



ATRJ วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน Agriculture & Technology RMUTI Journal

ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2567
Vol.5 No.2 May – August 2024

- การพัฒนากระดาษใยไหมจากเศษไหมเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตผ้าไหม จังหวัดสุรินทร์เพื่อใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์
ยุพดี สีนมาก, บัญชา ชื่นจิต, อภินันท์ชัย โจมสติ, กัญญา เยี่ยมสวัสดิ์ และแสงเดือน รสรมวัตร
- การประเมินลักษณะประจำพันธุ์ข้าวพื้นเมือง ในเขตอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขงตอนกลาง
ภากร พันธุพาน
- หุ่นยนต์ดินตามเส้นสำหรับระบบการจัดการหนังสือห้องสมุด
ปิยพัฒน์ พานเมือง, จารุวรรณ ธาระศัพท์, กิตติ กุลธรรม, สุรกิจ อภิรักษากร, มีโชค ตั้งตระกูล, ชุมพล เสนาพันธ์, จักรกฤษณ์ ศรีทอง, อังคิมา จามดี, ปิยะพงษ์ ฤทธิธรรม, วราภรณ์ เหนือคูเมือง และพิสิฐ โมกขาว
- ผลของการใช้สีน้ำเทียม (ชนิดสี และระดับความเข้มข้น) ต่อการลดอัตราการตาย เนื่องจากการกินกันเองของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus*) ระยะ First crab
ชลดา ลือรัมย์, รุ่งทิวา คนสันทด, วาสนา อภรรรัตน์ และวุฒิชัย อ่อนเอี่ยม
- รูปแบบระบบหมุนเวียนน้ำต่อการเพาะพันธุ์ปลาในบ่อดินด้วยไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
ศตพร โนนคู่ตโย, วิจิตรตา อรรถสาร, อติเทพชัยการณ ภาชนะวรรณ และวัลจิราพร รอดชุม
- การสังเคราะห์และวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ ที่ปลูกด้วยเทคนิคสปีดเทอริง
ปริวรรต ลิมนะเมธิกุล, พรรณี แสงแก้ว, มติ ห่อประทุม, ทศพร เลิศคุณิษผล และกิตติรัช ธนวิระวงษ์
- การส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ด้วยนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะ บนฐานนโยบายประเทศไทย 4.0
วิโรจน์ ยาทองไชย, ชุศักดิ์ ยาทองไชย, กมลรัตน์ สมใจ, พวงเพชร ราชประโคน, ปุริม ชฎารัตนวิฑิต และวรินทร์พิพัชร วัชรพงษ์เกษม
- ผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช 2, 4-D ไดเมทิลแอมโมเนียมต่อการเหนี่ยวนำการสังเคราะห์ ไบโกลอกินินในพลาสมาของปลาไน (*Oreochromis niloticus*) และการศึกษาในภาคสนาม
น้ำทิพย์ จันดาวง, พงศ์ภัทร เทียรติประเสริฐ, วิชชุดา ประสาทแก้ว, พัชร มงคลวัย, พงจิต นันทนาววัฒน์ และชุติมา ทนอมสิทธ์
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชันจากปลาน้ำจืด
กัญญา รัชชชัยยศ, บำเพ็ญ นิมเขียน, สุภัทรา กล้าสกุล และประภาศ ชมพู่ทอง
- การพัฒนาต้นแบบวิธีเลี้ยงอึ่งปากขวด (*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) ในบ่อคอนกรีตแบบกลม และแบบสี่เหลี่ยม
ไทรฤกษ์ ทวีเชื้อ, วุฒิชัย ฤทธิ, สุมิทานันท์ จันทะบุรี และญานพัฒน์ พรประสิทธิ์

ISSN 3057-0174 (Print)

ISSN 3057-0182 (Online)

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์



คำนำ

วารสารวิจัยเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นเพื่อตีพิมพ์บทความที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการและบุคคลทั่วไป โดยมีสาขาย่อย 3 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ โดยวารสารฉบับนี้ได้เผยแพร่ผลงานที่มีเนื้อหาทางด้านวิชาการ การสร้างองค์ความรู้ การบูรณาการ และข้อมูลอันเป็นประโยชน์จากคณาจารย์ นักศึกษา และผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่การยกระดับคุณภาพชีวิต รวมทั้งก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิชาการแก่ผู้ที่สนใจทั่วไป โดยมีบทความ 10 เรื่อง ที่มีเนื้อหาหลากหลาย ได้แก่ 1) การพัฒนากระดาษใบไหมจากเศษไหมเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตผ้าไหม จังหวัดสุรินทร์เพื่อใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ 2) การประเมินลักษณะประจำพันธุ์ข้าวพื้นเมือง ในเขตอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขงตอนกลาง 3) หุ่นยนต์เดินตามเส้นสำหรับระบบการจัดการหนังสือห้องสมุด 4) ผลของการใช้สีน้ำเทียม (ชนิดสี และระดับความเข้มข้น) ต่อการลดอัตราการตายเนื่องจากการกินกันเองของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus*) ระยะ First crab 5) รูปแบบระบบหมุนเวียนน้ำต่อการเพาะพันธุ์ปลาในบ่อดินด้วยไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 6) การสังเคราะห์และวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดต์ที่ปลูกด้วยเทคนิคสปีตเตอร์ริง 7) การส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ด้วยนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะบนฐานนโยบายประเทศไทย 4.0 8) ผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช 2, 4-D ไดเมททิลแอมโมเนียมต่อการเหนี่ยวนำการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินในพลาสมาของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) และการศึกษาในภาคสนาม 9) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชันจากปลาน้ำจืด 10) การพัฒนาต้นแบบวิธีเลี้ยงอึ่งปากขวด (*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) ในบ่อคอนกรีตแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยม

โดยบทความได้ผ่านการพิจารณา และการกลั่นกรอง จากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย กองบรรณาธิการขอขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่ได้ส่งบทความเข้ามาขอรับการตีพิมพ์ในวารสาร และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความในวารสารฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ทางวิชาการของประเทศไทยต่อไป

กองบรรณาธิการ

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน



วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน
Agriculture & Technology RMUTI Journal

วัตถุประสงค์	เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านการเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมแก่สังคม																																
เจ้าของ/สำนักงานวารสาร	คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี 145 หมู่ 15 ต.นอกเมือง อ.เมืองสุรินทร์ จ.สุรินทร์ 32000 โทร. 044-153093 โทรสาร. 044-153093 E-mail: atj.rmuti@gmail.com Website: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/atj/index																																
ที่ปรึกษาบรรณาธิการ	รศ.ดร.สำเนาวิ	เสาวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์																														
หัวหน้ากองบรรณาธิการ	อ.ทรงยศ	กิตติชนม์ธวัช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์																														
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.วุฒิชัย	สิทธิวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์																														
รองบรรณาธิการ	ดร.พงศ์ภัทร	เกียรติประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์																														
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ดร.ปวีณา	สาส์ทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์																														
	ดร.อัญวีณ์	ไชยชิระกัมพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์																														
กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ	<table><tr><td>ศ.ดร.ธเนศ</td><td>เสถียรนาม</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น</td></tr><tr><td>ศ.ดร.ปิยะดา</td><td>ธีระกุลพิศุทธิ์</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)</td></tr><tr><td>ศ.ดร.เมธา</td><td>วรรณพัฒน์</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น</td></tr><tr><td>ศ.ดร.सनัน</td><td>จอกลอย</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)</td></tr><tr><td>ศ.ดร.สิงหนาท</td><td>พวงจันทร์แดง</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น</td></tr><tr><td>ศ.ดร.อนันต์</td><td>พลธานี</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น</td></tr><tr><td>ศ.ดร.อลงกลด</td><td>แทนออมทอง</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น</td></tr><tr><td>ศ.ดร.อุทัยรัตน์</td><td>ณ นคร</td><td>มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์</td></tr><tr><td>ศ.ดร.สุขสันต์</td><td>หอยพิบูลสุข</td><td>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี</td></tr><tr><td>ศ.ดร.สุวัจน์</td><td>ธัญรส</td><td>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย</td></tr></table>			ศ.ดร.ธเนศ	เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ศ.ดร.ปิยะดา	ธีระกุลพิศุทธิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)	ศ.ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ศ.ดร.सनัน	จอกลอย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)	ศ.ดร.สิงหนาท	พวงจันทร์แดง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ศ.ดร.อนันต์	พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ศ.ดร.อลงกลด	แทนออมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ศ.ดร.อุทัยรัตน์	ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ศ.ดร.สุขสันต์	หอยพิบูลสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	ศ.ดร.สุวัจน์	ธัญรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ศ.ดร.ธเนศ	เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น																															
ศ.ดร.ปิยะดา	ธีระกุลพิศุทธิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)																															
ศ.ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น																															
ศ.ดร.सनัน	จอกลอย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)																															
ศ.ดร.สิงหนาท	พวงจันทร์แดง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น																															
ศ.ดร.อนันต์	พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น																															
ศ.ดร.อลงกลด	แทนออมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น																															
ศ.ดร.อุทัยรัตน์	ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์																															
ศ.ดร.สุขสันต์	หอยพิบูลสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี																															
ศ.ดร.สุวัจน์	ธัญรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย																															

ศ.ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 พล.อ.ต.ศ.ดร.สรภฤช ศรีเกษม โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

กองบรรณาธิการ

ศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 ศ.ดร.สุรพล แสนสุข มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 รศ.ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 รศ.ดร.สุพรรณม สุตสนธิ์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
 รศ.ดร.ธนิษฐา ทรรพนันท์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 รศ.ดร.บุญเสถียร บุญสูง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 รศ.ดร.อรพินท์ จินตสถาพร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 รศ.ดร.ปรเมศ บรรเทิง มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 รศ.ดร.รัชพล สันติวรากร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 รศ.ดร.สิริภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 รศ.ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 รศ.ดร.กริช สมกันธา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
 รศ.ดร.วีระเวทย์ อุทไธ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 รศ.ดร.บรรจง บุญชม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ผศ.ดร.บัณฑิต ยวงสร้อย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 ผศ.ดร.พัชริน ส่งศรี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 ผศ.ดร.ภาณุพล หงษ์ภักดี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 ผศ.ดร.อังคณา บุญยี่ด มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 ผศ.ดร.สุจินต์ จิระชีวะนันท์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ผศ.ดร.รัตติกาล เสนน้อย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วช.บางพระ
 ผศ.ดร.อรอนงค์ ภูสีฤทธิ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
 ผศ.ดร.เอื้อมพร จันทร์สองดวง มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
 ผศ.ดร.พัชรินทร์ อาตมียะนันท์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
 ผศ.ดร.วิระพันธ์ สีหานาม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 ผศ.ดร.รัตนจิรา รัตนประเสริฐ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
 ผศ.ดร.ศุภลักษณ์ เกตุตากแดด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
 ผศ.ดร.น.สพ.สุทธิดิล ปิยะเดชสุนทร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
 ผศ.ดร.ปรัชญา บำรุงกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
 ดร.ทิวากร อำพาพล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
 ดร.นิตยา ภูงาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
 ดร.เรวัฒน์ เต็มกล้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
 ดร.วิภาสทธิ์ หิรัญรัตน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
 ดร.สุทธิชาน์ นิลฤทธิ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
 ดร.สุรียา อุดด้วง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์

