเทยีนเท่ากับ 1.60 และมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Kumla *et al.* (2012) ซึ่งมีค่าการถ่ายเทยีนเท่ากับ 0.587 ทั้งนี้สาเหตุที่พบการถ่ายเทยีนสูงในการศึกษาในครั้งนี้ อาจเกิดจากลำน้ำก่ามีสิ่งกีดขวางทางภูมิศาสตร์ไม่มากนักถึงแม้ว่าจะมีประตูน้ำขวางกั้นแต่ก็มีการเปิดประตูเพื่อระบายน้ำ และมีบันไดปลาโจนทำให้ประชากรปลากดเหลืองแต่ละจุดที่ทำการศึกษา สามารถเคลื่อนย้ายไปมาผสมพันธุ์ระหว่างประชากรได้ หรืออาจเกิดจากการถ่ายเทยีนโดยมนุษย์ในการเคลื่อนย้ายลูกพันธุ์หรือพ่อแม่พันธุ์ปลาไปเลี้ยงในแต่ละพื้นที่

ตารางที่ 3 ลำดับนิวคลีโอไทด์ของไพรเมอร์ RAPD ทั้ง 9 แบบ ความแตกต่างทางพันธุกรรม และ โครงสร้างทางพันธุกรรมของทุกประชากรในลำน้ำก่า

Primer codes	Sequences (5'-3')	H_T	H_S	G_{ST}	N_m
OPB-07	GGTGACGCAG	0.46	0.30	0.34	0.96
OPB-10	CTGCTGGGAC	0.38	0.22	0.42	0.69
OPC-02	GTGAGGCGTC	0.31	0.23	0.24	1.50
OPC-05	GATGACCGCC	0.33	0.24	0.26	1.40
OPC-11	AAAGCTGCGG	0.35	0.26	0.26	1.36
OPC-13	AAGCCTCGTC	0.31	0.23	0.26	1.36
OPC-15	GACGGATCAG	0.33	0.23	0.29	1.19
OPC-16	CACACTCCAG	0.36	0.26	0.26	1.36
UBC122	GTAGACGAGC	0.43	0.32	0.25	1.45
Average		0.36	0.25	0.29	1.25
Overall populations		0.37	0.26	0.29	1.22

จากการวิเคราะห์ค่าระยะห่างทางพันธุกรรมของประชากรของปลากดเหลืองในลำน้ำก่า จำนวน 5 ประชากรย่อย พบว่าอยู่ระหว่าง 0.132-0.341 (ตารางที่ 4) โดยประชากรปลากดเหลืองที่มีค่าระยะห่างทางพันธุกรรมน้อยที่สุด ได้แก่ ประชากรประตูน้ำบ้านนาขาม กับประชากรประตูน้ำท่าตอนกลางที่จะไหลลงไปสู่มแม่น้ำโขงที่อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม ซึ่งมีค่าระยะห่างทางพันธุกรรมเท่ากับ 0.132 และประชากรที่มีค่าระยะห่างทางพันธุกรรมมากที่สุด ได้แก่ ประชากรประตูน้ำสุรศักดิ์กับประชากรประตูน้ำบ้านนาคู มีค่าระยะห่างทางพันธุกรรมเท่ากับ 0.341 (ตารางที่ 4) ซึ่งถือว่ามีค่าต่ำมาก ($D = 1.00$) และมีค่าระยะห่างทางพันธุกรรมที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Leesanga *et al.* (2004) ซึ่งศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมในปลากดเหลือง 9 ประชากรด้วยเทคนิค RAPD รายงานว่ามีค่าระยะห่างทางพันธุกรรมอยู่ระหว่าง 0.087-0.283 และ Kumla *et al.* (2016) ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองในเขื่อนน้ำอูน จังหวัดสกลนคร จำนวน 3 เขต ด้วยเทคนิค RAPD รายงานว่ามีค่าระยะห่างทางพันธุกรรมอยู่ระหว่าง

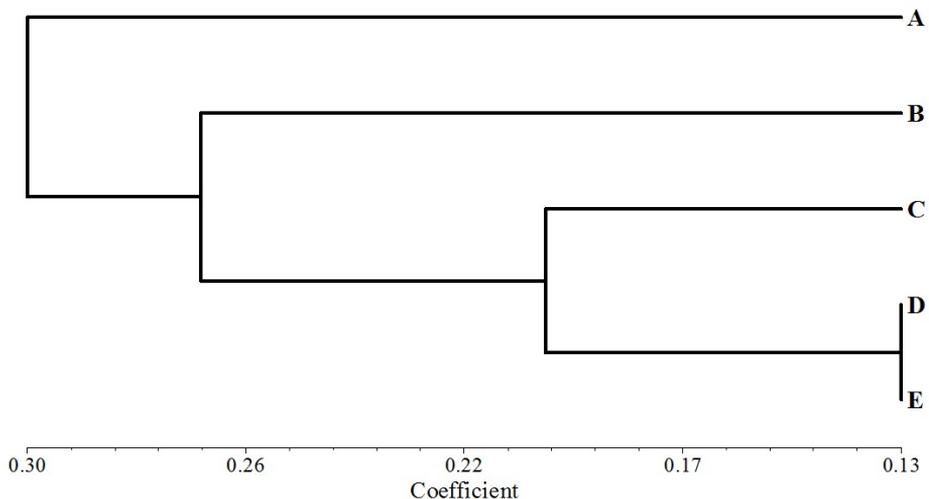
0.05-0.10 และสอดคล้องกับ Hanpongkittikul (2017) ศึกษาโครงสร้างประชากรและความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองและปลาสร้อยนกเขาในลำน้ำก่ำ โดยใช้เทคนิคไมโครแซทเทลโลไต์ไพเรเมอร์ทั้งหมด 6 ตำแหน่ง ได้แก่ Hw04, Hw08 Hw25, Hw26, Hw32 และ Hw35 จากการศึกษพบว่ามีความแตกต่างทางพันธุกรรม อยู่ระหว่าง 0.1077-0.2395

ตารางที่ 4 ค่าระยะห่างทางพันธุกรรมของประชากรของปลากดเหลืองในลำน้ำก่ำ

ประชากร	A	B	C	D	E
A	0.000				
B	0.323	0.000			
C	0.341	0.287	0.000		
D	0.267	0.258	0.185	0.000	
E	0.270	0.256	0.216	0.132	0.000

หมายเหตุ : จุด A ประตูน้้ำสุร้้ำดี จุด B ประตูน้้ำบ้านหนองบ้ิ่ง จุด C ประตูน้้ำบ้านนาขาม จุด D ประตูน้้ำบ้านนาคู่
จุด E ประตูน้้ำน้ำก่ำตอนล่างที่จะไหลลงไปสู่มแม่้้ำโขงที่อำเภอธาตุนม จังหวัดนครพนม

เมื่อนำข้อมูลความหลากหลายของชิ้นส่วนดีเอ็นเอ (DNA fragment data) มาวิเคราะห์ระยะห่างทางพันธุกรรมด้วยวิธี Nei's genetic distance และแผนภาพ Phylogenetic tree (ภาพที่ 2) ด้วยโปรแกรม NTSYS-PC version 2.01 สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1) ประตูน้้ำสุร้้ำดี (A) และกลุ่มที่ 2) ประตูน้้ำบ้านหนองบ้ิ่ง (B) ประตูน้้ำบ้านนาคู่ (C) ประตูน้้ำบ้านนาขาม (D) และประตูน้้ำน้ำก่ำตอนล่าง (E) อย่างก็ตามในกลุ่มที่ 2 สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มย่อย คือ 1) ประตูน้้ำบ้านหนองบ้ิ่ง (B) 2) ประตูน้้ำบ้านนาคู่ (C) และ 3) ประตูน้้ำบ้านนาขาม (D) และประชากรประตูน้้ำน้ำก่ำตอนล่างที่จะไหลลงไปสู่มแม่้้ำโขงที่อำเภอธาตุนม จังหวัดนครพนม (E) จากแผนภาพ Phylogenetic tree (ภาพที่ 2) พบว่าประชากรปลากดเหลืองประตูน้้ำบ้านนาขาม (D) มีความใกล้ชิดทางพันธุกรรมกับประชากรปลากดเหลืองประตูน้้ำน้ำก่ำตอนล่างที่จะไหลลงไปสู่มแม่้้ำโขงที่อำเภอธาตุนมจังหวัดนครพนม (E)



ภาพที่ 3 แผนผังความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมโดยวิธี UPGMA
ของประชากรปลากดเหลืองในลำน้ำก่ำ

หมายเหตุ : จุด A ประตูน้้ำสุร้้ำดี จุด B ประตูน้้ำบ้านหนองบ้ิ่ง จุด C ประตูน้้ำบ้านนาคู่ จุด D ประตูน้้ำบ้านนาขาม
จุด E ประตูน้้ำน้ำก่ำตอนล่างที่จะไหลลงไปสู่มแม่้้ำโขงที่อำเภอธาตุนม จังหวัดนครพนม

4. สรุป

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าปลากดเหลืองที่รวบรวมมาจาก 5 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ประตุน้ำสุรัสวดี ประตุน้ำบ้านหนองบึง ประตุน้ำบ้านนาคู ประตุน้ำบ้านนาขาม และประตุน้ำน้ำท่าตอนล่างที่จะไหลลงไปสู่อำเภอในลำน้ำท่า โดยใช้เทคนิค RAPD สรุปได้ดังนี้ ประชากรปลากดเหลืองในลำน้ำท่ามีลักษณะทางพันธุกรรมแตกต่างกันค่อนข้างต่ำ สังเกตได้จากค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม ค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม และค่าระยะห่างทางพันธุกรรม สามารถสรุปความสัมพันธ์ของปลากดเหลืองทั้ง 5 ประชากร ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มที่ 1 ประตุน้ำสุรัสวดี และกลุ่มที่ 2 ประตุน้ำบ้านหนองบึง ประตุน้ำบ้านนาคู ประตุน้ำบ้านนาขาม และประตุน้ำน้ำท่าตอนล่าง ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นข้อมูลที่สำคัญ สำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรปลากดเหลือง ทั้งในด้านการเพาะเลี้ยงเพื่อนำไปสู่การพัฒนาการเลี้ยงปลากดเหลืองในเชิงพาณิชย์ เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงพันธุ์ และเพื่อการอนุรักษ์ปลากดเหลืองในลำน้ำท่าต่อไปในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความสนับสนุนจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุกัญญา คำหล้า อาจารย์ประจำคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ที่ช่วยแก้ไขและให้คำแนะนำ ซึ่งทำให้งานวิจัยฉบับนี้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- Amatyakul, C., Benjakarn, M., Sriwattana, W., Sumanochitphon, S., Sriphattharaprasit, P., Jeso, S., Sihiranwong, A., Sihirunwong, S., Kasisuwan, S., & Leelawiwat, W. (1995). **Yellow catfish**. Bangkok: Inland Fisheries Division Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives Publishers. (in Thai)
- Bala, B., Mallik, M., Saclain, S., & Islam, M.S., (2017). Genetic variation in wild and hatchery populations of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) revealed by randomly amplified polymorphic DNA markers. **J Genet Eng Biotechnol**, 15(1), 23-30.
- Hanpongkittikul A. (2017). **Management of Watergate to Enhance Fisheries In the Nam Kam River System, Thailand**. (Doctoral Thesis). University of Hull. England.
- Kasiswan, S., Ruangkul, J., & Chesoh, S. (2000). **Effect of Salinity on Growth and Survival Rate of Green Catfish, *Mystus filamentus*, Juvenile during Nursing Period**. Pattani: Pattani Inland Fisheries Development Center Publishers. (in Thai)
- Klinbunga, S., Ampayup, P., Tassanakajon, A., Jarayabhand, P., & Yoosukh, W., (2000). Development of species-specific markers of tropical oyster (*Crassostrea belcheri*) in Thailand. **Marine Biotechnology**, 2, 476-484.
- Kumla, S. (2011). **Select of Yellow catfish (*Mystus nemurus*) Broodstock by Using RAPD, ISSR and Microsatellite**. (Doctoral Thesis) Khon Kaen University. Khon Kaen. (in Thai)
- Kumla S., Doolgindachbaporn S., Sudmoon R., & Sattayasai N. (2012). Genetic variation, population structure and identification of yellow catfish, *Mystus nemurus* (C&V) in Thailand using RAPD, ISSR and SCAR marker. **Molecular Biology Report**. 39, 501-510.
- Kumla, S., Rayan, S., & Chartchumni, B. (2016). Genetic diversity of Yellow Catfish, *Mystus nemurus* (C&V), in Nam Oun Dam, Sakon Nakhon Province. **Research Journal**. 9(1). (in Thai)

- Leesanga, S, Siraj, S.S., Daud, S.K., Tan, S.G. & Harmin S.A. (2004). Intraspecific polymorphism in *Mystus nemurus* (C&V) detected by RAPD-PCR fingerprinting. **Pertanika Journal Tropical Agriculture Science** **27**, 11-20.
- Mahboob, S., Al-Ghanim, K.A., Al-Misned, F., Al-Balawi, H.F.A., Ashraf, A., & Al-Mulmim, M.A.A. (2019). Genetic diversity in tilapia populations in a freshwater reservoir assayed by randomly amplified polymorphic DNA markers. **Saudi J Biol Sci**, **26**(2), 363-367.
- Phomikong, P. (2014). **Assessment of the Effects of Dam Construction Schemes on Freshwater Fish Diversity and Abundance in the Lower Mekong tributaries, Thailand**. (Doctoral thesis). Ubon Ratchathani University. Ubon Ratchathani. (in Thai)
- Phromkunthong, W., & Midcadee, M. (2001). Effects of Linolenic Acid and Linoleic Acid on Growth, Fatty Acid Composition and Histological Changes in Green Catfish (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.). **Songklanakar Journal of Science and Technology**, **23**(1), 37-54. (in Thai)
- Pongsri, C., Thongpan, W., Sricharoendham, B., Ngoichansri, S., & Suwanpeng, N. (2008). Assessment on upstream migration via fish ladders in the Nam Kam river for fish ladder and fisheries resources management. **Journal of Fisheries Research**, **61**(5), 421-430. (in Thai)
- Sontirat, S. (1984). **Biology of Fish**. Bangkok: Faculty of Fisheries, Kasetsart University Publishers. (in Thai)
- Thephakone, B. (2005). **Development of Cuturing Green Catfish, *Mystus nemurus***. (Masteral thesis) Khon Kaen University. Khon Kaen. (in Thai)
- Rohlf, F.J. (2000). Numerical taxonomy and Multivariate Analysis System. NTSYS-pc. Department of Ecology and Evolution. State University of New York. New York. United States of America.
- Yeh, F.C. & Yang, R.C. (1999). **POPGENE VERSION 1.32 Microsoft Window-based freeware for Population Genetic Analysis, Quick User Guide**. University of Alberta and Tim Boyle, Centre for International Forestry Research. <http://www.ualberta.ca/~fyeh/fyeh/>.

(Received: 10/Jan/2024, Revised: 4/Jun/2024, Accepted: 11/Jun/2024)

ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบัว *Nymphaea* ‘Aurora’ Effect of Plant Growth Regulators on Micropropagation of *Nymphaea* ‘Aurora’

เยาวมาลย์ นามใหม่^{1*} เสาวณีย์ บัวโชน³ และ พนารัตน์ ทองเพิ่ม²

Nammai Yaowamal^{1*}, Buatone Saowanee³ and Thongpoem Panarat²

¹ กองกลาง ฝ่ายพิพิธภัณฑ์บัว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษารังสิต

¹ Department Lotus and Waterlily Museum, General Administration Division, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

² Department Biology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

³ Rangsit Science Center for Education

*E-mail: nyaowamal19@gmail.com โทรศัพท์ 0849097796

บทคัดย่อ

บัวเป็นพรรณไม้น้ำที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในกลุ่มไม้น้ำ เนื่องจากดอกมีความสวยงาม จัดเป็นพืชน้ำที่มีมูลค่ามากที่สุด บัว *Nymphaea* ‘Aurora’ เป็นบัวฝรั่งลูกผสม ดอกมีขนาดเล็ก และให้ดอกตก เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชถูกนำมาใช้ในการขยายพันธุ์พืชเพื่อให้ได้ลักษณะที่ตรงตามพันธุ์และเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการพอกฆ่าเชื้อที่เหมาะสมของเหง้าและยอดอ่อน ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำให้เกิดยอด ราก และการชักนำให้เกิดแคลลัส ในสภาวะปลอดเชื้อบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS แบบกึ่งแข็ง และแบบอาหารเหลวด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงระบบไบโอรีเอคเตอร์แบบท่วมชั่วคราว (Temporary Immersion Bioreactor System, TIBs) พบว่า วิธีการพอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนเหง้าด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ นาน 20 นาที ตามด้วยสารละลายเมทิลคลอไรด์ 0.2 เปอร์เซ็นต์ นาน 10 นาที เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีอัตราการปลอดเชื้อร้อยละ 100 และอัตราการรอดชีวิตร้อยละ 86.67 ต้นอ่อนจากชิ้นส่วนเหง้าสามารถชักนำยอดและใบได้ดีกว่าส่วนยอดอ่อน การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบัวในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม BAP ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ IAA ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ ด้วยระบบไบโอรีเอคเตอร์แบบท่วมชั่วคราว พบว่า สามารถชักนำยอดได้มากกว่าวิธีการเพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์แบบกึ่งแข็ง เกิดยอดและใบได้มากที่สุด จำนวน 1.78 ยอด 14.00 ใบ ในระยะเวลา 6 สัปดาห์ สำหรับผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำให้เกิดราก พบว่า อาหารสังเคราะห์สูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ สามารถชักนำรากสูงสุด 16.22 ราก และผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำแคลลัสในการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนใบอ่อน ยอดอ่อน และราก บนอาหารสังเคราะห์สูตร MS แบบกึ่งแข็ง ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.5 ไมโครโมลาร์ พบว่า เนื้อเยื่อส่วนใบ และส่วนราก มีเนื้อเยื่อลักษณะพองขยายขนาดใหญ่ขึ้นแต่ไม่พัฒนาเป็นแคลลัส

คำสำคัญ : บัวฝรั่ง สารควบคุมการเจริญเติบโต ไบโอรีเอคเตอร์ แคลลัส

Abstract

Waterlilies (*Nymphaea* spp.) are among the most popular aquatic plants due to their beautiful flowers, making them highly valued. The *Nymphaea* ‘Aurora’ is a hybrid hardy Waterlilies with small flowers that bloom profusely. Plant tissue culture technology has been employed in propagating plants to achieve desired characteristics and rapidly increase their numbers. This research

aims to investigate appropriate sterilization methods for the rhizomes and young shoots. It also examines the effects of growth regulators on root induction and callus induction in aseptic conditions using MS medium by semi-solid and liquid with temporary immersion bioreactor systems (TIBs). It was found that the most effective method for sterilizing the rhizome explants involved using 10 percent sodium hypochlorite solution for 20 minutes, followed by 0.2 percent mercuric chloride solution for 10 minutes. This method achieved a 100 percent sterility rate and an 86.67 percent survival rate. The shoots from the rhizome parts were able to induce shoots and leaves better than the young shoots. Tissue culture of the dwarf Waterlilies in liquid MS medium supplemented with 10 μ M BAP (6-Benzylaminopurine) and 5 μ M IAA (Indole-3-acetic acid) using a temporary immersion bioreactor system showed that shoot induction was higher than on semi-solid medium. This method produced the highest number of shoots and leaves, with 1.78 shoots and 14.00 leaves within six weeks. Regarding the effect of growth regulators on root induction, MS medium supplemented with 10 μ M NAA (Naphthaleneacetic acid) induced the highest number of roots, with 16.22 roots. Concerning the effect of growth regulators on callus induction in young leaf, young shoot, and root cultures on semi-solid MS medium supplemented with 6 μ M TDZ (Thidiazuron) and 0.5 μ M NAA, it was found that the leaf and root tissues enlarged but did not develop into callus.

Keywords : Hardy waterlilies, Plant growth regulators, Bioreactor, Callus

1. บทนำ

บัวอุบลชาติ (*Nymphaea* spp.) เป็นพรรณไม้มีน้ำที่มีดอกสวยงาม ได้รับการยกย่องให้เป็นราชินีแห่งพันธุ์ไม้น้ำ จัดเป็นพืชที่มีมูลค่ามากที่สุด มีศักยภาพในการผลิตเป็นไม้ดอกไม้ประดับเพื่อการค้า สามารถพัฒนาเป็นพืชเศรษฐกิจของไทย เนื่องจากสีถิ่นและรูปทรงหลากหลาย สามารถนำมาจัดสวนหรือมุมพักผ่อนซึ่งได้รับความนิยมทั้งภายในและต่างประเทศ เป็นสินค้าส่งออกที่มีอนาคตดี ตลาดต่างประเทศมีความต้องการสูง เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีมูลค่าการส่งออกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี 2561 พืชสกุล *Nymphaea* มีการส่งออกมากเป็นอันดับที่สองของพรรณไม้น้ำ มีการส่งออก (เฉพาะที่มีใบรับรองสุขอนามัย) จำนวน 420,983 ต้น คิดเป็นมูลค่า 5,810,405 บาท (Rodloy, 2020) บัว *Nymphaea* 'Aurora' เป็นอุบลชาติยืนต้นบานกลางวัน หรือบัวฝรั่ง เป็นบัวลูกผสมระหว่างระหว่าง *Nymphaea alba* กับ *Nymphaea mexicana* ดอกมีขนาดเล็ก (แคระ) ขนาดเหรียญสิบบาท ให้ดอกดก ใช้พื้นที่น้อยในการปลูก ไม่ต้องดูแลมาก จึงสามารถปลูกเลี้ยงตามอาคารบ้านเรือนได้อย่างไร้ที่ติตามการขยายพันธุ์โดยวิธีธรรมชาติต้องใช้เวลาและผลผลิตมีปริมาณไม่สม่ำเสมอ ตลอดจนปัญหาเรื่องโรคศัตรูพืชที่ติดมากับต้นพันธุ์ เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ขยายพันธุ์พืชปริมาณมาก ในระยะเวลาสั้น ผลผลิตที่ได้มีความสม่ำเสมอ ต้นกล้าปลอดโรค คุณภาพดี และคงเอกลักษณ์ของสายพันธุ์เดิมไว้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ปรับปรุงพันธุ์เมื่อใช้วิธีมาตรฐานได้ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ รวมถึงการเก็บรักษาพันธุ์กรรม และการสกัดสารเพื่อนำมาผลิตยาหรือสารเคมี การนำเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชร่วมกับการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตมาใช้ในการขยายพันธุ์เพื่อให้ได้ตรงตามพันธุ์ (Masaki *et al.*, 2016) โดยวิธีการชักนำให้เกิดแคลลัส ซึ่งแคลลัสที่ได้นอกจากสามารถผลิตต้นกล้าได้ปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้นแล้ว ยังสามารถนำไปศึกษาเกี่ยวกับสารออกฤทธิ์ทางธรรมชาติ (Bioactive compounds) โดยเฉพาะสารทุติยภูมิ (Secondary metabolite) ที่มีสรรพคุณทางยา เป็นต้น (Thanonkaew *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบัวบนอาหารกึ่งแข็ง ชักนำให้ได้ต้นพันธุ์ในปริมาณน้อย การใช้เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อด้วยระบบไปโอรีแอคเตอร์แบบท่วมชั่วคราว (temporary immersion bioreactor, TIBs) จึงถูกนำมาใช้ในการวิจัยร่วมกับการเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็ง ซึ่งการเพาะเลี้ยงด้วยวิธีนี้เป็นระบบเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่มีการให้อาหารเหลวในการเพาะเลี้ยง

เป็นช่วงเวลาเพื่อไม่ให้ต้นพืชจมอยู่ในอาหารเหลวตลอด เป็นการลดการฉ่ำน้ำของต้นพืช (Teanchartsakul *et al.*, 2019) ช่วยแก้ปัญหาในด้านการผลิตต้นพันธุ์ให้เพียงพอต่อความต้องการ มีคุณภาพและมาตรฐาน ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการพอกฆ่าเชื้อ และผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำการเกิดยอดบนอาหารกึ่งแข็งและวิธีไบโอรีแอกเตอร์แบบท่วมชั่วคราว การชักนำการเกิดราก และชักนำแคลลัส บั้ว *Nymphaea* 'Aurora' ซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปต่อยอดในการเพิ่มปริมาณต้นอ่อนบั้วสำหรับเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งได้ต่อไป

2. วิธีการทดลองหรือวิธีการศึกษา

2.1 ศึกษาวิธีการพอกฆ่าเชื้อ

นำต้นอ่อนบั้วที่ปลูกเพาะเลี้ยงไว้ในกระถาง อายุประมาณ 6 เดือน มาทำความสะอาดได้นำไหล ล้างดินและสิ่งสกปรกออก ตัดชิ้นส่วนแยกเป็นเหง้าและยอดอ่อน จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดที่ผสมสารซักฟอก (น้ำยาล้างจานทีโพล์ ประมาณ 1 หยด ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร) ตัดแต่งชิ้นส่วนที่ไม่ใช้ทิ้งไป ล้างด้วยน้ำสะอาด โดยปล่อยน้ำไหลผ่าน 2 ชั่วโมง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) แบ่งเป็นการพอกฆ่าเชื้อเหง้า 3 วิธีการทดลอง และการพอกฆ่าเชื้อยอดอ่อน 3 วิธีการทดลอง แต่ละวิธีการทดลองมี 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมีจำนวน 5 ชิ้น

2.1.1 การพอกฆ่าเชื้อเหง้า นำเหง้าแช่ในเอธิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ นาน 1 นาที

วิธีการที่ 1 แช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่เติม Tween 20 จำนวน 2 หยด นาน 20 นาที ตามด้วยสารละลายเมอคิวริกคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ที่เติม Tween 20 จำนวน 2 หยด นาน 10 นาที (Noimai, 2012)

วิธีการที่ 2 แช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่เติม Tween 20 จำนวน 2 หยด นาน 20 นาที ตามด้วยสารละลายเมอคิวริกคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ ที่เติม Tween 20 จำนวน 2 หยด นาน 10 นาที (ดัดแปลงจาก Noimai, 2012)

วิธีการที่ 3 แช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ที่เติม Tween 20 จำนวน 2 หยด นาน 20 นาที ตามด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่เติม Tween 20 จำนวน 2 หยด นาน 10 นาที

2.1.2 การพอกฆ่าเชื้อยอดอ่อน นำยอดอ่อนแช่ในเอธิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ นาน 30 วินาที

วิธีการที่ 1 แช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ ที่เติม Tween 20 จำนวน 2 หยด นาน 10 นาที (ดัดแปลงจาก Noimai, 2012)

วิธีการที่ 2 แช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่เติม Tween 20 จำนวน จำนวน 2 หยด นาน 15 นาที (ดัดแปลงจาก Noimai, 2012)

วิธีการที่ 3 แช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่เติม Tween 20 จำนวน 2 หยด นาน 15 นาที ตามด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ที่เติม Tween 20 จำนวน 2 หยด นาน 10 นาที (Noimai, 2012)

นำชิ้นส่วนที่ได้จาก 2.1.1 และ 2.1.2 ล้างด้วยน้ำกลั่นที่นิ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง นานครั้งละ 5 นาที แล้วจึงนำไปเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ให้แสงสีขาวความเข้มแสง (PPFD) $87.34 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน บันทึกผลการปลอดเชื้อ และการรอดชีวิต หลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 2 สัปดาห์

คำนวณเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต} = \frac{\text{จำนวนชิ้นส่วนที่ปลอดเชื้อและมีชีวิต} \times 100}{\text{จำนวนชิ้นส่วนที่ใช้พอกทั้งหมด}} \quad (1)$$

2.2 ศึกษาการควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำการเกิดยอด

2.2.1 วางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีผลต่อการชักนำการเกิดยอดในสภาพปลอดเชื้อ วิธีการเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BAP ความเข้มข้น 0, 5 และ 10 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ IAA ความเข้มข้น 0, 5 และ 10 ไมโครโมลาร์ (Noimai, 2012) และวิธีการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวระบบไบโอรีเอคเตอร์แบบท่วมชั่วคราว สูตรอาหารที่มีระดับความเข้มข้นต่างกัน 6 สิ่งทดลอง แต่ละสิ่งทดลองมี 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 3 ชั้น

2.2.2 วิธีดำเนินการ

2.2.1.1 นำชิ้นส่วนเหง้าและยอดอ่อนที่ปลอดเชื้อ เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BAP ความเข้มข้น 0, 5 และ 10 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ IAA ความเข้มข้น 0, 5 และ 10 ไมโครโมลาร์ เททับด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

2.2.1.2 นำชิ้นส่วนเหง้าและยอดอ่อนที่ปลอดเชื้อ เพาะเลี้ยงในระบบไบโอรีเอคเตอร์แบบท่วมชั่วคราว เป็นวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ใช้ระบบการให้อาหารพืชแบบท่วมทุกส่วนตามช่วงเวลา และระยะเวลาที่กำหนด ระบบการทำงานแบบอัตโนมัติ ลักษณะแบบขวดแฝด อาหารและเนื้อเยื่อบัวแยกกันเป็นสองส่วนวางเรียงในแนวตั้ง โดยขวดบนคว่ำลงให้ปากขวดตรงกับขวดล่างมีจุกยางปิด และเชื่อมต่อกันด้วยท่อสแตนเลส เพื่อให้มีการดันอาหารไปและกลับด้วยแรงลมจากปั๊มลม พร้อมชุดกรองอากาศขนาด 0.2 ไมครอน ให้อาหารเหลวสูตร MS ที่เติม BAP ความเข้มข้น 0, 5 และ 10 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ IAA ความเข้มข้น 0, 5 และ 10 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้งต่อวัน เป็นเวลานาน 1 นาที

2.2.1.3 เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ให้แสงสีขาวความเข้มแสง (PPFD) $87.34 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน บันทึกจำนวนยอดที่มีความยาวตั้งแต่ 0.5 เซนติเมตรขึ้นไป และจำนวนใบเมื่อครบ 6 สัปดาห์

2.3 ศึกษาการควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำการเกิดนาราก

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของ NAA ที่มีต่อการชักนำราก แบ่งเป็น 3 สิ่งทดลอง แต่ละสิ่งทดลองมี 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 3 ชั้น โดยการนำยอดที่ได้จากการทดลองที่ 2.2 มาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 0, 5 และ 10 ไมโครโมลาร์ (Noimai, 2012) เททับด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อปริมาตร 100 มิลลิลิตร เพาะเลี้ยงภายใต้อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ให้แสงสีขาวความเข้มแสง (PPFD) $87.34 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน บันทึกจำนวนราก เมื่อครบ 8 สัปดาห์

2.4 ศึกษาการควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำแคลลัส

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ชิ้นส่วนเนื้อเยื่อ ใบอ่อน ยอดอ่อน และราก และสูตรอาหาร 2, 4-D ร่วมกับ BAP และ TDZ ร่วมกับ NAA ที่มีระดับความเข้มข้นต่างกัน 16 สิ่งทดลอง แต่ละสิ่งทดลองมี 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 3 ชั้น โดยนำต้นอ่อนที่ได้จากการชักนำยอดและราก แخذในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0, 15, 25 และ 50 ไมโครโมลาร์ วางบนเครื่องเขย่าความเร็ว 135 รอบต่อนาที สภาวะให้แสง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดชิ้นส่วนใบอ่อน ยอดอ่อน และราก ให้มีขนาดความยาวประมาณ 1.0 เซนติเมตร เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม 2, 4-D ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ BAP ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 ไมโครโมลาร์ และอาหารที่เติม TDZ ความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 ไมโครโมลาร์ แต่ละสูตรอาหารเลี้ยงแบบให้แสงสว่าง ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส บันทึกผลการเกิดลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อ เมื่อครบ 8 สัปดาห์

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการพอกฆ่าเชื้อ

จากการพอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนเหง้าบัว *Nymphaea 'Aurora'* ด้วยสารพอกฆ่าเชื้อที่แตกต่างกัน 3 วิธีการทดลองพบว่าทุกวิธีการทดลอง มีผลต่อการปลอดเชื้อและการรอดชีวิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยวิธีที่สามารถทำให้ชิ้นส่วนเหง้าปลอดเชื้อและรอดชีวิตมากที่สุด ได้แก่ การพอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ นาน 20 นาที ตามด้วยสารละลายเมอคิวริกคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ นาน 10 นาที ชิ้นส่วนปลอดเชื้อและรอดชีวิต 100 และ 86.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ การพอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ นาน 20 นาที ตามด้วยสารละลายเมอคิวริกคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ นาน 10 นาที ชิ้นส่วนปลอดเชื้อและรอดชีวิต 80 และ 66.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่การพอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ นาน 20 นาที ตามด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ นาน 10 นาที มีความปลอดเชื้อและรอดชีวิตน้อยที่สุด (33.33 และ 13.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (ตารางที่ 1) การพอกฆ่าเชื้อไม้้ำชนิดต่าง ๆ นิยมพอกฆ่าเชื้อ 2 ครั้ง เนื่องจากส่งผลให้ชิ้นส่วนปลอดเชื้อจุลินทรีย์มากยิ่งขึ้น ซึ่งการใช้เมอคิวริกคลอไรด์ร่วมในการพอกฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีโดยเฉพาะเชื้อรา (Ramakrishna *et al.*, 1991) เมอคิวริกคลอไรด์ (Mercuric chloride, $HgCl_2$) เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติในการกำจัดจุลินทรีย์ การใช้เมอคิวริกคลอไรด์ในกระบวนการพอกฆ่าเชื้อ จะทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีน เมอคิวริกคลอไรด์จะเชื่อมต่อกับโปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้โปรตีนเกิดการสลายและทำให้กระบวนการของเซลล์ต่าง ๆ เสียหาย เกิดการยับยั้งเอนไซม์ ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับเมตาบอลิซึมและการอยู่รอดของจุลินทรีย์ และทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ จุลินทรีย์ ทำให้เนื้อเยื่อภายในร่วงไหลและเซลล์ตายได้ (Smith and Johnson, 2020) อย่างไรก็ตามเมอคิวริกคลอไรด์เป็นสารที่มีส่วนผสมของโลหะหนัก มีอันตรายต่อผู้ใช้และการกำจัดทิ้งค่อนข้างยาก จึงต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง จึงไม่นิยมใช้ในการพอกฆ่าเชื้อพืชทั่วไป ยกเว้นในไม้้ำที่นำชิ้นส่วนมาจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยเฉพาะบัวซึ่งเจริญในดินเหนียวหรือโคลนจะมีการปนเปื้อนสูงกว่าพรรณไม้้ำที่มีการเจริญเติบโตเหนือน้ำ (Thongpoem *et al.*, 2020) ขณะที่การใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ พอกฆ่าเชื้อจำนวน 2 ครั้ง เป็นสภาวะการฆ่าเชื้อที่รุนแรงเกินไปสำหรับบัว การใช้สารพอกฆ่าเชื้อที่มีความเข้มข้นสูง หรือระยะเวลาาน อาจมีผลทำลายเนื้อเยื่อเจริญ การฆ่าเชื้อจึงต้องใช้สารพอกในระดับความเข้มข้นมากที่สุดเท่าที่จะไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อ และใช้เวลาในการพอกฆ่าเชื้อให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำให้อายุการใช้งานสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ (Noimai, 2012)

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์การปลอดเชื้อและการรอดชีวิตของเหง้าบัว *Nymphaea* 'Aurora' ฟอกฆ่าเชื้อ 3 วิธีการ และเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 2 สัปดาห์

วิธีการ	การปลอดเชื้อ (%)	การรอดชีวิต (%)
1	80.00±11.55 ^a	66.67±13.33 ^a
2	100.00±0.00 ^a	86.67±13.33 ^a
3	33.33±6.67 ^b	13.33±6.67 ^b
F-test	*	*
CV%	44.72	66.81

* = significant at (P ≤ 0.05)

1: 10% NaOCl 20 min and 0.1% HgCl₂ 10 min, 2: 10% NaOCl 20 min and 0.2% HgCl₂ 10 min

3: 20% NaOCl 20 min and 10% NaOCl 10 min

การฟอกฆ่าเชื้อยดอ่อนของบัว *Nymphaea* 'Aurora' ด้วยสารฟอกฆ่าเชื้อที่แตกต่างกัน 3 วิธีการทดลองพบว่า ทุกวิธีการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) โดยวิธีการฟอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลายไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ นาน 15 นาที ตามด้วยสารละลายไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 10 นาที พบชิ้นส่วนมีความปลอดเชื้อสูงสุด (80 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่การฟอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลายไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ นาน 10 นาที ชิ้นส่วนมีการรอดชีวิตสูงสุด (60 เปอร์เซ็นต์) (ตารางที่ 2) จะเห็นได้ว่าระยะเวลาการฟอกฆ่าเชื้อ มีผลต่อการรอดชีวิตของยดอ่อน การฟอกฆ่าเชื้อระยะเวลาสั้นหรือฟอกฆ่าเชื้อ 2 ครั้ง จึงเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อ ทำให้เนื้อเยื่อยดอ่อนตายได้

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การปลอดเชื้อและรอดชีวิตของยดอ่อนบัว *Nymphaea* 'Aurora' ฟอกฆ่าเชื้อ 3 วิธีการ และเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 2 สัปดาห์

วิธีการ	การปลอดเชื้อ (%)	การรอดชีวิต (%)
1	60.00±11.55	60.00±11.55
2	73.33±6.67	33.33±6.67
3	80.00±11.55	46.67±13.33
F-test	ns	ns
CV%	24.80	42.85

ns = non- significant at (P ≤ 0.05)

1: 15% NaOCl 10 min, 2: 10% NaOCl 15 min, 3: 10% NaOCl 15 min and 5% NaOCl 10 min

3.2 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำยด

3.2.1 การชักนำการเกิดยดจากชิ้นส่วนเหง้า

จากการชักนำการเกิดยดจากชิ้นส่วนเหง้าของบัว *Nymphaea* 'Aurora' บนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BAP และ IAA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในสภาพที่ปลอดเชื้อ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า ทุกวิธีการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BAP ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ IAA 10 ไมโครโมลาร์ สามารถชักนำให้เกิดยดจำนวน 1.0 ยด และจำนวนใบสูงสุด 6.78 ใบ ในอาหารที่เติม BAP ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ IAA 10 ไมโครโมลาร์ ในขณะที่อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต เกิดยดน้อยที่สุด จำนวน 0.78 ยด (ตารางที่ 3) ทั้งนี้อาหารที่เติม BAP ร่วมกับ IAA เป็นปฏิกริยาระหว่าง 2 ปัจจัย ซึ่งมีอิทธิพลร่วมกันต่อการชักนำการเกิดยดอย่างมี

นัยสำคัญ และการเพิ่มจำนวนใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ใน *Nymphaea lotus* var. *thermalis* (DC.) สามารถเกิดยอดได้ ร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต ซึ่งเกิดยอดเพียงร้อยละ 30 (Blidar *et al.*, 2017)

การชักนำการเกิดยอดจากชิ้นส่วนเหง้าในอาหารเหลวด้วยระบบไบโอรีเอคเตอร์แบบท่วมชั่วคราว พบจำนวน ยอดและใบเฉลี่ยสูงสุด ในอาหารเหลวที่เติม BAP 10 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ IAA 5 ไมโครโมลาร์ มีจำนวนยอดและใบ เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.78 ยอด และ 14.00 ใบ ตามลำดับ (ตารางที่ 3 ภาพที่ 1) โดยเฉพาะจำนวนใบมีความแตกต่างอย่าง มีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) มีการพัฒนายอด ใบ และก้านใบอย่างเห็นได้ชัด การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในอาหารเหลวด้วยระบบ ไบโอรีเอคเตอร์นี้ ทำให้พืชได้รับอาหารอย่างเต็มที่และเจริญเติบโตได้รวดเร็ว สามารถเพิ่มมวลของเนื้อเยื่อเจริญต่าง ๆ แยกยอดได้ดี และมีแนวโน้มให้ชิ้นส่วนมีการเจริญเติบโตได้ดี (Sanguandikul *et al.*, 2018) และเร็วกว่าการเพาะเลี้ยง บนอาหารกึ่งแข็ง

3.2.2 การชักนำการเกิดยอดจากยอดอ่อน

การชักนำการเกิดยอดจากยอดอ่อนของบัว *Nymphaea* 'Aurora' บนอาหารกึ่งแข็งที่เติมสารควบคุมการเจริญ เติบโต BAP และ IAA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อาหารกึ่งแข็ง สูตร MS ที่เติม BAP ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ IAA 5 ไมโครโมลาร์ มีจำนวนยอดและใบเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.11 ยอด และ 5.67 ใบ ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ใกล้เคียงกับรายงานของ Noimai (2012) การใช้ BAP ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ IAA 10 ไมโครโมลาร์ สามารถชักนำให้เกิดยอดจากยอดอ่อนของบัวผลองขวัญได้จำนวน 2.3 ยอด ภายในเวลา 6 สัปดาห์ พืชแต่ละชนิดตอบสนองสารควบคุมการเจริญเติบโตได้แตกต่างกัน พืชส่วนใหญ่จะตอบสนองต่อ การสร้างตาข้างหรือสร้างยอดได้ดีเมื่อใช้ BAP เนื่องจาก BAP มีประสิทธิภาพในการชักนำให้เกิดยอดได้ง่ายในพืช หลายชนิด ทั้งนี้อาหารจะต้องมีอัตราส่วนและชนิดของฮอร์โมนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพืชแต่ละชนิดที่เพาะเลี้ยง (Thongpoem *et al.*, 2020)

การชักนำการเกิดยอดและใบจากการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวด้วยระบบไบโอรีเอคเตอร์แบบท่วมชั่วคราว พบว่าอาหารเหลวทุกสูตรชักนำให้เกิดยอดไม่แตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$) โดยมีจำนวนยอดเฉลี่ย 0.33 ยอด ในขณะที่ อาหารเหลวที่เติม BAP ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ IAA 5 ไมโครโมลาร์ มีจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุด 2.56 (ตารางที่ 4) ลักษณะใบมีสีเขียวสด และมีบางส่วนที่มีอาการอ้วนน้ำแล้วใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จะเห็นได้ว่าการให้อาหาร ด้วยระบบแรงดันจากลมมีผลต่อการพัฒนาของเนื้อเยื่อที่มีขนาดเล็ก บางส่วนบอบช้ำและได้รับความเสียหาย เนื้อเยื่อ บางชิ้นส่วนไม่สามารถพัฒนาเจริญเติบโตเป็นต้นใหม่ได้ การให้อาหารบ่อยทำให้ได้รับปริมาณอาหารมากเกินไป อาจทำให้อัตราการเกิดต้นลดลงได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การเพาะเลี้ยงในอาหารกึ่งแข็งพบว่ายอดอ่อนมีการเจริญเติบโตได้น้อยกว่า ทั้งนี้การเพาะเลี้ยงยอดอ่อนจำเป็นต้องพิจารณาถึงปริมาณในการให้อาหารที่เหมาะสม แรงดันอากาศ ความถี่และ ระยะเวลาในการให้อาหาร ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาในการเกิดยอดและใบ (Teanchartsakul *et al.*, 2019)

ตารางที่ 3 จำนวนยอดและใบจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนเหง้า ในอาหารที่เติม BAP ร่วมกับ IAA เป็นเวลา 6 สัปดาห์

สารควบคุมการเจริญเติบโต (μM)		จำนวนยอด		จำนวนใบ	
BAP	IAA	Semi-solid	TIB	Semi-solid	TIB
0.0	0.0	0.78 ^b ±0.15	1.11 ^b ±0.11	4.89±1.17	7.89 ^b ±0.81
5.0	0.0	1.00 ^a ±0.00	1.33 ^{ab} ±0.17	4.67±1.46	11.78 ^a ±1.11
10.0	0.0	1.00 ^a ±0.00	1.78 ^a ±0.15	5.33±1.58	13.67 ^a ±0.60
5.0	5.0	1.00 ^a ±0.00	1.78 ^a ±0.15	6.11±0.79	13.00 ^a ±1.50
5.0	10.0	1.00 ^a ±0.00	1.44 ^{ab} ±0.24	6.78±0.76	11.89 ^a ±1.26
10.0	5.0	1.00 ^a ±0.00	1.78 ^a ±0.22	6.00±0.88	14.00 ^a ±1.21
F-test		*	*	ns	**
CV%		19.80	37.36	59.99	31.62

ns = non-significant at ($P \leq 0.05$), * = significant at ($P \leq 0.05$), ** = significant at ($P \leq 0.01$)

Semi-solid: cultured with semi-solid MS, TIB: cultured in liquid medium (Temporary Immersion Bioreactor System)

ตารางที่ 4 จำนวนยอดและใบจากการเพาะเลี้ยงยอดอ่อน ในอาหารที่เติม BAP ร่วมกับ IAA เป็นเวลา 6 สัปดาห์

สารควบคุมการเจริญเติบโต (μM)		จำนวนยอด		จำนวนใบ	
BAP	IAA	Semi-solid	TIB	Semi-solid	TIB
0.0	0.0	0.67 ^b ±0.17	0.33±0.17	2.78 ^{bc} ±0.76	1.78±0.91
5.0	0.0	1.00 ^a ±0.00	0.33±0.17	2.00 ^c ±0.37	1.78±0.92
10.0	0.0	1.00 ^a ±0.00	0.33±0.17	2.67 ^{bc} ±0.33	2.11±1.21
5.0	5.0	0.89 ^{ab} ±0.11	0.33±0.17	3.89 ^{abc} ±0.95	2.00±1.05
5.0	10.0	1.00 ^a ±0.00	0.33±0.17	4.44 ^{ab} ±1.04	2.11±1.14
10.0	5.0	1.11 ^a ±0.11	0.33±0.17	5.67 ^a ±0.82	2.56±1.29
F-test		*	ns	*	ns
CV%		31.97	142.75	70.15	152.80

ns = non-significant at ($P \leq 0.05$), * = significant at ($P \leq 0.05$)

Semi-solid: cultured with semi-solid MS, TIB: cultured in liquid medium (Temporary Immersion Bioreactor System)

3.3 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำการเกิดราก

จากการชักนำการเกิดรากจากยอดของบัวบานอาหารกึ่งแข็ง MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ภายหลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยจำนวนรากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ สามารถชักนำรากเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 16.22 (ตารางที่ 5) ใกล้เคียงกับรายงานของ Trang *et al.*, (2021) การชักนำรากจากชิ้นส่วนยอดบัวหลวงแดงด้วยอาหารสูตร MS ที่เติม NAA 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำรากได้สูงสุด 18.7 ราก และเช่นเดียวกับรายงานของ Hossain *et al.*, (2008) พบว่าอาหารสูตร MS ที่เติม NAA 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำราก Stevia 13.80 รากต่อชิ้นส่วน เมื่อพิจารณาลักษณะราก พบว่าการชักนำรากในอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ รากมีลักษณะสมบูรณ์ที่สุด โคนรากมีสีเขียว ปลายรากสีขาว รากยาวและแข็งแรง ในขณะที่การชักนำรากในอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ รากมีลักษณะเล็ก อวบและสั้น ในอาหารที่ไม่เติม NAA (ภาพที่ 2) จะเห็นได้ว่าการชักนำราก

จากยอดเป็นผลของความเข้มข้นของออกซินในอาหารเพาะเลี้ยง ซึ่งออกซินมีผลในการแบ่งเซลล์ การขยายขนาดของเซลล์ กระตุ้นการสร้างจุดกำเนิดของราก นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของพืช อายุของชิ้นส่วนเนื้อเยื่อเจริญ ออกซินตามธรรมชาติของพืช และชนิดของออกซินที่นำมาใช้ (Sunian, 2004)

ตารางที่ 5 จำนวนรากจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนยอดบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม NAA เป็นเวลา 8 สัปดาห์

NAA (μM)	จำนวนราก
0.0	7.67 ^c ±0.87
5.0	10.44 ^b ±0.71
10.0	16.22 ^a ±1.11
F-test	**
CV%	39.18

** = significant at ($P \leq 0.01$)



Free Hormone



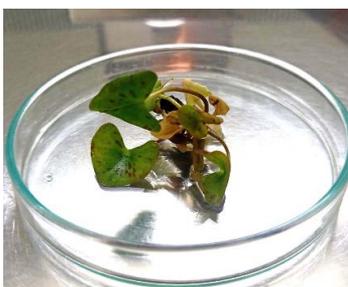
BAP 5 μM



BAP 10 μM



BAP 5 μM + IAA 5 μM



BAP 5 μM + IAA 10 μM



BAP 10 μM + IAA 5 μM

ภาพที่ 1 การเกิดยอดของบัว *Nymphaea* 'Aurora' จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อวิธีไบโอรีแอกเตอร์ ในอาหาร MS ที่เติม BAP ร่วมกับ IAA เป็นเวลา 6 สัปดาห์



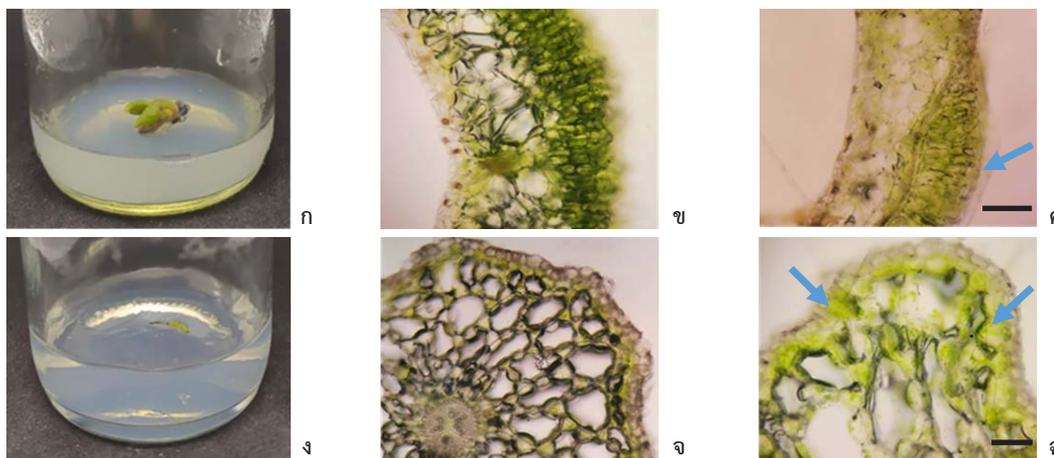
ภาพที่ 2 การเกิดรากของบัว *Nymphaea* 'Aurora' จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
บนอาหาร MS ที่เติม NAA ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

3.4 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำแคลลัส

การนำต้นอ่อนที่ได้จากการชักนำยอดและราก แขนในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0, 15, 25 และ 50 ไมโครโมลาร์ วางบนเครื่องเขย่าความเร็ว 135 รอบต่อนาที สภาวะให้แสง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม 2, 4-D ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ BAP ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 ไมโครโมลาร์ หรือ TDZ ความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 ไมโครโมลาร์ แต่ละสูตรอาหารเพาะเลี้ยงในสภาวะให้แสงสว่าง เพื่อหาสูตรอาหารที่เหมาะสมในการชักนำแคลลัส จากการทดลองพบการเปลี่ยนแปลงกับชิ้นส่วนบัวที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตรต่าง ๆ ใบมีลักษณะม้วนพองสีเขียว และกลุ่มเซลล์เล็ก ๆ สีเหลืองน้ำตาลบริเวณใบที่ติดกับก้านใบแล้วเปลี่ยนเป็นสีดำในการเพาะเลี้ยงโดยการแช่ในอาหารเหลวที่เติม TDZ 25 ไมโครโมลาร์ และเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม TDZ 6 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ NAA 0.5 ไมโครโมลาร์ สำหรับการเพาะเลี้ยงยอดอ่อน พบการแตกยอดสีเขียวเหลือง ในสภาวะการเพาะเลี้ยงโดยการแช่ในอาหารเหลวที่เติม TDZ 25 ไมโครโมลาร์ และเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม TDZ 6 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ NAA 0.5 ไมโครโมลาร์ และอาหารที่เติม 2, 4-D 10 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ BAP 1.0 ไมโครโมลาร์ ส่วนการเพาะเลี้ยงราก พบว่ารากที่เพาะเลี้ยงโดยการแช่ในอาหารเหลวที่ไม่เติม TDZ และที่เติม TDZ 15 ไมโครโมลาร์ เพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม TDZ 6 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ NAA 0.5 ไมโครโมลาร์ ชิ้นส่วนรากมีการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะพองและมีสีเขียว (ตารางที่ 6) เมื่อนำใบและรากที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะพองมาตัดเนื้อเยื่อแล้วส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า (10X) พบกลุ่มเซลล์ที่มีการขยายขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่ยังไม่พัฒนา (undifferentiation) ประกอบด้วยเซลล์พาเรนไคมา (parenchyma) เพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 3 (ข) และ (ง)) การแช่ยอดและรากในอาหารเหลว MS ที่เติม TDZ เพื่อการชักนำแคลลัส เป็นการกระตุ้นให้เซลล์เกิดการยึดตัว เนื่องจากไซโตไคนินช่วยเร่งการขยายตัวของเซลล์ โดยสามารถขยายขนาดของแควิวโอลโนเซลล์ ทำให้เซลล์ขยายใหญ่ ก่อนที่เซลล์จะพัฒนาเกิดเป็นแคลลัส ซึ่งระยะเวลาของขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับสรีรวิทยาของเนื้อเยื่อ และสภาพการเพาะเลี้ยง อย่างไรก็ตามชิ้นส่วนของใบ สามารถตอบสนองต่อการชักนำของ TDZ และ NAA กลุ่มเซลล์เล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวรอยตัด เป็นบริเวณที่มีเนื้อเยื่อเจริญ เซลล์มีการตื่นตัว (active cell) และแบ่งเซลล์สูง เนื่องจากบริเวณรอยตัดมีการตอบสนองต่อสารต่าง ๆ ได้ก่อนบริเวณอื่น และมีการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ดีกว่าเซลล์ข้างใน (Noimai, 2012)

ตารางที่ 6 การชักนำแคลลัสจากใบ ยอด และราก อยู่ในอาหารเหลว MS ที่เติม TDZ เพราะเลี้ยงบนอาหาร MS ที่เติม 2, 4-D ร่วมกับ BAP และ TDZ ร่วมกับ NAA ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

Liquid MS +TDZ (μM)	Semi-solid MS (μM)			Callus induction	
	2, 4-D	BAP	young leaves	juvenile shoots	roots
0	10	0.5	brown	brownish yellow	brownish yellow
		1.0	Light yellow	black	brown
15	10	0.5	brownish yellow	black	brown
		1.0	brown	brownish yellow	yellow
25	10	0.5	green	brownish yellow	brownish yellow
		1.0	yellowish green	shoot yellowish green	brown
50	10	0.5	yellow	yellowish brown	brown
		1.0	yellow	yellowish green	yellow
	TDZ	NAA	leaf	juvenile shoot	root
0	6	0.5	yellow	yellow	swollen greenish black*
		1.0	yellow	brownish black	brownish yellow
15	6	0.5	green	shoot yellow	swollen green*
		1.0	brown	black	brown
25	6	0.5	roll-puff greenish black **	shoot yellowish green	brown
		1.0	yellowish brown	brownish black	brownish black
50	6	0.5	yellow	yellowish green	brownish yellow
		1.0	brown	Yellowish black	brown



ภาพที่ 3 การชักนำแคลลัสจากชิ้นส่วนใบ (ก-ค) และราก (ง-ฉ) และเนื้อเยื่อภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า (10X) ขนาดสเกล 100 ไมโครเมตร

4. สรุป

1. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบัว *Nymphaea* 'Aurora' จากชิ้นส่วนเหง้าและยอดอ่อน พบว่า ชิ้นส่วนเหง้าเป็นส่วนของที่สามารถนำมาพอกฆ่าเชื้อเพื่อให้ได้เนื้อเยื่อปลอดเชื้อได้ดีกว่ายอดอ่อน การใช้สารละลายไฮโปคลอไรท์และสารละลายเมทริกคัลโลไรด์ เป็นวิธีการพอกฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด

2. การเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวระบบไบโอรีเอคเตอร์แบบท่วมชั่วคราว (TIBs) สามารถชักนำการเกิดยอดได้สูงกว่าวิธีการเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งในอาหารสูตร MS ที่เติม BAP ร่วมกับ IAA ในระยะเวลา 6 สัปดาห์

3. การเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งที่เติม NAA ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ สามารถชักนำการเกิดรากสูงสุดภายในระยะเวลา 8 สัปดาห์

4. การเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนใบและรากบนอาหารกึ่งแข็งที่เติม TDZ ร่วมกับ NAA พบกลุ่มเซลล์ที่มีการขยายขนาดใหญ่เกิดขึ้น แต่ไม่พัฒนาเป็นแคลลัส

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภายใต้กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565

6. เอกสารอ้างอิง

Blidar, C. F., Tripon, I. M., & Ilea, C. (2017). *In vitro* conservation of genetic resources of *Nymphaea lotus* var. *thermalis* (DC.) Tuzs., an endangered plant species. *Romanian Biotechnological Letters*, **22**, 1-13.

Hossain, M. A., Shamim Kabir A. H. M., Jahan T. A., & Hasan M. N. (2008). Micropopagation of *Stevia*. *Int. J. Sustain. Crop Prod*, **3**(3), 1-9.

Masaki, N., Yensoon, S., & Te-chato, S. (2016). Effects of growth regulators on *in vitro* callus and shoot induction of *Hawortia*. *Songklanakar Journal of Plant Science*, **3**(Suppl.2), M02/76-82. (in Thai)

Noimai, Y. (2012). *Micropopagation of Nymphaea Hybrid 'Chalong kwan'* (Master Thesis). Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani.

Ramakrishna, N., Lacey J., & Smith J. E. (1991). Effect of surface sterilization, fumigation and gamma irradiation on the microflora and germination of barley seeds. *Int J Food Microbiol*, **13**(1), 47-54.

Rodloy, A. (2020). *Marketing and Production Management of Aquatic Plants in Thailand for Exported and Sustainable Use of Resources* (research report). Bangkok: Inland Aquaculture Research and Development Division, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives.

Sanguandikul, S., Chansin, N., Donchanthong, R., Suwannathat, T., Khieonaak, N., Prasertlap, S., & Rodbutr, N. (2018). *Development of ornamental waterlily by crossing subgenus* (research report). Rajamangala University of Technology Tawan-Ok. 1-39. (in Thai)

Smith J., & Johnson, A. (2020). Mechanisms of microbial sterilization using mercuric chloride. *Journal of Microbiology*, **25**(3), 123-135.

- Sunian, E. (2004). **Development of Sterilisation Procedures and *in vitro* studies of *Nymphaea lotus***. (Master thesis). Faculty of Agriculture University Putra. Malaysia.
- Teanchartsakul, N., Laohavisuti, N., & Seesanong, S. (2019). Temporary Immersion Bioreactor for Micropropagation of Anubias barteri ‘Broad leaf’. **King Mongkut’s Agricultural Journal**, 37(1), 23-31. (in Thai)
- Thanonkaew, P., Thanonkaew, S., & Sucharitkul, K. (2007). Application of biotechnology for the production of flavonoids from snow lotus. **Academic Service Center Journal**, 15(1-2), 14-20. (in Thai)
- Thongpoem, P., Noimai, Y., & Thanomchat, P. (2020). ***In Vitro*, Tissue culture of *Nymphoides indica* (L.) Kuntze for conservation** (research report). Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Trang, N. T. Q., Hong H. T. K., Huong V T. M., & Long D. T. (2021). *In vitro* Propagation of Red Lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn) -An Aquatic Edible Plant in Vietnam. **Agricultural Science Digest**, 41(Special Issue), 129-136.

(Received: 29/Nov/2023, Revised: 12/Jun/2024, Accepted: 17/Jun/2024)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งราวีโอลี่โดยทดแทนน้ำเปล่าด้วยน้ำผักชaya
(*Cnidoscopus aconitifolius*)

Product Development of Ravioli as Substituted Water
with Chaya Water Extract (*Cnidoscopus aconitifolius*)

สินีนารถ สุขทนารักษ์* ภิญญาดา มานะกุลชัยกิจ กนกวรรณ นาคเงิน และ เจริญ เจริญศิรินุกูล
Sineenart Suktanarak*, Pinyada Manakulchaikij, Kanokwan Nakngoen and
Jaraja Jaraensirinukul

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี
Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

Pathum Thani Province

E-mail: sineenart@vru.ac.th โทร. 0643973551

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่จากผักชaya โดยมีวัตถุประสงค์คือ ศึกษาสูตรพื้นฐานราวีโอลี่ และศึกษาการนำน้ำผักชayaไปทดแทนน้ำเปล่าในผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่ สำหรับการศึกษาคือศึกษาสูตรพื้นฐานทั้งหมด 3 สูตรพบว่า ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนการยอมรับสูตรที่ 1 สูงสุด หลังจากนั้นนำสูตรที่ 1 มาศึกษาปริมาณนำน้ำผักชayามาทดแทนน้ำเปล่าในผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่ โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักชaya 5 อัตราส่วนคือ อัตราส่วนระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักชaya 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 อัตราส่วนระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักชaya ทั้ง 5 ระดับ ถูกนำมาวัดค่าสีและเนื้อสัมผัส โดยผลการทดลอง พบว่า ยิ่งเพิ่มปริมาณน้ำผักชayaมากขึ้น แผ่นแป้งราวีโอลี่มีความเป็นสีเขียวมากขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มค่า a^* มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ค่าความแข็ง (Hardness) มีแนวโน้มลดลงด้วย เมื่อเปรียบเทียบค่า Hardness ของแป้งราวีโอลี่ก่อนต้มและหลังต้ม พบว่า ค่า Hardness และค่าความสว่าง (L^*) แป้งราวีโอลี่หลังต้มมีค่าน้อยกว่าก่อนต้ม และผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสอัตราส่วนระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักชaya ที่ 75:25 มากที่สุด

คำสำคัญ : ราวีโอลี่ ผักชaya ผลิตภัณฑ์อาหาร

Abstract

The development of ravioli from Chaya water extract is this research. The objective of this study was to three standard formulas of ravioli and study optimal amount of chaya water extract which will be replace water in ravioli product. The standard formula was selected by sensory evaluation. The result found that most acceptable formula was formula one. This formula one was selected to study the effect of chaya water extract substituted water in the ravioli product. The ratio between water and chaya water extract at 5 different levels were 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100. The sensory evaluation found that the most acceptable the ratio between water and chaya water extract was 75:25. The 5 levels were analyzed to determine color and texture. The result found that the ratio of high value chaya water extract will affect the ravioli product. Ravioli product became green color and decreased hardness. Comparison between raw flour and cooked flour of ravioli, the hardness and lightness of cooked flour were lower than raw flour of ravioli.

Keywords : ravioli, chaya, food product

1. บทนำ

ราวีโอลี่ (Ravioli) เป็นอาหารประเภทพาสต้า ซึ่งรูปร่างของพาสต้าจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ พาสต้าเส้นสั้น พาสต้าเส้นยาว และพาสต้าใส่ไส้ ซึ่งราวีโอลี่จัดเป็นพาสต้าชนิดหนึ่งที่เป็นแบบใส่ไส้ โดยเป็นแป้งแผ่นบางประกบกัน และห่อไส้ไว้ข้างใน ส่วนประกอบของแป้งราวีโอลี่จะทำมาจากแป้งสาลี ซึ่งมีโปรตีนกลูเตนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งกลูเตนมีคุณสมบัติพิเศษ คือ เมื่อนำแป้งมาผสมกับน้ำ แล้วนวด จะเกิดเป็นโด (Dough) นอกจากนี้มีแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบหลักแล้ว ราวีโอลี่ยังมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ไข่ไก่และน้ำอีกด้วย ตัวแป้งราวีโอลี่มีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างน้อย ดังนั้นเพื่อพัฒนาแป้งราวีโอลี่ให้มีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น จึงมีการนำผักขยา (*Cnidioscolus aconitifolius*) หรือคะน้ำเม็กซีโก มาใช้ในการประยุกต์ในการทำผลิตภัณฑ์แป้งราวีโอลี่ โดยผักขยาเป็นวัตถุดิบที่ได้จากทางธรรมชาติ เป็นผักพื้นบ้านที่มีรสชาติดี ซึ่งในผักขยาประกอบไปด้วยน้ำร้อยละ 85.3 โปรตีนร้อยละ 5.7 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 4.2 โยอาหารร้อยละ 1.9 เถ้าร้อยละ 2.2 ไขมันร้อยละ 0.4 นอกจากนี้ ยังประกอบไปด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ คือ โพแทสเซียม 217.2 มิลลิกรัม แคลเซียม 199.4 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 3.9 มิลลิกรัม เหล็ก 11.4 มิลลิกรัม วิตามินซี 164.7 มิลลิกรัม และแคโรทีนอยด์ 0.085 มิลลิกรัม (Kuti & Kuti, 1999) มีงานวิจัยที่นำผักขยามาใช้ประโยชน์ในเชิงอาหาร เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากผักขยา (Wattanachai & Sutanarak, 2022) การพัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถว โดยนำน้ำผักขยามาทดแทนน้ำในหมั่นโถว ได้เป็นผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเชิงสุขภาพ (Chompuja, 2020) และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรขยา (Pajonglert *et al.*, 2019) เป็นต้น

จากข้อมูลเกี่ยวกับประโยชน์ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผักขยาที่กล่าวมา และยังไม่พบการนำน้ำผักขยามาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรพื้นฐานราวีโอลี่ จากนั้นนำสูตรที่ได้รับ การยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุดมาศึกษาปริมาณน้ำผักขยาต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์แป้งราวีโอลี่

2. วิธีการทดลอง

2.1 ศึกษาสูตรพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่

คัดเลือกสูตรพื้นฐานราวีโอลี่ 1 สูตร จากทั้งหมด 3 สูตร ดังนี้ โดยสูตรที่ 1 ประกอบไปด้วย แป้งสาลีอเนกประสงค์ ร้อยละ 66.57 ไข่ไกร้อยละ 6.66 เกลือร้อยละ 0.16 และน้ำเย็นร้อยละ 26.21 ส่วนสูตรที่ 2 ประกอบไปด้วยแป้งสาลีอเนกประสงค์ร้อยละ 64.10 ไข่ไกร้อยละ 12.82 ไข่แดงร้อยละ 4.36 น้ำมันรำข้าวร้อยละ 0.77 และน้ำเย็นร้อยละ 17.95 ส่วนสูตรที่ 3 ประกอบไปด้วยแป้งสาลีอเนกประสงค์ร้อยละ 61.73 ไข่ไกร้อยละ 30.86 น้ำมันรำข้าวร้อยละ 5.14 เกลือร้อยละ 0.21 และน้ำเย็นร้อยละ 2.06 สำหรับขั้นตอนการทำราวีโอลี่ คือ นำแป้งสาลีอเนกประสงค์ผสมกับไข่ไก่ น้ำมันรำข้าวและเกลือ แล้วใส่น้ำเย็นตามลงไปทีละน้อย ค่อย ๆ นวดแป้งจนส่วนผสมเข้ากัน พักแป้งเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมานวดต่อ ทำการแบ่งแป้งเป็นก้อน ก้อนละ 50 กรัม แล้วโรยแป้งนวลบนลงตัวก่อนแบ่ง เพื่อไม่ให้แป้งติดกัน รีดแป้งให้เป็นแผ่นบางด้วยเครื่องรีดแป้ง โดยปรับความหนาบางของเครื่องรีดแป้งเริ่มจากเบอร์ 1 และปรับให้เป็นขนาดเบอร์ 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ จะได้แป้งที่มีลักษณะบาง จากนั้นตัดแป้งให้เป็นรูปทรงกลมโดยใช้พิมพ์ทรงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร นำแป้งที่ตัดไปต้มในน้ำเดือดเป็นระยะเวลา 3 นาที แล้วตักขึ้นพักในน้ำเย็น ก็จะได้แป้งราวีโอลี่

สำหรับกระบวนการทำไส้ของราวีโอลี่ จะนำแป้งราวีโอลี่ทั้ง 3 สูตร มาห่อไส้ โดยในสูตรไส้จะประกอบไปด้วย ผักโขมร้อยละ 44.84 พาร์มีซานชีสขูดละเอียดร้อยละ 1.35 มอสซาเรลล่าชีสร้อยละ 44.84 และไข่ไกร้อยละ 8.97 ในขั้นตอนการทำไส้ คือ นำผักโขมมาหั่นให้ละเอียด แล้วนำไปผัดกับมอสซาเรลล่าชีส พาร์มีซานชีสและไข่ไก่ ผัดให้เข้ากัน พอสุก แล้วตักใส่ถ้วย พักให้เย็น แล้วนำมาปั้นเป็นก้อนทรงกลม โดยให้น้ำหนักอยู่ที่ก้อนละ 1.5 กรัม ก็จะได้ไส้ของราวีโอลี่ และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

2.2 ศึกษาผลของปริมาณน้ำผักขยาที่ใช้ในการผลิตแป้งราวีโอลี่

ในขั้นตอนนี้เริ่มจากการเตรียมน้ำผักขยา โดยนำผักขยามาเด็ดก้าน ล้างน้ำ ทำความสะอาด แล้วนำไปต้มในน้ำเดือด เป็นระยะเวลา 15 นาที แล้วนำไปแช่ในน้ำเย็น แล้วตักขึ้นให้สะเด็ดน้ำ หลังจากนั้นผักขยาที่ต้มแล้วมาผสมกับน้ำเปล่าแล้วปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น โดยอัตราส่วนระหว่างผักขยาและน้ำเปล่า จะเตรียมให้ความเข้มข้นของน้ำผักขยาที่ร้อยละ 25 เมื่อปั่นเสร็จแล้ว ทำการกรองน้ำผักขยาด้วยผ้าขาวบาง น้ำผักขยาที่ได้มาทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำผักขยาต่อน้ำเปล่าที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่ทั้งหมด 5 อัตราส่วน คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักขยาที่ 100:0 (สูตรควบคุม), 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100

2.3 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูตรพื้นฐานราวีโอลี่ และสูตรราวีโอลี่ที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักขยาที่อัตราส่วนแตกต่างกัน โดยเสิร์ฟราวีโอลี่พร้อมกับซอสพาสต้าสำเร็จรูป ทดสอบกับผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ไม่ผ่านการฝึกฝน (Untrained panel) จำนวน 30 คน โดยทดสอบ 2 ซ้ำ ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point hedonic scale test ซึ่งมีคะแนน ดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบปานกลาง, 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย, 5 = เฉยๆ, 6 = ชอบเล็กน้อย, 7 = ชอบปานกลาง, 8 = ชอบมาก และ 9 = ชอบมากที่สุด ซึ่งจะทดสอบคุณลักษณะลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพแป้งราวีโอลี่

การวิเคราะห์คุณภาพแป้งราวีโอลี่ จะตรวจสอบแป้งราวีโอลี่ที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 2.2 โดยจะตรวจสอบแป้งราวีโอลี่ใน 2 รูปแบบ คือ แป้งราวีโอลี่ที่ยังไม่ผ่านการต้ม และแป้งราวีโอลี่ที่ผ่านการต้มสุกแล้ว ซึ่งมีการตรวจสอบคุณภาพต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1 การวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส

นำแผ่นราวีโอลี่ที่ยังไม่ผ่านการต้ม และไม่ได้ใส่ไส้มาเรียงซ้อนกัน 7 แผ่น วิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสด้านความแข็งด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น CT 3 (Brookfield Ametek, USA) โดยใช้หัววัดทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 mm. มีสถานะความเร็วในการเคลื่อนที่อยู่ที่ 1.00 mm/s กดลงไปเป็นระยะทาง 3 mm/s³ วัดค่าเนื้อสัมผัสแป้งราวีโอลี่ที่ผ่านการต้มเช่นเดียวกับแป้งราวีโอลี่ที่ยังไม่ผ่านการต้ม โดยทำการวัดสูตรละ 10 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

2.4.2 การวิเคราะห์ค่าสี

นำแผ่นราวีโอลี่ที่ยังไม่ผ่านการต้มและไม่ได้ใส่ไส้มาวัดค่าสี ด้วยใช้เครื่องวัดสี Colorimeter รุ่น CR-10 Plus (Minolta, Japan) ซึ่งแสดงผลออกมาดังนี้ ค่าสี L* หมายถึง ค่าความสว่าง (ดำ=0, ขาว=100) ค่า a* หมายถึง สีแดงหรือสีเขียว (+สีแดง, -สีเขียว) และค่าสี b* หมายถึง สีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (+สีเหลือง, -สีน้ำเงิน) วัดค่าสีแป้งราวีโอลี่ที่ผ่านการต้มเช่นเดียวกับแป้งราวีโอลี่ที่ยังไม่ผ่านการต้ม โดยทำการวัดสูตรละ 10 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

2.5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ในการทดลองนี้วางแผนการทดสอบแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) สำหรับการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส และการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) สำหรับลักษณะการทดสอบทางกายภาพ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลศึกษาสูตรพื้นฐานผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่

ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่สูตรพื้นฐานแสดงได้ดังตารางที่ 1 จากตารางจะพบว่า คุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นของทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากในขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่นั้น มีการใช้พิมพ์ทรงกลม จึงทำให้แป้งราวีโอลี่มีขนาดเท่ากันทุกสูตร นอกจากนี้ทุกสูตรยังมีส่วนผสมที่เป็นแป้งสาลีและไข่ไก่เหมือนกัน จึงส่งผลให้ราวีโอลี่มีสีและกลิ่นไม่แตกต่างกันในทุกสูตร ส่วนคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ทั้ง 2 สูตรมีความแตกต่างกับสูตรที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ซึ่งอาจเป็นเพราะปริมาณเกลือและปริมาณของเหลวในแต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาภาพรวมของตารางที่ 1 พบว่า ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูตรที่ 1 มากที่สุด โดยสูตรที่ 1 แผ่นแป้งจะมีลักษณะยืดหยุ่นมากกว่าสูตรที่ 2 และ 3 ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่ 1 ไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 1 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่สูตรพื้นฐาน

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	7.27±1.18	7.28±1.31	7.12±1.12
สี ^{ns}	7.00±1.24	7.38±1.12	7.13±1.26
กลิ่น ^{ns}	6.65±1.34	6.98±1.24	6.80±1.44
รสชาติ	7.15±1.27 ^a	6.95±1.19 ^a	6.32±1.24 ^b
เนื้อสัมผัส (ความยืดหยุ่น)	7.23±1.20 ^a	7.02±1.03 ^a	6.33±1.35 ^b
ความชอบโดยรวม	7.38±1.25 ^a	7.20±0.97 ^a	6.52±1.24 ^b

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

^{a-b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

3.2 ผลการศึกษาปริมาณน้ำผักขยาต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสและกายภาพของผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่

นำแผ่นแป้งราวีโอลี่ที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักขยาทั้ง 5 อัตราส่วน มาทดสอบคุณภาพด้านสีและเนื้อสัมผัส โดยทดสอบในลักษณะแป้งราวีโอลี่ที่เป็นแผ่นแป้งดิบก่อนที่จะต้ม และทดสอบในลักษณะแป้งราวีโอลี่ที่สุกแล้ว ซึ่งผ่านกระบวนการต้มแล้ว ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 จากตารางที่ 2 พบว่า ค่าสี L^* และ a^* ของผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักขยาที่ 100:0 และ 0:100 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยค่า L^* และ a^* จะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของน้ำผักขยาเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผักขยามีลักษณะเป็นสีเขียวเข้ม (ภาพที่ 1) เมื่อใส่น้ำผักขยาลงไปในผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่ ย่อมส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่มีสีเขียวและสีคล้ำมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า L^* และ a^* ที่ลดลง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวด้วยการเสริมผักขยา โดยพบว่า เมื่อปริมาณความเข้มข้นของน้ำผักขยาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้หมั่นโถวมีค่า L^* และ a^* ลดลงไปด้วย (Chompuja, 2020) นอกจากนี้มีงานวิจัยในการพัฒนาเบรทที่มีเสริมผักเคลียง ก็พบว่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำผักเคลียงเพิ่มขึ้น ค่า L^* และ a^* ก็จะลดลงตามไปด้วยเช่นกัน (Palasuwan et al., 2020) เมื่อพิจารณาค่าสีในผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่ก่อนต้มและหลังต้ม จะพบว่า ค่าสี L^* และ a^* หลังต้มจะมีค่าลดลงกว่าก่อนต้ม เนื่องจากผักขยามีคลอโรฟิลล์ที่เป็นรงควัตถุสีเขียวเป็นองค์ประกอบ ซึ่งคลอโรฟิลล์ไม่คงตัวต่อความร้อน เมื่อผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่ที่มีน้ำผักขยาเป็นองค์ประกอบ ไปผ่านกระบวนการต้มในน้ำร้อน จะส่งผลให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นฟิโอฟิติน ซึ่งทำให้สีเขียวถูกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งสอดคล้องกับ ค่าสี L^* และ a^* หลังต้ม ที่มีค่าลดลงจากก่อนต้ม

เมื่อพิจารณาค่า Hardness พบว่า เมื่อปริมาณน้ำผักชงเพิ่มมากขึ้น ค่า Hardness มีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเป็นเพราะในน้ำผักชงจะมีใยอาหารของผักชงเป็นส่วนประกอบ ซึ่งใยอาหารของผักชงอาจส่งผลโครงสร้างโดยทำให้ราวีโอลีมีความแข็งแรงลดลง ซึ่งงานวิจัยเรื่องบะหมี่เสริมผักเหียง ก็พบว่า น้ำผักเหียงมีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของบะหมี่ โดยเมื่อความเข้มข้นของน้ำผักเหียงมากขึ้น ค่าความต้านทานการดึงขาดของบะหมี่ลดน้อยลง (Palasuwan *et al.*, 2020) เมื่อพิจารณาที่ค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์ราวีโอลีทั้งก่อนต้มและหลังต้ม พบว่า ราวีโอลีหลังต้มมีค่า Hardness ลดน้อยกว่าราวีโอลีหลังต้ม เนื่องจากส่วนประกอบหลักในการทำราวีโอลีประกอบไปด้วยแป้งสาลีเนกประสงค์เป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งภายในโครงสร้างของแป้งประกอบไปด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพคติน เมื่อแป้งราวีโอลีได้รับความร้อนในกระบวนการต้มแป้งราวีโอลีให้สุก ส่งผลให้โมเลกุลภายในเม็ดแป้งถูกทำลายพันธะไฮโดรเจน สายพอลิเมอร์ของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินภายในเม็ดแป้งถูกคลายตัวและรวมตัวกับน้ำ ทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Rattanapanone, 2010) จึงส่งผลให้เนื้อสัมผัสของราวีโอลีหลังต้มมีค่า hardness น้อยกว่าราวีโอลีก่อนต้ม ภาพราวีโอลีที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักชงแสดงได้ดังภาพที่ 1

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ของทางกายภาพของแผ่นแป้งราวีโอลีน้ำผักชงก่อนต้มและหลังต้ม

ปัจจัยคุณภาพ	อัตราส่วนระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักชง				
	100:0	75:25	50:50	25:75	0:100
ก่อนต้ม					
L*	71.53±0.73 ^a	67.38±0.46 ^b	66.69±1.95 ^b	65.56±1.59 ^b	62.13±2.37 ^c
a*	-0.37±0.27 ^a	-2.28±0.22 ^b	-2.70±0.20 ^b	-4.66±0.38 ^c	-4.24±0.62 ^c
b*	12.29±0.78 ^c	17.63±0.97 ^b	17.38±0.14 ^b	19.45±0.65 ^a	19.58±0.35 ^a
Hardness (g)	5212.87±713.49 ^a	1587.25±233.03 ^b	1515±533.28 ^b	614±218.19 ^c	596.25±118.84 ^c
หลังต้ม					
L*	67.37±1.01 ^a	66.95±1.10 ^a	64±2.14 ^b	62.52±1.01 ^b	57.95±2.40 ^c
a*	-2.40±0.39 ^d	-4.51±0.15 ^c	-3.82±0.32 ^b	-5.35±0.40 ^d	-5.17±0.15 ^d
b*	7.91±0.56 ^d	18.87±0.02 ^b	14.44±0.59 ^c	22.13±0.58 ^a	22.26±0.13 ^a
Hardness (g)	861.86±88.82 ^a	586.25±106.69 ^b	544.17±102.09 ^b	595.67±53.1 ^b	582.67±87.14 ^b

หมายเหตุ ^{a-d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 1 อัตราส่วนระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักชงในผลิตภัณฑ์ราวีโอลี

ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่โดยใช้น้ำผักชಾಯาทดแทนน้ำเปล่าในอัตราส่วนต่าง ๆ 5 อัตราส่วน แสดงได้ดังตารางที่ 3 พบว่าน้ำผักชಾಯาที่ทดแทนน้ำเปล่าในการทำผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่ส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยคะแนนความชอบด้านสี พบว่า อัตราส่วนระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักชอยาที่ 100:0 และ 0:100 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากน้ำผักชอยามีสีเขียว จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่มีสีเขียวขึ้นตามปริมาณน้ำผักชอยา เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงสุดอยู่ที่อัตราส่วน 75:25 หลังจากอัตราส่วน 75:25 พบว่าแนวโน้มคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสก็ลดลงตามปริมาณของน้ำผักชอยาที่มากขึ้น โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสความชอบโดยรวมรวมอยู่ที่อัตราส่วน 75:25 มากที่สุด

ตารางที่ 3 ผลของปริมาณน้ำผักชอยาต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของแป้งราวีโอลี่

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	อัตราส่วนระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักชอยา				
	100:0	75:25	50:50	25:75	0:100
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	8.16±0.74	8.23±0.77	8.06±0.98	8.26±0.73	8.40±0.56
สี	7.00±0.74 ^c	7.86±0.43 ^a	7.20±0.17 ^{bc}	7.20±1.06 ^{bc}	7.43±0.77 ^b
กลิ่น ^{ns}	7.80±0.99	7.96±0.88	7.83±0.94	7.90±0.95	7.06±1.01
รสชาติ ^{ns}	7.33±1.15	7.56±0.6	7.73±0.44	7.60±0.81	7.63±0.85
เนื้อสัมผัส (ความยืดหยุ่น)	7.13±0.63 ^b	7.53±0.57 ^a	7.46±0.62 ^{ab}	7.43±0.56 ^{ab}	7.36±0.71 ^{ab}
ความชอบโดยรวม	7.03±0.66 ^c	8.43±0.56 ^a	7.66±0.88 ^b	7.26±1.01 ^{bc}	7.40±0.85 ^{bc}

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแวนนอนเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

^{a-b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแวนนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4. สรุป

จากการทดลองการพัฒนาผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่ พบว่า สูตรพื้นฐานที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับมากที่สุดคือ สูตรที่ 1 หลังจากนั้น นำสูตรที่ 1 มาศึกษาอัตราส่วนที่ระหว่างน้ำเปล่าต่อน้ำผักชอยาที่ใช้ในการผลิตราวีโอลี่ 5 อัตราส่วน คือ 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0 ผลการทดลอง พบว่า ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนการยอมรับที่อัตราส่วน 75:25 มากที่สุด ยิ่งเพิ่มอัตราส่วนน้ำผักชอยาที่ร้อยละ 25 ขึ้นไป ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในภาพรวมลดน้อยลง เนื่องจากปริมาณน้ำผักชอยาที่มากขึ้น ส่งผลต่อคะแนนการยอมรับด้านสีและเนื้อสัมผัส โดยน้ำผักชอยาจะทำให้ผลิตภัณฑ์ราวีโอลี่มีสีเขียวเข้มขึ้น มีเนื้อสัมผัสนุ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะใยอาหารของผักชอยาไปส่งผลต่อการเกิดโดของแป้งราวีโอลี่

5. เอกสารอ้างอิง

- Chompuja, S. (2020). Development of healthy steamed bun (Mantou) products with vegetable Chaya (Tree spinach) juice supplement. *Huachiew Chalermprakiet Science and Technology Journal*, 6(2): 21-31.
- Kuti, J. O. and Kuti. H. O., (1999). Proximate composition and mineral content of two edible species of cnidoscolus (tree spinach). *Plant Food human Nutrion journal*, 54, 275-283.
- Pajonglert, T., Deeamert, J., Sukthanaruk, S., Autchaliyapoota, B., Watthanachai, p., Punnatakul, K., Seerarat, V. and Khamwachiraphitak, M. (2019). Product development of CHONG ARANG community: Chaya herbal tea with roasted black glutinous rice aroma. *VRU research and development journal science and technology*, 14(3): 95-103.

- Palasuwan, S., Suwannarat, S. and Janchoo, N. (2020). Development of fresh alkaline noodle from baegu (Liang). **Rajabhat Rambhai Barni Research journal**, 14(1): 167-170.
- Rattanapanone, N. (2010). **Food Chemistry**. Bangkok: Odeon store.
- Wattanachai, P. and Suktanarak, S. (2022). Development of basil-rice seasoning (furakake) product supplemented with chaya leaves. **VRU research and development journal science and technology**, 17(2): 131-140.

(Received: 7/Oct/2023, Revised: 20/Jun/2024, Accepted: 22/Jun/2024)

การจำแนกเชื้อราต้านเชื้อ *Vibrio (Penicillium decumbens)* เพื่อยับยั้งการเจริญของ *Vibrio parahaemolyticus* เชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคของกุ้ง

Identification of Anti-*Vibrio* Fungus (*Penicillium decumbens*) to Inhibit the Growth of *Vibrio parahaemolyticus*, A Bacterial Disease of Shrimp

จันทร์ทิพย์ ทองจันทร์* ศรีณยา รักเสรี และ ชนัดดา เกตุมา

Junthip Tongjun*, Saranya Rakseree and Chanadda Ketma

สาขาวิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Fishery Division, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

*E-mail: junthip1111@gmail.com โทรศัพท์ 097-1819263

บทคัดย่อ

ราสายพันธุ์ A5-1 ที่คัดแยกจากนาเกลือ จังหวัดจันทบุรี สามารถยับยั้ง *Vibrio parahaemolyticus* (*Vp*) แบคทีเรียสาเหตุโรคกุ้งได้ด้วยเทคนิค dual culture จากการจำแนกทางสัณฐานวิทยา ร่วมกับอนุพันธุศาสตร์ของลำดับเบสที่ตำแหน่ง SSU rRNA และ 18S rRNA พบว่าสายพันธุ์ A5-1 จำแนกได้เป็น *Penicillium decumbens* ราสามารถผลิตเอนไซม์เจลาติเนส ไลเปส เซลลูเลส โปรติเอส และเจริญได้ในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือระดับต่าง ๆ (0-60 psu) จัดเป็นราทนเค็ม ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลรวม 36 ชุดการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างสารยับยั้งไวรัสโอพบว่า ทุกชุดการทดลองให้ค่าโซนใสต่อกรายยับยั้ง *Vp* ดังนั้น pH ความเข้มข้นแอมโมเนียมและความเค็มที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการสร้างสารของรา โดยชุดทดลอง T36 (1.0:9:30) ให้ค่าของโซนใสยับยั้ง *Vp* มากที่สุดเท่ากับ 2.56 ± 0.06 ซม. การเจริญร่วมกันในอาหารเหลวพบว่าที่ความเค็ม 10 และ 20 psu ความเข้มข้นของสปอร์ราที่ 7.08×10^5 สปอร์/มล. และ 1.36×10^6 สปอร์/มล. สามารถลดจำนวน *Vp* จากเซลล์เริ่มต้นที่ 10^5 CFU/mL ให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 CFU/mL ได้ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 24 และที่ความเค็ม 30 psu ความเข้มข้นของสปอร์ราที่ 2.47×10^6 สปอร์/มล. และ 2.94×10^6 สปอร์/มล. สามารถลดจำนวน *Vp* จากเซลล์เริ่มต้นที่ 10^7 CFU/mL ให้น้อยกว่า 100 CFU/mL ได้ที่ชั่วโมงที่ 96 ดังนั้นสามารถประยุกต์ใช้ *P. decumbens* A5-1 ในการควบคุมจำนวนของ *Vp* ในการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล

คำสำคัญ : เพนิซิลเลียม ดีคัมเบน วิบริโอ พาราเฮโมไลทิดีส โรคกุ้ง

Abstract

Fungal strain A5-1 was isolated from solar saltern land in Chanthaburi province that could inhibit *Vibrio parahaemolyticus* (*Vp*), a bacterial disease of shrimp by the dual culture technique. Morphology and molecular genetics identification using SSU rRNA and 18S rRNA gene sequences confirmed that the strain A5-1 is *Penicillium decumbens* that produced gelatinase, lipase, cellulase and protease, and showed an ability to grow in the presence of the different NaCl concentrations (0-60 psu) that classified as halotolerant fungi. 36 trial experimental sets in factorial design were used to determine the factors of anti-*Vibrio* substances production. All experimental sets showed the diameter of clear zone to inhibit *Vp*; therefore, the increasing of pH, ammonium concentrations and salinity had an effect on fungal substances production. The inhibition of maximum diameter of 2.56 ± 0.06 cm showed in treatment T36 (1.0:9:30). The co-culture in broth presence the salinity of 10 and 20 psu, at 7.08×10^5 and 1.36×10^6 spores/mL of the fungal spore concentration could reduce number of *Vp* from 10^5 CFU/mL to less than or equal to 100 CFU/mL at 24 hours of incubation time,

and at 2.47×10^6 and 2.94×10^6 spores/mL of fungal spore concentration could reduce number of *Vp* from 10^7 CFU/mL to less than 100 CFU/mL at 96 hours of incubation time in 30 psu of salinity in broth. Therefore, *P. decumbens* A5-1 could be applied to control number of *Vp* in shrimp culture.

Keywords : *Penicillium decumbens*, *Vibrio parahaemolyticus*, Disease of Shrimp

1. บทนำ

กุ้งทะเลเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปี 2552-2553 มีผลผลิตกุ้งเลี้ยงสูงสุดประมาณ 600,000 ตัน แต่ด้วยปัญหาปริมาณกุ้งล้นตลาดสวนทางกับต้นทุนที่ปรับตัวสูงขึ้น สภาพอากาศแปรปรวน และปัญหาโรคกุ้งส่งผลให้ราคากุ้งตกต่ำไปทั่วโลก ในปี 2554 ไทยพบการระบาดของโรคกุ้งตายด่วน (Early Mortality Syndrome : EMS) เป็นครั้งแรก ในภาคตะวันออกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่ากลุ่มอาการตับและตับอ่อนตายเฉียบพลัน (Acute Hepatopancreatic Necrosis Syndrome : AHPNS) โรค EMS พบในกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) และกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) กุ้งมีอาการว่ายน้ำเฉื่อย เชื่องซึม เปลือกนูน ลำตัวมีสีซีด เซลล์ตับและตับอ่อนฝ่อ กุ้งทยอยตายภายใน 7-35 วัน มีการตายสูงถึง 100% ก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจมีสาเหตุจากเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* (*Vp*) (Chucherd, 2013) เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปท่อนโค้ง ชอบเค็ม (halophile) ต้องการเกลือในการเจริญและเจริญได้ดีที่ความเค็ม 10-30 psu อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญ 35-37 °C และ pH 6-9 พบทั่วไปในน้ำทะเลและอาหารทะเล (Yeung & Boor, 2004) กุ้งจะเกิดการติดเชื้อเฉพาะที่ในกระเพาะอาหาร ตับและตับอ่อน โดยได้รับเชื้อจากอาหารสด น้ำ ชี้กุ้ง และจากกุ้งพ่อแม่พันธุ์ในโรงเพาะฟัก (hatchery) สามารถพบเชื้อในโรงอนุบาลกุ้ง (nursery) ในกุ้งระยะ postlarvae (PL) และ *Vp* มีแนวโน้มเพิ่มจำนวนมากในกุ้งทะเลตัวเต็มวัยในช่วงท้ายของการเลี้ยง ทั้งในบ่อซีเมนต์และบ่อดิน (Yingkajorn *et al.*, 2014) ปัจจุบันยังพบการระบาดของโรค EMS ทั้งภาคใต้และภาคตะวันออกการจัดการทางเคมีและทางกายภาพกต่อการยับยั้ง *Vp* การจัดการทางชีวภาพโดยใช้ราที่สามารถเจริญและทนอยู่ในสภาพแวดล้อมที่วิกฤต เช่น นาเกลือ (solar salterns) ที่มีความเข้มข้นของเกลือ NaCl ที่สูงถึง 30% (Plemenita *et al.*, 2008) ความเข้มข้นของสารอาหาร ปริมาณออกซิเจน ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์ดึงมาใช้ได้ ค่า pH รั้งสีจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ และไอออนต่าง ๆ ที่ไม่เหมาะสม (Griffith, 1994) ในสภาวะวิกฤตเพื่อการอยู่รอดจะสร้างเอนไซม์หลายชนิดใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นอาหาร (Fuentes & Quiñones, 2016) สร้างสารทุติยภูมิที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลายและมีประสิทธิภาพสูง เช่น มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ต้านไวรัส ต้านอนุมูลอิสระ และต้านเซลล์มะเร็ง (Phongpaichit *et al.*, 2007) ช่วยให้ราดำรงชีวิตในสภาวะวิกฤตได้ การใช้ประโยชน์จากสารทุติยภูมิที่ราสร้างขึ้นเพื่อยับยั้ง *Vp* ที่ปนเปื้อนในขั้นตอนการเตรียมน้ำเริ่มต้น หรือน้ำหลังเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการป้องกันโรค

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นนาราคัดแยกจากนาเกลือ จังหวัดจันทบุรี สายพันธุ์ A5-1 ที่ผ่านการคัดกรองคุณสมบัติการชอบเค็มของรา การสร้างเอนไซม์และผ่านการทดสอบคุณสมบัติเป็นราปฏิปักษ์ต่อแบคทีเรียสาเหตุโรคของกุ้งสายพันธุ์ *Vp* มาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างสารทุติยภูมิของรา ได้แก่ ปริมาณแอมโมเนียม pH และความเค็ม ศึกษาความเข้มข้นของราและเวลาในการยับยั้งจำนวน *Vp* เมื่อเจริญร่วมกันในอาหารเหลวที่ความเค็มระดับต่าง ๆ เพื่อประยุกต์ใช้ราปรับปรุงคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องกับการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล จัดเป็นการควบคุมทางชีวภาพ (biological control) ที่มีความเป็นมิตรต่อการเพาะเลี้ยงกุ้ง ลดการใช้สารเคมีและยาปฏิชีวนะที่ก่อปัญหาสารเคมีตกค้างทั้งในสัตว์น้ำและสภาพแวดล้อม ลดปัญหาการดื้อยาปฏิชีวนะของแบคทีเรียช่วยลดความเสี่ยงจากโรคกุ้งตายด่วนของเกษตรกรและผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องตลอดห่วงโซ่การผลิต

2. วิธีการทดลอง

2.1 การคัดแยกรา

ราถูกคัดแยกจากดินในนาเกลือ อำเภอนาทม จังหวัดจันทบุรี เก็บดินจำนวน 3 บ่อ แต่ละบ่อเก็บดิน 3 ซ้ำ ใช้ท่อพีวีซีเก็บดินจากหน้าดินลึกลงไป 15 ซม. การคัดแยกราดินแต่ละซำ 10 กรัม มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่นิ่งฆ่าเชื้อแล้วปริมาตร 90 มล. เขย่าให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน 30 นาที เจือจางให้มีระดับความเข้มข้น 10^{-1} - 10^{-3} (Gunasekaran, 1995) แล้วเกลี่ยเชื้อปริมาตร 0.1 มล. ในจานอาหาร potato dextrose agar (PDA: Difco, USA) ผสมน้ำทะเลความเข้มข้น 30 psu (PDA_{sw30}) ปรับ pH 5.6 แต่ละความเจือจางทำ 3 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิ 28°C นาน 7-21 วัน คัดแยกราในจานอาหารด้วยวิธี hyphal tips isolation จนได้ราบริสุทธ์เก็บรักษาในอาหาร PDA_{sw30}

2.2 การจัดจำแนกราทางสัณฐานวิทยา และอนุพันธุศาสตร์

ศึกษาลักษณะโคโลนีราบนอาหาร Sabouraud dextrose agar (SDA: Difco, USA) ผสมน้ำทะเลที่ความเค็ม 30 psu (SDA_{sw30}) ศึกษาลักษณะเส้นใยและสปอร์ของร่าภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ใช้วิธีการเพาะเชื้อบนสไลด์ (slide culture) และถ่ายภาพจำแนกชนิดของร่าเทียบกับคู่มือ Illustrated genera of imperfect fungi 4th edition (Barnett and Hunter, 2006) นำร่าไปสกัดดีเอ็นเอใช้เป็นแม่แบบเพื่อเพิ่มปริมาณนิวคลีโอไทด์ที่บริเวณ SSU rRNA (small subunit rRNA) และ 18S rRNA ของยีนด้วยไพรเมอร์ NS1 5' (GTA GTC ATA TGC TTG TCT C) 3' และไพรเมอร์ NS24 5' (TCC GCA GGT TCA CCT ACG GA) 3' ณ บริษัทแมคโครเจน ประเทศเกาหลี (Macrogen, Seoul, Republic of Korea) นำผลิตภัณฑ์พีซีอาร์มาอ่านลำดับนิวคลีโอไทด์ใช้โปรแกรม MEGA 11 เปรียบเทียบนิวคลีโอไทด์ที่ได้กับฐานข้อมูลของ GenBank (National Center for Biotechnology Information) (NCBI: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) และหาความสัมพันธ์ทางลำดับวิวัฒนาการโดยสร้างแผนภูมิต้นไม้ (phylogenetic tree) ด้วยวิธี Neighbor-Joining Tree (Ong *et al.*, 2023)

2.3 ทดสอบคุณสมบัติการชอบเค็มของร่าและการผลิตเอนไซม์

ทดสอบคุณสมบัติการชอบเค็มของร่าในอาหาร PDA ผสมน้ำทะเลที่ความเค็ม 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 psu ใช้ cork-borer ($\varnothing = 6$ มม.) เจาะรูบริเวณปลายเส้นใยร่าไปวางบริเวณกลางอาหารบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีร่าใช้แปลผลคุณสมบัติการชอบเค็มของร่า (Kushner, 1993) คัดเลือกร่าที่เจริญได้ดีที่ความเค็ม 0-30 psu มาทดสอบการสร้างเอนไซม์อะไมเลส เจลาทีเนส โปรติเอส ไลเปส และเซลลูโลสบนอาหาร starch agar, gelatin agar, skim milk agar, tween-80 agar และ cellulose agar ที่ผสมน้ำทะเลความเข้มข้น 10 psu ทำการทดลอง 3 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิ 28°C 7-10 วัน ตรวจสอบผลการสร้างเอนไซม์

2.4 การคัดกรองร่าที่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย *Vibrio parahaemolyticus*

แบคทีเรีย *Vibrio parahaemolyticus* (Vp) ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจันทบุรี คัดแยกจากกุ้งตายที่แสดงอาการของโรค EMS กุ้งมีลักษณะเปลือกนึ่ม สีลำตัวซีด ตับอ่อนฝ่อ จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ Vpa Vpb และ Vpc ทั้ง 3 สายพันธุ์ดื้อยาแอมพิซิลลิน (ampicillin) เตตราไซคลิน (tetracycline) และซิโปรฟลอกซาซิน (ciprofloxacin) การคัดกรองใช้วิธี dual culture ดัดแปลงจาก Dinesh *et al.* (2015) ใช้ cork-borer ($\varnothing = 6$ มม.) เจาะรูบริเวณปลายเส้นใยร่าที่เจริญในอาหาร PDA_{sw10} นาน 7 วัน นำไปวางบริเวณกลางอาหาร Mueller Hinton agar (MHA: Himedia, India) ที่ผสมน้ำทะเลที่ความเค็ม 10 psu (MHA_{sw10}) ให้ร่าเจริญเติบโตเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ใช้ลูปปลูก Vp ลงในอาหารเดียวกัน (Vp แต่ละสายพันธุ์ทำแยกจานอาหาร) ชูดควมคุมเพาะเลี้ยงเฉพาะร่าบ่มที่อุณหภูมิห้อง สังเกตผลการทดลองเป็นเวลา 7-10 วัน

2.5 ศึกษาผลของ pH แอมโมเนียม และความเค็มต่อการสร้างสารออกฤทธิ์ของร่ายับยั้ง Vpa

ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial design) ดังนี้ เตรียมอาหาร potato dextrose broth (PDB: Difco, USA) 100 มล. ให้มีความเข้มข้นของแอมโมเนียม 3 ระดับ (0, 0.5 และ 1.0 มก.ต่อลิตร) ค่าความเป็น

กรด-ต่าง 4 ระดับ (6, 7, 8 และ 9) และค่าความเค็ม 3 ระดับ (0, 15 และ 30 psu) ใช้สัญลักษณ์ $\text{NH}_4^+:\text{pH}:\text{psu}$ ชุดทดลองรวม 36 ชุด ชุดละ 3 ซ้ำ เตรียมรา A5-1 ลงในอาหาร 4 ชั้น (7.08×10^5 สปอร์/มล.) ด้วย cork-borer ($\varnothing = 6$ มม.) เลี้ยงราที่อุณหภูมิห้องบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 7 วัน ทดสอบการยับยั้ง *Vpa* ด้วยวิธี agar well diffusion โดยเลี้ยง *Vpa* ในอาหาร Mueller Hinton Broth (MHB: Himedia, India) ผสม 1% NaCl ข้ามคืนแยกเซลล์ล้างทำความสะอาดและเตรียมให้มีจำนวนเซลล์ 1.5×10^6 CFU/mL นำมาเกลี่ยบนอาหาร MHA ที่ผสม 1% NaCl เจาะหลุมด้วย cork borer ($\varnothing = 6$ มม.) ปิเปิดน้ำเลี้ยงเชื้อราปริมาณ 200 ไมโครลิตร ลงในหลุมที่เจาะ บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจสอบการยับยั้งด้วยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใส (Inhibition zone)

2.6 ศึกษาความเข้มข้นของราและเวลาต่อการยับยั้ง *Vpa* ที่ความเค็มระดับต่าง ๆ

เตรียมรา A5-1 จำนวน 4 ชั้น (7.08×10^5 สปอร์/มล.) 5 ชั้น (1.36×10^6 สปอร์/มล.) 6 ชั้น (2.18×10^6 สปอร์/มล.) 7 ชั้น (2.47×10^6 สปอร์/มล.) และ 8 ชั้น (2.94×10^6 สปอร์/มล.) ด้วย cork-borer ($\varnothing = 6$ มม.) ลงในอาหาร MHB 100 มล. ผสมน้ำทะเลที่ความเค็ม 10, 20 และ 30 psu (MHB_{sw10}, MHB_{sw20} และ MHB_{sw30}) ปรับ pH 7.3 เลี้ยงราที่อุณหภูมิห้องมีอัตราเขย่า 120 รอบต่อนาที นาน 72 ชั่วโมง และเติม *Vpa* (1.5×10^6 CFU/mL) ความเข้มข้น 2% ลงในชุดทดลองที่ 1-3 บ่มต่อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 96 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำเลี้ยงที่เวลา 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง เพื่อหาจำนวน *Vpa* ในอาหาร Nutrient agar ผสม 1% NaCl ทำการทดลอง 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ *Vpa* ชุดควบคุมเลี้ยงเฉพาะ *Vpa* ลงในอาหาร MHB_{sw10}, MHB_{sw20} และ MHB_{sw30} ในชุดการทดลองที่ 4 ใช้ *Vpa* (1.5×10^8 CFU/mL) ความเข้มข้น 2% ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 4 ชุดการทดลอง (3 ซ้ำ) ทำการทดลองทีละชุดตามลำดับ ดังนี้

- ชุดทดลองที่ 1** TC1 : MHB_{sw10} + *Vpa* (1.5×10^6 CFU/mL) (ชุดควบคุม)
 T11 : MHB_{sw10} + A5-1 จำนวน 4 ชั้น + *Vpa* (1.5×10^6 CFU/mL)
 T12 : MHB_{sw10} + A5-1 จำนวน 5 ชั้น + *Vpa* (1.5×10^6 CFU/mL)
- ชุดทดลองที่ 2** TC2 : MHB_{sw20} + *Vpa* (1.5×10^6 CFU/mL) (ชุดควบคุม)
 T21 : MHB_{sw20} + A5-1 จำนวน 4 ชั้น + *Vpa* (1.5×10^6 CFU/mL)
 T22 : MHB_{sw20} + A5-1 จำนวน 5 ชั้น + *Vpa* (1.5×10^6 CFU/mL)
- ชุดทดลองที่ 3** TC3 : MHB_{sw30} + *Vpa* (1.5×10^6 CFU/mL) (ชุดควบคุม)
 T31 : MHB_{sw30} + A5-1 จำนวน 4 ชั้น + *Vpa* (1.5×10^6 CFU/mL)
 T32 : MHB_{sw30} + A5-1 จำนวน 5 ชั้น + *Vpa* (1.5×10^6 CFU/mL)
- ชุดทดลองที่ 4** TC4 : MHB_{sw30} + *Vpa* (1.5×10^8 CFU/mL) (ชุดควบคุม)
 T41 : MHB_{sw30} + A5-1 จำนวน 6 ชั้น + *Vpa* (1.5×10^8 CFU/mL)
 T42 : MHB_{sw30} + A5-1 จำนวน 7 ชั้น + *Vpa* (1.5×10^8 CFU/mL)
 T43 : MHB_{sw30} + A5-1 จำนวน 8 ชั้น + *Vpa* (1.5×10^8 CFU/mL)

2.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี One-Way Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดทดลองด้วยวิธี Post Hoc (Least-Significant Different : LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

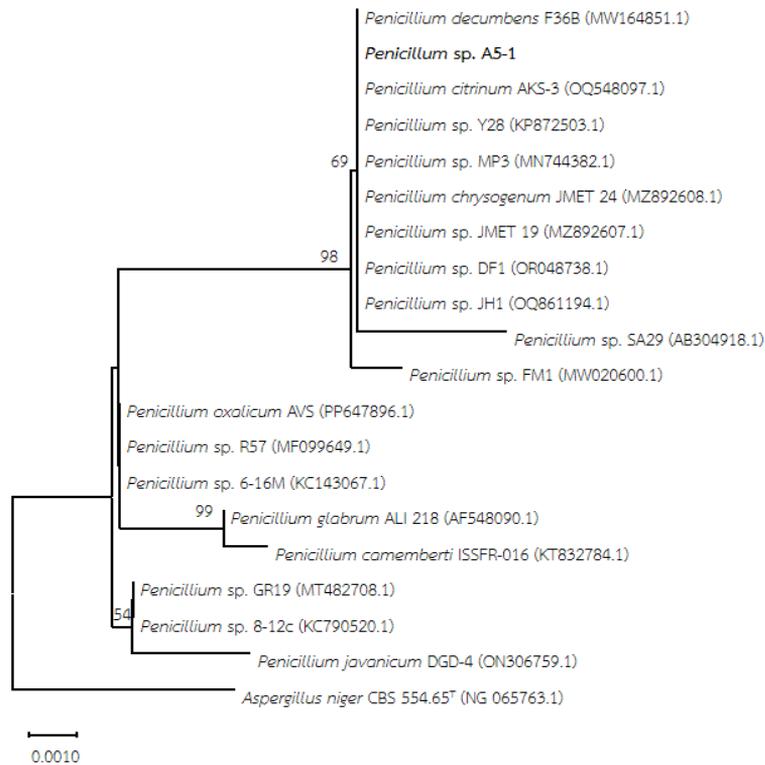
รากูกัดแยกจากดินในนาเกลือ อำเภอกำแพงใหม่ จังหวัดจันทบุรี ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2560 ถึงเดือนกรกฎาคม 2561 แสดงในภาพที่ 1 (ก) รวมทั้งสิ้น 90 สายพันธุ์ พบราสายพันธุ์ A5-1 ในตัวอย่างดินในเดือนเมษายนและเดือนกรกฎาคม ค่าความเค็มของน้ำ 150-360 psu และค่าความเค็มของดิน 180-340 psu ค่า pH ของน้ำเกลือ 7.3-7.6 มี

ลักษณะเป็นต่างอ่อน ศึกษาสิณฐานวิทยาของราบนอาหาร SDA_{sw30} พบว่าเส้นใยหาอาหารของราที่มีสีขาวมีผนังกัน เส้นใยสีบัพันธุ์มีก้านชูสปอร์ขึ้นเหนืออาหารเล็กน้อยสร้างเส้นใยและสปอร์สีเขียว สปอร์มีรูปร่างกลมรี รูปร่างโคลินีและเส้นใยของราแสดงในภาพที่ 1 (ข) จำแนกชนิดของราเทียบกับคู่มือพบว่าราสายพันธุ์ A5-1 จัดอยู่ในดิวิชัน Ascomycota คลาส Eurotiomycetes ออเดอร์ Eurotiales แฟมิลี Aspergillaceae จีนัส *Penicillium* สร้างสปอร์แบบไม่อาศัยเพศชนิดคอนิเดีย (conidia) บนก้านชูที่มีลักษณะเป็นพวงหรือช่อ (phialide) ที่อยู่ปลายสุดของก้านชูสปอร์ (conidiophore) (Barnett and Hunter, 2006) แสดงผลในภาพที่ 1 (ค)

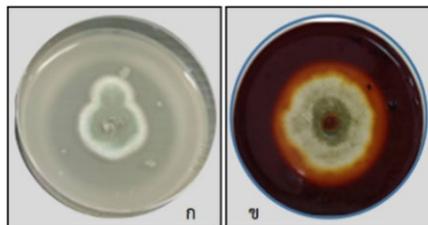


ภาพที่ 1 นาเกลือ จังหวัดจันทบุรี (ก) รูปร่างโคลินีด้านหน้าและด้านหลังของ *P. decumbens* A5-1 ในอาหาร SDA_{sw30} (ข) สปอร์แบบไม่อาศัยเพศชนิดคอนิเดียของ *P. decumbens* A5-1 (ค)

การจำแนกทางอนุพันธุศาสตร์ใช้วิธีเพิ่มปริมาณนิวคลีโอไทด์จำนวน 1,684 เบสของยีนที่ตำแหน่ง SSU rRNA และ 18S rRNA นิวคลีโอไทด์ 1,650 เบสถูกนำไปเปรียบเทียบกับนิวคลีโอไทด์ในฐานข้อมูลของ GenBank และแสดงความสัมพันธ์ทางลำดับวิวัฒนาการในภาพที่ 2 พบว่าลำดับเบสของราสายพันธุ์ A5-1 มีความคล้ายคลึงกับลำดับเบสของ *Penicillium decumbens* (*P. decumbens*) (GenBank no. MW164851.1) และ *Penicillium citrinum* (*P. citrinum*) (GenBank no. OQ548097.1) มากที่สุด เมื่อใช้เกณฑ์ทางสิณฐานวิทยาได้แก่รูปร่างโคลินี รูปร่างสปอร์สีเส้นใย และไม่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 37 °C จึงอาจจัดจำแนกรายพันธุ์ A5-1 เป็น *P. decumbens* เนื่องจาก *P. citrinum* เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมินี้ (Guevara-Suarez et al., 2016) *P. decumbens* พบได้ทั่วไปในดิน กิ่งเขตร้อน เขตร้อน และดินชายฝั่งทะเล ซึ่งจีนัส *Penicillium*, *Aspergillus*, *Eurotium* และ *Cladosporium* ถูกยืนยันว่ามีความถี่และความหลากหลายมากที่สุดที่จะพบในแหล่งน้ำทั่วโลกที่มีเกลือสูงทั้งทะเลสาบน้ำลึกที่มีสารอาหารต่ำ รวมถึงทะเลสาบน้ำนิ่งชุ่มมีสารอาหารมาก พบในดิน อากาศ และเศษใบไม้ การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ภูมิศาสตร์ ชนิดสารอาหารเป็นสาเหตุให้เกิดการแพร่กระจายของราและทำให้เราต้องเพิ่มจำนวนและรอดชีวิต พบมากถึง 3,000 สปีชีส์ในแหล่งน้ำ (Abdel-Aziz, 2008) สายพันธุ์ที่พบมากได้แก่ *Penicillium chrysogenum* และ *Aspergillus niger* (Butinar et al., 2011) *P. decumbens* เป็นราเส้นใยประจำถิ่นมีบทบาทเป็นผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบนิเวศชายฝั่ง สามารถผลิตเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารประกอบคาร์บอนได้มากถึง 18 ชนิด ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนหนึ่งขึ้นกับชนิดเอนไซม์ที่ราสร้างขึ้น จากการศึกษาพบว่า *P. decumbens* A5-1 ผลิตเอนไซม์เจลาติเนสได้ดีที่สุด ผลิตเซลลูเลส (ภาพที่ 3) โลเปส และโปรติเอสแต่ไม่ผลิตอะไมเลส ซึ่งแตกต่างจากรานาเกลือที่คัดแยกได้ ราวส่วนใหญ่จะสร้างเฉพาะเอนไซม์เซลลูเลส ดังนั้น *P. decumbens* A5-1 จึงมีคุณสมบัติย่อยสลายของเสียและสารอินทรีย์ที่ตกค้างในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ ซึ่งเป็นบทบาทหลักของราในตะกอนดินก้นบ่อเพาะเลี้ยงช่วยทำให้น้ำสะอาด (Zhou et al., 2009)



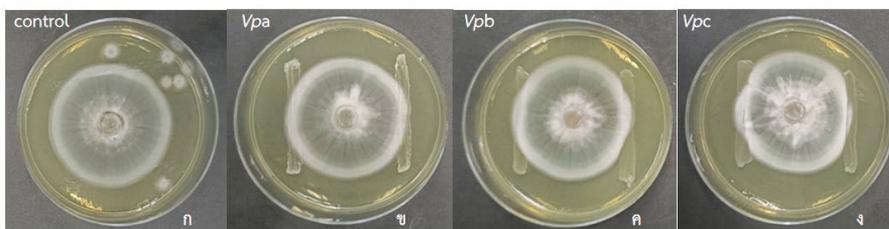
ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ทางลำดับวิวัฒนาการ (phylogenetic tree) ของ *Penicillium* sp. A5-1 ใช้โปรแกรม MEGA 11 สร้างด้วยวิธี Neighbor-Joining Tree



ภาพที่ 3 *P. decumbens* A5-1 สร้างเอนไซม์เจลาติเนสบนอาหาร gelatin agar (ก) เอนไซม์เซลลูเลสบนอาหาร cellulose agar (ข)

การเจริญของราในอาหาร PDA ที่มีความเค็มตั้งแต่ 0-60 psu พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีมีค่า 5.27 ± 0.06 , 5.23 ± 0.06 , 4.1 ± 0.1 , 3.47 ± 0.06 , 1.47 ± 0.06 , 1.0 ± 0.0 และ 0.8 ± 0.0 ซม. ในอาหาร PDA_{dw} (อาหารผสมน้ำกลั่น) PDA_{sw10}, PDA_{sw20}, PDA_{sw30}, PDA_{sw40}, PDA_{sw50} และ PDA_{sw60} ตามลำดับ จึงจัดให้ *P. decumbens* A5-1 เป็นราที่ทนเค็ม (halotolerant fungi) (Kushner, 1993) เจริญได้ดีที่สุดในอาหาร PDA ที่ผสมน้ำกลั่น ในอาหารที่มีเกลือเพิ่มขึ้น เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีจะลดลง เนื่องจากเกลือไม่มีความจำเป็นต่อการเจริญของรา อาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือสูง น้ำในอาหารจะสร้างพันธะกับเกลือจึงเหลือน้ำที่ราจะนำมาใช้ได้น้อยลง ราจึงมีการเจริญลดลงและต้องปรับตัวให้รอดชีวิต โดยการสร้างสปอร์ (Mandeel, 2006) มีรายงานว่าราทนเค็มสามารถปรับตัวให้รอดชีวิตในช่วงความเค็มหนึ่งที่อาจสูงถึง 30% NaCl (Plemenita et al., 2008) จึงจัด *P. decumbens* A5-1 เป็นราในกลุ่มทนเค็มสอดคล้องกับค่าของการพบรานี้ทั้งในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน น้ำมีค่าความเค็ม 150-360 psu และดินมีค่าความเค็ม 180-340 psu เป็นความเค็มที่สูงที่สุดทั้งน้ำและดิน จากการเป็นราทนเค็มสามารถประยุกต์ใช้ราน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำเค็มได้

การคัดกรองราที่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย Vp จำนวน 3 สายพันธุ์ (*Vpa*, *Vpb* และ *Vpc*) ด้วยวิธี dual culture บนอาหาร MHA_{sw10} พบรานาเกลือจำนวน 11 สายพันธุ์มีฤทธิ์ยับยั้ง Vp ได้คิดเป็น 12.22% ของราทั้งหมด และ *P. decumbens* A5-1 เป็นสายพันธุ์ที่ยับยั้งได้ดีที่สุด (ภาพที่ 4) *P. decumbens* A5-1 สร้างโคโลนีคลุมโคโลนีของแบคทีเรีย Vp ทั้ง 3 สายพันธุ์ตามแนวรัศมีวงกลม โดยเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของชุดควบคุมมีขนาดใกล้เคียงเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของราที่ยับยั้ง *Vpa*, *Vpb* และ *Vpc* ซึ่งรูปร่างโคโลนีของราที่แม่คลุม *Vpa* มีรูปร่างกลมสมบูรณ์ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ *Vpb* และ *Vpc* แสดงถึงความสามารถของราที่ยับยั้ง *Vpa* ได้ดีที่สุดจึงใช้ *Vpa* เป็นตัวแทนในการศึกษาในการทดลองถัดไป นอกจากการยับยั้ง Vp แล้ว Mani *et al.*, (2016) รายงานว่า *P. decumbens* AJA1 ที่คัดแยกจากเศษใบไม้สามารถยับยั้ง *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* sp., *Kelbsiella* sp., *Bacillus subtilis*, *Enterococcus* sp. และ *Staphylococcus aureus* ได้



ภาพที่ 4 *P. decumbens* A5-1 ยับยั้งแบคทีเรีย Vp 3 สายพันธุ์ *Vpa* (ข) *Vpb* (ค) และ *Vpc* (ง) ด้วยวิธี dual culture เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ก)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสร้างสารของราโดยทั่วไปได้แก่ ปริมาณแอมโมเนียม pH และความเค็มโดยจำลองจากสภาพแวดล้อมของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งพบว่าความเข้มข้นแอมโมเนียมที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งขาวอยู่ในช่วง 0.03-0.25 มก.ต่อลิตร (Adiwidjaya *et al.*, 2003) ระดับแอมโมเนียมที่กุ้งขาวทนได้ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.8 มก.ต่อลิตร (Suantika *et al.*, 2015) และไม่ควรเกิน 1 มก.ต่อลิตร กุ้งจะเจริญเติบโตได้ในช่วง pH 6-9 และเจริญเติบโตได้ดีที่ pH 7.5-8.5 ความเค็ม 2-35 psu ความเค็มที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงคือ 15-30 psu (Haliman & Adijaya, 2005) ถ้าเราสามารถเจริญและสร้างสารในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญของกุ้งจะสามารถนำรามาใช้ประโยชน์ได้ ผู้วิจัยจึงออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial design) โดยเลี้ยงราที่สภาวะต่าง ๆ รวม 36 ชุดการทดลอง ในอาหาร PDB เป็นเวลา 7 วัน นำน้ำเลี้ยงรามายับยั้ง *Vpa* บนจานอาหารแข็งด้วยเทคนิค agar well diffusion แสดงผลในตารางที่ 1 พบว่าสภาวะที่ pH คงที่ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมและความเค็มที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มส่งเสริมให้ราสร้างสารยับยั้ง *Vpa* ในน้ำเลี้ยงเพิ่มขึ้น และ pH มีผลต่อการสร้างสารพบว่าเมื่อ pH เปลี่ยนแปลงไปทางต่าง คือ 8 และ 9 ราจะสร้างสารยับยั้ง *Vpa* ได้ไซนไฮขนาดใหญ่กว่าที่ pH 6 และ 7 โดยชุดทดลอง T36 (1.0:9:30) ให้ค่าไซนไฮมากที่สุด (2.56±0.06 ซม.) และชุดทดลอง T1 (0:6:0) ให้ค่าไซนไฮน้อยที่สุด (0.83±0.06 ซม.) เส้นผ่านศูนย์กลางของไซนไฮในชุดทดลอง pH 8 แสดงในภาพที่ 5 (ก) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าผลของ pH ในชุดทดลอง T1, T10, T19 และ T28 ที่มีแอมโมเนียม 0 มก.ต่อลิตร และความเค็มเท่ากับ 0 psu ค่าไซนไฮในชุด T19 และ T28 มีความแตกต่างกับ T1 อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ดังนั้น pH 8 และ 9 อาจเหมาะสมต่อการสร้างสารเมื่อเปรียบเทียบกับ pH 6 สามารถประยุกต์ใช้ราในการเตรียมน้ำก่อนใช้เพาะเลี้ยงกุ้งและบำบัดน้ำหลังเพาะเลี้ยงกุ้งเพราะราเจริญเติบโตและสร้างสารได้ดีที่ pH 6-9 ขณะที่กุ้งเจริญได้ดีที่ pH 7.5-8.5 (Haliman & Adijaya, 2005)

ตารางที่ 1 ผลของ pH แอมโมเนียม และความเค็มต่อการสร้างสารออกฤทธิ์ของ *P. decumbens* A5-1 ยับยั้ง *Vpa*

ชุดการทดลอง: เส้นผ่านศูนย์กลางของไซนไฮ ($\bar{X} \pm SD$) (ขม.)											
NH ₄ ⁺ :pH:psu			NH ₄ ⁺ :pH:psu			NH ₄ ⁺ :pH:psu			NH ₄ ⁺ :pH:psu		
T	pH 6	$\bar{X} \pm SD$	T	pH 7	$\bar{X} \pm SD$	T	pH 8	$\bar{X} \pm SD$	T	pH 9	$\bar{X} \pm SD$
1	0:6:0	0.83±0.06 ^{BAa}	10	0:7:0	0.96±0.06 ^{BOCc}	19	0:8:0	1.20±0.00 ^{DF}	28	0:9:0	1.20±0.00 ^{ΩJe}
2	0:6:15	1.33±0.06 ^b	11	0:7:15	1.36±0.06 ^d	20	0:8:15	1.46±0.06	29	0:9:15	1.56±0.06 ^f
3	0:6:30	1.26±0.06 ^b	12	0:7:30	1.36±0.06 ^d	21	0:8:30	1.40±0.00	30	0:9:30	1.60±0.10 ^f
4	0.5:6:0	1.56±0.06 ^B	13	0.5:7:0	1.63±0.06 ^D	22	0.5:8:0	1.76±0.06 ^G	31	0.5:9:0	1.80±0.10 ^K
5	0.5:6:15	1.76±0.06	14	0.5:7:15	1.70±0.00	23	0.5:8:15	1.90±0.00	32	0.5:9:15	1.86±0.06
6	0.5:6:30	1.76±0.06	15	0.5:7:30	1.96±0.12	24	0.5:8:30	2.00±0.00	33	0.5:9:30	2.10±0.10
7	1.0:6:0	1.96±0.06 ^B	16	1.0:7:0	2.06±0.06 ^F	25	1.0:8:0	2.23±0.06 ^H	34	1.0:9:0	2.53±0.06 ^L
8	1.0:6:15	1.93±0.06	17	1.0:7:15	2.00±0.00	26	1.0:8:15	2.23±0.06	35	1.0:9:15	2.53±0.06
9	1.0:6:30	1.86±0.06	18	1.0:7:30	2.16±0.06	27	1.0:8:30	2.26±0.06	36	1.0:9:30	2.56±0.06

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ Ω และ β ที่ไม่เหมือนกันในแนวนอน หมายถึง \bar{X} ของไซนไฮมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

: ตัวอักษร A B C D E F G H J K และ L ที่ไม่เหมือนกันในแนวตั้ง หมายถึง \bar{X} ของไซนไฮมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

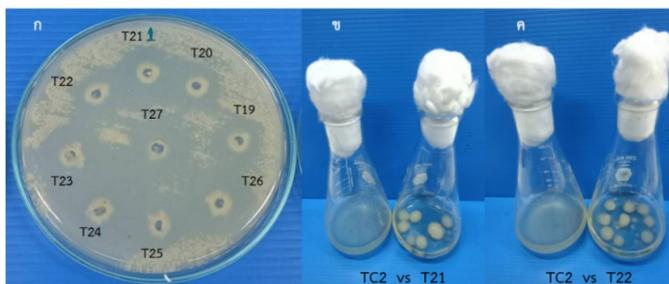
: ตัวอักษร a b c d e และ f ที่ไม่เหมือนกันในแนวตั้ง หมายถึง \bar{X} ของไซนไฮมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ผลของแอมโมเนียมพิจารณาจากชุดของ pH 6 (T1, T4 และ T7) pH 7 (T10, T13 และ T16) pH 8 (T19, T22 และ T25) และ pH 9 (T28, T31 และ T34) ทุกชุดจะอยู่ในสภาวะที่ pH คงที่ ความเค็มเท่ากับ 0 psu และความเข้มข้นของแอมโมเนียมเท่ากับ 0, 0.5 และ 1.0 มก.ต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าค่าไซนไฮในแต่ละชุดการทดลองของแต่ละ pH มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ยกเว้น T4 ค่าไซนไฮไม่แตกต่างจาก T7 ดังนั้นความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่เพิ่มขึ้นของแต่ละชุดทดลองโดยส่วนใหญ่มีผลต่อการสร้างสารยับยั้ง *Vpa*