กำหนดออกวารสาร

พิมพ์เผยแพร่ราย 4 เดือน

- ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม – เมษายน
- ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม
- ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน – ธันวาคม

พิมพ์ที่

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีและบทความในวารสารเป็นแนวคิดของผู้แต่งมิใช่เป็นแนวคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมีใช่เป็นความรับผิดชอบของคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ปีที่ 5 ฉบับที่ 2

รศ.ดร.วีระเวทย์ อุทโท

รศ.ว่าที่ร้อยตรี ดร.ชูชาติ พะยอม

ผศ.ดร.ธัญญ์วนิช ธัญสิริวรรณ

ผศ.ดร.วัฒน์ชัย ลั่นทม

ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ ศรีวิบูลย์

ผศ.ดร.ภาสพิชญ์ ชูใจ

ผศ.ดร.สาวิกา กัลปพฤกษ์

ผศ.ดร.รุ่งกานต์ กล้าหาญ

ผศ.ดร.ระพีพันธ์ แก้วอ่อน

ผศ.ดร.ธนพร พะยอมใหม่

ผศ.ดร.เจษฎา สิงห์ทองชัย

ผศ.ดร.ศักดิ์ชาญ เหลืองมณีโรจน์

ผศ.ดร.สุนิดา เมืองโคตร

ผศ.ดร.โกวิท น้อยโคตร

ผศ.กิตติพร สุพรรณผิว

ผศ.กำธร สารวรรณ

ผศ.บุญยัง สิงห์เจริญ

ผศ.รัตนเรขา อัจฉริยะพิทักษ์

ดร.วุฒิไกร ศิริผล

ดร.วรรณวิภา พินระ

ดร.สิทธิ กุหลาบทอง

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วช.เฉลิมพระเกียรติ

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยศิลปกร

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

มหาวิทยาลัยศิลปกร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทบรรณาธิการ



คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตสุรินทร์

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน (Agriculture & Technology RMUTI Journal) เป็นวารสารทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี หรือนวัตกรรมแก่สังคม ทำการเผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ฐานข้อมูลระบบออนไลน์ และรูปเล่ม จำนวน 3 ฉบับต่อปี ในทุก ๆ 4 เดือน โดยฉบับที่ 1 ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม และฉบับที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน-ธันวาคม เปิดรับบทความที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้เป็นไปตามรูปแบบของวารสาร

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เห็นความสำคัญของการพัฒนาและส่งเสริมผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่เชิงบูรณาการให้มีคุณภาพ เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง สำหรับฉบับนี้ มีบทความวิจัยด้วยกัน 10 เรื่อง ประกอบด้วยสาขาเกษตรศาสตร์ 3 เรื่อง สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 1 เรื่อง สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 6 เรื่อง โดยวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารที่มีคุณภาพและมีชื่อในศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre; TC12)

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับในแต่ละบทความวิจัย ขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความอันเป็นประโยชน์ เผยแพร่สู่สาธารณะเพื่อพัฒนางานวิจัยของชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย ลีทิวังษ์

บรรณาธิการ

- การพัฒนากระดาษใยไหมจากเศษไหมเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตผ้าไหม จังหวัดสุรินทร์
เพื่อใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ 1
- Development of silk fiber paper from silk residues in silk production process
Surin Province for use in packaging design
- ยุพดี สีนมาก บัญชา ชื่นจิต อภินันท์ชัย โจมสติ กัญญา เขี่ยมสวัสดิ์
และแสงเดือน ธรรมวัตร
- การประเมินลักษณะประจำพันธุ์ข้าวพื้นเมือง ในเขตอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขงตอนกลาง 14
- Evaluation of morphological traits for indigenous rice varieties in the central
of the Greater Mekong Subregion (GMS)
- ภากร พันธุ์พาน
- หุ่นยนต์เดินตามเส้นสำหรับระบบการจัดการหนังสือห้องสมุด 30
- Line following robot for library book management system
- ปิยพัฒน์ พานเมือง จารุวรรณ ธาระศัพท์ กิตติ ทูลธรรม สุรกิจ อภิรักษากร
มิโชค ตั้งตระกูล ชุมพล เสนาพันธ์ จักรกฤษณ์ ศรีทอง อังคิมา งามดี
ปิยะพงษ์ ฤทธิธรรม วรางคณา เหนือคูเมือง และพิสิฐ โมกขาว
- ผลของการใช้สีน้ำเทียม (ชนิดสี และระดับความเข้มข้น) ต่อการลดอัตราการตาย 40
- เนื่องจากการกินกันเองของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus*) ระยะ First crab
- Effects of artificial water color (colors and concentration levels) to reduce
the mortality rate due to cannibalism of blue swimming crab
(*Portunus pelagicus*) larvae in First crab stage
- ชลดา ลีอร่าม รุ่งทิวา คนสันต์ทัด วาสนา อากรรรัตน์ และวุฒิชัย อ่อนเอี่ยม

- รูปแบบระบบหมุนเวียนน้ำต่อการเพาะพันธุ์ปลาในบ่อดินด้วยไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 51
Effects of upper and lower water circulation system with solar energy
for fish breeding in earth pond
ศศพร โนนคู่เขตโขง วิจิตรตา อรรถสาร อติเทพชัยการณัฏ ภาชนะวรรณ
และวัลจิราพร รอดชุม
- การสังเคราะห์และวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ 59
ที่ปลูกด้วยเทคนิคสปัตเตอร์ริง
Synthesis and characterization of cesium iodide thin film, grown
by RF-Magnetron sputtering
ปวิวรรต ลิ้มธนะเมธิกุล พรรณี แสงแก้ว มติ ห่อประทุม ทศพร เลิศวนิชผล
และกิตติธัช ธนสิวะวงษ์
- การส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ด้วยนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะ 69
บนฐานนโยบายประเทศไทย 4.0
Sport tourism promotion in Buriram using intelligence tourism
innovation based on Thailand 4.0 policy
วิไลรัตน์ ยาทองไชย ชุคศักดิ์ ยาทองไชย กมลรัตน์ สมใจ พวงเพชร ราชประโคน
บุริม ชฎารัตน์ฐิติ และวรินทร์พิพัชร วัชรพงษ์เกษม
- ผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช 2, 4-D ไดเมทิลแอมโมเนียมต่อการเหนี่ยวนำการสังเคราะห์ 83
ไวเทลโลเจนินในพลาสมาของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) และการศึกษาในภาคสนาม
Effects of the herbicide 2, 4-D dimethylammonium on induction of vitellogenin
synthesis in the plasma of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and field study
น้ำทิพย์ จันถาวร พงศ์ภัทร เกียรติประเสริฐ วิชชุดา ประสาทแก้ว พัชรี มงคลวัย
พอจิต นันทนาวัฒน์ และชุตินา ถนอมสิทธิ์



การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชันจากปลาน้ำจืด 99

Development of freshwater fish emulsion sausages

กัญญา รัชตชัยยศ บำเพ็ญ นิมเขียน สุภัทรา กล่ำสกุล และประกาศ ชมภู่ทอง

การพัฒนาต้นแบบวิธีเลี้ยงอึ่งปากขวด (*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) 112

ในบ่อคอนกรีตแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยม

Development of rearing method model for truncate-snouted burrowing frog

(*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) in circular and square concrete ponds

ไกรฤกษ์ ทวีเชื้อ วุฒิชัย ฤทธิ สุมิตานันท์ จันทะบุรี และญาณพัฒน์ พรหมประสิทธิ์

การพัฒนากระดาษใยไหมจากเศษไหมเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตผ้าไหม จังหวัดสุรินทร์
เพื่อใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์
Development of silk fiber paper from silk residues in silk production process
Surin Province for use in packaging design

ยุพดี สีนมาก^{1*}, บัญชา ชื่นจิต¹, อภินันท์ชัย โจมสติ¹, กัญญา เยี่ยมสวัสดิ์¹ และแสงเดือน ธรรมวัตร¹
Yupadee Sinmak^{1*}, Bancha Chuenjit¹, Apinanthichai Jomsati¹, Kanya Yiamsawat¹
and Saengdean Thammawat¹

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

¹Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University, Surin Province

*Corresponding Author E-mail Address: ysinmark@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษากระบวนการผลิตกระดาษจากเศษไหมเหลือทิ้งหลังการกระบวนการผลิตผ้าไหม 2) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตและศึกษาสมบัติของกระดาษใยไหม และ 3) เพื่อปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากใยไหมให้มีคุณภาพเพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ การปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากใยไหมโดยการใช้เยื่อกระดาษ 20 กรัม กับ กาวลาเท็กซ์ ร้อยละ 6 พบว่า กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถใช้กาวลาเท็กซ์ผสมเยื่อในขั้นตอนการผลิตกระดาษทำให้ได้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากกาวลาเท็กซ์ทำหน้าที่ช่วยให้เยื่อไหมมีขนาดเล็กลง และกาวลาเท็กซ์ยังสามารถจับตัวกันอยู่ในเนื้อกระดาษแล้วยังช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยด้วยตัวเอง รวมทั้งเส้นใยกับกาวลาเท็กซ์เข้ากันได้ดีจึงส่งผลให้กระดาษที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีการออกแบบบรรจุภัณฑ์จากงานวิจัยสู่ชุมชน มีความพึงพอใจในด้านความสวยงามของผลิตภัณฑ์ ด้านผิวสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ด้านหน้าที่การใช้งานของผลิตภัณฑ์ และด้านใช้งานได้จริง อยู่ในเกณฑ์ดี และผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีเชิงปฏิบัติการในการผลิตกระดาษใยไหม พบว่า ทุกด้านมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก โดยกระดาษใยไหมมีเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น การผสมผสานวัสดุที่ดึงดูดความน่าสนใจ มีความสะดวกสบายในการใช้งาน มีความประณีตและลวดลายเป็นธรรมชาติ และการผลิตที่ไม่ยุ่งยากและซับซ้อน รวมถึงกรรมวิธีเหมาะสมกับการใช้งาน