ผลของความเค็มพิจารณาจากชุดการทดลองของ pH 6 (T1, T2 และ T3) pH 7 (T10, T11 และ T12) และ pH 9 (T28, T29 และ T30) ในสภาวะที่ pH คงที่ และแอมโมเนียมเท่ากับ 0 มก.ต่อลิตร พบว่าชุดทดลองที่ความเค็ม 15 และ 30 psu มีผลให้ค่าไซนไฮในการยับยั้ง *Vpa* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับความเค็มที่ 0 psu และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าไซนไฮที่ความเค็ม 15 และ 30 psu ระหว่าง T2 และ T3, T11 และ T12, T29 และ T30 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) เนื่องจาก *P. decumbens* A5-1 เป็นราทนเค็มสามารถเจริญและรอดชีวิตได้เมื่อมีความเค็มเพิ่มขึ้น แต่ความเค็มที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลให้การเจริญของเส้นใยลดลง ว่าจะป้องกันเซลล์จากสิ่งแวดล้อมและจุลินทรีย์อื่นด้วยการสร้างสปอร์ ดังรายงานค่าความเค็มที่เกิน 5% ว่าจะป้องกันเซลล์ให้ยู่รอดโดยการสร้างคลามายโดสปอร์เพิ่มขึ้นและสร้างเส้นใยอาหารลดลง (Mandeel, 2006) สอดคล้องกับรายงานของ Gunde-Cimerman *et al.* (2000) พบว่าในอาหารที่เพิ่มความเข้มข้นของเกลือส่งผลให้ค่า water activity (a_w) ในอาหารลดต่ำแต่พบกิจกรรมการย่อยเลือด (hemolytic activity) และการยับยั้งแบคทีเรีย (antibacterial activity) ของราสูงขึ้น (Sepcic *et al.*, 2011)

จากผลการศึกษาทั้ง pH ที่ค่อนข้างต่าง ความเค็มตั้งแต่ 0-30 psu และความเข้มข้นของแอมโมเนียมตั้งแต่ 0-1 มก.ต่อลิตร มีผลต่อปริมาณของสารยับยั้งที่สร้างขึ้น แอมโมเนียมในอาหารจะเป็นแหล่งไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างสารทุติยภูมิให้กับราสอดคล้องกับค่าไซนไฮที่ยับยั้ง *Vpa* กว้างขึ้นตามความเข้มข้นของแอมโมเนียมเพิ่มขึ้น การประยุกต์ใช้ *P. decumbens* มีข้อได้เปรียบเนื่องจากราสามารถใช้แหล่งไนโตรเจนได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น โปแตสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท ถั่วเหลืองและเคซีน (Mani *et al.*, 2016) แอมโมเนียมจะถูก

เปลี่ยนรูปด้วยเมตาบอลิซึมของเราได้เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารทุติยภูมิแบ่งตามโครงสร้างและสารตั้งต้นได้แก่ กลุ่ม steroids และ terpenoids, polyketides และกลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มย่อย คือ peptides, indole-alkaloids, pyridines/pyridinones/piperazine/diketopiperazine และ pyrimidine/pyrimidinone (Xu *et al.*, 2015) จากรายงานพบว่า *P. decumbens* สร้างสารในกลุ่ม polyketides ชนิด decumbenones A และ B (Fujii *et al.*, 2002) และในกลุ่ม peptides ชนิด cyclopenicillone (Lin *et al.*, 2011)



ภาพที่ 5 *P. decumbens* A5-1 สร้างสารยับยั้ง *Vpa* ในชุดทดลอง pH 8 (ก) อาหาร MHB ที่มีราและแบคทีเรียเจริญร่วมกันในชุด T21 และ T22 ที่เวลา 72 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับชุดควบคุม TC2 (ข และ ค)

การประยุกต์ใช้ราในสภาวะจริงจะเป็นการเจริญร่วมกันของเราและแบคทีเรียในน้ำ ผู้วิจัยได้ศึกษาความเข้มข้นของเราในอาหารเหลว MHB ตามวิธีศึกษาข้อ 2.6 แสดงผลในตารางที่ 2 พบว่าที่ความเค็ม 10 psu ในชุดทดลอง T11 และ T12 หลังเติม *Vpa* ลงในน้ำเลี้ยงราที่ชั่วโมงที่ 0 พบว่า *Vpa* มีจำนวน 4.29×10^3 และ 4.51×10^3 CFU/mL ในชั่วโมงที่ 24, *Vpa* ลดจำนวนเหลือเพียง 80 และ 57 CFU/mL และมีจำนวนลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงชั่วโมงที่ 96 เมื่อเปรียบเทียบกับชุด TC1 ที่ชั่วโมงต่าง ๆ ตามลำดับ ดังนั้นที่ความเค็ม 10 psu ความเข้มข้นของเราในชุด T11 (รา 4 ชั้น มีสปอร์ 7.08×10^5 สปอร์/มล.) และ T12 (รา 5 ชั้น มีสปอร์ 1.36×10^6 สปอร์/มล.) สามารถยับยั้งและลดจำนวน *Vpa* ให้น้อยกว่า 100 CFU/mL ได้ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 24

ที่ความเค็ม 20 psu ในชุดทดลอง T21 และ T22 หลังเติม *Vpa* ลงในน้ำเลี้ยงราที่ชั่วโมงที่ 0 พบว่า *Vpa* มีจำนวน 5.93×10^3 และ 4.56×10^3 CFU/mL ตามลำดับ ชั่วโมงที่ 24, *Vpa* ลดจำนวนเหลือ 100 และ 63 CFU/mL และไม่พบ *Vpa* ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 72 สังเกตได้จากอาหาร MHB ในชุด T21 และ T22 ที่เวลา 72 ชั่วโมง มีลักษณะใสไม่มีตะกอนเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ภาพที่ 5 ข และ ค) ดังนั้นที่ความเค็ม 20 psu ความเข้มข้นของเราในชุด T21 (รา 4 ชั้น มีสปอร์ 7.08×10^5 สปอร์/มล.) และ T22 (รา 5 ชั้น มีสปอร์ 1.36×10^6 สปอร์/มล.) สามารถลดจำนวน *Vpa* ให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 CFU/mL ได้ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 24 ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างจากชุดทดลองที่ความเค็ม 30 psu พบว่าในชุดทดลอง T31 และ T32 หลังเติม *Vpa* ลงในน้ำเลี้ยงราที่ชั่วโมงที่ 0, *Vpa* มีจำนวน 1.65×10^4 และ 1.37×10^4 CFU/mL ชั่วโมงที่ 24 และ 48 จำนวน *Vpa* ทั้ง 2 ชุดการทดลองกลับมีจำนวนเพิ่มขึ้น และชั่วโมงที่ 72 และ 96 ยังพบจำนวน *Vpa* สูงถึง 4.22×10^3 และ 1.36×10^3 CFU/mL ตามลำดับ ดังนั้นที่ความเค็ม 30 psu รา *P. decumbens* A5-1 ไม่สามารถลดจำนวน *Vpa* ให้น้อยกว่า 100 CFU/mL ได้

ในชุดทดลองที่มีความเค็ม 10 และ 20 psu ความเข้มข้นของสปอร์ราที่ 7.08×10^5 สปอร์/มล. (4 ชั้น) และ 1.36×10^6 สปอร์/มล. (5 ชั้น) มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะยับยั้ง *Vpa* ได้มากกว่าที่ความเค็ม 30 psu เนื่องจากแบคทีเรียสกุล *Vibrio* จัดเป็นกลุ่มที่เจริญได้ดีที่ความเค็มตั้งแต่ 3-7% ของโซเดียมคลอไรด์ เซลล์จะเกิดความเครียดและปรับตัว เช่น *Vibrio brasiliensis* สร้างโปรตีน MotY (the sodium-type flagella protein MotY) เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นโปรตีนที่พบในเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกมีหน้าที่ขับเคลื่อน Na^+ ให้ได้เป็นพลังงานใช้ในการเคลื่อนที่ของเซลล์ เมื่อมีความเค็มเพิ่มขึ้นแบคทีเรีย

จะเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นพบใน *Vp* และ *Vibrio cholerae* ด้วย (Atsumi *et al.*, 1992) นอกจากนี้ยังพบการแสดงออกของยีนส์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ การเพิ่มสารพันธุกรรม โพรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายสารอนินทรีย์ออกนอกเซลล์ และการซ่อมแซมเซลล์ ดังนั้น *Vpa* จะซ่อมแซมเซลล์และแบ่งตัวเพิ่มจำนวนสูงขึ้นเพื่อการรอดชีวิต (Hu *et al.*, 2022) ในสภาวะที่มีเกลือสูง

ในชุดทดลองที่ 4 ผู้วิจัยจึงได้เพิ่มความเข้มข้นของราเป็น 6 ซีน มีสปอร์ 2.18×10^6 สปอร์/มล. (T41), 7 ซีน มีสปอร์ 2.47×10^6 สปอร์/มล. (T42) และ 8 ซีน มีสปอร์ 2.94×10^6 สปอร์/มล. (T43) และปรับใช้ 2% ของ *Vpa* ที่จำนวนเริ่มต้น 1.5×10^8 CFU/mL ผลแสดงในตารางที่ 3 พบว่าจำนวน *Vpa* ของ TC4 ที่ชั่วโมงที่ 0 และ 96 เท่ากับ 2.46×10^7 และ 1.97×10^{10} CFU/mL พบจำนวนสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 48 เท่ากับ 2.57×10^{10} CFU/mL หลังเติม *Vpa* ลงในน้ำเลี้ยงราพบว่าในชุด T41 สามารถลดจำนวน *Vpa* ได้ต่ำสุดที่ 3.48×10^6 CFU/mL ในชั่วโมงที่ 0 เท่านั้น ส่วนในชุด T42 และ T43 ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 24 จำนวน *Vpa* ลดลงอย่างต่อเนื่องและชั่วโมงที่ 96 ลดจำนวนเหลือ 10 และ 27 CFU/mL ตามลำดับ ดังนั้นที่ความเค็ม 30 psu ความเข้มข้นของราในชุด T42 และ T43 ลดจำนวน *Vpa* ให้น้อยกว่า 100 CFU/mL ได้ที่ชั่วโมงที่ 96 (ภาพที่ 6) สอดคล้องกับรายงานของ Guo *et al.* (2023) รายงานว่าสารทุติยภูมิชนิด viridicatol, cyclophenol และ cyclophenoin ที่ผลิตจากรา *Penicillium* sp. Z2230 ซึ่งคัดแยกจากพืชในทวีปอาร์กติกมีฤทธิ์ยับยั้ง *Vp*, *V. cholerae* และ *Vibrio vulnificus* สารจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ peptide deformylase (PDF) ไม่ให้ตัดหมู่ formyl group ออกจากปลายสายโปรตีนในขบวนการสังเคราะห์โปรตีนจึงเป็นการยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีนส่งผลให้แบคทีเรียไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Durand *et al.*, 1999)

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของ *P. decumbens* A5-1 และเวลาในการยับยั้ง *Vpa* ที่ความเค็มระดับต่าง ๆ

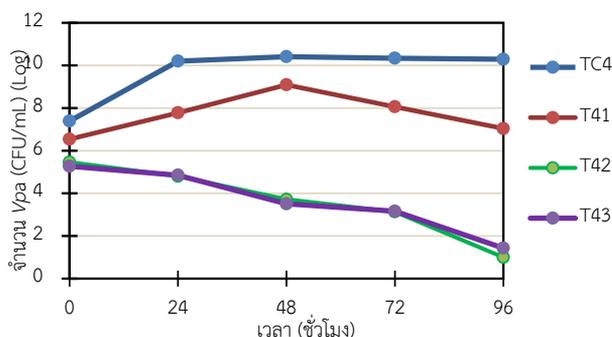
จำนวน <i>Vibrio parahaemolyticus</i> (CFU/mL) ที่เวลา 0-96 ชั่วโมง (<i>Vpa</i> เริ่มต้น 1.5×10^6 CFU/mL)									
เวลา hr	MHB _{SW} 10 psu			MHB _{SW} 20 psu			MHB _{SW} 30 psu		
	TC1 ควบคุม	T11	T12	TC2 ควบคุม	T21	T22	TC3 ควบคุม	T31	T32
0	2.55×10^5	4.29×10^3	4.51×10^3	3.03×10^5	5.93×10^3	4.56×10^3	2.42×10^5	1.65×10^4	1.37×10^4
24	3.76×10^8	80*	57*	5.59×10^8	100*	63*	3.70×10^8	2.72×10^5	2.15×10^5
48	5.47×10^8	23*	3*	3.09×10^8	133*	0*	6.12×10^8	4.88×10^5	3.81×10^5
72	2.31×10^8	0*	0*	2.74×10^8	0*	0*	3.33×10^8	5.05×10^3	4.82×10^3
96	1.85×10^8	97*	10*	2.09×10^8	0*	0*	2.15×10^8	4.22×10^3	1.36×10^3

หมายเหตุ : * ความเข้มข้นที่ 10^0 ได้จำนวนโคโลนีน้อยกว่า 30 โคโลนี/มล.

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของ *P. decumbens* A5-1 และเวลาในการยับยั้ง *Vpa* ที่ความเค็ม 30 psu

จำนวน <i>Vibrio parahaemolyticus</i> (CFU/mL) ที่เวลา 0-96 ชั่วโมง (<i>Vpa</i> เริ่มต้น 1.5×10^8 CFU/mL)				
เวลา hr	MHB _{SW} 30 psu			
	TC4 ควบคุม	T41	T42	T43
0	2.46×10^7	3.48×10^6	2.86×10^5	1.85×10^5
24	1.59×10^8	6.09×10^7	6.34×10^4	7.06×10^4
48	2.57×10^{10}	1.22×10^9	5.3×10^3	3.26×10^3
72	2.21×10^{10}	1.14×10^8	1.36×10^3	1.45×10^3
96	1.97×10^{10}	1.1×10^7	10*	27*

หมายเหตุ : * ความเข้มข้นที่ 10^0 ได้จำนวนโคโลนีน้อยกว่า 30 โคโลนี/มล.



ภาพที่ 6 ความเข้มข้นของ *P. decumbens* A5-1 และเวลาในการยับยั้ง *Vpa* ที่ความเค็ม 30 psu

ผลของการเจริญร่วมกันในอาหารเหลวระหว่าง *P. decumbens* A5-1 และ *Vpa* สามารถประยุกต์ใช้ราในการเตรียมน้ำและบำบัดน้ำที่ผ่านการเพาะเลี้ยงกุ้งที่ระดับความเค็มต่าง ๆ ในกุ้งระยะ postlarval (15-20 psu) และกุ้งตัวเต็มวัย (5-10 psu) เนื่องจากราเจริญได้ในสภาพแวดล้อมเดียวกับกุ้ง เช่น pH ความเค็ม และใช้แอมโมเนียจากน้ำเพาะเลี้ยงกุ้งเป็นแหล่งไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโตของรา ความเข้มข้นของราที่ใช้ขึ้นกับความเค็มที่เพิ่มขึ้นและปริมาณ *Vp* โดยเฉลี่ยในน้ำ ความเค็มที่เพิ่มขึ้นจะกระตุ้นให้ราสร้างสปอร์และสารยับยั้ง *Vp* ได้ ซึ่งต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเข้มข้นของราและเวลาที่ให้ราเจริญเติบโตและสร้างสารยับยั้งในระบบเพาะเลี้ยงจริง ด้านความปลอดภัยในแง่การก่อโรคของราในสัตว์น้ำเป็นเรื่องจำเป็นที่ต้องศึกษาในลำดับถัดไป ซึ่งปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้รา *P. decumbens* URM 6018 ร่วมกับ *Mucor subtilissimus* URM 4133, *Mucor* sp. URM 4146, *Mucor guilliermondii* URM 5848 และ *Aspergillus viride-nutans* URM 6629 ที่คัดแยกได้จากอาหารรวม 5 สายพันธุ์ นำมาย่อยเคซินในนมแพะจนได้เปปไทด์ที่ขนาดโมเลกุล 3 ถึง 10 กิโลดาลตัน พบว่ามีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบ ลดความดันโลหิต และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Gomes *et al.*, 2022) การประยุกต์ใช้ราเพื่อเพิ่มมูลค่าในอาหารคนและอาหารสัตว์ที่ส่งเสริมการเจริญและกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในอนาคต

4. สรุป

จากการคัดแยกจากนาเกลือ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดจันทบุรี ช่วงเดือนตุลาคม 2560 ถึงเดือนกรกฎาคม 2561 พบว่าราสายพันธุ์ A5-1 เป็นสายพันธุ์ *Penicillium decumbens* A5-1 ที่สร้างเอนไซม์ได้หลายชนิดเป็นราทนเค็มเจริญได้ที่ความเค็ม 0-60 psu *P. decumbens* A5-1 สามารถยับยั้ง *Vp* ที่คัดแยกจากกุ้งที่ป่วยเป็นโรค EMS ได้ด้วยเทคนิค dual culture ราสามารถเจริญและสร้างสารยับยั้ง *Vpa* ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญของกุ้งได้ที่ pH 6-9 ปริมาณแอมโมเนีย 0-1.0 มก.ต่อลิตร และความเค็ม 0-30 psu พบว่าทั้ง pH ปริมาณแอมโมเนียและความเค็มมีผลต่อการสร้างสารยับยั้งของรา ในการศึกษาการเจริญร่วมกันในอาหารเหลวพบว่าราสามารถยับยั้ง *Vp* ที่มีจำนวนเริ่มต้นตั้งแต่ 10^5 - 10^7 CFU/mL ความเข้มข้นของราและเวลาที่ใช้ควบคุมจะแตกต่างกันขึ้นกับความเค็มของน้ำเพาะเลี้ยงและความเข้มข้นของ *Vp* เริ่มต้น ดังนั้นสามารถประยุกต์ใช้รา *P. decumbens* A5-1 เพื่อยับยั้ง *Vp* ที่เป็นสาเหตุของโรค EMS ที่ปนเปื้อนในการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลได้

5. เอกสารอ้างอิง

- Abdel-Aziz, F.A. (2008). Diversity of aquatic fungi on *Phragmites australis* at lake Manzala, Egypt. *Sydowia*, 60(1): 1-14.
- Adiwidjaya, D., Raharjo, S.P., Sutikno, E., & Subiyanto, S. (2003). **Technical guidelines for environmentally friendly closed system vannamei shrimp farming**. Ministry of Marine Affairs and Fisheries, Directorate General of Aquaculture. (Jepara: Center for Brackish Water Cultivation Development) p. 29 [in Indonesia]

- Atsumi, T., McCartert, L., & Imae, Y. (1992). Polar and lateral flagellar motors of marine *Vibrio* are driven by different ion-motive forces. **Nature**, **355**, 182-184.
- Barnett, H.L., & Hunter, B.B. (2006). **Illustrate genera of imperfect fungi**. New York: Macmillan Publishing Company.
- Butinar, L., Frisvad, J.C., & Gunde-Cimerman, N. (2011). Hypersaline waters: A potential source of foodborne toxigenic aspergilli and penicillia. **FEMS Microbiology Ecology**, **77**(1), 186-199.
- Chucherd, N. (2013). The case study of EMS in Thailand. **Asian Aquaculture Network, The Practical Megazine**, **4**(13), 14-19.
- Dinesh, R., Anandaraj, M., Kumar, A., Bini, Y.K., Subila, K.P., & Aravind, R. (2015). Isolation, characterization, and evaluation of multi-trait plant growth promoting rhizobacteria for their growth promoting and disease suppressing effects on ginger. **Microbiological Research**, **173**, 34-43.
- Durand, D.J., Gordon Green, B., O'Connell, J.F., & Grant, S.K. (1999). Peptide aldehyde inhibitors of bacterial peptide deformylases. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, **367**(2), 297-302.
- Fuentes, M.E., & Quiñones, R.A. (2016). Carbon utilization profile of the filamentous fungal species *Fusarium fujikuroi*, *Penicillium decumbens*, and *Sarocladium strictum* isolated from marine coastal environments. **Mycologia**, **108**(6), 1069-1081.
- Fujii, Y., Asahara, M., Ichinoe, M., & Nakajima, H. (2002). Fungal melanin inhibitor and related compounds from *Penicillium decumbens*. **Phytochemistry**, **60**(7): 703-708.
- Gomes, J.E.G., Nascimento, T.C.E.S, de Souza-Motta, C.M., Montalvo, G.S.A., Boscolo, M., Gomes, E., Moreira, K.A., Pintado, M.M., & Silva, R.D. (2022). Screening and application of fungal proteases for goat casein hydrolysis towards the development of bioactive hydrolysates. **Journal of Food Measurement and Characterization**, **16**(6), 4650-4664.
- Griffith, R. W. (1994). The life of the first vertebrates. **Bioscience**, **44**(6): 408-417.
- Guevara-Suarez, M., Sutton, D., Cano-Lira, J., García, D., Martín-Vicente, A., Wiederhold, N., Guarro, J., & Gené, J. (2016). Identification and antifungal susceptibility of *Penicillium*-like fungi from clinical samples in the United States. **Journal of Clinical Microbiology**, **54**(8), 2155-2161.
- Gunasekaran, P. (1995). **Laboratory manual in Microbiology**. New Delhi: New Age International Publishers.
- Gunde-Cimerman, N., Zalarb, P., de Hoog, S., & Plemenitas, A. (2000). Hypersaline waters in salterns-natural ecological niches for halophilic black yeasts. **FEMS Microbiology Ecology**, **32**(3), 235-240.
- Guo, J., Yang, J., Wang, P., Guo, B., Li, H., Zhang, D., An, F., & Gao, S. (2023). Anti-vibriosis bioactive molecules from Arctic *Penicillium* sp. Z2230. **Bioresources and Bioprocessing**, **10**(1), 11.
- Haliman, R.W., & Adijaya, D. S. (2005). **Vanamei shrimp and disease-resistant white shrimp market prospects**. (Jakarta: Penebar Swadaya) p.75 [in Indonesian]
- Hu, S., Li, Y., Wang, B., Yin, L., & Jia, X. (2022). Effects of NaCl concentration on the behavior of *Vibrio brasiliensis* and transcriptome analysis. **Foods**, **11**(1), 840-856.

- Kushner, D. J. (1993). Growth and nutrition of halophilic bacteria. In Vreeland, R. H. & Hochstein, L. (Eds.), **The Biology of halophilic bacteria** (87-103). Florida: CRC Press.
- Lin, S., Shi, T., Chen, K.Y., Zhang, Z.X., Shan, L., Shen, Y.H., & Zhang, W.D. (2011). Cyclopicenillone, a unique cyclopentenone from the cultures of *Penicillium decumbens*. **Chemical Communications**, **37**, 10413-10415.
- Mandeel, Q.A. (2006). Biodiversity of the genus *Fusarium* in saline soil habitats. **Journal of Basic Microbiology**, **46**(6), 480-494.
- Mani, A., Chauhan, R., & Abraham, J. (2016). Antimicrobial and antioxidant potential of *Penicillium decumbens* strain AJA1 against various pathogens. **Research Journal of Pharmacy and Technology**, **9**(7), 801.
- Ong, C.J.N., Clemente, R.F., Alajjos, O.R., Pascual, L.J., Aguilar, R.N., & Desacula, R. (2023). In-silico molecular phylogeny of Philippine Myxomycetes using 18S rRNA and small subunit rRNA (SSU) gene Sequences. **Journal of Tropical Life Science**, **13**(3), 421-430.
- Phongpaichit, S., Nikom, J., Rungjindamai, N., Sakayaroj, J., Hutadilok-Towatana, N., Rukachaisirikul, V., & Kirtikara, K. (2007). Biological activities of extracts from endophytic fungi isolated from garcinia plants. **FEMS Immunology & Medical Microbiology**, **51**(3): 517-525.
- Plemenita, A., Vaupotic, T., Lenassi, M., Kogej, T., & Gunde-Cimerman, N. (2008). Adaptation of extremely halotolerant black yeast *Hortaea wernneckii* to increased osmolarity: A molecular perspective at a glance, **Studies in Mycology**, **61**, 67-75.
- Sepcic, K., Zalar, P., & Gunde-Cimerman, N. (2011). Low water activity induces the production of bioactive metabolites in halophilic and halotolerant fungi. **Mar Drugs**, **9**(1), 43-58.
- Suantika, G., Lumbantoruan, G., Muhammad, H., Azizah, F.F.N., & Aditiawati, P. (2015). Performance of zero water discharge (ZWD) system with nitrifying bacteria and microalgae *Chaetoceros calcitrans* components in super intensive white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture. **Journal Aquaculture Research & Development**, **6**(9), 359-364.
- Xu, L., Meng, W., Cao, C., Wang, J., Shan, W., & Wang, Q. (2015). Antibacterial and antifungal compounds from marine fungi. **Mar Drugs**, **13**(6), 3479-3513.
- Yeung, P.S., & Boor, K.J. (2004). Epidemiology, pathogenesis, and prevention of foodborne *Vibrio parahaemolyticus* infections. **Foodborne Pathogens and Disease**, **1**(2), 74-88.
- Yingkajorn, M., Mitraparp-Arthorn, P., Nuanualsuwan, S., Poomwised, R., Kongchuay, N., Khamhaeng, N., & Vuddhakul, V. (2014). Prevalence and quantification of pathogenic *Vibrio parahaemolyticus* during shrimp culture in Thailand. **Diseases of Aquatic Organisms**, **112**(2), 103-111.
- Zhou, Q., Li, K., Xie, J., & Liu, B. (2009). Role and functions of beneficial microorganisms in sustainable aquaculture. **Bioresource Technology**, **100**(16), 3780-3786.

(Received: 1/Apr/2024, Revised: 13/Jun/2024, Accepted: 24/Jun/2024)

ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชต่อความหนาแน่นของวัชพืช ในแปลงปลูกสับปะรด

Impact of Organic Fertilizer and Weed Control on Weed Density in Pineapple Crop

ณัฐญา เรือนแป้น* สุพรรณษา ชินวรณ์ และ วชิราภรณ์ เรือนแป้น

Nathaya Ruanpan*, Supansa Chinaworn and Wachiraporn Ruanpan

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ

Plant Production Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangpra campus

*E-mail: nathaya_ru@rmutto.ac.th โทร. 062-5424445

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อความหนาแน่นของวัชพืชในแปลงปลูกสับปะรด มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อความหลากหลายของชนิด ความหนาแน่น และน้ำหนักสดของวัชพืชในแปลงปลูกสับปะรดในช่วง 90 วันหลังปลูก การทดลองดำเนินในจังหวัดชลบุรีระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2564 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2565 วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ สิ่งทดลองประกอบด้วยวิธีการให้ปุ๋ย 4 วิธี คือ การไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น อัตรา 2.47 ตัน/ไร่ การใช้ปุ๋ยมูลไก่ อัตรา 1.67 ตัน/ไร่ และการใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นร่วมกับปุ๋ยมูลไก่ อัตรา 2.47+1.67 ตัน/ไร่ ร่วมกับการควบคุมวัชพืช 3 วิธี คือ การไม่ควบคุมวัชพืช การควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน (ทำร่น) 1 ครั้ง/เดือน การควบคุมวัชพืชด้วยสารไดยูรอนและโบรมาซิล อัตรา 320+320 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ ผลการทดลองพบวัชพืชทั้งหมด 10 ชนิด ได้แก่ วัชพืชใบกว้าง 5 ชนิด (50 %) วัชพืชตระกูลหญ้า 4 ชนิด (40 %) และวัชพืชตระกูลกก 1 ชนิด (10 %) วัชพืชที่พบในทุกสิ่งทดลอง ได้แก่ ผักบุ้ง ผักเบี้ยหิน และแห้วหมู การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นให้ความหนาแน่นและน้ำหนักสดของต้นผักบุ้งและแห้วหมูมากกว่าการใช้ปุ๋ยมูลไก่ ในขณะที่ให้น้ำหนักสดของผักเบี้ยหินน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยมูลไก่ การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นร่วมกับปุ๋ยมูลไก่ให้ความหนาแน่นและน้ำหนักสดของวัชพืชมากกว่าการใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นหรือปุ๋ยมูลไก่อย่างเดียว แสดงให้เห็นว่า ในช่วง 90 วันหลังปลูก ชนิดและปริมาณการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อความหนาแน่นและน้ำหนักสดของวัชพืช ซึ่งจะแปรผันตามชนิดของวัชพืชที่พบในแปลงปลูก หากพบผักบุ้งและแห้วหมูในแปลงปลูกควรควบคุมวัชพืชโดยใช้สารกำจัดวัชพืช แต่หากพบผักเบี้ยหินสามารถเลือกได้ทั้งการควบคุมด้วยแรงงานคน (ทำร่นเดือนละครั้ง) หรือการใช้สารกำจัดวัชพืชได้ การเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินปลูกสับปะรดเกษตรกรสามารถให้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นได้เพราะเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งในแปลงปลูกและลดต้นทุนการผลิต ทั้งนี้ การศึกษาครั้งนี้มีระยะเวลาเพียง 90 วันหลังปลูกและศึกษาเฉพาะผลกระทบต่อวัชพืชเท่านั้น ดังนั้นควรศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชในระยะยาวจะเป็นประโยชน์ในการยืนยันต่อจำนวนเมล็ดของวัชพืชในดิน ความหนาแน่นของวัชพืช ความหลากหลายของวัชพืช ผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับปะรด ซึ่งจะเป็ข้อมูลสำคัญในการจัดการวัชพืชในแปลงปลูกเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตและเพิ่มปริมาณผลผลิตสับปะรดต่อไป

คำสำคัญ : ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น ปุ๋ยมูลไก่ ปุ๋ยอินทรีย์ ความหนาแน่นของวัชพืช

Abstract

This study was conducted to evaluate the effect of different organic fertilizer applications and weed control on the diversity, density, and fresh weight of weeds in pineapple plantations during 90 days after planting. The experiment was conducted in Chonburi Province from November 2021 to February 2022. The randomized complete block design (RCBD) with three replications was used, and 12 treatments consisted of four organic fertilizer applications (control without using organic fertilizer, chopped pineapple leaves composted at 2.47 ton/rai, chicken manure at 1.67 ton/rai, and a mixture of chopped pineapple leaves composted at 2.47 and chicken manure at 1.67 ton/rai) with three weed controls (control without weeding, hand weeding once a month and using a mixture of bromacill at 320 and diuron at 320 g a.i./rai). Total ten weed species emerged and grew on the studying field, there were five broad-leaved (50%), four grasses (40%), and one sedge (10%). Among various species, morning glory, horse purslane and nutgrass were the dominant species in all plot. Weed density and fresh weight were higher in morning glory and nutgrass with chopped pineapple leaves composted application, but lower in horse purslane than chicken manure application. Interestingly, using chopped pineapple leaves composted or chicken manure alone resulted in lower weed density and fresh weight than combining chopped pineapple leaves composted and chicken manure. The results indicated that 90 days after planting, the type and rate of organic fertilizer application affected weed density and fresh weight, which varied according to weed species. Weed control of horse purslane can use herbicides or hand weeding once a month, while morning glory and nutgrass use herbicides only. Suitable alternative of the use of organic fertilizers to improve fertility in pineapple cropping systems is chopped pineapple leaves composted because it recycling waste and reducing costs. This study lasted 30-90 days after planting and aims to effect on weeds only. However, long-term experiments on organic fertilizer application would help confirm the influence of organic fertilization on weed seed bank, weed density, species diversity, the growth and crop yield of pineapple for weed management in cropping systems to increase production potential and pineapple crop yield.

Keywords : chopped pineapple leaves composted, chicken manure, organic fertilizer, weed density

1. บทนำ

สับปะรด *Ananas comosus* (L.) Merr. อยู่ในวงศ์ Bromeliaceae มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปอเมริกา สับปะรดเป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจของไทย ในปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกประมาณ 352,000 ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยว 341,163 ไร่ ได้ผลผลิต 1,258,028 ตัน หรือ 3,678 กิโลกรัมต่อไร่ มูลค่าส่งออกผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสับปะรด 16,323 ล้านบาท จังหวัดชลบุรีเป็นจังหวัดที่มีการผลิตสับปะรดมากเป็นอันดับสามของประเทศ รองจากจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และระยองโดยมีผลผลิตอยู่ที่ 105,667 ตัน ถึงแม้ว่าจังหวัดชลบุรีจะมีพื้นที่ในการเพาะปลูกสับปะรดน้อย (18,239 ไร่) แต่ผลผลิตที่ได้ต่อพื้นที่ค่อนข้างสูง (5,808 ตัน/ไร่) เมื่อเทียบกับหลายจังหวัด (Office of Agricultural Economics, 2024) จังหวัดชลบุรีจึงถือว่าเป็นจังหวัดที่มีศักยภาพในการผลิตสับปะรดมาก อย่างไรก็ตามดินที่ใช้ปลูกสับปะรดในจังหวัดชลบุรีเป็นดินทรายหรือดินทรายปนร่วน มีการระบายน้ำที่มากเกินไป มีปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้ดินอุ้มน้ำได้น้อย ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำในฤดูปลูกได้ง่าย นอกจากนี้ยังพบว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เกษตรกรส่วนใหญ่จึงนิยมนำไปสับปะรดที่เหลือทิ้งในพื้นที่มาบ่นและไถกลบ หลังจากนั้น 1-2 เดือน จึงไถพรวนดินจนใบสับปะรดย่อยสลายดีจะได้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดบ่น หรือใส่ปุ๋ยมูลไก่ซึ่งหาได้ง่ายในพื้นที่ หรือใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรด

ปนร่วมกับปุ๋ยมูลไก่ การใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยพืชสด เป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินและปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ช่วยให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีขึ้น สามารถดูดซับธาตุอาหารไว้ในดินได้ดี และไม่ถูกชะล้างไปกับน้ำได้ง่าย (Land Development Department, 2003) หากมีการจัดการที่ดีจะทำให้เพิ่มศักยภาพในการผลิตสับปะรดให้สูงขึ้นได้

อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินอาจส่งผลต่ออัตราการงอกของเมล็ดวัชพืช ทำให้เมล็ดวัชพืชมีการงอกได้ดีขึ้น และจำนวนเมล็ดของวัชพืชในดิน (Cauwer *et al.*, 2010; Jiang *et al.*, 2014) นอกจากนี้ยังส่งผลต่อจำนวนชนิดของวัชพืช (Menalled *et al.*, 2005; Cheimona *et al.*, 2016) และความหนาแน่นของวัชพืช (Wortman *et al.*, 2010) รวมทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของวัชพืชด้วย (Liebman *et al.*, 2004; Platis *et al.*, 2023) หากมีการปล่อยให้วัชพืชขึ้นรบกวนจะส่งผลให้ปริมาณผลผลิตลดลงมากกว่า 30% (Peapinit, 2022; Vilà, 2021) การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อความหนาแน่นและน้ำหนักสดของวัชพืชในการปลูกสับปะรด เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการวัชพืชในแปลงปลูกสับปะรดต่อไป

2. วิธีการทดลอง

ดำเนินการทดลองในแปลงทดลองของคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2564 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2565 วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ขั้นตอนในการทดลองมีดังนี้

การเตรียมแปลงทดลอง ไถดิน 1 ครั้ง ตากดิน 7 วัน ไถพรวน 1 ครั้ง ใส่สารปรับปรุงดิน (Dolomite) อัตรา 600 กิโลกรัม/ไร่ หลังจากไถพรวนทำการเตรียมแปลงทดลองขนาด 5 x 6 ตารางเมตร จำนวน 36 แปลง โดยมีระยะห่างระหว่างแปลง 1 เมตร และใส่ปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกร โดยใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป็นอัตรา 2.47 ตัน/ไร่ ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 1.67 ตัน/ไร่ (ตารางที่ 1) แล้วไถกลบ ยกร่องพร้อมใส่ปุ๋ยรองพื้น สูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัม/ไร่ ปลูกสับปะรดแบบแถวคู่ อัตราปลูก 9,000 ตัน/ไร่ (ระยะปลูก 0.28 x 0.50 เมตร) เมื่อสับปะรดอายุได้ 2 เดือน ใส่ปุ๋ยสูตร 21-0-0 ปริมาณ 17 กรัม/ต้น

การควบคุมวัชพืช คุมวัชพืชแบบก่อนงอกด้วยสารไตรยูรอนและโบรมาซิลอัตรา 320 และ 320 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ โดยฉีดพ่นในวันปลูกสับปะรด ใช้ถังฉีดพ่นสารขนาดบรรจุ 20 ลิตร ใช้หัวฉีดรูปพัดรีมเสมอ (flat fan) ปริมาณน้ำ 80 ลิตร/ไร่ (ตารางที่ 1) ในสิ่งทดลองที่ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนทำการกำจัดวัชพืชที่ 30, 60 และ 90 วัน หลังจากปลูก หรือทุกเดือนหลังปลูก

การบันทึกข้อมูล สุ่มนับจำนวนชนิดและน้ำหนักสดของวัชพืชในแปลงทดลอง ที่ 30, 60 และ 90 วัน หลังการทดลอง (days after application หรือ DAA) โดยใช้ quadrat ขนาด 0.5 x 0.5 ตารางเมตร จำนวน 4 จุดต่อ 1 แปลงย่อย ในสิ่งทดลองที่ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนทำการสุ่มนับจำนวนและชนิดของวัชพืชก่อนการกำจัดวัชพืชด้วยแรงงานคน

การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลจำนวนชนิดและน้ำหนักสดของวัชพืชที่ได้วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลตามแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และกลุ่มการควบคุมวัชพืชแบบ contrast

ตารางที่ 1 สิ่งทดลองที่ใช้ในการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชต่อความหนาแน่นของวัชพืชในแปลงปลูกสับปะรด

สิ่งทดลอง	การใช้ปุ๋ยอินทรีย์	อัตราการใช้ (ตัน/ไร่)	การควบคุมวัชพืช	อัตราการใช้ (g a.i./ไร่)	ต้นทุน (บาท/ไร่)
1	ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์	-	ไม่ควบคุมวัชพืช	-	-
2	ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น	2.47	ไม่ควบคุมวัชพืช	-	900
3	ปุ๋ยมูลไก่	1.67	ไม่ควบคุมวัชพืช	-	2,000
4	ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ปุ๋ยมูลไก่	2.47 + 1.67	ไม่ควบคุมวัชพืช	-	2,900
5	ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์	-	ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน (ทำร่น) ทุกเดือนหลังจากปลูก	-	600
6	ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น	2.47	ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน (ทำร่น) ทุกเดือนหลังจากปลูก	-	1,500
7	ปุ๋ยมูลไก่	1.67	ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน (ทำร่น) ทุกเดือนหลังจากปลูก	-	2,600
8	ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ปุ๋ยมูลไก่	2.47 + 1.67	ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน (ทำร่น) ทุกเดือนหลังจากปลูก	-	3,500
9	ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์	-	ควบคุมวัชพืชด้วยสารไตรยูรอน + โบรมาซิล	320 + 320	780
10	ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น	2.47	ควบคุมวัชพืชด้วยสารไตรยูรอน + โบรมาซิล	320 + 320	1,680
11	ปุ๋ยมูลไก่	1.67	ควบคุมวัชพืชด้วยสารไตรยูรอน + โบรมาซิล	320 + 320	2,780
12	ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ปุ๋ยมูลไก่	2.47 + 1.67	ควบคุมวัชพืชด้วยสารไตรยูรอน + โบรมาซิล	320 + 320	3,680

g a.i./ไร่ คือ กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การสุ่มนับจำนวนชนิดของวัชพืชที่งอกและเจริญเติบโตในแปลงทดลองพบว่ามี 10 ชนิด ได้แก่ วัชพืชใบกว้าง 5 ชนิด (50%) เช่น ผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica*) ผักเบี้ยหิน (*Trinathema portulacastrum* L.) ไมยราบ (*Mimosa pudica* L.) ผักโขม (*Amaranthus gracilis* L.) โทงเทง (*Physalis minima* L.) วัชพืชตระกูลหญ้า 4 ชนิด (40%) เช่น หญ้าขน (*Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf) หญ้าตีนนก (*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koel.) หญ้าตีนติด (*Brachiaria reptans* L.) Gard & Hubb.) หญ้าปากควาย (*Dactyloctenium aegyptium* L.) P. Beauv.) และวัชพืชตระกูลกก 1 ชนิด (10%) คือ แห้วหมู (*Cyperus rotundus* L.) วัชพืชที่พบในทุกสิ่งทดลอง ได้แก่ ผักบุ้ง ผักเบี้ยหิน และแห้วหมู

3.1 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชต่อความหนาแน่นและน้ำหนักรากของผักบุ้งในแปลงปลูกสับปะรด

ที่ 30 วันหลังการทดลอง พบว่า การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นและปุ๋ยมูลไก่ร่วมกับการใช้สารกำจัดวัชพืชมีความหนาแน่นต้นผักบุ้งมากที่สุด แต่การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นเพียงอย่างเดียวมีน้ำหนักรากของต้นผักบุ้งมากที่สุด ที่ 60 วันหลังการทดลอง การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นร่วมกับการกำจัดวัชพืชด้วยแรงงานคนมีความหนาแน่นต้นผักบุ้งมากที่สุด แต่การใช้ปุ๋ยมูลไก่ร่วมกับการกำจัดวัชพืชด้วยแรงงานคนมีน้ำหนักรากของต้นผักบุ้งมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นและปุ๋ยมูลไก่ร่วมกับการใช้สารกำจัดวัชพืช ที่ 90 วันหลังการทดลอง การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นและปุ๋ยมูลไก่ร่วมกับการไม่ควบคุมวัชพืชมีความหนาแน่นต้นผักบุ้งมากที่สุดไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นร่วมกับการกำจัดวัชพืชด้วยแรงงานคน แต่การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นและปุ๋ยมูลไกร่วมกับการใช้สารกำจัดวัชพืชมีน้ำหนักรากของต้นผักบุ้งมากที่สุด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชต่อความหนาแน่นและน้ำหนักสดของผักบุ้ง ในแปลงปลูกสับปรดที่ 30 60 และ 90 วันหลังปลูก

สิ่งทดลอง	ความหนาแน่น (ต้น/ตารางเมตร)			น้ำหนักสด (กรัม/ตารางเมตร)		
	30 DAA	60 DAA	90 DAA	30 DAA	60 DAA	90 DAA
1. ไม่ใช่ปุ๋ยอินทรีย์ + ไม่ควบคุมวัชพืช (สิ่งควบคุม)	9.00 c	2.67 gh	5.00 e	66.27 d	24.84 k	33.02 j
2. ปุ๋ยหมักจากใบสับปรดป่น + ไม่ควบคุมวัชพืช	5.67 d	3.67 ef	5.67 de	82.30 a	28.74 i	55.90 f
3. ปุ๋ยมูลไก่ + ไม่ควบคุมวัชพืช	4.00 g	3.67 ef	8.67 b	67.85 c	40.42 e	87.26 c
4. ปุ๋ยหมักจากใบสับปรดป่น + ปุ๋ยมูลไก่ + ไม่ควบคุมวัชพืช	3.00 h	5.33 d	12.33 a	26.22 l	58.17 c	87.38 c
5. ไม่ใช่ปุ๋ยอินทรีย์ + ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน	4.67 f	4.33 e	6.33 d	46.17 g	32.12 g	49.55 h
6. ปุ๋ยหมักจากใบสับปรดป่น + ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน	3.00 h	24.00 a	12.00 a	34.34 j	45.26 d	54.99 g
7. ปุ๋ยมูลไก่ + ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน	4.00 g	12.00 b	1.00 g	28.30 k	68.44 a	3.00 k
8. ปุ๋ยหมักจากใบสับปรดป่น + ปุ๋ยมูลไก่ + ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน	12.00 b	10.00 c	6.00 d	42.18 h	68.14 a	69.47 e
9. ไม่ใช่ปุ๋ยอินทรีย์ ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช	8.67 c	2.00 h	2.33 f	72.24 b	29.64 h	39.84 i
10. ปุ๋ยหมักจากใบสับปรดป่น + ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช	5.33 de	4.33 e	6.33 d	62.96 e	36.78 f	91.19 b
11. ปุ๋ยมูลไก่ + ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช	4.67 f	6.00 d	7.33 c	39.26 i	65.64 b	71.27 d
12. ปุ๋ยหมักจากใบสับปรดป่น + ปุ๋ยมูลไก่ + ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช	14.67 a	3.00 fg	7.67 c	47.27 f	26.89 j	96.32 a
% CV	1.74	1.95	1.69	1.54	1.58	1.64
F-test	**	**	**	**	**	**

DAA วันหลังการทดลอง (day after application), ปุ๋ยหมักจากใบสับปรดป่น อัตรา 2.47 ตัน/ไร่, ปุ๋ยมูลไก่ อัตรา 1.67 ตัน/ไร่, ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน 1 ครั้ง/เดือน, ควบคุมวัชพืชด้วยสารโดยรอบและโบรมาซอล อัตรา 320+320 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่, ** ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

เมื่อทำการเปรียบเทียบแบบ contrast ระหว่างกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับกลุ่มที่ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ กลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 1 ชนิด (ปุ๋ยหมักจากใบสับปรดป่น หรือปุ๋ยมูลไก่) กับกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิด (ปุ๋ยหมักจากใบสับปรดป่นและปุ๋ยมูลไก่) กลุ่มที่ใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปรดป่นกับกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยมูลไก่อย่างเดียว กลุ่มที่ไม่ควบคุมวัชพืชกับกลุ่มที่ควบคุมวัชพืช และกลุ่มที่ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน (ทำร่นเดือนละครั้ง) กับกลุ่มที่ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช พบว่า ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและน้ำหนักสดของผักบุ้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5) โดยกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของผักบุ้งมากกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิด มีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของผักบุ้งมากกว่ากลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 1 ชนิด เนื่องจากสิ่งทดลองที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีอินทรีย์วัตถุในดิน 1.20-1.50% สิ่งทดลองที่ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีอินทรีย์วัตถุในดิน 1.15-1.25% การใส่ปุ๋ยอินทรีย์จึงช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน อินทรีย์วัตถุทำให้ดินร่วน อากาศถ่ายเทได้ดี ช่วยให้ดินอุ้มน้ำได้ดีขึ้น (Department of Soil Science, 2005) ซึ่งน้ำและออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพืช (Lueangapapong, 1997) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิด ดินจะได้รับปริมาณธาตุอาหารมากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1 ชนิด จึงทำให้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิด ส่งเสริมการเจริญเติบโต และมีน้ำหนักสดของผักบุ้งมากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1 ชนิด กลุ่มที่ใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปรดป่นมีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของผักบุ้งมากกว่ากลุ่มที่ใช้ปุ๋ยมูลไก่ อาจเนื่องจาก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในปุ๋ยหมักจากใบสับปรดป่นมีค่าประมาณ 33.75 (Oonkasem, 2019) มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของผักบุ้งมากกว่าปุ๋ยมูลไก่ซึ่งมีประมาณ 11.06 (Chumphong, 2022) ซึ่ง C/N ratio เท่ากับ 30 เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งที่สุด (Nguyen *et al.*, 2020)

กลุ่มที่ไม่ควบคุมวัชพืชมีความหนาแน่นและน้ำหนักรากของผักบุ้งมากกว่ากลุ่มที่ควบคุมวัชพืช กลุ่มที่ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนมีความหนาแน่นของผักบุ้งมากกว่ากลุ่มที่ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช แต่กลุ่มที่ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนมีน้ำหนักรากของผักบุ้งน้อยกว่ากลุ่มที่ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช เนื่องจาก การควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนโดยการตัด ถาก ถอนวัชพืชทุกเดือนทำให้ต้นวัชพืชที่พบในแปลงทดลองมีขนาดเล็กจึงมีน้ำหนักรากน้อย

3.2 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชต่อความหนาแน่นและน้ำหนักรากของผักเป็ดหินในแปลงปลูกสับปะรด

ที่ 30 วันหลังการทดลอง พบว่า การไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืชมีความหนาแน่นผักเป็ดหินมากที่สุด แต่การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดปั่นร่วมกับการควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืชมีน้ำหนักรากของผักเป็ดหินมากที่สุด ที่ 60 วันหลังการทดลอง การไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนมีความหนาแน่นผักเป็ดหินมากที่สุดไม่ต่างกับการใช้ปุ๋ยมูลไก่ร่วมกับการควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน การใช้ปุ๋ยมูลไก่ร่วมกับการควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดปั่นและปุ๋ยมูลไก่ร่วมกับการควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน แต่การไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนมีน้ำหนักรากของต้นเป็ดหินมากที่สุด ที่ 90 วันหลังการทดลอง การไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการไม่ควบคุมวัชพืชมีความหนาแน่นผักเป็ดหินมากที่สุด แต่การไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืชมีน้ำหนักรากของผักเป็ดหินมากที่สุด (ตารางที่ 3)

เมื่อทำการเปรียบเทียบแบบ contrast ระหว่างกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับกลุ่มที่ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและน้ำหนักรากของผักเป็ดหินมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.01$) (ตารางที่ 5) โดยกลุ่มที่ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีความหนาแน่นและน้ำหนักรากของผักเป็ดหินมากกว่ากลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ จากงานทดลองของ Onkasem (2019) รายงานว่า ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดปั่นมี C/N ratio ≈ 33.75 ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดปั่นจะเกิดกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อในดินโดยจุลินทรีย์ดิน ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จะมีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดออกมา กรดที่ปลดปล่อยออกมาอาจทำให้ค่า pH ของดินเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่เหมาะสมกับการงอกของเมล็ดผักเป็ดที่ชอบสภาพดินด่าง (pH 8-10) (Tanveer *et al.*, 2013) และหาก C/N ratio ในปุ๋ยอินทรีย์สูงเกินไป จุลินทรีย์จำเป็นต้องดึงเอาไนโตรเจนในดินที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียม (NH_4^+) หรือไนเตรท (NO_3^-) มาใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biswas and Micallef, 2019) อาจทำให้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินลด จึงส่งผลให้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีความหนาแน่นและน้ำหนักรากของผักเป็ดหินน้อยกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์

กลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 1 ชนิด (ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดปั่น หรือปุ๋ยมูลไก่) กับกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิด (ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดปั่นและปุ๋ยมูลไก่) พบว่า ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและน้ำหนักรากของผักเป็ดหินมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.01$) (ตารางที่ 5) โดยกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิดมีความหนาแน่นของผักเป็ดหินและน้ำหนักรากของผักเป็ดหินมากกว่ากลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 1 ชนิด เนื่องจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิด ปริมาณธาตุอาหารที่ใส่ลงดินจะมากกว่า จึงส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักเป็ดหินได้มากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1 ชนิด ส่วนกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดปั่นมีความหนาแน่นของผักเป็ดหินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยมูลไก่อย่างเดียว เนื่องจากปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดปั่นและปุ๋ยมูลไก่อมีความเป็นกรดต่าง (pH) ใกล้เคียงกันคือ 8.07 และ 7.90 ตามลำดับ ซึ่งในสภาพดินกรด (pH 5) การงอกของเมล็ดผักเป็ดหินต่ำกว่าดินด่างหรือกลาง อัตราการงอกของผักเป็ดหินจะสูงขึ้นตามระดับค่า pH สูงสุดอยู่ระหว่าง pH 8-10 (Tanveer *et al.*, 2013) ในขณะที่น้ำหนักรากของผักเป็ดหินมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.01$) (ตารางที่ 5) โดยกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยมูลไก่อมีน้ำหนักรากของผักเป็ดหินมากกว่ากลุ่มที่ใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดปั่น ปุ๋ยมูลไก่อเป็นปุ๋ยที่มีปริมาณธาตุอาหารหลัก (2.18%N, 2.69%P และ 2.26%K) มากกว่าปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดปั่น (1.92 %N, 0.25 %P และ 1.58%K) (Onkasem, 2019; Chumphong, 2022) จึงส่งผลให้การใส่ปุ๋ยมูลไก่อส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ดีและมีน้ำหนักรากของผักเป็ดหินมากกว่าการใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดปั่น

ตารางที่ 3 ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชต่อความหนาแน่นและน้ำหนักสดของผักเป็ดหิน ในแปลงปลูกสับปะรดที่ 30 60 และ 90 วันหลังปลูก

สิ่งทดลอง	ความหนาแน่น (ต้น/ตารางเมตร)			น้ำหนักสด (กรัม/ตารางเมตร)		
	30 DAA	60 DAA	90 DAA	30 DAA	60 DAA	90 DAA
1. ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ + ไม่ควบคุมวัชพืช (สิ่งควบคุม)	5.67 b	4.33 b	11.67 a	65.83 e	69.05 g	223.00 c
2. ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ไม่ควบคุมวัชพืช	4.33 d	5.33 ab	3.67 i	72.43 d	130.89 b	141.53 h
3. ปุ๋ยมูลไก่ + ไม่ควบคุมวัชพืช	5.00 c	3.67 c	8.67 b	83.83 c	62.96 i	190.52 e
4. ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ปุ๋ยมูลไก่ + ไม่ควบคุมวัชพืช	2.33 h	4.33 b	5.33 fg	37.30 i	62.13 j	157.15 g
5. ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ + ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน	3.33 fg	6.00 a	8.00 c	60.15 f	182.77 a	119.56 k
6. ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน	4.00 de	5.00 ab	5.00 g	37.25 i	79.12 e	89.25 l
7. ปุ๋ยมูลไก่ + ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน	3.00 g	6.00 a	6.00 de	26.14 k	78.45 f	140.50 i
8. ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ปุ๋ยมูลไก่ + ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน	5.00 c	6.00 a	8.00 c	43.88 g	102.50 c	136.40 j
9. ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช	8.33 a	3.67 c	6.33 d	96.49 b	65.30 h	264.75 a
10. ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช	3.67 ef	2.00 d	4.33 h	111.14 a	96.49 d	239.75 b
11. ปุ๋ยมูลไก่ + ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช	3.33 fg	6.00 a	5.67 ef	33.51 j	65.27 h	162.12 f
12. ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ปุ๋ยมูลไก่ + ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช	3.67 ef	3.67 c	6.33 d	41.74 h	62.21 j	212.65 d
% CV	1.54	1.47	1.52	1.65	1.60	1.47
F-test	**	**	**	**	**	**

DAA วันหลังการทดลอง (day after application), ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น อัตรา 2.47 ตัน/ไร่, ปุ๋ยมูลไก่ อัตรา 1.67 ตัน/ไร่, ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน 1 ครั้ง/เดือน, ควบคุมวัชพืชด้วยสารโดยรอนและโบรมาซอล อัตรา 320+320 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่, ** ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$)

กลุ่มที่ไม่ควบคุมวัชพืชกับกลุ่มที่ควบคุมวัชพืช พบว่า ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและน้ำหนักสดของผักเป็ดหินมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.01$) (ตารางที่ 5) โดยกลุ่มที่ไม่ควบคุมวัชพืชมีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของผักเป็ดหินมากกว่ากลุ่มที่ควบคุมวัชพืช ส่วนกลุ่มที่ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของผักเป็ดหินมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยกลุ่มที่ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนมีน้ำหนักสดของผักเป็ดหินน้อยกว่ากลุ่มที่ควบคุมด้วยสารกำจัดวัชพืช (ตารางที่ 5) เนื่องจากการควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนโดยการตัด ถาก ถอนวัชพืชทุกเดือนทำให้ต้นวัชพืชที่พบในแปลงทดลองมีขนาดเล็กจึงมีน้ำหนักน้อย ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของผักเป็ดหินระหว่างกลุ่มที่ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนกับกลุ่มที่ควบคุมด้วยสารกำจัดวัชพืชไม่มีแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5)

3.3 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชต่อความหนาแน่นและน้ำหนักสดของแห้วหมูในแปลงปลูกสับปะรด

ที่ 30 วันหลังการทดลอง พบว่า การไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืชมีความหนาแน่นของแห้วหมูมากที่สุด แต่การใช้ปุ๋ยมูลไก่มีน้ำหนักสดของแห้วหมูมากที่สุด ที่ 60 วันหลังการทดลอง การใช้ปุ๋ยมูลไกร่วมกับควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืชมีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของแห้วหมูมากที่สุด ที่ 90 วันหลังการทดลอง การไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนมีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของแห้วหมูมากที่สุด (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชต่อความหนาแน่นและน้ำหนักสดของแห้วหมู ในแปลงปลูกสับปะรดที่ 30 60 และ 90 วันหลังปลูก

สิ่งทดลอง	ความหนาแน่น (ต้น/ตารางเมตร)			น้ำหนักสด (กรัม/ตารางเมตร)		
	30 DAA	60 DAA	90 DAA	30 DAA	60 DAA	90 DAA
1. ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ + ไม่ควบคุมวัชพืช (สิ่งควบคุม)	49.00 b	28.33 b	41.67 d	86.70 d	55.30 b	41.70 d
2. ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ไม่ควบคุมวัชพืช	47.67 c	23.00 e	26.00 i	88.00 c	46.77 d	26.00 i
3. ปุ๋ยมูลไก่ + ไม่ควบคุมวัชพืช	52.33 a	24.33 d	38.00 e	103.75 a	46.78 d	38.00 e
4. ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ปุ๋ยมูลไก่ + ไม่ควบคุมวัชพืช	30.00 f	25.00 c	28.33 h	53.47 h	36.73 g	28.33 h
5. ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ + ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน	17.67 i	23.33 e	60.00 a	44.88 i	32.55 i	60.00 a
6. ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน	40.00 d	20.00 g	52.00 b	70.48 e	28.14 j	52.00 b
7. ปุ๋ยมูลไก่ + ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน	38.00 e	1.00 i	20.00 j	61.21 f	3.00 k	20.00 j
8. ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ปุ๋ยมูลไก่ + ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน	27.00 g	21.00 f	49.00 c	42.89 j	39.45 f	49.00 c
9. ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช	51.67 a	28.67 b	38.33 e	91.12 b	41.65 e	38.33 e
10. ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช	24.67 h	17.67 h	38.33 e	33.66 k	33.67 h	38.33 e
11. ปุ๋ยมูลไก่ + ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช	17.67 i	32.33 a	33.67 f	31.25 l	68.91 a	33.67 f
12. ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น + ปุ๋ยมูลไก่ + ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช	30.67 f	23.33 e	31.00 g	58.48 g	54.02 c	31.00 g
% CV	1.55	1.53	1.47	1.56	1.60	1.47
F-test	**	**	**	**	**	**

DAA วันหลังการทดลอง (day after application), ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น อัตรา 2.47 ตัน/ไร่, ปุ๋ยมูลไก่ อัตรา 1.67 ตัน/ไร่, ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน 1 ครั้ง/เดือน, ควบคุมวัชพืชด้วยสารโดยรอบและโบรมาซิล อัตรา 320+320 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่, ** ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเชิงทางสถิติ ($P < 0.01$)

เมื่อทำการเปรียบเทียบแบบ contrast ระหว่างกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับกลุ่มที่ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ กลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 1 ชนิด (ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่น หรือปุ๋ยมูลไก่) กับกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิด (ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นและปุ๋ยมูลไก่) และกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นกับกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยมูลไก่อย่างเดี่ยว พบว่า ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและน้ำหนักสดของแห้วหมูมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.01$) (ตารางที่ 5) โดยกลุ่มที่ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของแห้วหมูมากกว่ากลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ อาจเนื่องมาจากปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 33.75 (Oonkasem, 2019) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นจะเกิดกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อในดินโดยจุลินทรีย์ดิน ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จะมีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดออกมากรดที่ปลดออกมาอาจทำให้ค่า pH ของดินเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่เหมาะกับการอยู่รอดของหัวแห้วหมูที่แตกออกมาถึงแม้ว่าเหง้าและหัวแห้วหมูจะสามารถงอกได้ดีทั้งในสภาพดินกรด (pH 5) จนถึงสภาพดินด่าง (pH 9) มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่า 95 (Du *et al.*, 2022) แต่เหง้าและหัวที่แตกยอดออกมาจะอยู่รอดหรือเจริญเติบโตได้น้อยตั้งแต่ pH 7 ขึ้นไป (Al-Ali *et al.*, 2006) จึงส่งผลให้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของต้นแห้วหมูน้อยกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิดมีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของแห้วหมูกว่ากลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 1 ชนิด เนื่องจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิด ปริมาณธาตุอาหารที่ใส่ลงดินจะมากกว่า จึงส่งเสริมการเจริญเติบโตของแห้วหมูได้มากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1 ชนิด กลุ่มที่ใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นมีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของแห้วหมูกว่ากลุ่มที่ใช้ปุ๋ยมูลไก่ เนื่องจากปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดป่นมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (64.66 %) สูงกว่าปุ๋ยมูลไก่ (39.76 %) (Oonkasem, 2019; Chumphong, 2022) อินทรีย์วัตถุในดินทำให้ดินร่วน อากาศถ่ายเทได้ดี ช่วยให้ดินอุ้มน้ำได้ดีขึ้น (Department of Soil Science, 2005) ซึ่งน้ำและออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการงอกของ

เมล็ดพืช (Lueangapapong, 1997) ส่งผลให้การใส่ปุ๋ยหมักจากใบสับประรดปั่นมีหัวหมูออกและเจริญเติบโตได้มากกว่า การใส่ปุ๋ยมูลไก่ เช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยหมักในมะเขือเทศจะพบจำนวนชนิดของพืช เช่น หัวหมู ผักโขม และสะอึก เป็นต้น มากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย 44 % ส่วนการใช้ปุ๋ยมูลจากสัตว์จะพบจำนวนชนิดของพืชมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย 19 % (Cheimona *et al.*, 2016) ซึ่งการใช้ปุ๋ยหมักมีจำนวนชนิดพืชสูงกว่าการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์

กลุ่มไม่ควบคุมวัชพืชกับกลุ่มที่ควบคุมวัชพืช และกลุ่มควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนกับกลุ่มที่ควบคุมด้วยสารกำจัดวัชพืช พบว่า ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและน้ำหนักสดของหัวหมูมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.01$) (ตารางที่ 5) โดยกลุ่มไม่ควบคุมวัชพืชมีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของหัวหมุน้อยกว่ากลุ่มที่ควบคุมวัชพืช เนื่องจาก กลุ่มที่ควบคุมวัชพืชมีทั้งวิธีการควบคุมด้วยแรงงานคนและสารกำจัดวัชพืช วิธีการควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนโดยการตัด ถาก ถอน วัชพืชจะช่วยกระตุ้นการเพิ่มจำนวนส่วนขยายพันธุ์เหง้าและหัวของหัวหมูจึงทำให้ความหนาแน่นหัวหมูกลุ่มที่ควบคุมวัชพืชมากกว่ากลุ่มไม่ควบคุมวัชพืช ดังนั้นกลุ่มควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนจึงมีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของหัวหมูมากกว่ากลุ่มที่ควบคุมด้วยสารกำจัดวัชพืช

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบแบบ contrast ระหว่างกลุ่ม

Contrast	การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม	ความหนาแน่น (ต้น/ตารางเมตร)						น้ำหนักสด (กรัม/ตารางเมตร)					
		ผักบุง	F-test	เบ็ย	F-test	หัวหมู	F-test	ผักบุง	F-test	เบ็ย	F-test	หัวหมู	F-test
1	ใส่ปุ๋ยอินทรีย์	7.44	**	5.89	**	35.15	**	68.53	**	163.32	**	35.15	**
	ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์	4.56		8.67		46.67		40.80		202.44		46.68	
2	ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1 ชนิด	6.83	**	5.56	**	34.67	**	60.60	**	160.61	**	34.67	**
	ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิด	8.67		6.56		36.11		84.39		168.73		36.11	
3	ใส่ปุ๋ยหมักจากใบสับประรดปั่น	8.00	**	4.33	ns	38.78	**	67.36	**	156.84	**	38.78	**
	ใส่ปุ๋ยมูลไก่	5.67		6.78		30.56		53.84		164.38		30.56	
4	ไม่ควบคุมวัชพืช	7.92	**	7.33	**	33.50	**	65.89	**	178.05	**	33.51	**
	ควบคุมวัชพืช	6.13		6.21		40.29		59.45		170.62		40.29	
5	ควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน	6.33		6.75		45.25		44.25		121.43		45.25	
	ควบคุมวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืช	5.92	*	5.67	ns	35.33	**	74.66	**	219.82	**	35.33	**

** ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$), * ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.05$), ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับประรดปั่นมีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของต้นผักบุงและหัวหมูมากกว่าการใช้ปุ๋ยมูลไก่ ในขณะที่การใช้ปุ๋ยมูลไก่มีน้ำหนักสดผักเบ็ยหินมากกว่าการใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับประรดปั่น การใช้ปุ๋ยมูลไก่และปุ๋ยหมักจากใบสับประรดปั่นมีผลต่อความหนาแน่นต้นผักเบ็ยหินไม่แตกต่างกัน การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับประรดปั่นร่วมกับปุ๋ยมูลไก่มีผลต่อความหนาแน่นและน้ำหนักสดของวัชพืชมากกว่าการใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับประรดปั่นหรือปุ๋ยมูลไก่อย่างเดียว ดังนั้น ปริมาณการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และชนิดของปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อความหนาแน่นและน้ำหนักสดของวัชพืชขึ้นอยู่กับชนิดของวัชพืชที่พบในแปลงปลูก เช่น การใช้ของเหลือจากมูลสุกรส่งผลให้ความหนาแน่นและความหลากหลายของวัชพืชลดลงโดยเฉพาะวัชพืชใบกว้าง และการใช้ของเหลือจากมูลสุกรร่วมกับปุ๋ยเคมียังมีความหนาแน่นและความหลากหลายของวัชพืชน้อยกว่าการใช้มูลสุกรและมูลโค (Kordbacheh *et al.*, 2023) การใช้ปุ๋ยหมักจากมูลโคมีจำนวนชนิดของวัชพืชมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยและเพิ่มน้ำหนักแห้งของวัชพืชได้ 80.8% (Platis *et al.*, 2023) การใช้ปุ๋ยมูลโคจะเพิ่มจำนวนวัชพืชในดินและความหลากหลายของวัชพืชในสภาพแวดล้อมแห้งแล้ง (Materechera and Modiakgotla, 2006) การใช้

ปุ๋ยหมักจากมูลสุกรจะเพิ่มจำนวนเมล็ดวัชพืชในดินเฉพาะบางชนิด ได้แก่ giant foxtail, common lambsquarters, common waterhemp และ pennsylvania smartweed (Menalled *et al.*, 2005) การใช้ปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์จะเพิ่มจำนวนเมล็ดวัชพืชในดินได้มากกว่าการใช้มูลสัตว์สด (Blackshaw *et al.*, 2005) ถึงแม้ว่าการใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับประดป่นจะมีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของวัชพืชมากกว่าการใช้ปุ๋ยมูลไก่ แต่ต้นทุนการใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับประดป่น (900 บาท/ไร่) ต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยมูลไก่ (2,000 บาท/ไร่) จึงควรใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับประดป่นเพื่อลดต้นทุนในการผลิตสับประดและเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ หากเกษตรกรต้องการใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับประดร่วมกับมูลไก่ควรมีการเพิ่มการจัดการวัชพืชที่มากขึ้น

การควบคุมวัชพืชมีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของผักบุ้งและผักเบี้ยหินน้อยกว่าการไม่ควบคุมวัชพืช ในขณะที่การควบคุมวัชพืชมีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของแห้วหมูมากกว่าการไม่ควบคุมวัชพืช การควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน (ทำร่นเดือนละครั้ง) จะมีความหนาแน่นของผักเบี้ยหินไม่ต่างกับการใช้สารกำจัดวัชพืช แต่การใช้สารกำจัดวัชพืชจะมีความหนาแน่นของผักบุ้งและแห้วหมูน้อยกว่าการควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน ดังนั้น ในช่วง 30-90 วันหลังปลูก หากตรวจพบผักบุ้งและแห้วหมูควรเลือกใช้สารกำจัดวัชพืช หากพบผักเบี้ยหินสามารถเลือกได้ทั้งการควบคุมด้วยแรงงานคน (ทำร่นเดือนละครั้ง) หรือการใช้สารกำจัดวัชพืชได้ ทั้งนี้ การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชต่อความหนาแน่นของวัชพืชในแปลงปลูกสับประดครั้งนี้มีระยะเวลาการศึกษาเพียงช่วง 90 วันหลังปลูกและศึกษาเฉพาะผลที่เกิดกับวัชพืชเท่านั้น ดังนั้นการศึกษาในระยะยาวจะเป็นประโยชน์ในการยืนยันผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชต่อจำนวนเมล็ดของวัชพืชในดิน ความหนาแน่นของวัชพืช ความหลากหลายของวัชพืช การเจริญเติบโต น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของวัชพืช ผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับประด ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการควบคุมวัชพืชในแปลงปลูกสับประดต่อไป

4. สรุป

(1) ในระยะ 30-90 วันหลังการทดลองการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชมีผลต่อความหนาแน่นและน้ำหนักสดของวัชพืชที่พบในแปลงปลูกสับประด (2) การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับประดป่นส่งผลให้มีความหนาแน่นและน้ำหนักสดของผักบุ้งและแห้วหมูมากกว่าการใช้ปุ๋ยมูลไก่ ในขณะที่การใช้ปุ๋ยมูลไกมีน้ำหนักสดผักเบี้ยหินมากกว่าการใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับประดป่น การใช้ปุ๋ยมูลไก่และปุ๋ยหมักจากใบสับประดป่นมีผลต่อความหนาแน่นผักเบี้ยหินไม่แตกต่างกัน (3) การใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับประดป่นร่วมกับปุ๋ยมูลไกมีผลต่อความหนาแน่นและน้ำหนักสดของวัชพืชมากกว่าการใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับประดป่นหรือปุ๋ยมูลไกอย่างเดียว (4) การควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคน (ทำร่นเดือนละครั้ง) ส่งผลให้มีความหนาแน่นของผักบุ้งและแห้วหมูมากกว่าการใช้สารกำจัดวัชพืช ในขณะที่วิธีการควบคุมวัชพืชทั้ง 2 วิธีมีผลต่อความหนาแน่นผักเบี้ยหินไม่แตกต่างกัน การควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนโดยการตัด ถาก ถอนทำให้น้ำหนักสดของผักบุ้งและผักเบี้ยหินน้อยกว่าการใช้สารกำจัดวัชพืช แต่การควบคุมวัชพืชด้วยแรงงานคนส่งผลให้น้ำหนักสดของแห้วหมูมากกว่าการใช้สารกำจัดวัชพืช (5) หากเกษตรกรต้องการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินปลูกสับประดหรือปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น เกษตรกรสามารถใช้ปุ๋ยหมักจากใบสับประดป่นเพียงอย่างเดียวได้เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งในแปลงปลูกและลดต้นทุนการผลิต (6) ในระยะ 30-90 วันหลังปลูก หากพบผักบุ้งและแห้วหมูในแปลงควรใช้สารกำจัดวัชพืชแต่หากพบผักเบี้ยหินสามารถเลือกได้ทั้งการควบคุมด้วยแรงงานคน (ทำร่นเดือนละครั้ง) หรือการใช้สารกำจัดวัชพืชได้ ทั้งนี้ การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการควบคุมวัชพืชในระยะยาวจะเป็นประโยชน์ในการยืนยันต่อจำนวนเมล็ดของวัชพืชในดิน ความหนาแน่นของวัชพืช ความหลากหลายของวัชพืช และการเจริญเติบโตของวัชพืชในแปลงปลูกสับประด ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการควบคุมวัชพืชในแปลงปลูกสับประดต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

Al-Ali, F.A., Shamsi, S.R.A., & Hussain, S.M. (2006). Sprouting and growth of Purple nutsedge, *Cyperus rotundus*, in relation to pH and aeration. *Physiologia Plantarum*, 44(4), 373-376.

- Biswas, D. & Micallef, S.A. (2019). **Safety and Practice for Organic Food**. London: Academic Press.
- Blackshaw, R.E., Molnar, L.J., & Larney, F.J. (2005). Fertilizer, manure and compost effects on weed growth and competition with winter wheat in Western Canada. **Crop Protection**, **24**(11), 971-980.
- Cauwer, B., Berge, K., Coughon, M., Bulcke, R., & Reheul, D. (2010). Weed seedbank responses to 12 years of applications of composts, animal slurries or mineral fertilisers: Fertilisation system effects on the weed seedbank. **Weed Research**, **50**, 425-435.
- Cheimona, N., Angeli, C., Panagiotou, E., Tzanidaki, A., Drontza, C., Travlos, I., & Bilalis, D. (2016). Effect of Different Types of Fertilization on Weed Flora in Processed Tomato Crop. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, **10**, 26-31.
- Chumphong, S. (2022). **How much plant nutrients is in manure and how to choose**. Retrieved 8 April 2024, from <https://www.doa.go.th/hc/chumphon/wp-content/uploads/2022/10/ปุ๋ยคอกมีธาตุอาหารพืชเท่าไร.pdf>. (in Thai)
- Department of Soil Science. (2005). **Introduction of soil science**. 10th Edition, reprinted 2005. Bangkok: Kasetsart University Press. (in Thai)
- Du, L., Gao, X., Qu, C., Bai, S., Shi, C., Jiang, X., Li, X., Ju, Q., & Qu, M. (2022). Identification of purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) ecotypes and the effect of environmental factors on tuber sprouting in China. **Weed Research**, **62**(5), 360-371.
- Jiang, M., Shen, X.P., Gao, W., Shen, M.X., & Dai, Q.G. (2014). Weed seed-bank responses to long-term fertilization in a rice-wheat rotation system Original Paper. **Plant, Soil and Environment**, **60**(8), 344-350.
- Kordbacheh, F., Flaten, D.N., & Gulden, R.H. (2023). Weed community dynamics under repeated fertilization with different nutrient sources over 5 years. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **346**, 1-10. DOI:10.1016/j.agee.2022.108328.
- Land Development Department. (2003). **Report of soil survey in Chonburi province**. Retrieved 8 April 2024, from http://oss101.ldd.go.th/thaisoils_museum/Distribute_100000/D_R100000_Chonburi.pdf. (in Thai)
- Liebman, M., Menalled, F.D., Buhler, D.D., Richard, T.L., Sundberg, D.N., Cambardella, C.A., & Kohler, K.A. (2004). Impacts of composted swine manure on weed and corn nutrient uptake, growth, and seed production. **Weed Science**, **52**(3), 365-375.
- Lueangapapong, P. (1997). **Weed science**. Bangkok: Rua Khio Publishers. (in Thai)
- Materchera, S., & Modiakgotla, L.N. (2006). Cattle manure increases soil weed population and species diversity in a semi-arid environment. **South African Journal of Plant and Soil**, **23**(1), 21-28.
- Menalled, F.D., Kohler, K.A., Buhler, D.D., & Liebman, M. (2005). Effects of composted swine manure on weed seedbank. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **111**(1-4), 63-69.
- Nguyen, V.-T., Le, T.-H., Bui, X.-T., Nguyen, T.N., Vo, T.-D.-H., Lin, C., Vu, T.-M.-H., Nguyen, H.-H., Nguyen, D.D., Senoro, D.B., & Dang, B.T. (2020). Effects of C/N ratios and turning frequencies on the composting process of food waste and dry leaves. **Bioresource Technology Reports**, **11**, 1-8. DOI:10.1016/j.biteb.2020.100527.

- Office of Agricultural Economics. (2024). **Agricultural Statistics of Thailand 2023**. Retrieved 18 April 2024, from <https://www.oae.go.th>. (in Thai)
- Oonkasem, P. (2019). **Assessment of the potential of compost from pineapple leaves to reduce life cycle environmental impacts of nangleae pineapple production**. (Master Thesis). Silpakorn University, Bangkok. (in Thai)
- Peapinit. K. (2022). **Study of critical weed infested period and weed free duration in cassava**. (Master Thesis). Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)
- Platis, P., Damalas, C.A., & Koutroubas, S.D. (2023). Weed flora composition in a young olive orchard as affected by fertilizer types. **Phytoparasitica**, **51**, 1133-1146.
- Tanveer, A., Mumtaz, K., Javaid, M. M., Chaudhry, M. N., Balal, R. M., & Khaliq, A. (2013). Effect of ecological factors on germination of horse purslane (*Trianthema portulacastrum*). **Planta Daninha**, **31**(3), 587-597.
- Vilà, M., Beaury, E.M., Blumenthal, D.M., Bradley, B.A., Early, R., Laginhas, B.B., Trillo, A., Dukes, J.S., Sorte, C.J.B. & Ibáñez, I. (2021). Understanding the combined impacts of weeds and climate change on crops. **Environmental Research Letters**, **16**(3), 1-12. DOI: 10.1088/1748-9326/abe14b.
- Wortman, S.E., Lindquist, J.L., Haar, M.J., & Francis, C.A. (2010). Increased weed diversity, density and above-ground biomass in long-term organic crop rotations. **Renewable Agriculture and Food Systems**, **25**(4), 281-295.

(Received: 18/Apr/2024, Revised: 13/Jun/2024, Accepted: 24/Jun/2024)

การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ ABU 2022 “พิชิตวัฏจักรหอคอย สู่ดินแดนภารตะ”**Design and Created Robot ABU 2022****“Conquest the Tower Cycle to into the Land of Bharat”**

**พัชรี อุ๋นม่วง ธนโรจน์ ศรีฐาน วัฒนะ พงศ์หัวเกาะ ณิชฐา ฉิมสุข
อภิวัฒน์ สร้อยทองกลาง สุธิ เมืองเกษม วิฑุทธิ์ โคตรมณี และ สุประวิทย์ เมืองเจริญ***

Patcharee Unmuang, Thanarot Srithan, Watthana Phong Hua Koh,

Nattha Chimsuk, Apiwat Soithonglang, Suthee Muangkasem,

Wittarit Khotmanee and Supavit Muangjaroen*

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Electronics and Telecommunication Engineering, Faculty of Industrial Education,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

*E-mail: Supavit.m@rmutsb.ac.th Tel. 0890762836

บทคัดย่อ

บทความวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างหุ่นยนต์ ABU 2022 ให้สามารถทำภารกิจ “พิชิตวัฏจักรหอคอย สู่ดินแดนภารตะ” โดยการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดอาดูโนในการควบคุมระบบกลไกของหุ่นยนต์โดยการรับสัญญาณอินพุตจาก จอยสติค เพลย์สเตชันรุ่น พีเอสสอง ไร้สายสำหรับ อาดูโน เพื่อส่งสัญญาณไปควบคุมชุดขับเคลื่อนมอเตอร์และชุดควบคุมระบบนิวเมติกส์ โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อศึกษาและออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ 2) เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino 3) เพื่อให้การออกแบบหุ่นยนต์ได้สอดคล้องกับกติกาและเงื่อนไขของการแข่งขัน ซึ่งมีการดำเนินงานของหุ่นยนต์ประกอบด้วย 1) หุ่นยนต์ตัวที่แรกต้องทำภารกิจทำลายหอคอยลาโกริ 2) หุ่นยนต์ตัวที่สองต้องโยนลูกบอลไปที่ บอลที่วางไว้บนตัวหุ่นยนต์ ซึ่งอยู่สูงจากพื้น 1,300 มม. และมีระยะห่าง 3,500 มม. และ 3) ให้หุ่นยนต์ไปคลีบลากริจากพื้น แล้วนำขึ้นมาวางบนฐานสูง 200 มม. ที่อยู่ห่างออกไปอย่างน้อย 1000 มม. ผลการทดลองปรากฏว่าการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ ABU 2022 โดยการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 เข้ามาเป็นหน่วยประมวลผลควบคุมการทำงานตามคำสั่งของจอย PlayStation 2 และส่งข้อมูลมาที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 เข้ามาประมวลผลตามคำสั่งในการบังคับหุ่นยนต์โดยวิธีการควบคุมจะควบคุมโดยการเขียนโปรแกรม และการทำงานของโปรแกรมลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 เพื่อให้หุ่นยนต์ R1 และ R2 ทำงานตามกฎ กติกา เพื่อควบคุมอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ เพื่อพัฒนาทำให้เกิดประโยชน์และเพิ่มประสิทธิภาพของการศึกษาและออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ให้สามารถทำภารกิจ “พิชิตวัฏจักรหอคอย สู่ดินแดนภารตะ” นั้นได้

คำสำคัญ : หุ่นยนต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบควบคุมมอเตอร์ ระบบนิวเมติกส์

Abstract

This research paper aims to create a robot ABU 2022 that can perform the mission “Conquest the Tower Cycle to into the Land of Bharat” by applying an Arduino microcontroller board to control the mechanical system of the robot by receiving signals. The input from the Joystick play station PS2 wireless for Arduino is used to send signals to control motion motor drives and pneumatic controllers. with the following objectives: 1) To study and design the structure of robots. 2) To study and design a motor control system with an Arduino microcontroller board and 3) In order to design the robot in

accordance with the rules and conditions of the competition. The operation of the robots consists of 1) the first robot must destroy the Lagori Tower, 2) the second robot must throw a ball at Ball placed on the robot which is 1,300 mm above the floor and has a distance of 3,500 mm., and 3) let the robot go to the Lagori from the floor, and then placed on a 200 mm high base at least 1000 mm. The results of the experiment show that the structure of the ABU 2022 robot was designed by using the Arduino Mega microcontroller board as a processing unit to control operations according to the commands of the PlayStation 2 joystick and send data to the Arduino Mega microcontroller board. Arduino Mega 2560 processed the commands to control the robot by programming and executing the program into the Arduino Mega 2560 microcontroller board, so that the robots R1 and R2 performed according to the rules. Therefore, it allowed controlling various control devices to develop, create benefits and increase the efficiency of studying and designing robot structures to be able to perform missions. “Conquest the Tower Cycle to into the Land of Bharat”.