คำสำคัญ: กระดาษใยไหม เศษไหม บรรจุภัณฑ์

Abstract

This research aimed to 1) investigate the paper production process utilizing residues from silk production, 2) examine the optimal conditions for producing and analyze the physical characteristics of silk fiber paper, and 3) improve the properties of silk fiber paper to enhance its quality and develop it for packaging applications. The use of 20 grams of pulp with 6% latex glue was found to improve the properties of paper made from silk fibers and resulting in a stronger product. Incorporating latex glue into the pulp mixture during paper manufacturing can enhance strengthening of the final paper product. The use of latex glue contributed to reducing the size of the silk fibers, which not only enhanced the internal bonding within the paper but also improved the adhesion between the fibers. In addition, the fibers and latex adhesive exhibit strong compatibility which leads to a reinforced paper structure. The results of technology transfer process on packaging design from current research to community application demonstrated high levels of user satisfaction across various product attributes, including aesthetics, texture, functionality, and practicality. Including, the findings from the technological transfer process for producing silk fiber paper demonstrated a high average level of satisfaction across various evaluated aspects. The silk fiber paper demonstrated a strong local identity through its distinctive combination of attractive materials, provided practical advantages such as convenience of use, possessed aesthetic appeal with its delicate natural designs, and it was produced through simple and efficient processes that suitable for various applications.

Keywords: Silk paper, Silk scraps, Packaging

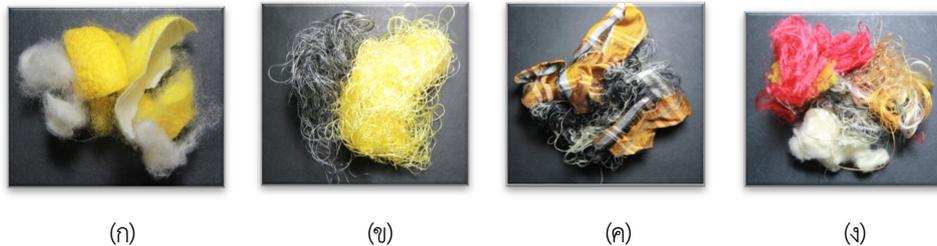
บทนำ

บทบาทของบรรจุภัณฑ์กระดาษ ที่เป็นมากกว่าการห่อหุ้มสินค้าให้ได้รับความปลอดภัย ขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้ประกอบการที่จะพัฒนาออกแบบและเลือกใช้บรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดหรือแต่ละประเภทให้เกิดประโยชน์กับธุรกิจได้มากน้อยเพียงใด คุณสมบัติพื้นฐานของบรรจุภัณฑ์กระดาษ เช่น บรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม กล่องโปรเซสซีเย่ กล่องกระดาษลูกฟูก กล่องพีชซ่า หรือกล่องกระดาษชนิดอื่น ๆ มีคุณค่าในตัวเองเพราะเป็นบรรจุภัณฑ์รักษ์โลกที่ไม่เป็นปัญหาต่อสภาพแวดล้อม เพียงนำเอาไอเดียออกแบบให้มีความสวยงามและโดดเด่นอย่างมีเอกลักษณ์ ไม่เพียงทำให้สินค้าได้รับสนใจจากลูกค้าเท่านั้น แต่ยังสามารถเพิ่มมูลค่าสร้างความแตกต่างเหนือคู่แข่ง บรรจุภัณฑ์จึงถือเป็นเครื่องมือด้านการตลาดที่สำคัญและเป็นมากกว่าการห่อหุ้มเพื่อรักษาคุณภาพของสินค้า (ธีระชัย, 2544)

จากการถอดบทเรียนของโครงการที่ผ่านมาของโครงการยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น พบว่าชุมชนประสบผลสำเร็จในเรื่องผ้าไหมทอมือของท้องถิ่นซึ่งได้รับรางวัลนกยูงทองพระราชทาน โดยความสำเร็จนี้สืบเนื่องมาจากการที่ชาวบ้านตำบลตาเบาได้รับการถ่ายทอดภูมิปัญญามาจากบรรพบุรุษที่สืบทอดกันมารุ่นต่อรุ่น ประกอบกับการได้รับการอบรมเพื่อพัฒนาทักษะทางด้านการออกแบบ การมัดย้อม การทอผ้าไหม ฯลฯ จากโครงการยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ส่งผลให้ชาวบ้านได้เกิดการพัฒนาทักษะฝีมือเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้จากการสำรวจชุมชนที่ผ่านมายังคงต้องการพัฒนาในเรื่องของบรรจุภัณฑ์ให้กับสินค้าที่สร้างขึ้นในชุมชน เช่น ผ้าไหมทอมือ น้ำยาซักผ้าไหม สบู่โปรตีนไหม ฯลฯ โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์ผ้าไหมที่เป็นความต้องการในลำดับต้น ๆ โดยที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลยังขาดบรรจุภัณฑ์ที่เป็น

เอกลักษณ์ของตนเองในการส่งเสริมการตลาดให้กับลูกค้า รวมถึงการนำไปเป็นของที่ระลึกในการมอบให้ในเทศกาลต่าง ๆ การศึกษาดูงานของหน่วยงานต่าง ๆ และเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าของชุมชน