Keywords : Robot, Microcontroller, Motor control system, Pneumatic system

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการพัฒนาหุ่นยนต์เป็นอีกด้านหนึ่งที่ได้รับความสนใจจากเยาวชนไทย โดยการแข่งขันหุ่นยนต์ในระดับชาติมีหลายประเภทแตกต่างกันไปในทุก ๆ ปี ทั้งในด้านของการออกแบบกลไกของหุ่นยนต์ (Khankasikam and Pilathoi, 2016) และการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ (Prakansamut,1991) ให้เหมาะสมกับการแข่งขันในแต่ละปีรวมถึงปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะความรู้ความสามารถที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ (Muangjaroen and Bowonwattanadilok, 2018) ทำให้เห็นและได้เรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ จากประสบการณ์ที่ได้รับ เอปียู โรบอตคอนเทสต์ (ABU Robot Contest) หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า “ABU Robocon” เป็นการการแข่งขันหุ่นยนต์ของนักศึกษาในระดับอาชีวศึกษา และระดับอุดมศึกษา ที่จัดขึ้นเป็นประจำทุกปี โดยกติกาที่ให้หุ่นยนต์ทำภารกิจในแต่ละปี จะให้นานาประเทศสมาชิกของเอปียูจะหมุนเวียนผลัดเปลี่ยนกันเป็นเจ้าภาพทุก ๆ ปี (Kotmanee and Muangjaroen, 2022)

จากอดีตที่ผ่านมาทางสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ได้เข้าร่วมแข่งขันในปี พ.ศ. 2556 ได้สร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2013 ชื่อ “หุ่นยนต์พิทักษ์ รักโลกสีเขียว” ประเทศเวียดนามเป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขัน ในฐานะเจ้าภาพ ต่อมาในปี พ.ศ. 2557 ได้สร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2014 ชื่อ “อูนไอรัก” โดยประเทศอินเดียเป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขันในฐานะเจ้าภาพ ต่อมาในปี พ.ศ. 2558 ได้สร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2015 ชื่อ “หุ่นยนต์แบดมินตัน” โดยประเทศอินโดนีเซียเป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขันในฐานะเจ้าภาพ (Muangjaroen, 2017) ต่อมาในปี พ.ศ. 2559 ได้สร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2016 ชื่อ “พลังงานบริสุทธิ์จุดประกายโลก” ประเทศไทยเป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขันในฐานะเจ้าภาพ (Muangjaroen, 2017) ต่อมาในปี พ.ศ. 2560 ได้สร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2017 ชื่อ “ยุทธการจามรอน” โดยประเทศอินโดนีเซียเป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขันในฐานะเจ้าภาพ (Muangjaroen & Bowonwattanadilok, 2018) ต่อมาในปี พ.ศ. 2561 ได้สร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2018 ชื่อ “ลูกช่วงมังกรบิน” โดยประเทศเวียดนามเป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขันในฐานะเจ้าภาพ (Muangjaroen, 2020) ต่อมาในปี พ.ศ. 2562 ได้สร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2019 ชื่อ “ซีม่าส่งสาร สะท้อนขุนเขา” โดยประเทศมองโกเลียเป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขันในฐานะเจ้าภาพ (Muangjaroen & Kotmanee, 2021) ต่อมาในปี พ.ศ. 2563 ได้สร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2020 ชื่อ “โรโบ รักบี้” โดยประเทศฟิลิปปินส์เป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขันในฐานะเจ้าภาพ (Muangjaroen & Sukruen, 2021) และต่อมาในปี พ.ศ. 2564 ได้สร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2021 ชื่อ “ดวงอาทิตย์ สานฝันสู่แดนมังกร” โดยประเทศจีน เป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขันในฐานะเจ้าภาพ (Muangjaroen & Kotmanee, 2022) จากอดีต

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 จนถึงปัจจุบันทางสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคมเข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์ ส.ส.ท. ชิงแชมป์ประเทศไทย เพื่อเป็นตัวแทนประเทศไทยเข้าร่วมแข่งขันในระดับนานาชาติ จึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจ รวมถึงความเหมาะสม เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไข

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้สร้างและออกแบบหุ่นยนต์ ABU 2022 “พิชิตวิภูจักรหอคอย สุ่ดินแดนภารตะ” เข้าร่วมการแข่งขันครั้งที่ 21 การแข่งขันหุ่นยนต์ ABU ชิงชนะเลิศประเทศไทย ประจำปี พ.ศ. 2565 (ABU Robot Contest Thailand Championship 2022: ABU 2022) โดยใช้ชื่อเกมการแข่งขันคือ “ลาโกรี (Lagori)” ซึ่งหุ่นยนต์สองตัวจะต้องทำงานร่วมกันเพื่อทำคะแนนจากการที่ฝั่งผู้หาโยนบอลเพื่อทำลายหอคอยชื่อว่า “ลาโกรี (Lagori)” หลังจากนั้นผู้หาต้องพยายามที่จะสร้างหอคอยขึ้นมาใหม่โดยฝั่งผู้ตีจะพยายามโยนลูกบอลเพื่อขัดขวางการสร้างหอคอย และทำตามเงื่อนไข กฎกติกาของการแข่งขันหุ่นยนต์และเป็นการพัฒนาความรู้ (Tanaon *et al.*, 2011) และ (Noomuang *et al.*, 2014) และศักยภาพของผู้วิจัย ซึ่งภายในการแข่งขันนั้นจะมีกติกาและเงื่อนไขที่เราต้องทำให้สำเร็จภายในระยะเวลาที่กำหนด

1.1 วิตุประสงค์ของการวิจัย

- 1.1.1 เพื่อศึกษาและออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ ABU 2022
- 1.1.2 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino
- 1.1.3 เพื่อออกแบบหุ่นยนต์ได้สอดคล้องกับกติกาและเงื่อนไขของการแข่งขัน ABU 2022

2. วิธีการทดลองหรือวิธีการศึกษา

2.1 ความเป็นมาของเกมการแข่งขัน

ลาโกรี (Lagori) เป็นการละเล่นที่มีมาแต่โบราณที่เล่นกันมายาวนาน โดยมีจุดกำเนิดจากทางใต้ของประเทศ อินเดีย ลาโกรีเป็นเกมที่แพร่หลายที่สุดในอินเดีย ช่วง ค.ศ. 1990 ได้มีการบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษรใน คัมภีร์ Bhagavata Purana ของศาสนาฮินดูเมื่อ 5000 ปีก่อน โดยกล่าวว่าพระกฤษณะได้เล่นเกมนี้กับสหาย โดยผู้เล่นแบ่งออกเป็นสองทีม (ทีม 1: “ผู้หา” และ ทีม 2: “ผู้ตี”) เกมเริ่มจากการที่ฝั่งผู้หาโยนบอลเพื่อทำลายหอคอยชื่อว่า “ลาโกรี (Lagori)” หลังจากนั้นผู้หาต้องพยายามที่จะสร้างหอคอยขึ้นมาใหม่ ฝั่งผู้ตีจะพยายามโยนลูกบอลเพื่อขัดขวาง

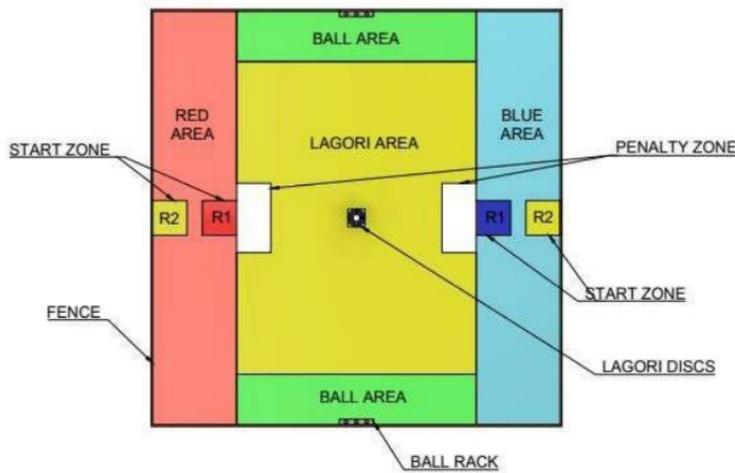


ภาพที่ 1 เกมการแข่งขัน

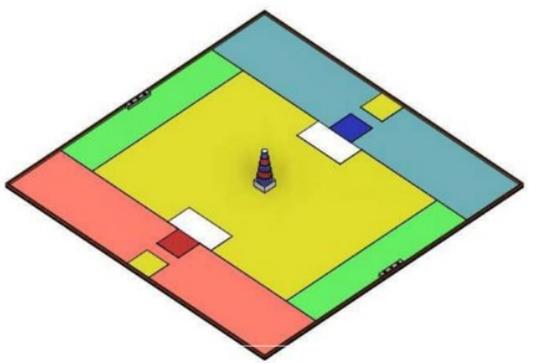
2.2 รูปแบบของการแข่งขัน

- 2.2.1 แต่ละทีมต้องสร้างหุ่นยนต์จำนวน 2 ตัว (Robot 1, Robot 2)
- 2.2.2 การแข่งขันมี 2 รอบ (รอบที่ 1, รอบที่ 2) ต่อ 1 เกม
- 2.2.3 กรรมการจะกำหนดให้แต่ละทีมเล่นบทบาทเป็น Seeker (ผู้หา) และ Hitter (ผู้ตี) โดยจะสลับกันไปในแต่ละ รอบ เช่น รอบที่ 1 ทีมสีแดงเป็น Seeker (ผู้หา) และทีมสีน้ำเงินเป็น Hitter (ผู้ตี) ในรอบที่ 2 ทีมสีแดงจะ สลับเป็น Hitter (ผู้ตี) และทีมสีน้ำเงินจะสลับเป็น Seeker (ผู้หา)
- 2.2.4 เมื่อเริ่มต้นเกม Seeker (ผู้หา) จะทำการโยนลูกบอลไปที่กองแผ่นลาโกรี (Lagori) และตั้งแผ่นลาโกรีกลับขึ้นมาใหม่ให้เหมือนในตอนเริ่มเกม Seeker (ผู้หา) จะได้คะแนนตามจำนวนแผ่นลาโกรีที่แตกออกจากกอง และตามจำนวนแผ่นลาโกรีที่ตั้งขึ้นมาใหม่

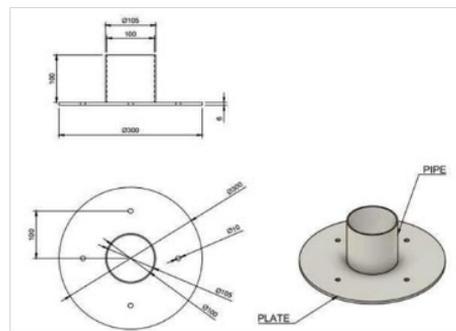
2.2.5 Hitter (ผู้ตี) โยนลูกบอลเพื่อป้องกันไม่ให้ Seeker (ผู้หา) สามารถตั้งกองแผ่นลาโกริลกลับขึ้นมาได้



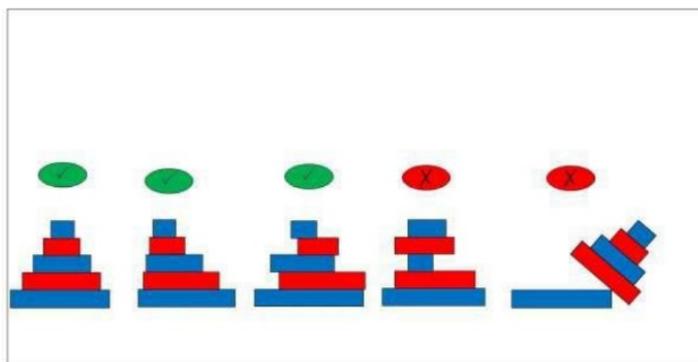
ภาพที่ 2 สนามการแข่งขัน



ภาพที่ 3 สนามตอนเริ่มการแข่งขัน



ภาพที่ 4 ที่วางไว้บนตัวหุ่นยนต์



ภาพที่ 5 ลักษณะของลาโกริที่จัดเรียงแล้วได้ถูกต้อง

2.3 การกิจของหุ่นยนต์ Seeker R1 และการกิจหุ่นยนต์ Seeker R2

ภารกิจของหุ่นยนต์ Seeker R1 คือการ “ทำลายลาโกริ” เมื่อการแข่งขันเริ่มต้น หุ่นยนต์ R1 ขว้าง Seeker Ball จากบริเวณ R1SZ จะทำลายลาโกริใน ช่วงเวลาในการโยน 30 วินาที ในขณะที่ขว้าง Seeker Ball ผิวสัมผัสพื้นของหุ่นยนต์จะต้องไม่ออกจากบริเวณ R1SZ แต่อนุญาตให้สามารถ มีส่วนของหุ่นยนต์ยื่นออกนอกรอบด้านบนของ R1SZ ได้ หุ่นยนต์ Seeker R1 สามารถโยน Seeker Ball ได้ครั้งละหนึ่งลูกเท่านั้น หุ่นยนต์ Seeker R1 สามารถ

โยนลูกบอลได้ต่อเนื่อง แต่ต้องโยนลูกต่อลูกและการ “ทำลายลาโกริ” จะเกิดขึ้นเมื่อสถานการณ์ใดสถานการณ์หนึ่งเกิดขึ้นดังต่อไปนี้

1. เมื่อหุ่นยนต์ R1 ทำลายลาโกริทั้ง 5 แผ่น
2. เมื่อ Seeker Ball ทั้งสามลูกได้ถูกปาออกไป
3. เมื่อเวลาในการโยนได้หมดลง กรรมการจะให้สัญญาณเมื่อ 1/2/3 สำเร็จ

ภารกิจของหุ่นยนต์ Seeker R2 คือการ “กองลาโกริ” กลับขึ้นมาใหม่นั้นหุ่นยนต์ Seeker R2 สามารถออกจาก R2SZ ได้หลังจากเกิดการ “ทำลายลาโกริ” หุ่นยนต์ Seeker R2 จะสามารถเข้าสู่เขตลาโกริ และกองลาโกริขึ้นมาใหม่ แต่ถ้าหุ่นยนต์ Seeker R2 ทำ Ball on Head เกิดการชยับด้วยตัวเอง ทีมจะต้องทำการรีไทร์ การแข่งขันจะยุติลงเมื่อเกิดสถานการณ์ใดสถานการณ์หนึ่งดังต่อไปนี้

1. เมื่อกองลาโกริที่แตกลงได้กองกลับขึ้นขึ้นมาใหม่
2. เมื่อ Seeker Ball ที่ถูกโยนโดยหุ่นยนต์ Hitter R1 โดน Ball on Head หรือท่อหรือแผ่นที่วาง Ball on Head จน Ball on Head เกิดการชยับ “Ball on Head เกิดการชยับ” หมายถึงลูกบอลอยู่ในสถานะที่แยกออกจากผิวด้านบนของท่อที่วางลูกบอล
3. เมื่อเวลาในการแข่งขันได้ผ่านไป 90 วินาทีหลังจากเริ่มต้นการแข่งขัน

2.4 ภารกิจของหุ่นยนต์ Hitter R1 และภารกิจหุ่นยนต์ Hitter R2

ภารกิจของหุ่นยนต์ Hitter R1 เมื่อเวลาในการแข่งขันได้ผ่านไป 90 วินาทีหลังจากเริ่มต้นการแข่งขัน ภารกิจของหุ่นยนต์ Hitter R1 คือการโยนลูกบอลไปยัง Ball on Head บนหุ่นยนต์ Seeker R2 หุ่นยนต์ R1 ยังสามารถเก็บ Hitter Ball มาจาก Ball Area ได้อีกด้วย หลังจากที่เกิดการ “ทำลายลาโกริ”, หุ่นยนต์ R1 สามารถออกจากบริเวณ R1SZ เพื่อเก็บ Hitter Balls หุ่นยนต์ Hitter R1 สามารถเก็บลูกบอลมาจาก Ball Area หรือรับลูกบอลมาจากหุ่นยนต์ R2 ในกรณีที่ เป็นการรับลูกบอลมาจาก R2 ลูกบอลจะต้องไม่สัมผัสกับพื้นสนาม เมื่อลูกบอลจะไม่สามารถนำมาใช้ได้เมื่อมีการสัมผัสกับพื้นสนามเมื่อหุ่นยนต์ R1 เก็บหรือรับลูกบอลได้ หุ่นยนต์ R1 สามารถโยนลูกบอลจากบริเวณ R1SZ ไปยัง Ball on Head ของหุ่นยนต์ Seeker R2 ขณะที่โยน Hitter Ball หุ่นยนต์ R1 จะต้องไม่ออกจากบริเวณ R1SZ และจะต้องไม่มีส่วนใดยื่นออกจาก บริเวณนี้ Hitter Ball จะถูกโยนได้ที่ละลูกเท่านั้น หุ่นยนต์จะสามารถโยนได้อย่างต่อเนื่องเมื่อทำการโยนลูกบอลแบบลูกต่อลูก ถ้าหุ่นยนต์ผู้โยน Hitter Ball ไปโดนกองลาโกริที่กำลังวางกลับขึ้นมาอยู่และมีแผ่นลาโกริที่แตกออกจากกอง จะถือว่าการแข่งขันยุติทันที โดยถือว่าการ “กองลาโกริ” ของผู้หาสำเร็จ และผู้หาจะได้คะแนนเสมือนว่าแผ่นลาโกริทั้งหมดที่แตกออกจากกอง ตามที่ผู้หาได้ขว้างลูกบอลเพื่อทำลายลาโกริในตอนเริ่มเกมได้ถูกกองกลับขึ้นมาใหม่สำเร็จ หากหุ่นยนต์ Hitter R1 ปา Hitter Ball ไปยังส่วนอื่นใดของหุ่นยนต์ Seeker R2 นอกเหนือจากแผ่นและท่อที่วาง Ball on Head และทำให้ Ball on Head เกิดการชยับเกิดขึ้น หุ่นยนต์ Hitter R1 จะถูกบังคับให้รีไทร์ และยังไม่สามารถแข่งขันต่อไปจนกว่าจะผ่านไป 15 วินาที ในขณะที่เดียวกันทีมของผู้หาจะต้องหยุดหุ่นยนต์ Seeker R2 และเข้ามาในสนามเพื่อวาง Ball on Head กลับขึ้นมาในตำแหน่งเดิม Hitter Ball จะต้องไม่โดนกองลาโกริโดยเจตนา หุ่นยนต์ R1 สามารถโยน Hitter Ball ได้มากที่สุด 6 ลูก ก่อนที่การแข่งขันจะหมดเวลา Hitter Ball เมื่อถูกโยนแล้ว จะไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ภารกิจของหุ่นยนต์ Hitter R2 เมื่อเวลาในการแข่งขันได้ผ่านไป 90 วินาทีหลังจากเริ่มต้นการแข่งขันหุ่นยนต์ Hitter R2 สามารถเก็บ Hitter Ball จากพื้นที่เก็บลูกบอล และส่งต่อไปให้กับหุ่นยนต์ Hitter R1 โดยที่ลูกบอลจะต้องไม่สัมผัสกับพื้นสนามหุ่นยนต์ R2 ไม่สามารถโยนลูกบอลไปที่ Ball on Head ได้

2.5 การนับคะแนน

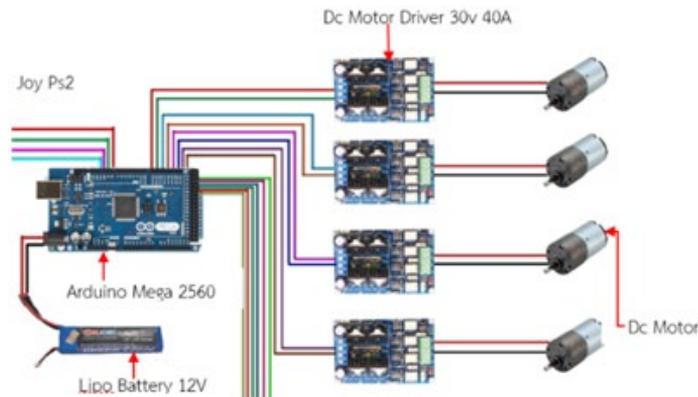
2.5.1 การทำลายลาโกริ ผู้หาจะได้คะแนน 5 คะแนน ในทุก ๆ แผ่นลาโกริที่แตกออกจากกอง ทีมผู้หาสามารถได้คะแนนสูงสุด 25 คะแนนในส่วนนี้

2.5.2 การกองลาโกริ ผู้หาได้ 10 คะแนน ในแต่ละแผ่นของลาโกริที่วางกลับขึ้นมาที่กอง ทีมผู้หาสามารถได้คะแนนสูงสุด 50 คะแนนในส่วนนี้

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 การออกแบบควบคุมของมอเตอร์กระแสตรง

การใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการหมุน และทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงนั้น จะต้องมีส่วนของวงจร ที่เรียกว่าวงจรขับมอเตอร์ (Driver) ส่วนของวงจรกลับทิศทางของมอเตอร์ สามารถที่จะใช้รีเลย์เป็นสวิตช์ เพื่อกลับทิศทางของมอเตอร์ได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วง ๆ โดยอาศัยกระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์

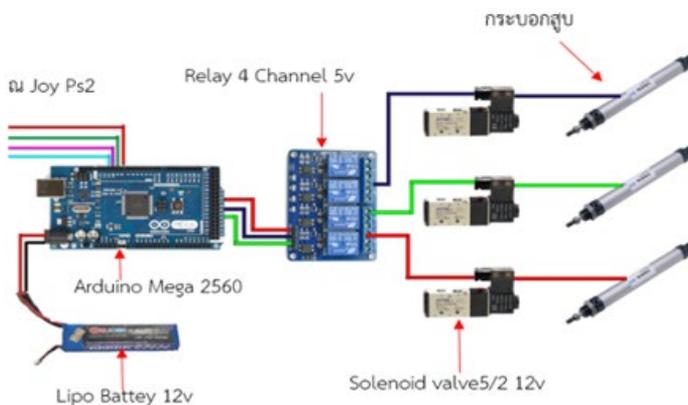


ภาพที่ 6 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ต่อกับบอร์ดไดรฟ์มอเตอร์และดีซีมอเตอร์

จากภาพที่ 6 แสดงการออกแบบการควบคุมหุ่นยนต์ ด้วยบอร์ด Arduino (การเคลื่อนที่) วงจรควบคุมหุ่นยนต์ การเคลื่อนที่นั้นจะทำงานได้โดยรับคำสั่งจาก Joy Ps2 ผ่านบอร์ด Arduino Mega 2560 แล้วส่งเอาต์พุตไปที่ Drive Motor เพื่อสั่งให้ตัว Motor หมุนตามคำสั่งจาก Joy PS2

3.2 การออกแบบควบคุมโซลินอยด์วาล์วลม

การใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมโซลินอยด์วาล์วเพราะอุปกรณ์นี้เป็นแบบสวิตซ์โดยอาศัยหลักการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้าทำงานโดยใช้การป้อนไฟเป็นตัวกำหนดเงื่อนไขในการทำงานควบคุมให้ลื่นกลไกปิดหรือเปิด ดังนั้นจึงเลือกใช้อุปกรณ์นี้ในการใช้โซลินอยด์วาล์วควบคุมกระบอกลมในการเสิร์ฟและตีโต้ตอบของตัวหุ่นยนต์

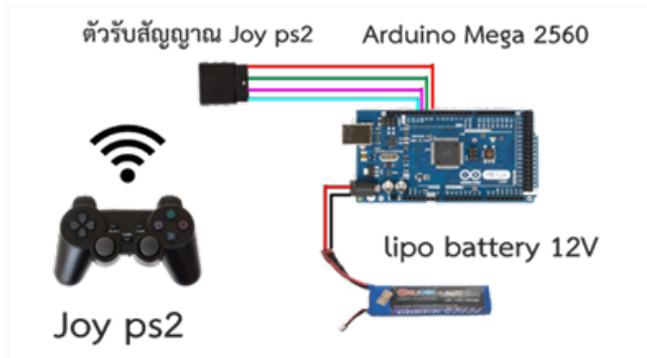


ภาพที่ 7 แสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อตัวควบคุมโซลินอยด์วาล์ว

จากภาพที่ 7 แสดงการออกแบบระบบนิวมติก จะทำงานได้โดยรับคำสั่งจาก Joy Ps2 ผ่านบอร์ด Arduino Mega 2560 แล้วส่งเอาต์พุตไปที่ Relay เพื่อสั่งให้ตัว Solenoid valve 5/2 ปลดปล่อยแรงดันลมเพื่อให้กระบอกสูบทำงานตามคำสั่งจาก Joy PS2

3.3 การควบคุมหุ่นยนต์ด้วย Joy PS2

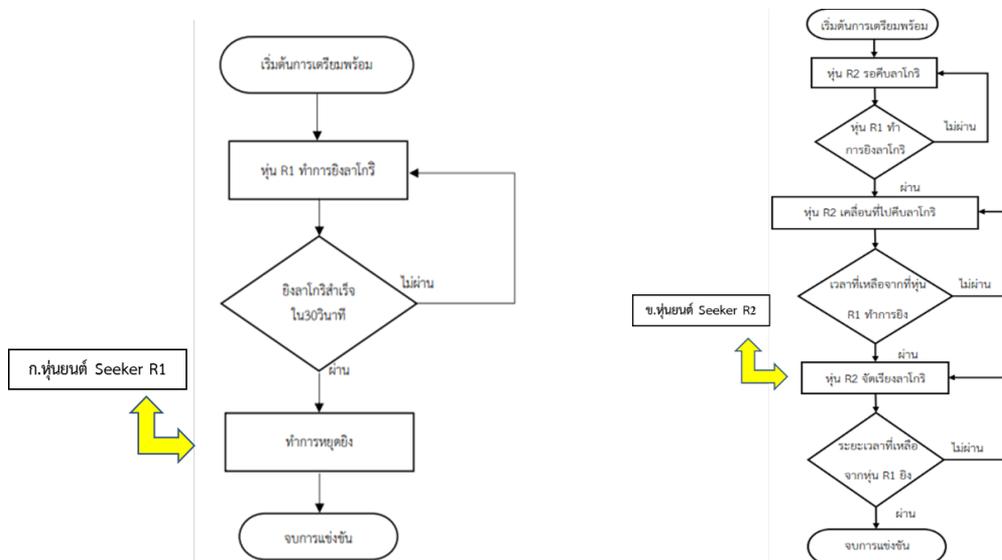
การออกแบบการคอนโทรลหุ่นยนต์ ABU 2022 ทั้งหุ่นยนต์ R1 และหุ่นยนต์ R2 เมื่อกดปุ่มคำสั่งที่ Joy Ps2 จะส่งสัญญาณข้อมูลไปที่ตัวรับสัญญาณของ Joy Ps2 ที่เชื่อมต่ออยู่กับบอร์ด Arduino Mega 2560 จากนั้นบอร์ดจะทำการนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลว่าตรงกับคำสั่งใดที่ได้ป้อนไว้ในบอร์ด Arduino Mega 2560 จากนั้นบอร์ดจะนำคำสั่งที่ได้ไปคอนโทรลในภาคขับเคลื่อนตามคำสั่งที่ได้รับมาจาก Joy Ps2



ภาพที่ 8 การออกแบบการคอนโทรลหุ่นยนต์ เอบียู 2022

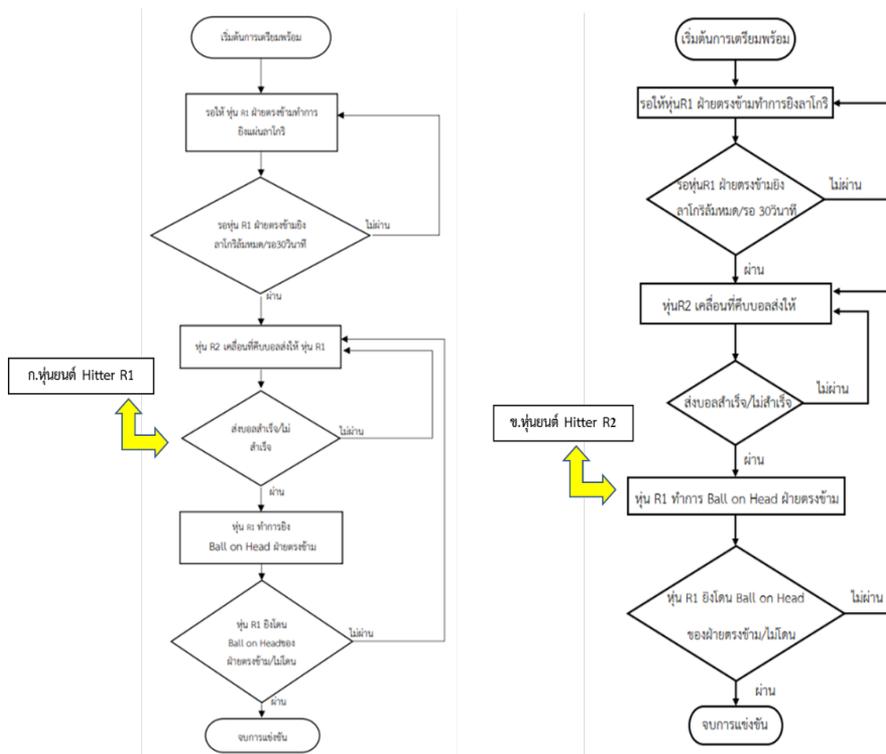
จากภาพที่ 8 หุ่นยนต์รับคำสั่งจากรีโมทควบคุมและทำการการแปลงข้อมูลสำหรับรับคำสั่งการกดปุ่มและส่งข้อมูลไปยังตัวรับ ที่ตัวรับจะมีหัวต่อแปลงข้อมูลของจอยรีโมทควบคุม PS2 ให้เป็นข้อมูลของ Arduino ต่อไปยังบอร์ด Arduino เพื่อประมวลผลตามคำสั่งที่ได้เขียนไว้เพื่อส่งออกเอาต์พุต บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่ได้จากบล็อกแปลงข้อมูลที่ได้รับคำสั่งจากบล็อกรีโมทและทำการจ่ายเอาต์พุตคำสั่งส่งไปที่มอเตอร์ไดรฟ์มอเตอร์หน้าที่รับข้อมูลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 และนำคำสั่งที่ได้ส่งต่อไปที่มอเตอร์เพื่อทำการหมุน Forward และ Reverse มอเตอร์เคลื่อนที่ทำหน้าที่หมุนล้อแบบ Omni ในการเคลื่อนที่ตามคำสั่ง แหล่งจ่ายไฟทำหน้าที่จ่ายไฟไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในวงจร

3.4 การออกแบบหุ่นยนต์ Seeker R1 และภารกิจหุ่นยนต์ Seeker R2



ภาพที่ 9 แสดงบล็อกไดอะแกรมลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์ Seeker R1 และหุ่นยนต์ Seeker R2

3.5 การออกแบบหุ่นยนต์ Hitter R1 และภารกิจหุ่นยนต์ Hitter R2



ภาพที่ 9 ลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์ตามกติกาของหุ่นยนต์ Hitter R1 และหุ่นยนต์ Hitter R2

3.6 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ ABU 2022หุ่นยนต์ R1 และหุ่นยนต์ R2



หุ่นยนต์ R1



หุ่นยนต์ R2

ภาพที่ 10 แสดงการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ R1และหุ่นยนต์ R2

3.7 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ ABU 2022การออกแบบหุ่นยนต์ R1 และหุ่นยนต์ R2

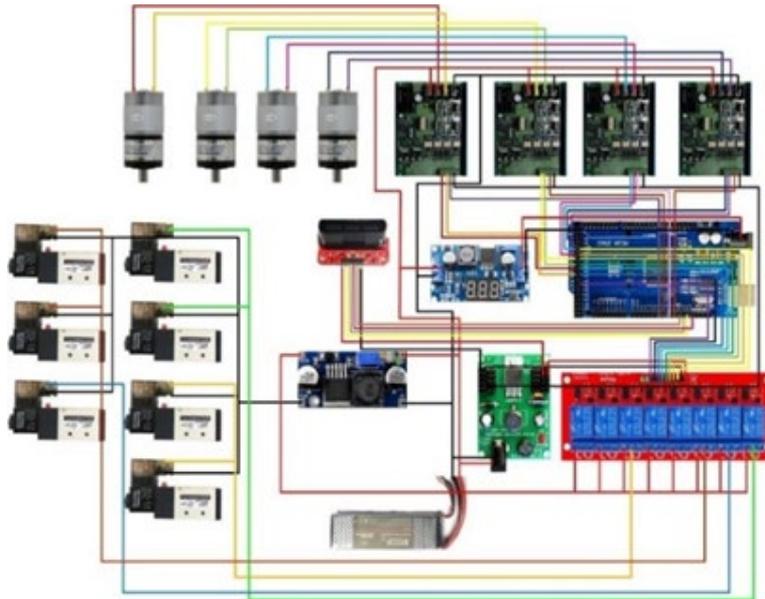


ภาพที่ 11.1 แสดงของหุ่นยนต์ R1



ภาพที่ 11.2 และหุ่นยนต์ R2

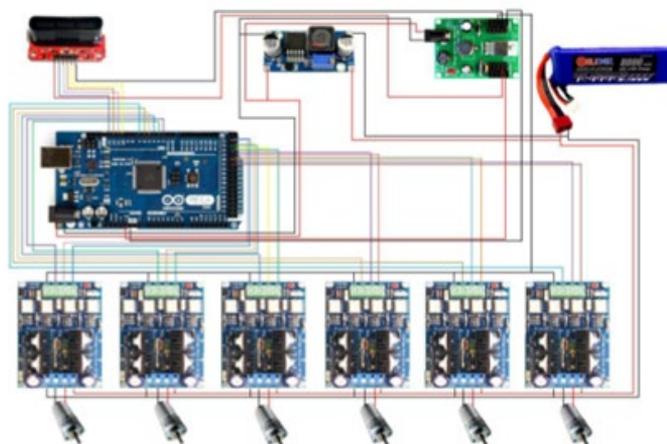
3.8 การออกแบบการควบคุมของหุ่นยนต์ ABU 2022 หุ่นยนต์ R1



ภาพที่ 12 แสดงวงจรควบคุมของหุ่นยนต์ R1

จากภาพที่ 12 แสดงการออกแบบการคอนโทรลหุ่นยนต์ R1 เมื่อกดปุ่มคำสั่งที่ Joy Ps2 จะส่งสัญญาณข้อมูลไปที่ตัวรับสัญญาณของ Joy Ps2 ที่เชื่อมต่ออยู่กับบอร์ด Arduino Mega 2560 จากนั้นบอร์ดจะทำการนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลว่าตรงกับคำสั่งใดที่ได้ป้อนไว้ในบอร์ด Arduino Mega 2560 จากนั้นบอร์ดจะนำคำสั่งที่ได้ไปคอนโทรลในภาคขับเคลื่อนตามคำสั่งที่ได้รับมาจาก Joy Ps2 ส่วนบอร์ดนั้นจะแหล่งที่ให้พลังงานคือ Lipo Battery 12V ซึ่งการออกแบบวงจรควบคุมหุ่นยนต์ R1 ด้วยบอร์ด Arduino (ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์) วงจรควบคุมหุ่นยนต์การเคลื่อนที่นั้นจะทำงานได้โดยรับคำสั่งจาก Joy Ps2 ผ่านบอร์ด Arduino Mega 2560 แล้วส่งเอาต์พุตไปที่ Drive Motor เพื่อสั่งให้ตัว Motor หมุนตามคำสั่งจาก Joy PS2 และในการออกแบบการควบคุมระบบนิวเมติก จะทำงานได้โดยรับคำสั่งจาก Joy Ps2 ผ่านบอร์ด Arduino Mega 2560 แล้วส่งเอาต์พุตไปที่ Relay เพื่อสั่งให้ตัว Solenoid valve ขนาด 5/2 เพื่อปล่อยแรงดันลมเพื่อให้กระบอกสูบทำงานตามคำสั่งจาก Joy PS2

3.9 การออกแบบการควบคุมของหุ่นยนต์ ABU 2022 หุ่นยนต์ R2



ภาพที่ 13 แสดงวงจรควบคุมของหุ่นยนต์ R2

จากภาพที่ 13 แสดงการออกแบบการคอนโทรลหุ่นยนต์ R1 เมื่อกดปุ่มคำสั่งที่ Joy Ps2 จะส่งสัญญาณข้อมูลไปที่ตัวรับสัญญาณของ Joy Ps2 ที่เชื่อมต่ออยู่กับบอร์ด Arduino Mega 2560 จากนั้นบอร์ดจะทำการนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลว่าตรงกับคำสั่งใดที่ได้ป้อนไว้ในบอร์ด Arduino Mega 2560 จากนั้นบอร์ดจะนำคำสั่งที่ได้ไปคอนโทรลในภาคขับเคลื่อนตามคำสั่งที่ได้รับมาจาก Joy Ps2 ส่วนบอร์ดนั้นจะแหล่งที่ให้พลังงานคือ Lipo Battery 12V ซึ่งการออกแบบวงจรควบคุมหุ่นยนต์ R1 ด้วยบอร์ด Arduino (ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์) วงจรควบคุมหุ่นยนต์การเคลื่อนที่นั้นจะทำงานได้โดยรับคำสั่งจาก Joy Ps2 ผ่านบอร์ด Arduino Mega 2560 แล้วส่งเอาต์พุตไปที่ Drive Motor เพื่อสั่งให้ตัว Motor หมุนตามคำสั่งจาก Joy PS2

3.10 ผลการดำเนินงาน

ในการทำงานของหุ่นยนต์การควบคุมทิศทางของหุ่นยนต์ จะถูกควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ และถูกเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C ผ่านอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ การทำงานของหุ่นตามกติกาการแข่งขันในขณะที่เป็นฝ่าย Seeker R1 และ Seeker R2 การทำงานของหุ่นยนต์ตามกติกาการแข่งขันในขณะที่เป็นฝ่าย Seeker R1 และ Seeker R2 ภารกิจของหุ่นยนต์ Seeker R1 คือ การทำลายกองลาโกรี เมื่อเริ่มสัญญาณการแข่งขัน ผู้บังคับหุ่นยนต์ Seeker R1 ทำการยิงลูกบอล 3 ลูก โดยการยิงลูกบอลนั้นจะสามารถยิงได้เพียง 3 ลูกเท่านั้นเพื่อทำลายลาโกรีภายในระยะเวลา 30 วินาที เมื่อทำลายลาโกรีสำเร็จต่อไป Seeker R2 จะเริ่มทำงานต่อในส่วนของการจัดเรียงลาโกรีขึ้นมาใหม่

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ Seeker R1

ครั้งที่ทดสอบ	ยิงลาโกรี (5 คะแนน/ชิ้น)	คะแนนรวม	เวลาที่ทำภารกิจ (นาที)
1	0	0	1.30
2	1	5	1.30
3	1	5	1.30
4	2	10	1.30
5	2	10	1.30
6	3	15	1.30
7	4	20	1.30
8	5	25	1.30
9	5	25	1.20
10	5	25	1.00

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์ 10 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะยิงลาโกรีทั้งหมด 5 อันภายในเวลา 1.30 นาที ซึ่งครั้งที่ 1 สามารถยิงลาโกรีได้ 0 อัน จึงทำการปรับแต่งระยะยิงของบอลและทิศทาง ครั้งที่ 2 สามารถยิงได้ 1 อัน จึงทำการปรับแต่งระยะยิงของบอลและทิศทางเพิ่มเติม และครั้งที่ 3 สามารถยิงลาโกรีได้ 1 อัน จึงทำการปรับแต่งระยะยิงของบอลและทิศทางเพิ่มเติม ซึ่งผลการทดลองได้บรรลุวัตถุประสงค์ในครั้งที่ 8, 9 และ 10 สามารถยิงลาโกรีได้ 5 อัน จึงสามารถเข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์ ABU 2022 และทำตามเงื่อนไข กฎกติกาการแข่งขันหุ่นยนต์ เอเปียงชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทยได้ตามทุกข้อ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ Seeker R2

ครั้งที่ทดสอบ	ยิงลาโกรี (10 คะแนน/ชิ้น)	คะแนนรวม	เวลาที่ทำภารกิจ (นาที)
1	1	10	1.30
2	1	10	1.30
3	1	10	1.30
4	2	20	1.30
5	2	20	1.30
6	3	30	1.30
7	3	30	1.30
8	4	40	1.30
9	5	50	1.30
10	5	50	1.30

จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์ 10 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะจัดเรียงลาโกรีทั้งหมด 5 อัน ในเวลา 1.30 นาที ซึ่งครั้งที่ 1 สามารถจัดเรียงลาโกรีได้ 1 อัน จึงทำการปรับแต่งตัวหุ่นยนต์ R2 ในครั้งที่ 4 สามารถจัดเรียงได้ 2 อัน จึงทำการปรับแต่งตัวหุ่นยนต์ R2 เพิ่มเติม และครั้งที่ 9 และ 10 สามารถจัดเรียงลาโกรีได้ 5 อัน ซึ่งผลการทดลองได้บรรลุวัตถุประสงค์ จึงสามารถเข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์ ABU ROBOCON 2022 โดยการใช้แต้มรวมทั้งหมดที่ดีที่สุดในการทำงานและทำตามเงื่อนไข กฎกติกาการแข่งขันหุ่นยนต์เอเปียชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทย (ABU Robot Contest Thailand Championship) ได้ตามทุกข้อ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ Hitter R1

ครั้งที่ทดสอบ	ยิง Ball on Head (จากบอล 3 ลูก)	Ball on Head	เวลาที่ทำภารกิจ (นาที)
1	3 ลูก	0	1.30
2	3 ลูก	0	1.30
3	3 ลูก	1	1.30

จากตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์ 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะยิง Ball on Head ทั้งหมด 3 ลูก ภายในเวลา 1.30 นาที ซึ่งครั้งที่ 1 สามารถยิง Ball on Head ได้ 0 ลูก ครั้งที่ 2 สามารถยิง Ball on Head ได้ 0 ลูก และครั้งที่ 3 สามารถยิง Ball on Head ได้ 1 ลูก ซึ่งผลการทดลองได้บรรลุวัตถุประสงค์ จึงสามารถเข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์ ABU ROBOCON 2022 โดยการใช้แต้มรวมทั้งหมดที่ดีที่สุดในการทำงานและทำตามเงื่อนไข กฎกติกาการแข่งขันหุ่นยนต์เอเปียชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทย (ABU Robot Contest Thailand Championship) ได้ตามทุกข้อ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ Hitter R2

ครั้งที่ทดสอบ	ยิง Ball on Head (จากบอล 3 ลูก)	Ball on Head	เวลาที่ทำภารกิจ (นาที)
1	3 ลูก	0	1.30
2	3 ลูก	0	1.30
3	3 ลูก	1	1.30

จากตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์ทั้งหมด 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะส่งบอลให้ Hitter R1 ทั้งหมด 3 ลูก ภายในเวลา 1.30 นาที ซึ่งครั้งที่ 1 สามารถยิง Ball on Head ได้ 3 ลูก ครั้งที่ 2 สามารถยิง Ball on Head ได้ 3 ลูก และครั้งที่ 3 สามารถยิง Ball on Head ได้ 3 ลูก ซึ่งผลการทดลองได้บรรลุวัตถุประสงค์ จึงสามารถเข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์ ABU ROBOCON 2022 โดยการใช้แต่รวมทั้งหมดที่ดีที่สุดในการทำงานและทำตามเงื่อนไขกฎกติกาการแข่งขันหุ่นยนต์เอเปียงชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทย (ABU Robot Contest Thailand Championship) ได้ตามทุกข้อ