ขณะเดียวกันในกระบวนการผลิตไหมจะมีเศษวัสดุที่ถูกคัดทิ้งก็คือ เศษเส้นใยไหมหรืออีกชื่อที่ชาวบ้านเรียกว่า “ชีไหม” เศษชีไหมมีลักษณะเป็นปมปมติดกันเกิดจากการคัดทิ้งของเส้นไหมที่ไม่เรียบ และเศษเส้นไหมที่เหลือจากกระบวนการทอผ้า เป็นเส้นตรงสวยงามมีความยาวความสั้นไม่เท่ากัน และรวมไปถึงใยของไหมที่เหลือจากการสาวไหม มีทั้งไหมดิบและไหมที่ผ่านกระบวนการฟอกย้อมแล้วที่เหลือเป็นจำนวนมาก เศษเส้นใยไหมเหล่านี้หากไม่มีการคัดทิ้งจะทำให้ผ้าไหมไม่เรียบมีลักษณะเป็นปมปมทำให้คุณภาพของผ้าไหมลดลง จากความเป็นมาและปัญหา ทำให้ผู้วิจัยเห็นความสำคัญของการศึกษาคุณสมบัติของไหม และพัฒนาแนวทางในการใช้ประโยชน์จากเศษใยไหม เพื่อแปรรูปวัสดุจากเศษใยไหมให้สามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อส่งเสริมและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนให้สามารถเพิ่มมูลค่า ให้กับผลิตภัณฑ์จวบจนการสร้างรายได้ให้กับชุมชน และยังช่วยส่งเสริมภูมิปัญญาท้องถิ่น เพื่อพัฒนาศักยภาพภายในชุมชนและส่งเสริมอาชีพการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมให้ก้าวหน้าและยกระดับผลิตภัณฑ์ชุมชนให้เกิดความหลากหลาย



รูปที่ 1 เศษไหมที่เกิดจากกระบวนการผลิต นับตั้งแต่การสาวไหม จนถึงการทอผ้าไหม
ที่มา: ปณิตา, 2557

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. ข้อมูลและแหล่งข้อมูล

ศึกษาข้อมูลตำรา เอกสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเส้นใยไหมของอำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ ศึกษาข้อมูลตำรา เอกสารที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะเส้นใยไหม การศึกษาคุณสมบัติของเศษใยไหมเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไหม ลักษณะทั่วไปของไหม กระบวนการผลิตไหม คุณสมบัติเบื้องต้นของเส้นไหม เก็บข้อมูล กระบวนการผลิตไหม กระบวนการตีเกลียวไหม คุณสมบัติใยไหมแต่ละแบบเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการนำมาพัฒนากระบวนการใช้งานเศษใยไหม จากกระบวนการผลิตไหม

2. วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้การวิจัย

วัตถุประสงค์ เศษเส้นไหม คือ เศษเส้นไหมละเอียด เศษเส้นไหมหยาบ เศษชีไหมบาง และเศษชีไหมหนา กาวลาเท็กซ์ น้ำสะอาด และสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3. เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เครื่องปั่น เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง เพรสม 25 x 25 เซนติเมตร ความละเอียด 100 เมช อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 1000 มิลลิลิตร และ ขนาด 200 มิลลิลิตร กระบอกตวง (Cylinder) ช้อนตักสาร (Spatula) แท่งแก้วคนสาร หม้อต้มเยื่อแสดนแลส เต้าแก๊ส กรรไกร ไม้พาย ถุงมือ ถังเก็บเยื่อ อ่างช้อนเยื่อ ตะแกรงล้างเยื่อ ตะแกรงขึ้นเยื่อ ฝักดูดซับน้ำ และไม้รัดแผ่นกระดาษ

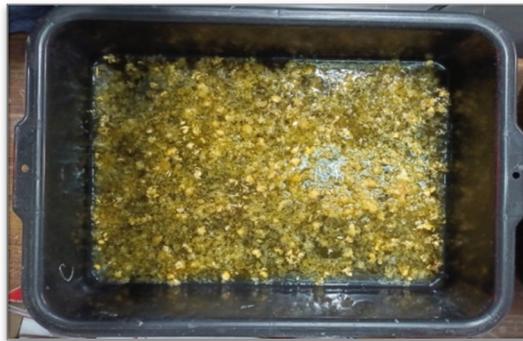
4. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนแปรรูปเศษเส้นไหมเป็นแผ่น โดยนำวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตผ้าไหมของกลุ่มหัตถกรรมผ้าไหม ตำบลตาเบา อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ ได้แก่ เศษเส้นไหมละเอียด เศษเส้นไหมหยาบ เศษซี่ไหมบาง และเศษซี่ไหมหนา นำมาแปรรูปใช้ใหม่ (Recycle) เป็นแผ่นโดยใช้วิธีการขึ้นรูปแบบกระดาษสา ใช้กาวลาเท็กซ์ผสมกับน้ำเป็นตัวประสาน ในการแปรรูปสภาพเป็นแผ่นของเศษเส้นไหม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ศึกษาการลดขนาดความแข็งแรงของเศษไหมที่สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อ

4.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ นำเศษเส้นไหมที่ปะปนกันมาคัดแยกประเภทของเส้นไหม ซึ่งได้แก่ เศษเส้นไหมละเอียด เศษเส้นไหมหยาบ เศษซี่ไหมบาง และเศษซี่ไหม และคัดแยกสี