4. สรุป

ในการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ ABU 2022 โดยการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 เข้ามาเป็นหน่วยประมวลผลควบคุมการทำงานตามคำสั่งของจอย PlayStation 2 และส่งข้อมูลมาที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 เข้ามาประมวลผลตามคำสั่งในการบังคับหุ่นยนต์โดยวิธีการควบคุมจะควบคุมโดยการเขียนโปรแกรม และการทำงานของโปรแกรมลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 เพื่อให้หุ่นยนต์ R1 และ R2 ทำงานตามกฎ กติกา

4.1 สรุปผลการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ ABU 2022

ในการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ ABU 2022 ได้ต้นแบบมาจากเครื่องยิงลูกวอลเลย์บอล เพื่อให้ นักกีฬา วอลเลย์บอลได้ใช้ฝึกซ้อมในสนาม ส่วนตัวโครงสร้างของหุ่นยนต์ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Works 2016 โดยมีขนาดโครงสร้างของหุ่นยนต์ตามกติกาการแข่งขัน ABU 2022 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Muangjaroen and Bowonwatthanadilok, 2020) การสร้างและออกแบบหุ่นยนต์ ABU 2017 “ยุทธการจันรอน” ซึ่งพบว่ามีการออกแบบโครงสร้างคล้ายคลึงกันมากเนื่องจากวิธีการยิงจันรอนนั้นเปลี่ยนมาเป็นลูกบอลแทน

4.2 สรุปผลการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

ในการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ของหุ่นยนต์รีโมทควบคุมและการแปลงข้อมูลสำหรับรับคำสั่งการกดปุ่มและส่งข้อมูลไปยังตัวรับ ที่ตัวรับจะมีหัวต่อแปลงข้อมูลของจอย PS2 ให้เป็นข้อมูลของ Arduino ต่อไปยังบอร์ด Arduino เพื่อประมวลผลตามคำสั่งที่ได้เขียนไว้เพื่อส่งออกเอาต์พุต บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่ได้จากบล็อกลบแปลงข้อมูลที่ได้รับคำสั่งจากบล็อกรีโมท และทำการจ่ายเอาต์พุตคำสั่งส่งไปที่บล็อกบอร์ดไดร์มอเตอร์ บอร์ดไดร์มอเตอร์ทำหน้าที่รับข้อมูลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 และนำคำสั่งที่ได้ส่งต่อไปที่มอเตอร์เพื่อทำการหมุน ไปข้างหน้า และ หมุนกลับไป ด้านหลังของมอเตอร์เคลื่อนที่ทำหน้าที่หมุนล้อแบบ โอมี ใน การเคลื่อนที่ตามคำสั่ง แห่ลงจ่ายไฟทำหน้าที่จ่ายไฟไปยัง อุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในวงจร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (Muangjaroen, 2020) การสร้างและออกแบบหุ่นยนต์ ABU 2018 “ลูกช่วงมังกรบิน” และ (Muangjaroen and Sukruean, 2021) การสร้างและออกแบบหุ่นยนต์ ABU 2020 “โรโบรักบี้” ซึ่งพบว่ามีการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino คล้ายคลึงกันมากเพราะใช้ตัวรับ-ส่งข้อมูลแบบจอยสติ๊ก PS2 ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด

4.3 สรุปผลการออกแบบหุ่นยนต์ได้สอดคล้องกับกติกาและเงื่อนไขของการแข่งขัน ABU 2022

1. การทำงานของหุ่นยนต์ตามกติกาการแข่งขันในขณะที่เป็นฝ่าย Seeker R1 ภารกิจของหุ่นยนต์ Seeker R1 คือ การทำลายกองลาโกรี เมื่อเริ่มสัญญาณการแข่งขัน ผู้บังคับหุ่นยนต์ Seeker R1 ทำการยิงลูกบอล 3 ลูก โดยการยิงลูกบอลนั้นจะสามารถยิงได้เพียง 3 ลูกเท่านั้นเพื่อทำลายลาโกรีภายในระยะเวลา 30 วินาที เมื่อทำลายลาโกรีสำเร็จต่อไป Seeker R2 จะเริ่มทำงานต่อในส่วนของการจัดเรียงลาโกรีขึ้นมาใหม่

2. การทำงานของหุ่นตามกติกาการแข่งขันในขณะที่เป็นฝ่าย Hitter R1 ภารกิจของหุ่นยนต์ Hitter R1 คือ เมื่อเริ่มการแข่งขันหุ่นยนต์ Hitter R1 จะทำการเตรียมพร้อมรอ Seeker R1 ของฝ่ายตรงข้ามทำลายกองลาโกรีทั้งหมด หรือทำการยิงจนครบระยะเวลา 30 วินาที จากนั้น Hitter R1 และ Hitter R2 จะเริ่มทำการขัดขวางการจัดเรียง

กองลาโกรีซันมาใหม่ของฝ่ายตรงข้าม โดยจะเริ่มจาก Hitter R2 ทำการตีบอลส่งต่อมายัง Hitter R1 เพื่อให้ Hitter R1 ทำการยิง Ball on Head ของ Seeker R2 ของฝ่ายตรงข้ามเพื่อยุติการแข่งขัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษานางสาวพัชรี อุ่นม่วง, นายธนโรจน์ ศรีฐาน, นายวัฒน์ พงศ์หัวเกาะ, นางสาวณัฐภา ฉิมสุข นายอภิวัฒน์ สร้อยทองกลาง และนายสุธี เมืองเกษม นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคมที่ให้ความร่วมมือและทำการสร้างหุ่นยนต์เพื่อทดสอบและพัฒนาความรู้และศักยภาพของตนเองและขอขอบคุณคณาจารย์ของสาขาวิชาทุกท่านที่ให้คำแนะนำในการสร้างหุ่นยนต์ครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- Andy, R. (1995). **First learning about microcontrollers**. Translated by Wechasawat, N. Bangkok: SE-ED Education.
- Khankasikam, K., & Pilathoi, Y. (2016). Development of a semi-automatic survey robot on the yo-yo platform. **Journal of Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University**, 8(8), 1-14.
- Kotmanee, W. & Muangjaroen, S. (2022). Development of surveying of rescue robots with pneumatic systems. **Proceedings of the 12th Rajamangala University of Technology National Academic Conference** (pp. 754-765). Trang: Rajamangala University of Technology Thanyaburi.
- Lertviriyapaisan, S. et al. (2016). Development of a robot motion control system. **MJ-Match Mathematics Journal**, 61(688), 1-8.
- Muangjaroen, S. (2017). Study and application of the Arduino MEGA microcontroller board to control the robot ABU 2016. **Proceedings of the 2nd Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi National Academic Conference** (pp. 322-329). Trang: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.
- Muangjaroen, S. (2017). A Study of using Arduino for ABU 2015 Robot Control. **The 6th International Symposium on the Fusion of Science and Technologies (ISFT2017)**, Jeju, S. KOREA 17-21 July, 2017, pp. (25)
- Muangjaroen, S. (2020). Create and Design Robot ABU 2018 “Shuttlecock Throwing”. **Defence Technology Academic Journal: DTAJ**. 2(4), (62-69).
- Muangjaroen, S. & Bowonwattanadilok, P. (2018). Create and Design of the ABU 2017 robot “The Landing Disc”. **Proceedings of the 10th Rajamangala University of Technology National Academic Conference** (pp. 922-929). Trang: Rajamangala University of Technology Srivijaya.
- Muangjaroen, S. & Bowonwattanadilok, P. (2018). Design and build fighting robots. **Proceedings of the 10th Rajamangala University of Technology National Academic Conference** (p. 930-939). Trang: Rajamangala University of Technology Srivijaya.
- Muangjaroen, S. & Kotmanee, W. (2021). Create and Design of the robot ABU 2019 “Horse riding send news shaking the mountains”. **Proceedings of the 3rd National Academic Conference “Management in Disruptive Technologies Era”** (pp. 2015-2022). Trang: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.

- Muangjaroen, S. & Kotmanee, W. (2022). Design and construction of the robot ABU 2021 “Throwing Arrows into pot”. **Proceedings of the 12th Rajamangala University of Technology National Academic Conference** (pp. 876-885). Trang: Rajamangala University of Technology Thanyaburi.
- Muangjaroen, S., Kotmanee, W. & Chaowiang, S. (2022). Development of the mechanical arm of a single-arm rescue robot with a pneumatic system. **Proceedings of the 4th National Academic Conference “Management in Disruptive Technologies Era”** (pp. 754-766). Trang: Rajamangala University of Technology Rattanakosin.
- Muangjaroen, S. & Sengmanee, D. (2019). Design and development of a wireless control system for the movement of a combat robot. **Proceedings of the 11th Rajamangala University of Technology National Academic Conference** (pp. 75-86). Trang: Rajamangala University of Technology Lanna.
- Muangjaroen, S. & Sukruen, P. (2021). Create and Design of the ABU 2020 robot “Robo Rugby”. **Proceedings of the 3rd National Academic Conference “Management in Disruptive Technologies Era”**. (pp. 2587-2597). Trang: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.
- Noomuang, M., Wongsarikit, S., & Kongrak, A. (2014). **Microcontroller experimental kit** (Thesis). Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Suphanburi.
- Prakansamut, M. (1991). **Writing C language commands**. 2nd Edition. Bangkok: Hi-Tech Printing.
- Tanaon, M., Khammata, T., Pinphat, C., & Kwanwaree, P. (2020). Study of design and construction of a small automatic robotic arm. **Northern Journal of Science and Technology**, 1(3), 58-67.

(Received: 6/Sep/2023, Revised: 17/Apr/2024, Accepted: 26/Jun/2024)

กรรมวิธีการผลิตกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูหมักแบบพร้อมใช้

Production Methods of Ready-to-Use Fermented Vinegar Starter Culture

เขมพ์ พิช ตรีสุวรรณ* กนกวรรณ ยอดอินทร์ และ กัญญรัตน์ กัญญาคำ

Khemmapas Treesuwan*, Kanokwan Yodin and Kanyarat Kanyakum

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University

*E-mail: ifrkpt@ku.ac.th Tel: 029428629

บทคัดย่อ

เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีส่วนช่วยบำรุงและปรับสมดุลของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น ลดความดันโลหิต ลดการสะสมของไขมันในหลอดเลือด ป้องกันการติดเชื้อและป้องกันเชื้อไวรัส ซึ่งในกระบวนการผลิตมีขั้นตอนที่ค่อนข้างซับซ้อนและต้องทำในห้องปฏิบัติการเท่านั้น จึงได้มีการศึกษาและพัฒนากล้าเชื้อน้ำส้มสายชูหมักแบบแห้งที่ใช้ในการหมักน้ำส้มสายชูเพื่อให้ง่ายต่อการผลิต การขนส่ง และช่วยลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตกล้าเชื้อระหว่างแป้งข้าวเจ้า กากสับปะรด รำข้าว และปลายข้าว ศึกษาส่วนผสมที่ช่วยลดการปนเปื้อน ในกระบวนการผลิตกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูแบบแห้ง นอกจากนี้ยังศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมและอายุการเก็บรักษากล้าเชื้อที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการหมักน้ำส้มสายชู โดยใช้เชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ในกระบวนการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง พบว่า ปลายข้าว ผสมกับ เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ และกรดโพรปิโอนิก 0.2 เปอร์เซ็นต์ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถลดการปนเปื้อนและเก็บรักษาได้นานถึง 5 สัปดาห์ โดยตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 และ 5 สามารถผลิตกรดอะซิติกได้โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.08 เปอร์เซ็นต์ และ 4.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกัน ($p < 0.05$)

คำสำคัญ : กล้าเชื้อ น้ำส้มสายชูหมัก อายุการเก็บรักษา

Abstract

Fermented vinegars are popular as healthy drinks due to their high nutritional value and ability to balance the various systems in the body. For example, reduces blood pressure, decreases the risk of cardiovascular disease, and prevents infection and antivirus. However, the fermentation processes are complicated, and the procedures can take place only in the laboratories. Therefore, this study aimed to develop a ready-to-use vinegar starter culture for vinegar fermentation and convenient transportation. The study was conducted to develop a dry starter culture for vinegar fermentation to facilitate production, transportation, and to reduce microbial contamination. Raw materials were compared to the suitability of four substrates (rice flour, pineapple pulp, rice bran, and rice bran) for starter culture production. The additives that could reduce contamination in the production of dry starter culture for vinegar fermentation were also investigated. Moreover, the study investigated the optimum temperature and storage period for starter culture that could affect the efficiency of vinegar fermentation. *Acetobacter aceti* TISTR 354 was used in a semi-continuous fermentation process. The results showed that rice bran mixed with 95% ethanol and 0.2% propionic acid stored at 4 °C could reduce contamination and be stored for up to 5 weeks. From week 1 to 5, the average acetic acid production was 6.08% and 4.50%, respectively, which were significantly different ($p < 0.05$).

Keywords : starter culture, vinegar fermentation, shelf-life

1. บทนำ

การผลิตน้ำส้มสายชูของประเทศไทยตั้งแต่ดั้งเดิมนั้นจะผลิตกันในระดับครัวเรือนและเป็นวิธีการผลิตแบบช้า คือจะเป็นการหมักตามธรรมชาติ โดยที่น้ำผลไม้จะมีความเข้มข้นของน้ำตาลอยู่พอสมควรและจะถูกปล่อยให้เกิดการหมักโดยเชื้อยีสต์ที่ปะปนมากับผลไม้ เกิดการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์จากนั้นเชื้ออะซิติกแอซิดแบคทีเรียที่อยู่ตามธรรมชาติจะไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรดอะซิติกอีกครั้ง (Gullo & Paolo, 2008) วิธีการดังกล่าวจะต้องใช้ระยะเวลาในกระบวนการหมักนานประมาณ 2-3 เดือน ตลอดจนประสิทธิภาพของเชื้อที่ใช้ในกระบวนการหมักและคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูที่ได้ไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณกรดอะซิติกสูงไปหรือต่ำไปหรืออาจจะมีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ชนิดอื่นในระหว่างการผลิตเป็นผลทำให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปและไม่ชวนรับประทาน ในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักมีความจำเป็นที่ต้องใช้กล้ำเชื้อน้ำส้มสายชูเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีความสม่ำเสมอ ดังนั้นคุณภาพของเชื้อน้ำส้มสายชูที่นำมาใช้จะต้องมีความเหมาะสมในการผลิต เช่น สามารถเปลี่ยนแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดอะซิติกได้ สามารถสร้างกลิ่นรสที่น่าพอใจให้แก่ผลิตภัณฑ์และมีคุณภาพสม่ำเสมอ มีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ในเวลาที่รวดเร็ว ในการเลี้ยงเชื้อที่จะนำมาผลิตกล้ำเชื้อจึงมีความสำคัญเนื่องจากจะนำมาทำการขยายให้ได้ปริมาณมาก ๆ (bulk starter) ต้องมีจำนวนของเซลล์ที่มีชีวิตอยู่เป็นจำนวนมาก ปรากฏจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่อาจก่อให้เกิดโรคหรือทำให้อาหารเน่าเสีย เช่น *Escherichia coli*, coliform, ยีสต์หรือรา เป็นต้น และต้องมีกิจกรรมภายใต้กระบวนการหมักที่ดี สิ่งที่สำคัญในการผลิตกล้ำเชื้อน้ำส้มสายชูอันเนื่องมาจากการต่อเชื้อ (sub culture) สามารถก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะและคุณสมบัติของกล้ำเชื้อได้ ปัจจุบันการผลิตน้ำส้มสายชูหมักสามารถเลือกใช้กล้ำเชื้อชนิดเหลว (liquid starter) ซึ่งเป็นชนิดที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถเก็บรักษาหรือผลิตในปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้งานสำหรับการผลิตแต่ละครั้งได้ ข้อดีของการใช้กล้ำเชื้อชนิดนี้คือ สามารถปรับคุณภาพและตรวจสอบได้ก่อนใช้งานทุกครั้งเพื่อให้ได้กลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์ที่ดี นอกจากนี้ยังง่ายต่อการนำไปใช้ในกระบวนการหมัก ในขณะที่การใช้กล้ำเชื้อน้ำส้มสายชูหมักชนิดเหลวยังมีข้อจำกัดเรื่องของการขนส่งกรณีที่ผู้ประกอบการบางรายมีการสั่งซื้อกล้ำเชื้อทางไปรษณีย์ อาจมีการหกเลอะเทอะ ก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนได้ง่าย ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้ำเชื้อน้ำส้มสายชูหมักที่มีความสามารถนำไปใช้ในกระบวนการหมักได้ทันทีและง่ายต่อการขนส่ง คือไม่เกิดการหกเลอะเทอะจนเกิดปัญหาการปนเปื้อนในระหว่างกระบวนการขนส่งจนเกิดการปนเปื้อนได้ ตลอดจนมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ การอยู่รอดของเชื้อน้ำส้มสายชูและความสามารถในการหมักน้ำส้มสายชู เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์กล้ำเชื้อน้ำส้มสายชูหมักต้นแบบพร้อมถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เชิงพาณิชย์ต่อไป

เชื้ออะซิติกแอซิดแบคทีเรียแบ่งออกเป็น 2 จีนัส คือ *Acetobacter* และ *Gluconobacter* มีคุณสมบัติในการหมักได้กรดน้ำส้ม โดย *Acetobacter* สามารถออกซิโดซ์แอลกอฮอล์ได้ดีกว่าน้ำตาลกลูโคสในการสร้างกรดน้ำส้ม ในขณะที่ *Gluconobacter* มีความสามารถในการออกซิโดซ์น้ำตาลกลูโคสได้ดีกว่าแอลกอฮอล์ อย่างไรก็ตามพบว่า *Acetobacter aceti* เป็นแบคทีเรียกลุ่มอะซิติกแอซิดที่นิยมนำมาใช้ในการหมักน้ำส้มสายชูมากที่สุด ในอุตสาหกรรม แต่มีรายงานการนำ *Gluconobacter oxydans* subsp. *Sphaericus* มาใช้ในการหมักน้ำส้มสายชูในกรณีที่วัตถุประสงค์เหล่านั้นมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสในปริมาณสูง เนื่องจากเชื้อ *Gluconobacter oxydans* สามารถใช้กลูโคสได้ดีกว่า *Acetobacter aceti* แบคทีเรีย *Acetobacter* sp. เจริญได้ดีที่พีเอชค่อนข้างต่ำประมาณ 4.0-4.5 และสามารถเจริญได้ดีที่สุดที่พีเอช 5.4-6.3 ในขณะที่พีเอชที่ 7-8 มีการเจริญเติบโตได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Lotong, 1991) แบคทีเรีย *Acetobacter* sp. จะถูกทำลายเมื่อการหมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์จนกระทั่งปริมาณแอลกอฮอล์ในกระบวนการหมักถูกเปลี่ยนไปจนหมดซึ่งมีผลในการทำลายเซลล์ของ *Acetobacter* sp. เป็นผลจากความเข้มข้นของกรดอะซิติกในผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมัก (Krusong & Pongsawatmanit, 1989) การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่จะนำมาผลิตเป็นกล้ำเชื้อควรมีการคัดเลือกเพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่ดี ซึ่งควรมีคุณสมบัติโดยทั่วไป (Lotong, 1991) คือ เป็นสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในการหมัก ให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่น รส และเนื้อสัมผัสที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคสามารถที่จะยับยั้งการเจริญของ

จุลินทรีย์ปนเปื้อนทั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียและจุลินทรีย์ก่อโรคได้ดี สามารถเจริญและดำเนินกิจกรรมการหมักได้ดีในช่วง พีเอช กว้างและอุณหภูมิกว้าง เป็นสายพันธุ์ที่มีความถาวรทางพันธุกรรม ซึ่งในขั้นตอนของการผลิตกล้าเชื้อ มีความจำเป็นต้องตรวจสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อย่างสม่ำเสมอและควรเป็นสายพันธุ์ที่มีอายุการอยู่รอดนาน หรือมีคุณสมบัติในการทนต่อสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ได้อย่างดี

กล้าเชื้อที่ผลิตเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหมักนั้นมีวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ซึ่งจำเป็นต้องมีคุณสมบัติ (Lotong, 1991) คือ อยู่ในรูปแบบที่ใช้งานง่ายและเหมาะสมกับกิจกรรมวิธีการหมักแต่ละชนิด ควรมีอายุในการเก็บรักษานานพอสมควร โดยที่มีจุลินทรีย์ที่ยังมีประสิทธิภาพมากพอที่จะดำเนินกิจกรรมการหมักครั้งสุดท้ายที่ใช้เพาะเลี้ยงและผสมในกล้าเชื้อต้องไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสและคุณสมบัติอื่น ๆ ของอาหารหมัก กล้าเชื้อที่ผลิตขายเป็นอุตสาหกรรมจะต้องอยู่ในรูปที่ง่ายต่อการขนส่ง

กล้าเชื่อน้ำส้มสายชูในสมัยก่อนจะนิยมใช้เป็นลูกแป้งน้ำส้มสายชู และนอกจากนี้ลูกแป้งยังใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิตเหล้า สาโท ข้าวหมาก ซึ่งลูกแป้งที่ดีจะโปร่งเบา สีขาวนวล ไม่มีรอยแตกร้าว ก้อนแป้งเป็นรูพรุน ที่เกิดจากการฟูของแป้งขณะบ่ม เมื่อขยี้จะยุ่ยเป็นผงละเอียด ไม่มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว โดยลูกแป้งจะเป็นกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีการผสมเชื้อรา ยีสต์ แบคทีเรีย ที่หมักแล้วให้ผลผลิตที่แตกต่างกันแต่การผลิตลูกแป้งน้ำส้มสายชูส่วนใหญ่มักใช้เชื้อ *Acetobacter* spp. การผลิตลูกแป้งเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านที่มีการผสมสมุนไพร เครื่องเทศ เช่น ข่า กระเทียม พริกไทย ดอกจันทร์ ลูกจันทร์ ซึ่งสมุนไพรเครื่องเทศเหล่านี้จะช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อรา (Lotong, 1991) และ Mahinthronthep (1986) พบว่าส่วนผสมของสมุนไพรที่เหมาะสมที่สุดในการปั้นลูกแป้งน้ำส้มสายชู ได้แก่ พริกไทยขาว และดอกจันทร์ อย่างละ 3 เปอร์เซ็นต์ และลูกจันทร์ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยส่วนผสมของสมุนไพรเหล่านี้จะไม่ยับยั้งการเจริญ *Acetobacter* spp. แต่จะมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของ *Bacillus* spp. และ *Aspergillus niger* ได้ดีกว่าส่วนผสมอื่น ๆ การเติมกรดโปรปิโอนิก จะสามารถช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อชนิดอื่นได้ โดยกรรมวิธีการทำลูกแป้งในขั้นแรกจะต้องคัดเลือกเชื้อที่สามารถทนกระบวนการกรรมวิธีการผลิตที่มีอุณหภูมิสูง อายุการอยู่รอดสูงและสามารถทำให้มีอายุการเก็บได้นาน จากการศึกษาเปรียบเทียบการทำลูกแป้งให้แห้งโดยการตากแห้งและอบในตู้อบอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ กัน จะพบว่าการลดความชื้นของลูกแป้งจาก 27.4 เปอร์เซ็นต์ ลงเหลือประมาณ 10-11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับความชื้นที่หยุดกิจกรรมของจุลินทรีย์ และจะต้องตากแดดประมาณ 6-8 ชั่วโมง โดยจุลินทรีย์จะลดลงเหลือประมาณ 10^7 cfu/g ซึ่งน้อยกว่าการอบที่ 45 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ประมาณหนึ่งเท่าตัว และน้อยกว่าการอบที่ 40 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ประมาณ 10 เท่า (Lotong, 1991) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับกล้าเชื้อที่ใช้ในการหมักไวน์ข้าว ที่ระบุว่าสมุนไพรที่มีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียและยังช่วยลดการปนเปื้อนในกระบวนการหมักไวน์ที่อาจก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ โดยพบว่ายี่ห่วยและกานพลู สามารถช่วยกระตุ้นการเจริญของยีสต์โดยเฉพาะยี่ห่วย จะช่วยกระตุ้นให้เชื้อมีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น (Dung *et al.*, 2005)

อายุการเก็บลูกแป้ง ลูกแป้งที่เก็บไว้ได้นานจะต้องแห้ง จึงจะสามารถช่วยป้องกันการเจริญของเชื้อราปนเปื้อนบางชนิด และการเก็บลูกแป้งในตู้เย็นในภาชนะปิดสนิทจะลดปัญหาการถูกทำลายโดยแมลงและทำให้จุลินทรีย์ในลูกแป้งลดจำนวนช้าลง จากการศึกษาการมีชีวิตรอดของ *Acetobacter* spp. ในลูกแป้ง พบว่าลูกแป้งที่ปั่นโดยใช้ส่วนผสมของสมุนไพรที่ไม่เติมกรดโปรปิโอนิกจะเก็บที่อุณหภูมิห้องได้นานถึง 12 เดือน โดยปริมาณเชื้อลดลงจาก 6.2×10^7 cfu/g ในลูกแป้งใหม่ เหลือ 5.4×10^2 cfu/g ในขณะที่ลูกแป้งที่ผลิตโดยเติมกรดโปรปิโอนิกลงในส่วนผสมสมุนไพรจะเก็บที่อุณหภูมิห้องได้นานเพียง 3 สัปดาห์ แต่จะเก็บในตู้เย็นได้นานถึง 24 เดือน โดยเชื้อจะลดลงจาก 1.1×10^8 cfu/g เหลือเพียง 4.7×10^4 cfu/g และลูกแป้งที่มีจุลินทรีย์เหลืออยู่จะมีประสิทธิภาพการสร้างกรดต่ำกว่าลูกแป้งใหม่เพียงเล็กน้อย ดังนั้นการเติมกรดโปรปิโอนิกร่วมกับสมุนไพรในการเตรียมลูกแป้ง จึงมีทั้งผลดีและผลเสีย คือ จะสามารถปั้นลูกแป้งได้โดยไม่ต้องระวังการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ส่วนการเตรียมลูกแป้งโดยใช้สมุนไพรนั้นจะต้องระวังเรื่องการปนเปื้อน แต่จะสามารถเก็บที่อุณหภูมิห้องได้นาน เหมาะต่อการนำไปใช้ในแหล่งที่ไม่สามารถเก็บในตู้เย็นได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้น้ำมะพร้าวแทนน้ำ และ การอบในตู้อบแทนการตากแดดมีผลให้ลูกแป้งมีอายุการเก็บนานขึ้น (Lotong, 1991)

นอกจากนี้ยังพบว่า การเก็บรักษาถั่วเหลืองที่ใช้ในการหมักไวน์โดยการเก็บรักษาในถุง polypropylene ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และมีการควบคุมความชื้นจะสามารถคงกิจกรรมการทำงานของจุลินทรีย์ในถั่วเหลืองแบบแห้งได้ดีกว่า การเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงกว่า ซึ่งในระหว่างช่วงการเก็บรักษา อายุ การเก็บจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อกิจกรรมการทำงานของจุลินทรีย์ (Dung *et al.*, 2005).

ดังนั้นการศึกษาวินิจฉัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาการผลิตถั่วเหลืองน้ำส้มสายชูแบบแห้งสำหรับ กระบวนการน้ำส้มสายชู ซึ่งจะช่วยให้มีความสะดวกต่อการนำไปใช้ ง่ายต่อขั้นตอนการขนส่ง ช่วยลดการปนเปื้อนของ เชื้อจุลินทรีย์อื่นก่อให้เกิดการเน่าเสียตลอดจนยืดอายุการเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า กากสับปะรด รำข้าว และปลายข้าว โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเชื้อเริ่มต้นและการคัดเลือก วัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับนำไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักที่มีคุณภาพ

2. วิธีการทดลอง

2.1 การผลิตถั่วเหลือง

ในกระบวนการผลิตถั่วเหลืองจะเปรียบเทียบทั้งหมด 4 วัตถุดิบ คือ แป้งข้าวเจ้า กากสับปะรด รำข้าว และ ปลายข้าว ซึ่งแต่ละวัตถุดิบจะมีกระบวนการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันตามลักษณะทางกายภาพ ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการ ผสมเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 และใส่ส่วนผสมตามสูตรต่าง ๆ เพื่อยับยั้งการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ในขั้นตอนการผลิตและการเก็บรักษา ดังนี้

2.1.1 นำแป้งข้าวเจ้าและรำข้าว ปริมาณ 200 กรัม ไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave)

2.1.2 นำกากสับปะรด ปริมาณ 200 กรัม ไปล้างน้ำสะอาดและแช่ด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง เพื่อย่อยปริมาณน้ำตาลและฆ่าเชื้อ

2.1.3 นำปลายข้าว ปริมาณ 200 กรัม ล้างให้สะอาดแล้วฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) หลังจากนั้นเติมน้ำในอัตราส่วน 1:1 แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ทิ้งให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส แล้วเติมเอนไซม์ Termamyl SC 0.01 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลายข้าว และที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เติมเอนไซม์ Dextrozyme 0.1 เปอร์เซ็นต์ คนให้เข้ากันแล้วนำไปต้มที่ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะวัด ค่าความหวานได้ 30 องศาบริกซ์ขึ้นไป นำไปเติมน้ำในอัตราส่วน 1:2 (ปลายข้าว: น้ำ) ต้มให้เดือดและนำไปกรองน้ำออก ในขณะที่ร้อน ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

นำวัตถุดิบที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ไปทดลองผสมกับส่วนผสม 2 สูตร คือ

สูตรที่ 1 ผสมกับเครื่องเทศ ได้แก่ พริกไทยขาว ลูกจันทน์ ดอกจันทน์ และผสมกับ *Acetobacter aceti* TISTR 354

สูตรที่ 2 ผสมกับ เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ กรดโพรพิโอนิก 0.2 เปอร์เซ็นต์และเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354

นำไปตากในตู้อบความร้อนแห้ง (Hot air oven) ให้แห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1-2 วัน แล้วบรรจุถั่วเหลืองน้ำส้มสายชูหมักแบบแห้งในถุงอลูมิเนียมฟอยล์

2.2 การหมักน้ำส้มสายชูหมัก

2.2.1 การหมักน้ำไวน์จากน้ำสับปะรด

ทำการหมักไวน์ โดยใช้สับปะรด ปอกเปลือกหั่นเป็นชิ้นแล้วนำเข้าเครื่องปั่นแยกกาก และนำน้ำสับปะรดกรอง ด้วยผ้าขาวบาง วัดปริมาณน้ำตาลของน้ำสับปะรดด้วย refractometer คำนวณความเข้มข้นของน้ำตาลที่ต้องการคือ 20 องศาบริกซ์ (มาลัย, 2556) โดยใช้สูตร Pearson square และนำไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นพักไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องทำการถ่ายเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* var. burgundy และ *Saccharomyces cerevisiae* var. montache ลงในน้ำสับปะรด แล้วบ่มไว้น้ำส้มสายชูหมัก เป็นเวลา 3 สัปดาห์ หรือ

1 เดือน โดยประมาณ สังเกตความเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาการหมัก ตรวจสอบสี กลิ่น รวมทั้งวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในแต่ละสัปดาห์ เมื่อปฏิกิริยาการหมักสิ้นสุดลง ทำการถ่ายกรองตะกอนด้วยผ้าขาวบางที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ววิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่องอีบูลลิโอมิเตอร์ (Ebulliometer)

2.2.2 การหมักน้ำส้มสายชูจากไวน์จากน้ำสับปะรด

การหมักน้ำส้มสายชูหมักเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตกรดแอซิดิกของเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ที่อยู่ในรูปกล้าเชื้อแบบแห้ง สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 เดือน เริ่มจากเตรียมน้ำสับปะรด ที่ผ่านการต้มฆ่าเชื้อแล้ว (4-5 องศาบริกซ์ โดยประมาณ) ปริมาตร 700 มิลลิลิตร จากนั้นเติมไวน์สับปะรด (10 เปอร์เซ็นต์ แอลกอฮอล์ โดยประมาณ) ปริมาตร 300 มิลลิลิตร และ กล้าเชื้อน้ำส้มสายชูแบบแห้ง 100 กรัม ผสมไวน์สับปะรด น้ำสับปะรด และกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูแบบแห้ง ที่เตรียมไว้ลงในภาตสแตนเลสที่ผ่านการฆ่าเชื้อเรียบร้อยแล้วคลุมด้วยถุงพลาสติกที่เจาะรูเพื่อระบายอากาศ หลังจากนั้นที่ 48 ชั่วโมง ของการหมักเติมไวน์สับปะรด 1000 มิลลิลิตร (10 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ โดยประมาณ) โดยหมักทั้งสิ้นระยะเวลา 7 วัน (Muangnoi *et al.*, 2013)

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตกล้าเชื้อแบบแห้ง

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ที่ทำการนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ คือ กระบวนการหลังจากผสมเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354, กระบวนการหลังจากผสมเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง และกระบวนการหลังจากนำกล้าเชื้อที่ได้ไปตากแห้ง ด้วยอาหาร MRS agar บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

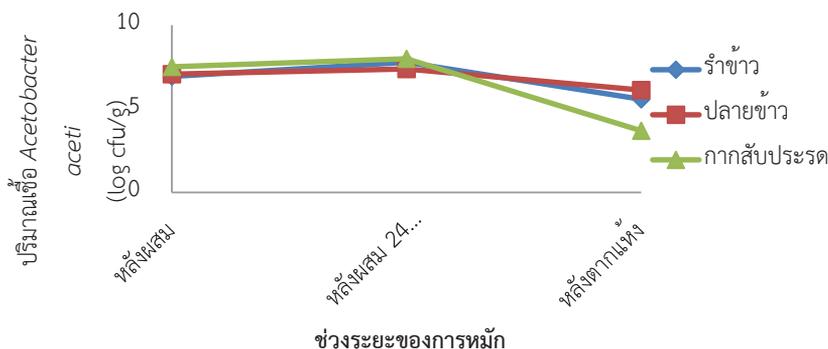
วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.0 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows 16.0 ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การศึกษาวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูหมัก

กระบวนการเปรียบเทียบวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกล้าเชื้อจะมีอัตราส่วนผสม 2 สูตร ที่ทำการเปรียบเทียบในการลดความปนเปื้อนจากกระบวนการผลิต จากผลการทดลองพบว่า สูตรที่ 1 ไม่สามารถยับยั้งการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างขั้นตอนการผลิต และในขั้นตอนการตากแห้ง ในวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้า กากสับปะรด รำข้าว และปลายข้าว โดยพบการปนเปื้อนของเชื้อราจำนวนมาก แตกต่างจากงานวิจัยของ Mahinthronthep, (1986) ที่พบว่า ส่วนผสมสมุนไพร พริกไทยขาว และดอกจันทน์ อย่างละ 3 เปอร์เซ็นต์ และลูกจันทน์ 1 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของ *Bacillus spp.* และ *A. niger* ได้ดี โดยที่ส่วนผสมของสมุนไพรเหล่านี้จะไม่ยับยั้งการเจริญ *Acetobacter spp.* ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกล้าเชื้อที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน จึงทำให้ส่วนผสมสมุนไพรไม่สามารถยับยั้งการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในวัตถุดิบได้ ซึ่งในการทดลองการผลิตกล้าเชื้อโดยใช้อัตราส่วนผสมจากสูตรที่ 2 นั้นสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าสูตรที่ 1 โดยเฉพาะกล้าเชื้อที่ผลิตจาก ปลายข้าว พบการปนเปื้อนน้อยที่สุดและมีการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์น้อยที่สุด เมื่อผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต รองลงมาคือ รำข้าว กากสับปะรด และแป้งข้าวเจ้า ตามลำดับ (ภาพที่ 1) ต่างจากงานวิจัยของ Laopaiboon and Lotong (1988) ที่ศึกษากรรมวิธีในการผลิตเชื้อน้ำส้มสายชูในรูปผง พบว่า การผลิตโดยบรรจุรำละเอียด 10 กรัม ลงในถุงพลาสติกชนิดทนร้อน นึ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้วเติมน้ำมะพร้าวปลอดเชื้อที่มีเอทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ และกล้าเชื้อ *Acetobacter sp.* 249×10^3 cfu/g บ่มที่อุณหภูมิห้อง 48 ชั่วโมง ทำการลดความชื้นโดยการเติมรำละเอียดที่นึ่งฆ่าเชื้อผสมกรดโปรปิโอนิกจนได้ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนผสม เชื้อผงที่ผลิตได้จะมีความชื้น 17-19 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณเซลล์จะลดลงเพียงประมาณ 1 log cfu/g

การเก็บเชื้อที่อุณหภูมิห้องที่ 30 องศาเซลเซียส 6 สัปดาห์ และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส 4 สัปดาห์ เชื้อจะลดลงประมาณ 2 log cfu/g ส่วนเชื้อผงที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าสามารถเก็บในอุณหภูมิห้องได้นานถึง 8 สัปดาห์ โดยพบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์อื่นต่ำมาก แต่ในการทดลองนี้พบว่า รำข้าวมีการปนเปื้อนของเชื้อราในปริมาณมาก โดยพบการปนเปื้อนตั้งแต่กระบวนการผลิต และกระบวนการตากแห้ง เนื่องจากมีอัตราส่วนผสมที่ช่วยลดการปนเปื้อน และระยะเวลาในการบ่มกล้าเชื้อที่แตกต่างกัน นอกจากนี้วัตถุดิบที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าจะพบการปนเปื้อนมากที่สุด เพราะแป้งข้าวเจ้า เป็นวัตถุดิบที่มีเนื้อสัมผัสที่ละเอียด และง่ายต่อการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ จึงส่งผลให้ไม่สามารถบันทึกผลการทดลอง หรือ นับปริมาณเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ได้

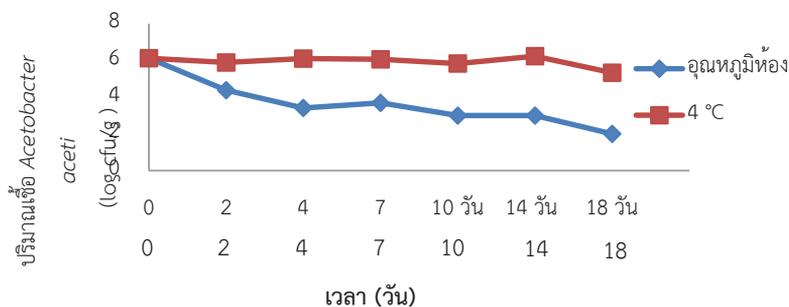


ภาพที่ 1 ปริมาณเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ที่มีการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงการผลิตของปลายข้าว รำข้าว กากสับประรด โดยใช้อัตราส่วนผสมในสูตร 2

จากภาพที่ 1 จะเห็นว่า เมื่อผ่านกระบวนการผลิตทั้งสามขั้นตอน ปลายข้าว จะมีปริมาณเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ลดลงน้อยที่สุด คือ 6.12 log cfu/g ต่างจาก กากสับประรด ที่มีปริมาณเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ลดลงมากที่สุดถึง 3.69 log cfu/g เนื่องจาก ปลายข้าว เมื่อผ่านกระบวนการย่อยแป้งให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลแล้ว จะมีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์จำพวกแหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน แหล่งวิตามิน และแหล่งเกลือแร่ จึงเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตกล้าเชื้อมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่น ๆ

3.2 การศึกษาอายุการเก็บรักษาและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษากล้าเชื้อน้ำส้มสายชูแบบแห้ง

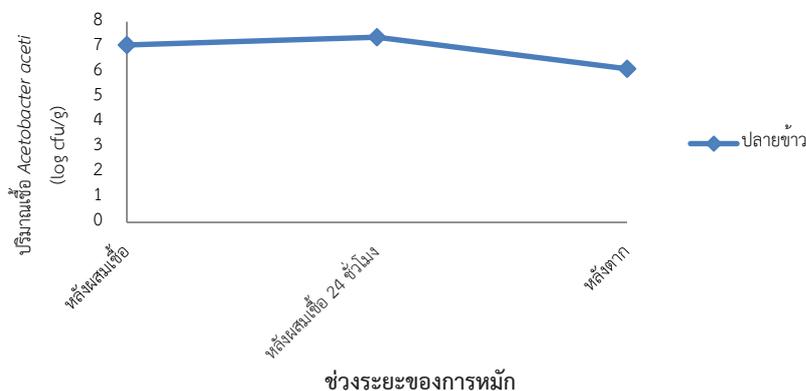
ในกระบวนการศึกษาอายุการเก็บรักษากล้าเชื้อน้ำส้มสายชูแบบแห้ง จะทำการเปรียบเทียบกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูแบบแห้งที่ผลิตจากปลายข้าว ที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยจะมีระยะเวลาที่ทำการศึกษาทั้งหมด 18 วัน