4.1.2 การแช่เยื่อกระดาษจากใยไหม การหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษจากใยไหม เพื่อหาคุณสมบัติของเยื่อจากเศษไหมที่เหมาะสมที่สุด โดยการแปรรูปเศษเส้นไหมเส้นละเอียด เศษเส้นไหมหยาบ และซี่ไหม จากแยกประเภทโดยการนำเยื่อไหมที่ทำความสะอาดแล้วใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร จำนวน 4 ใบ โดยแต่ละบีกเกอร์ซึ่งเยื่อไหมน้ำหนัก 20 กรัม จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่บรรจุเยื่อไหมของบีกเกอร์ที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ จากนั้นแช่ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 2 การแช่เยื่อกระดาษจากใยไหม การหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์

4.1.3 เมื่อครบกำหนดเวลาจึงนำเยื่อไหมที่ผ่านการแช่ทิ้งไว้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในแต่ละบีกเกอร์มาล้างด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้ง เพื่อล้างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากเยื่อไหม

4.1.4 นำเยื่อไหมที่ผ่านการล้างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปปั่นลดขนาดอนุภาค ด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 5 นาที โดยทำการเติมน้ำสะอาดในปริมาณ 500 มิลลิกรัม ลงไปที่ละน้อยในระหว่างปั่นเพื่อลดขนาดอนุภาคเยื่อไหมโดยเครื่องปั่น

4.1.5 นำสารละลายคอลลอยด์ที่ได้จากการลดขนาดอนุภาคโดยเครื่องปั่น มาทำการระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

4.1.6 นำสารคอลลอยด์เยื่อไหมไปทำให้แห้งโดยการอบด้วยลมร้อน (Oven drying)

4.1.7 ชั่งผงเยื่อไหมที่ได้ โดยชั่งน้ำหนัก 5 กรัม ไปทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช แล้วนำผงเยื่อไหมที่ผ่านตะแกรงไปชั่งเพื่อหาน้ำหนัก จากนั้นจึงทำการคำนวณเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของผงเยื่อไหมที่ผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช

4.1.8 จากข้อมูลที่ได้สภาวะที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ของผงที่ผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช มากที่สุด จะใช้เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการลดขนาดของอนุภาคของเส้นไหม

4.1.9 การทดสอบสมบัติของเยื่อ ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเยื่อ เป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเยื่อกระดาษที่ผลิตจากการแช่เยื่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อเลือกเยื่อที่มีความละเอียดและเหมาะสมที่สุดนำไปผลิตกระดาษ

4.2 ศึกษาการขึ้นรูปเป็นกระดาษของเยื่อไหมในสภาวะที่เหมาะสม

4.2.1 นำเยื่อไหมที่ผลิตได้ในสภาวะที่เหมาะสมไปผลิตเป็นกระดาษ โดยการชั่งน้ำหนักเยื่อไหม 20, 30, 40 และ 50 กรัม ของน้ำหนักเยื่อเปียก ที่ได้จากกระบวนการลดความแข็งแรงของเศษไหม

4.2.2 นำไปปั่นผสมกับน้ำ 1 ลิตร ด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็ว 1,800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

4.2.3 แล้วนำไปขึ้นแผ่นกระดาษ ด้วยเฟรม ขนาด 25x25 เซนติเมตร ทำการตีเยื่อให้กระจายและลอยตัวอยู่บนเฟรมในอ่างน้ำอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 3 ชิ้นแผ่นกระดาษ ขึ้นด้วยเฟรม ขนาด 25x25 เซนติเมตร

4.2.4 จากนั้นยกตระแกรงขึ้นจากอ่างน้ำนำไปตากแห้งหรือเข้าตู้อบ แล้วนำไปทดสอบสมบัติของกระดาษ เพื่อหาแผ่นกระดาษที่เหมาะสมที่สุดไปทำการปรับปรุงคุณภาพของกระดาษในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4 นำแผ่นกระดาษที่ขึ้นด้วยเฟรมไปตากแห้งหรือเข้าตู้อบ

4.2.5 การทดสอบสมบัติกระดาษ นำตัวอย่างกระดาษที่ทำขึ้นไปทดสอบสมบัติกระดาษ



(ก)

(ข)

รูปที่ 5 ตัวอย่างกระดาษที่ทำขึ้นไปทดสอบสมบัติกระดาษ

- 1) ทดสอบความเหนียว โดยนำกระดาษผลิตด้วยมือมาทดสอบ ความเหนียวด้วยการฉีก
- 2) ทดสอบการดูดซับน้ำ โดยนำกระดาษผลิตด้วยมือมาทดสอบ การดูดซับน้ำ ด้วยการหยดน้ำหมักลงบนกระดาษแล้วจับเวลา

3) การสังเกตลักษณะของสีสวดลาย และผิวสัมผัสของกระดาษผลิตด้วยมือ

4.3 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากเศษใยไหม

4.3.1 การหาปริมาณกาวลาเท็กซ์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงกระดาษ การใช้กาวลาเท็กซ์เพื่อปรับปรุงกระดาษให้มีความแข็งแรงในครั้งนี โดยได้มีการศึกษาหาปริมาณกาวลาเท็กซ์ที่เหมาะสม คือ