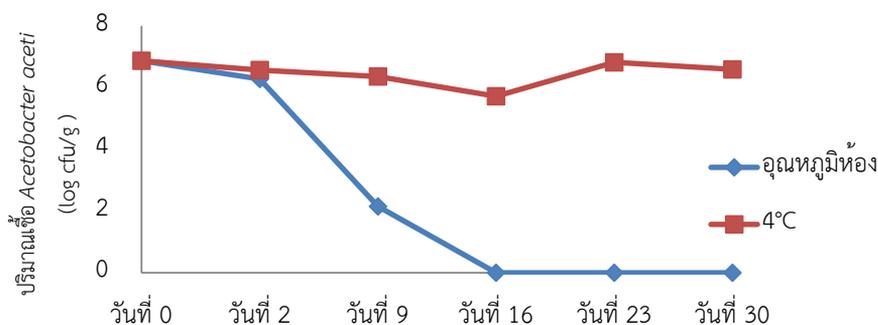
ภาพที่ 2 ปริมาณเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ที่มีการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงเวลาของปลายข้าวที่อุณหภูมิห้องและที่ 4 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 2 พบว่า ปลายข้าว ที่มีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ลดลงเพียงเล็กน้อย คือ 2.14×10^5 cfu/g ซึ่งต่างจากการเก็บที่อุณหภูมิห้อง ที่มีปริมาณเชื้อลดลงถึงปริมาณ 10^2 cfu/g ในระยะเวลา 18 วัน เนื่องจากการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ โดยเชื้อจะปรับตัวและเข้าสู่ระยะ stationary phase ทำให้มีปริมาณเชื้อคงที่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Mahinthronthep *et al.*, 1987) จากการศึกษาการมีชีวิตรอดของ *Acetobacter* spp. ในลูกแป้งที่เตรียมด้วยเชื้อบริสุทธิ์ พบว่าลูกแป้งที่ใช้โดยใช้ส่วนผสมของสมุนไพรที่ไม่เติมกรดโปรปิโอนิกจะเก็บที่อุณหภูมิห้องได้นานถึง 12 เดือน โดยปริมาณเชื้อลดลงจาก 6.2×10^7 cfu/g ในลูกแป้งใหม่ เหลือ 5.2×10^2 cfu/g ในขณะที่ลูกแป้งที่ผลิตโดยเติมกรดโปรปิโอนิกลงในส่วนผสมสมุนไพรจะเก็บที่อุณหภูมิห้องได้นานเพียง 3 สัปดาห์ แต่จะเก็บในตู้เย็นได้นานถึง 24 เดือน โดยเชื้อจะลดลงจาก 1.1×10^8 cfu/g เหลือ 4.7×10^4 cfu/g และลูกแป้งที่ยังมีจุลินทรีย์เหลืออยู่ จะมีประสิทธิภาพการสร้างกรดต่ำกว่าลูกแป้งใหม่เพียงเล็กน้อย ดังนั้นการใช้กรดโปรปิโอนิกร่วมกับสมุนไพรในการเตรียมลูกแป้ง จะมีทั้งผลดีและผลเสียคือ การเติมกรดโปรปิโอนิกจะทำให้สามารถปั้นลูกแป้งได้ โดยไม่ต้องระมัดระวังการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนการเตรียมลูกแป้งโดยใช้เฉพาะสมุนไพรนั้น ยังจำเป็นต้องระมัดระวังเรื่องการปนเปื้อน นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้น้ำมะพร้าวแทนน้ำและการอบในตู้อบแทนการตากแดดมีผลให้ลูกแป้งมีอายุการเก็บนานขึ้น นอกจากนี้ในกระบวนการเก็บรักษาปลายข้าว ที่อุณหภูมิห้อง จะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเฉลี่ย 6.05 เปอร์เซ็นต์ และการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเฉลี่ย 5.37 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Mahinthronthep *et al.*, 1987) ที่ศึกษาเปรียบเทียบการทำให้ลูกแป้งแห้งโดยตากแดด และอบในตู้อบอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า การลดความชื้นของลูกแป้งจาก 27.4 เปอร์เซ็นต์ลงให้เหลือประมาณ 10-11 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับความชื้นที่หยุดกิจกรรมของจุลินทรีย์ จะต้องตากแดดประมาณ 6-8 ชั่วโมง โดยจุลินทรีย์จะลดลงเหลือปริมาณ 10^7 cfu/g ซึ่งน้อยกว่าการอบที่ 45 องศาเซลเซียส ประมาณเท่าตัว และน้อยกว่าการอบที่ 40 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ประมาณ 10 เท่า โดยลูกแป้งเชื้อบริสุทธิ์ที่ผลิตได้ เมื่อใช้เป็นกล้าเชื้อด้วยปริมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ในวัสดุหมักที่มีแอลกอฮอล์ 8 เปอร์เซ็นต์ จะหมักได้น้ำส้มสายชูที่มีกรดเข้มข้น 6-7 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองซ้ำโดยใช้กล้าเชื้อแบบแห้งที่ผลิตจากปลายข้าว เพื่อศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น พบว่า มีการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์เพียงเล็กน้อยตั้งแต่กระบวนการผลิตทั้ง 3 ขั้นตอน คือ การผสมเชื้อ หลังผสมเชื้อ 24 ชั่วโมง หลังตาก และกระบวนการเก็บรักษา โดยมีปริมาณเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ถึง 6.59 ± 0.07 log cfu/ml เมื่อเก็บไว้ที่ อุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 30 วัน ซึ่งเป็นปริมาณเชื้อที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักน้ำส้มสายชู (ภาพที่ 3 และ 4)



ภาพที่ 3 ปริมาณเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ที่มีการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงการผลิตของปลายข้าว



ภาพที่ 4 ปริมาณเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ที่มีการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงเวลาของปลายข้าว ที่อุณหภูมิห้องและที่ 4 องศาเซลเซียส

3.3 ปริมาณการผลิตกรดแอซิดที่ได้จากการหมักน้ำส้มสายชูโดยใช้กล้าเชื้อแบบแห้ง

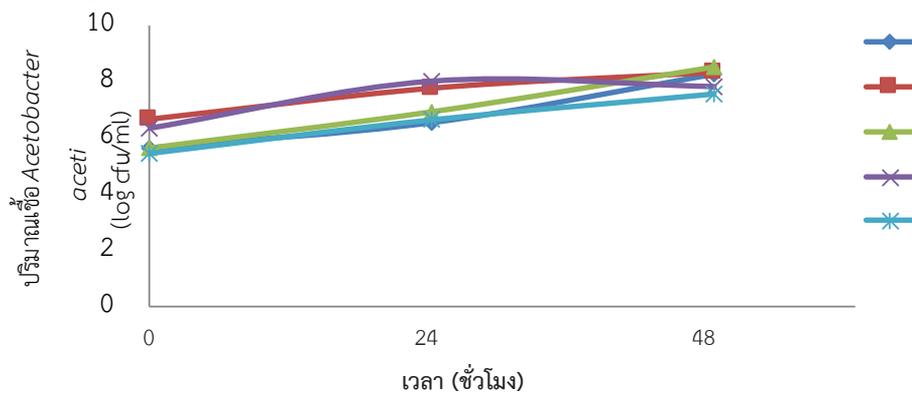
จากผลการทดลอง การหมักน้ำส้มสายชูโดยใช้กล้าเชื้อแบบแห้ง ที่มีอายุการเก็บรักษาแตกต่างกันในแต่ละสัปดาห์ เพื่อดูประสิทธิภาพการผลิตกรดแอซิดของเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ที่อยู่ในรูปกล้าเชื้อแบบแห้ง ศึกษาเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์พบว่าสัปดาห์ที่ 1 ถึง สัปดาห์ที่ 4 มีปริมาณเปอร์เซ็นต์กรดแอซิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และในสัปดาห์ที่ 5 ปริมาณเปอร์เซ็นต์กรดแอซิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เป็นผลมาจากช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ทำให้มีการลดลงของปริมาณเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 จึงเป็นผลให้มีความสามารถในการผลิตกรดแอซิดได้น้อยลง (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับงานวิจัยของ เขมพัช และคณะ (2555) ที่ทำการศึกษาการผลิตกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูหมักชนิดเหลวเพื่อใช้ในการทำน้ำส้มสายชู โดยพบว่า กล้าเชื้อน้ำส้มสายชูชนิดเหลวอายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ (48 ชั่วโมงหลังจากผสมเชื้อน้ำส้ม) สามารถหมักน้ำส้มสายชูด้วยกล้าเชื้อ สูตรที่ 1 และ 2 ในวันที่ 5 ได้เพียง 8.6 และ 7.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูชนิดเหลวที่มีอายุการเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 3-8 ยังคงสามารถหมักและผลิตกรดแอซิดได้ดี แต่เมื่อเก็บรักษากล้าเชื้อน้ำส้มสายชูชนิดเหลวเป็นเวลานาน 10 สัปดาห์ พบว่าปริมาณลดลง 3.3×10^4 และ 2.1×10^4 cfu/ml ซึ่งเป็นผลทำให้ใช้ระยะเวลามากกว่า 48 ชั่วโมงในการผลิต Starter ก่อนจะนำมาหมักน้ำส้มสายชู ทั้งนี้เนื่องจากในกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูชนิดเหลวอาจมีปริมาณเซลล์น้อย เป็นผลมาจากสารอาหารอาจมีในปริมาณไม่เพียงพอกับการใช้สำหรับกระบวนการดำรงชีวิตของเชื้อ ประกอบกับเชื้อจุลินทรีย์มีอายุค่อนข้างนานอาจมีการผลิตสารที่เป็นพิษกับเซลล์เอง จึงมีผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์ลดปริมาณลงได้

ตารางที่ 1 ตารางการหมักน้ำส้มสายชูโดยใช้กล้าเชื้อแบบแห้ง ที่มีอายุการเก็บรักษาแตกต่างกัน ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 5 ในช่วงเวลา 7 วัน

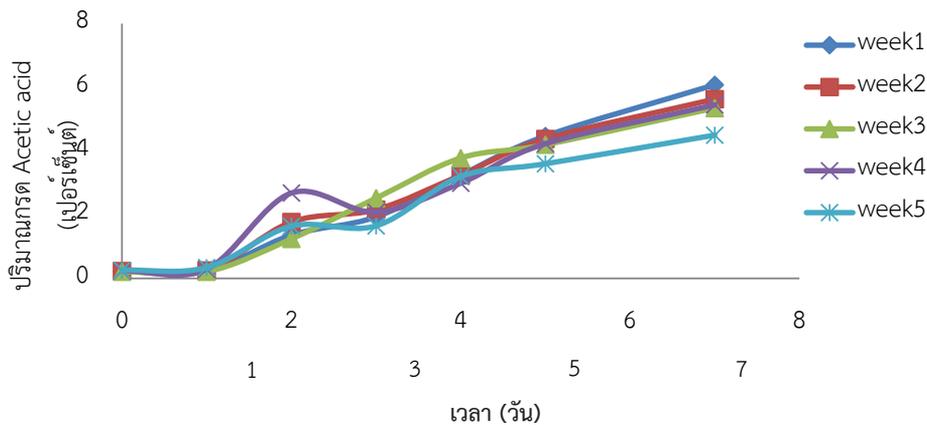
ระยะเวลาการเก็บกล้าเชื้อแบบแห้ง (week)	ระยะเริ่มต้นของการหมัก		ระยะสุดท้ายของการหมัก
	ปริมาณเชื้อ <i>A. aceti</i> (log cfu/ml)	ปริมาณกรดทั้งหมด (% กรดอะซิดิก)	ปริมาณกรดทั้งหมด (% กรดอะซิดิก)
1	6.57 ^c ± 0.02	0.22 ^{ab} ± 0.00	6.08 ^b ± 0.04
2	6.36 ^b ± 0.05	0.23 ^b ± 0.07	5.63 ^b ± 0.74
3	5.72 ^a ± 0.05	0.21 ^a ± 0.00	5.35 ^b ± 0.28
4	6.82 ^d ± 0.06	0.24 ^c ± 0.00	5.45 ^b ± 0.42
5	6.59 ^c ± 0.07	0.26 ^b ± 0.01	3.60 ^a ± 0.21

หมายเหตุ ตัวเลขค่าเฉลี่ย (Mean ± SD) ในคอลัมน์เดียวกันกำกับด้วยตัวอักษรต่างชนิดกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบความต่างแบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากภาพที่ 5 ช่วง 0, 24 และ 48 ชั่วโมง ของการหมักน้ำส้มสายชู จะมีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้น ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึง สัปดาห์ที่ 5 แสดงถึง การเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการหมัก ก่อนการเติมไวน์สับปะรดซึ่งจะส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถผลิตกรดแอซิดิกได้สูงขึ้น เช่นเดียวกับกับภาพที่ 6 ที่เริ่มมีการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์กรดแอซิดิกในช่วงวันที่ 0, 1 และ 2 ของการหมักน้ำส้มสายชู ขณะที่มีการเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่สูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ontoum *et al.*, (2012) ที่ทำการศึกษาการผลิตกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูหมักชนิดเหลวเพื่อใช้ในการทำน้ำส้มสายชู โดยพบว่ามีสูตรกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูหมักชนิดเหลวจำนวน 2 สูตร ที่สามารถทำให้เชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 มีการเจริญเติบโตและสร้างกรดได้ปริมาณสูง คือ กล้าเชื้อที่มีปริมาณความหวานจากน้ำสับปะรดเข้มข้น 1 องศาบริกซ์ ผสมกับ แอลกอฮอล์ 3 เปอร์เซ็นต์ เชื้อน้ำส้มมีการเจริญเติบโตเท่ากับ $8.28 \log \text{cfu/ml}$ และผลิตกรดแอซิดิกได้เท่ากับ 1.29 เปอร์เซ็นต์ และสูตรที่มีปริมาณความหวานจากน้ำสับปะรดเข้มข้น 5 องศาบริกซ์ ผสมกับแอลกอฮอล์ 3 เปอร์เซ็นต์ เชื้อมีการเจริญเติบโตเท่ากับ $7.92 \log \text{cfu/ml}$ เมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งผลการศึกษาปริมาณการเจริญเติบโตของเชื้อและการผลิตกรดได้ในปริมาณสูงนั้นสามารถเป็นตัวชี้วัดได้ว่า สูตรกล้าเชื้อชนิดเหลวนั้นมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปหมักน้ำส้มสายชูที่มีคุณภาพดีได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการหมักน้ำส้มสายชูโดยใช้กล้าเชื้อน้ำส้มสายชูหมักชนิดแห้ง และกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูหมักชนิดเหลว พบว่ากล้าเชื้อน้ำส้มสายชูหมักชนิดเหลวสามารถหมักน้ำส้มสายชูและผลิตกรดแอซิดิกได้สูงกว่ากล้าเชื้อน้ำส้มสายชูหมักชนิดแห้ง เนื่องจากสูตรกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูชนิดเหลว มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่มากเพียงพอและมีความสามารถในการผลิตกรดได้สูงเมื่อนำไปหมักน้ำส้มสายชู นอกจากนี้ยังมีปริมาณสารอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญของเชื้อได้ในระยะเวลาที่ไม่สั้นจนเกินไป แต่อย่างไรก็ตามกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูหมักชนิดแห้ง ก็ยังสามารถผลิตกรดแอซิดิกได้ในปริมาณที่เหมาะสม สะดวกต่อการนำไปใช้งาน ง่ายต่อกระบวนการขนส่ง และช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตได้



ภาพที่ 5 ปริมาณเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ของกล้าเชื้อแบบแห้งที่มีอายุการเก็บรักษาแตกต่างกันตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 5 หลังจากหมัก 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 6 เปรอ์เซ็นต์การผลิตกรดอะซิติกของกล้าเชื้อแบบแห้ง ที่มีอายุการเก็บรักษาแตกต่างกัน ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 5 ในช่วงเวลา 7 วัน

จากการศึกษาวิธีการผลิตกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูที่มีความเหมาะสมกับนำไปผลิตเป็นน้ำส้มสายชูหมักนั้น คุณสมบัติของกล้าเชื้อควรมีปริมาณของเชื้อที่มากเพียงพอและมีความสามารถในการผลิตกรดได้สูงเมื่อนำไปหมักน้ำส้มสายชู ดังนั้นสูตรของกล้าเชื้อจึงจำเป็นต้องมีสารอาหารในปริมาณที่เพียงพอสำหรับการเจริญของเชื้อได้ในระยะเวลาที่ไม่สั้นจนเกินไป จากผลการทดลองในขั้นต้นแสดงให้เห็นว่ากล้าเชื้อที่ผลิตจากปลายข้าวหักโดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีความสามารถนำมาเป็นกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูแบบแห้งได้ แต่อย่างไรก็ดีควรที่จะมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาและความสามารถในการผลิตกรดอะซิติกสำหรับการหมักน้ำส้มสายชูด้วยต่อไป

4. สรุป

ปลายข้าว เป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูหมัก โดยเมื่อผ่านกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่าง ๆ มีปริมาณเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ลดลงน้อยที่สุดและพบการปนเปื้อนน้อยที่สุด เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ และกรดโปรปิโอนิก 0.2 เปอร์เซ็นต์ เป็นอัตราส่วนผสมในกระบวนการผลิตกล้าเชื้อน้ำส้มสายชู ที่สามารถลดการปนเปื้อน และช่วยยืดอายุการเก็บรักษากล้าเชื้อน้ำส้มสายชูแบบแห้ง การเก็บกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูแบบแห้งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษากล้าเชื้อ มากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้อง โดยเมื่อระยะเวลาผ่านไป 30 วัน ยังคงมีปริมาณเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ถึง 6.59 ± 0.07 log cfu/g ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาเชื้อกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูแบบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพจะอยู่ในช่วง 1-4 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา โดยสามารถหมักน้ำส้มสายชูได้กรดอะซิติกสูงสุดถึง 6.08 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์

5. เอกสารอ้างอิง

- Dung, N.T.P., Rombouts, F.M., & Nout, M.J.R. (2005). Development of defined mixed-culture fungal fermentation starter granulate for controlled production of rice wine. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6, 429-441.
- Gullo Maria and Paolo Giudici. (2008). Acetic acid bacteria in traditional balsamic vinegar: Phenotypic traits relevant for starter cultures selection. *International Journal of Food Microbiology*, 125, 46-53.
- Krusong, W., & Pongsawatmanit, R. (1989). *Fermentation Technology*. Bangkok: O.S. Printing House. (in Thai)

-
- Laopaiboon, R., & Lotong, N. (1988). Production of vinegar starter culture in powder form. **Proceedings of the 26th Kasetsart University Annual Conference** (pp. 103-111). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Lotong, N. (1991). **Fermented Strater Cultures and Production Technology**. Bangkok: Funny Publishing Limited Partnership. (in Thai)
- Mahinthronthep, B. (1986). **Production of Vinegar Strater and the Influence of Herbs on the Microorganisms in Loog-Pang** (Master Thesis). Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Mahinthronthep, B., Laopaiboon, R., & Lotong, N. (1987). Production of Starter Cultures Using pure cultures for use in vinegar fermentation. **Kasetsart Journal (Science)**, **21**, 278-288. (in Thai)
- Muangnoi. M., Ontoum, K., & Phothisuk, P. (2013). **Production of fermented vinegar and ready-to-drink vinegar** (Handout for Training). Bangkok: Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University. (in Thai)
- Ontoum, K., Saithong, P., & Muangnoi. M. (2012). **Production of Liquid Vinegar Strater Culture for Use in Vinegar Production**. Bangkok: Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University. (in Thai)

(Received: 22/Dec/2023, Revised: 24/Jun/2024, Accepted: 26/Jun/2024)

ภาคผนวก
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
(RMUTTO RESEARCH JOURNAL)

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เป็นวารสารระดับชาติซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่และถ่ายทอดผลงานวิจัยและผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย กำหนดเผยแพร่วารสาร ปีละ 2 ครั้ง (เดือนมกราคม - มิถุนายน และ เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม)

1. บทความวิจัย

ก. ส่วนปก ประกอบด้วย

1. ชื่อบทความ (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ ชี้ถึงเป้าหมายหลักของการวิจัย
2. ชื่อผู้เขียนทุกท่าน (Authors) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้ระบุเฉพาะชื่อและนามสกุล โดยไม่ต้องมีคำนำหน้านาม
3. ที่อยู่ สำหรับการติดต่อ E-mail และโทรศัพท์ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
4. ตัวเลขยก ให้เขียนไว้บนนามสกุลเพื่อระบุว่าเป็นที่อยู่ของผู้เขียนท่านใด
5. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้นตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา
6. คำสำคัญ (Keyword) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ ที่สามารถนำไปใช้เป็นคำสืบค้นในระบบฐานข้อมูล จำนวน 3-5 คำ โดยให้ความหมายตรงกันของภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ข. ส่วนเนื้อหา ประกอบด้วย

1. บทนำ (Introduction) เป็นส่วนของความสำคัญและมูลเหตุที่นำไปสู่การวิจัย พร้อมวัตถุประสงค์และการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. วิธีการทดลอง (Materials and Methods) วิธีการศึกษา (Research Methodology) เป็นการอธิบายวิธีการดำเนินการวิจัยซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการวิจัยแต่ละประเภท
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล หรือผลการศึกษาและอภิปรายผล (Results and Discussion) ควรเสนอผลอย่างชัดเจน ตรงประเด็น เป็นผลที่ค้นพบ โดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษา พร้อมการวิจารณ์ผล
4. สรุป (Conclusion) สรุปสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา
5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) กล่าวถึงบุคคลหรือหน่วยงานที่ช่วยเหลืองานวิจัย (อาจมีหรือไม่ก็ได้)
6. เอกสารอ้างอิง (References) ต้องใช้ตามแบบที่วารสารวิจัย มทร. ตะวันออก กำหนดอย่างเคร่งครัด และเขียนเอกสารอ้างอิง เฉพาะเอกสารที่นำมาอ้างอิงในเนื้อหาเท่านั้น
7. ความยาวของบทความไม่เกิน 10 หน้า

หมายเหตุ เรื่องที่จะส่งตีพิมพ์ ต้องเป็นบทความวิจัยหรือบทความวิชาการที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ใดมาก่อน หรือไม่อยู่ในระหว่างการรอพิจารณาจากวารสารอื่น

2. รูปแบบการพิมพ์บทความ

การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะขอบ

ขอบบน (Top Margin) และขอบซ้าย (Left Margin) 2.5 ซม.

ขอบล่าง (Bottom Margin) และขอบขวา (Right Margin) 2.0 ซม.

- กระดาษ

ขนาดกระดาษ A4 ความกว้าง 21 ซม. ความสูง 29.7 ซม.

รูปแบบตัวอักษร

แบบตัวอักษรใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น

หมายเลขหน้า

ไม่ต้องใส่หมายเลขหน้า

การย่อหน้า

เคาะ 8 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 9 (หรือตั้งค่า default tab stops ที่ 0.85 ซม.)

จำนวนหน้าทั้งหมด

6 - 10 หน้า

การพิมพ์ส่วนปก

พิมพ์เต็มหน้ากระดาษ (พิมพ์ 1 คอลัมน์)

การพิมพ์ส่วนเนื้อหา

พิมพ์ 1 คอลัมน์

ชื่อบทความ

ภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ ขนาดอักษร 18 (ตัวหนา)
จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

ชื่อผู้เขียน

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา) ระหว่างชื่อกับนามสกุล
เว้น 1 เคาะ ระหว่างนามสกุลกับชื่อคนถัดไปเว้น 2 เคาะ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล

ขนาดตัวอักษร 16

(ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

ที่อยู่

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 12

(ใส่ตัวเลขยกบนหน้าที่อยู่ ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

E-mail และโทรศัพท์

ขนาดตัวอักษร 12 (ตัวเอียง)

ชื่อบทคัดย่อ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา)
จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

เนื้อหาบทคัดย่อ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14

ชื่อคำสำคัญ (Keyword)

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา)

คำสำคัญ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14

ชื่อหัวเรื่องใหญ่

ประกอบด้วย 1. บทนำ 2. วิธีการทดลอง หรือ วิธีการศึกษา
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลหรือผลการศึกษาและอภิปรายผล
4. สรุปผล 5. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) 6. เอกสารอ้างอิง
ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย

ชื่อหัวเรื่องรอง

ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย

ชื่อหัวเรื่องย่อ

ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา) ย่อ 4 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 5

เนื้อหาบทความ

ขนาดตัวอักษร 14 จัดกระจายแบบไทย

ชื่อตาราง

ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ด้านบนของตาราง จัดชิดซ้าย

ชื่อภาพ ชื่อแผนภูมิ

ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ใต้ภาพหรือแผนภูมิ จัดกึ่งกลาง

เนื้อหาในตาราง/แผนภูมิ

ขนาดตัวอักษร 12

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง ตรงกับการอ้างอิงท้ายเรื่อง โดยใช้นามสกุลของผู้แต่งคนแรก แล้วตามด้วยปี (ค.ศ.) เช่น Pornsuriya (2014) หรือ (Pornsuriya, 2014) หรือ Singh & Chaudhary (2012) หรือ Singh & Chaudhary (2012) กรณีผู้เขียนมีมากกว่า 2 คน ใช้ Darkwa et al. (2016) หรือ (Darkwa et al., 2016) เป็นต้น

การอ้างอิงท้ายเรื่อง ให้อ้างอิงตามรูปแบบ APA (American Psychological Association) โดยผู้เขียนบทความภาษาไทยที่มีรายการอ้างอิงเป็นภาษาไทย ต้องเปลี่ยน (แปล) ให้เป็นภาษาอังกฤษทุกรายการ และต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้นด้วยคำว่า (in Thai) โดยให้แนบรายการอ้างอิงภาษาไทยเดิมไว้ด้วยเพื่อให้กองบรรณาธิการตรวจสอบความถูกต้องในการแปล

ตัวอย่างเช่น

ภาษาอังกฤษ

Pornsuriya, P. (2014). **Biometrical Analysis in Plant Breeding**. Bangkok: O.S. Printing House. (in Thai)

ภาษาไทย

ปราโมทย์ พรสุริยา. (2557). **การวิเคราะห์ทางไบโอเมตริกในการปรับปรุงพันธุ์พืช**. กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

โดยให้เรียงลำดับเอกสารอ้างอิงตามตัวอักษรภาษาอังกฤษของนามสกุลของผู้แต่งคนแรก ตามด้วยคำย่อชื่อ และชื่อย่อกลาง (ถ้ามี) ของผู้แต่ง กรณีเป็นหน่วยงานให้ใช้ชื่อเต็มหน่วยงาน ตามด้วยปีที่ตีพิมพ์

หมายเหตุ ต้นฉบับบทความที่นำส่งจะต้องถูกต้องตามหลักเกณฑ์การเขียนตามที่กำหนดเท่านั้น มิฉะนั้นจะไม่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ในวารสาร

*** ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงท้ายเรื่อง**

1. การอ้างอิงวารสาร (Journal)

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. **ชื่อวารสาร**, ปีที่ (ฉบับที่), เลขหน้าเริ่มต้น-หน้าสุดท้าย.

Darkwa, K., Ambachew, D., Mohammed, H., Asfaw, A., & Blair, M. W. (2016). Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought stress adaptation in Ethiopia. **The crop journal**, 4(5), 367-376.

2. การอ้างอิงตำรา (Text book) และหนังสือ

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อหนังสือ**. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

Singh, R.K., & Chaudhary, B.D. (2012). **Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis**. 3rd Edition, reprinted 2012. New Delhi: Kalyani Publishers.

3. การอ้างอิงวิทยานิพนธ์ (Thesis)

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์** (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทหรือปริญญาตรีบัณฑิต). สถาบันการศึกษา, เมืองที่พิมพ์.

Pornsuriya, P. (2005). **Genetic Studies and Inheritance of Fruit Characters in Slicing Melon (*Cucumis melo* L. var. *conomon* Makino)** (Doctoral Thesis). Kasetsart University, Bangkok.

4. การอ้างอิงเรื่องย่อในตำราหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องกันเขียน และมีบรรณาธิการ (Chapter in a book) ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่องย่อ. ใน ชื่อบรรณาธิการ (บ.ก.), ชื่อหนังสือ (เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

Gauch, H.G. & Zobel, R.W. (1996). AMMI analysis of yield trials. In Kang, M.S. and H.G. Gauch (eds.), **Genotype by environment interaction** (85-122). Boca Raton, FL: CRC Press.

5. การอ้างอิงรายงานการวิจัย (Research report)

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง (รายงานผลการวิจัย). เมืองที่พิมพ์: สถาบัน หรือหน่วยงาน หรือสำนักพิมพ์.

Theraumpon, N. (2003). **Automatic classification of white blood cells in bone marrow images** (research report). Chiangmai: Chiangmai University.

6. การอ้างอิงจากเอกสารประชุมวิชาการ (Proceedings)

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ใน ชื่อบรรณาธิการ (บ.ก.), ชื่อเรื่องการประชุม (เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด). เมือง สถานที่จัด: หน่วยงานที่จัดหรือสำนักพิมพ์.

Pornsuriya, P., Pornsuriya, P. & Julakaseewee, A. (2018). Genetic variability, heritability and genetic advance among yardlong bean lines. In A. Songrak (Ed.), **Proceedings of the 9th International Conference of Rajamangala University of Technology** (pp. 189-195). Trang: Rajamangala University of Technology Srivijaya.

7. การอ้างอิงจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (Online document) ที่สามารถนำมาอ้างอิงทางวิชาการได้

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. สืบค้น วันเดือนปี, จาก URL.

The Secretariat of The House of Representatives. (2019). **Helping farmers to reduce the risk of drought in agriculture**. Retrieved 27 Nov 2019, from <https://www.parliament.go.th/library>. (in Thai)

ตัวอย่างการจัดรูปแบบบทความ

ขอบบน 2.5 ซม.

การคัดเลือกสายพันธุ์ถั่วฝักยาวโดยการวิเคราะห์แบบหลายลักษณะ

Selection of Superior Yardlong Bean Lines Through Multi-Trait Analysis

ชื่อบทความ ขนาด
18 หน้า

ชื่อผู้เขียน ขนาด 16 หน้า

ปราโมทย์ พรสุริยา* อภิลิทธิ์ ชิตวงษ์
วชิราภรณ์ เรือนแป้น และ ณัฐธยา เรือนแป้น
Pramote Pornsuriya*, Apisit Chitawanij,
Wachiraporn Ruanpan and Nathaya Ruanpan

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
Department of Plant Production Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok
E-mail: pornsuriya@hotmail.com โทร.086-8453795

ชื่อไทยและอังกฤษ ขนาด 12
E-mail และโทรศัพท์
ขนาด 12 ตัวเอียง

ชื่อบทคัดย่อ / Abstract

ขนาด 18 หน้า

บทคัดย่อ

การทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและคัดเลือกสายพันธุ์ถั่วฝักยาวที่ให้ผลผลิตสูงและลักษณะทางพืชสวนที่ดีโดยการวิเคราะห์แบบหลายลักษณะด้วยวิธีการวิเคราะห์ไบพลอตของจีโนไทป์ x ผลผลิต x ลักษณะ (GYT biplot analysis) วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 25 จีโนไทป์ และ 3 ซ้ำ ผลการทดลอง พบว่า อายุดอกแรกบาน ค่าความเขียวของใบ ความยาวฝัก ความกว้างฝัก จำนวนเมล็ดต่อฝัก และผลผลิตต่อต้นของทั้ง 25 จีโนไทป์ ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบ (principal component analysis) ของ GYT พบว่า องค์ประกอบที่ 1 และ 2 (PC1 และ PC2) มีสัดส่วนของความแปรปรวนรวมกัน 97.1 เปอร์เซ็นต์ ของความแปรปรวนขององค์ประกอบทั้งหมด 6 องค์ประกอบ สายพันธุ์ที่ควรพิจารณาคัดเลือกไว้ได้แก่สายพันธุ์ G19, G7, G9, G2, G17, G22, G1, G25, G6 และ G12 ตามลำดับ เนื่องจากมีความดีเด่นของผลผลิตร่วมกับลักษณะอายุดอกแรกบาน, ค่าความเขียวของใบ, ความยาวฝัก, ความกว้างฝัก, น้ำหนักฝัก และจำนวนเมล็ดต่อฝัก โดยให้ค่า GYT scores ของทุกลักษณะเป็นค่าบวกและมีค่าผลรวมของ GYT scores สูงตามลำดับ

เนื้อหาบทคัดย่อ
ภาษาไทยและ
อังกฤษ ขนาด 14

คำสำคัญ: ผลผลิต, ลักษณะทางพืชสวน, ไบพลอต, ถั่วฝักยาว

ชื่อคำสำคัญ (Keywords) ขนาด 14 หน้า
และ คำสำคัญ ขนาด 14 หน้า

ชื่อหัวข้อบทความ ขนาด 18 หน้า

1. บทนำ

ชื่อหัวข้อย่อยบทความ ขนาด 16 หน้า

เคาะ 8 ตัวอักษร

การปลูกถั่วฝักยาวของเกษตรกรรายย่อยมักใช้วิธีการเก็บเมล็ดพันธุ์จากแปลงปลูกมาปลูกในฤดูต่อไป ทำให้เกิดความแปรปรวนทางพันธุกรรมจากการปนกันของเมล็ดพันธุ์หรือจากการผสมข้ามกันตามธรรมชาติที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่างต้นของถั่วฝักยาวในแถวเดียวกันโดยอาจเกิดขึ้นได้น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ (Sarada & Rao, 2020)

เนื้อหาบทความ
ขนาด 14

Table 1 Mean comparison for the horticultural traits and yield per plant of yardlong bean genotypes. ชื่อตาราง/ภาพที่/แผนภูมิที่ ขนาด 16 หน้า

		Horticultural traits and yield							
No.	Genotype	DA	LG	PL	PW	PWE	SP	YP	
G1	No.33P	38.33	57.17	61.23	0.62	24.59	17.20	785	เนื้อหาตารางขนาด 12
G2	BP2	37.83	59.43	63.27	0.60	26.07	19.00	830	
G5	No.37G	38.33	56.62	60.40	0.57	23.36	18.47	633	

ขอบซ้าย 2.5 ซม.

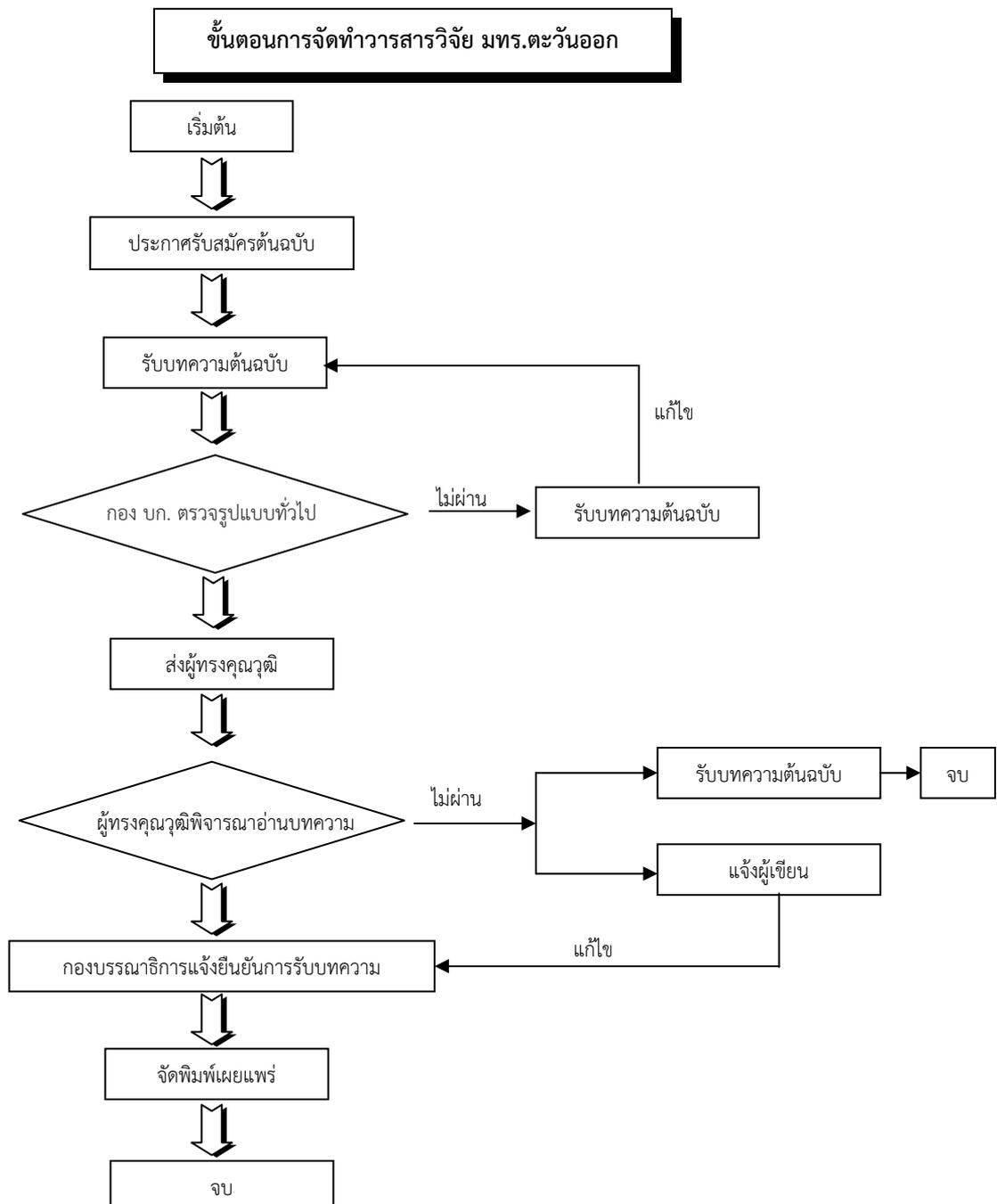
ขอบล่าง 2.0 ซม.

ขอบขวา 2.0 ซม.

หลักเกณฑ์การประเมินบทความเพื่อตอบรับการตีพิมพ์

กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้น เกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป ถ้าไม่ผ่านการพิจารณาจะส่งกลับไปแก้ไข ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาของผู้ประเมินจากภายนอก เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้เขียนทราบ

เมื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ฉบับที่นำบทความลงตีพิมพ์ผลงาน จำนวน 1 ฉบับ พร้อมหนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ





แบบฟอร์มการส่งบทความวิจัย
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

1. ข้าพเจ้า นาย / นาง / นางสาว

2. ระดับการศึกษาสูงสุด
ตำแหน่งทางวิชาการ

3. ชื่อบทความ (ภาษาไทย)
(ภาษาอังกฤษ)

4. ชื่อผู้เขียนร่วม (1)
(2)
(3)
(4)
(5)

5. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก
.....
.....
.....

โทรศัพท์..... มือถือ..... แฟกซ์.....

E-mail :

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อนและยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ลงชื่อ.....
(.....)

**แบบสรุปผลการประเมินบทความวิจัยของผู้ทรงคุณวุฒิ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก**

1. รหัสบทความวิจัยที่ประเมิน R

2. ชื่อบทความ.....
.....

3. จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน..... ท่าน

4. หัวข้อที่พิจารณา

หัวข้อ	ผ่าน	ผ่านและมีการแก้ไข	ไม่ผ่าน	ข้อแก้ไข/ข้อเสนอแนะ
บทคัดย่อ (Abstract)				
บทนำ				
วิธีการทดลอง/วิธีการศึกษา				
ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล / ผลการศึกษาและอภิปรายผล				
สรุปผล				
เอกสารอ้างอิง				
คุณค่าทางวิชาการ				

5. อื่น ๆ

.....
.....
.....

6. สรุปผลการประเมิน ผ่านดีเยี่ยม ผ่าน ผ่านและมีการแก้ไข ไม่ผ่าน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา)

บรรณาธิการ

วันที่...../...../.....



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง

.....
.....
.....

โดย

.....
.....
.....

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ปีที่ ฉบับที่

.....
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา
บรรณาธิการ วารสารวิจัย มทร.ตะวันออก
ให้ ณ วันที่.....

นโยบายการพิจารณาบทความ

1. วารสารรับพิจารณาบทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษภายใต้เงื่อนไขว่าจะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร เอกสารการประชุมหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการเสนอเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น / รวมทั้งจะไม่นำเสนอเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น ๆ อีกนับจากวันที่ได้ส่งบทความฉบับนี้มาที่กองบรรณาธิการวารสาร ทั้งนี้ทางวารสารไม่มีค่าธรรมเนียมใด ๆ ในการตีพิมพ์เผยแพร่
2. ขอบเขตของวารสาร จะรับบทความทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในทางด้าน (1) วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) เกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร (3) วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
3. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (peer Review) กระบวนการพิจารณากลั่นกรองบทความบทความที่จะได้รับการพิจารณาตีพิมพ์จะต้องผ่านกระบวนการพิจารณาจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องดังนี้
 - 3.1 กองบรรณาธิการจะแจ้งให้ผู้แต่งทราบเมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเรียบร้อยแล้ว พร้อมตรวจสอบรูปแบบความถูกต้อง
 - 3.2 กองบรรณาธิการจะตรวจสอบบทความว่าอยู่ในขอบเขตเนื้อหาวารสารหรือไม่ รวมถึงคุณภาพงานวิชาการและประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ
 - 3.3 ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นสมควรรับบทความไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการส่งบทความเพื่อกลั่นกรองต่อไปโดยจะส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องอย่างน้อยจำนวน 2 ท่านประเมินคุณภาพของบทความว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจะลงตีพิมพ์หรือไม่ โดยกระบวนการกลั่นกรองนี้ทั้งจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนจะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน (Double - blind peer review process)
 - 3.4 เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะตัดสินใจโดยอิงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้น ๆ เห็นควรอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมที่จะลงตีพิมพ์ได้ และจะส่งบทความนั้นไปให้ผู้แต่งได้แก้ไขตามข้อเสนอของผู้ทรงคุณวุฒิ จากนั้นให้ผู้แต่งส่งกลับมาให้กองบรรณาธิการพิจารณาอีกครั้งหนึ่งก่อนเข้าสู่กระบวนการตีพิมพ์

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

มทร.ตะวันออก สร้างงานวิจัย พัฒนาสังคม ชุมชน และประเทศ

กองบรรณาธิการวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

43 หมู่ 6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

โทร. 0-3313-6099 ต่อ 1181-1187 โทรสาร/สายตรง 0-3835-8142

<http://ird.rmutto.ac.th>, <http://journal.rmutto.ac.th>