1) ใช้เยื่อกระดาษแห้งในปริมาณ 4 กรัม ผสมกับกาวลาเท็กซ์ในปริมาณอย่างละ 4 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นของกาวลาเท็กซ์ ร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 มาปั่นผสมกับน้ำ 150 มิลลิลิตร แล้วนำไปเทเพื่อเปรียบเทียบความใสของน้ำ

2) เปรียบเทียบความใสของน้ำ ที่ได้ น้ำที่ใสที่สุดถือว่าปริมาณกาวลาเท็กซ์ที่ใช้้นั้นมีความเหมาะสมมากกว่าและเลือกนำไปใช้ในการปรับปรุงสมบัติของกระดาษต่อไป

4.3.2 การผลิตแผ่นกระดาษปรับปรุงด้วยกาวลาเท็กซ์ การปรับปรุงสมบัติของกระดาษนั้น ใช้กระดาษที่หาได้จากข้อ 2 ที่ให้สมบัติของกระดาษที่เหมาะสมที่สุด มาทำการปรับปรุงโดยใช้กาวลาเท็กซ์ในปริมาณที่มีความเหมาะสมที่สุดที่ได้จากข้อ 3.1 นำไปปั่นผสมกับน้ำ 1 ลิตร ด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็ว 1800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปขึ้นแผ่นกระดาษ ตามวิธีข้อ 2 จากนั้นนำกระดาษที่ได้รับการปรับปรุงด้วยกาวลาเท็กซ์ที่ผลิตได้ไปทดสอบสมบัติของกระดาษ คือ ข้อที่ 2.5

4.4 ขั้นตอนการอบรมเชิงปฏิบัติการในการถ่ายทอดเทคโนโลยีการออกแบบบรรจุภัณฑ์จากงานวิจัยสู่ชุมชน นักศึกษาและกลุ่มผู้สนใจ จำนวน 2 ครั้ง ได้แก่ การถ่ายทอดเทคโนโลยีองค์ความรู้ จำนวน 23 คน และการถ่ายทอดเทคโนโลยีเชิงปฏิบัติการผลิตกระดาษใยไหม จำนวน 12 คน รวมทั้งสิ้น 35 คน

การวิเคราะห์ข้อมูล

การพัฒนากระดาษใยไหมจากเศษใยไหมเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตผ้าไหม จังหวัดสุรินทร์ เพื่อใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์จากกระดาษเส้นใยพืช มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผข.) คือข้อกำหนดด้านคุณภาพที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ชุมชน ให้เป็นที่เชื่อถือ เป็นที่ยอมรับ และสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ โดยมุ่งเน้นให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน เพื่อยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชุมชนให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด และสอดคล้องกับนโยบาย OTOP คุณลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน “ผลิตภัณฑ์จากเส้นใยพืช” (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2566) ดังนี้

1. ลักษณะทั่วไป ต้องประณีต สวยงาม มีรูปแบบรูปทรงสัดส่วนที่เหมาะสม ไม่มีรอยทะเลหรือฉีกขาด ไม่เปรอะเปื้อนหรือตำหนิ ไม่มีราปรากฏให้เห็นเด่นชัดตลอดชิ้นงาน

2. การประกอบด้วยวัสดุอื่น (ถ้ามี) ต้องประณีต ทัดแน่น คงทน กลมกลืน และเหมาะสมกับชิ้นงาน ไม่มีรอยเปื้อนของสารที่ใช้ยึดติดชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน กรณีเป็นวัสดุธรรมชาติ ต้องไม่มีรา และร่องรอยการเจาะกัดกินของแมลง กรณีเป็นโลหะ ต้องไม่เป็นสนิมและไม่มีส่วนแหลมคม

3. สี (ถ้ามี) ต้องสม่ำเสมอ (ยกเว้นกรณีเป็นลักษณะเฉพาะของชิ้นงาน) ไม่หลุดหรือลอก และเมื่อลูบผลิตภัณฑ์แล้วสีต้องไม่ติดมือ

4. การเคลือบผิว (ถ้ามี) ต้องเรียบสม่ำเสมอ ไม่เป็นเม็ด กรอบ แตก หลุดหรือลอก และไม่หนาเกินไปจนทำให้ชิ้นงานขาดความสวยงาม

5. การใช้งาน ต้องสามารถได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

6. รูปแบบของผลิตภัณฑ์จากกระดาษเส้นใยพืช สามารถแบ่งออกตามลักษณะของรูปทรงได้ คือ รูปแบบทรงเหลี่ยม รูปแบบทรงกลม รูปแบบทรงรี และการขึ้นรูปแบบด้วยเทคนิควิธีอื่น ๆ

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาคุณสมบัติ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการลงพื้นที่ศึกษาปัญหาเศษใยไหมที่เหลือจากกระบวนการผลิตไหมจากกลุ่มผ้าไหมทอมือ ทำให้ผู้วิจัยทราบถึงกระบวนการผลิตผ้าไหมในแต่ละกระบวนการมีเศษใยไหมเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก และจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและชนิดของเศษใยไหมในแต่ละชนิด พบว่า ข้อมูลเศษใยไหม คือ เศษใยไหมที่ได้จากการทอผ้าและเศษใยไหมที่เกิดจากกระบวนการผลิตไหมเนื่องจากเศษใยไหมที่ได้มีความสมบูรณ์และมีความยาวของเส้นใย อีกทั้งยังเหลือเป็นจำนวนมาก ส่วนเศษใยไหมที่ได้จากรังไหมเสียหายนั้นไม่เหมาะแก่การนำมาใช้งาน

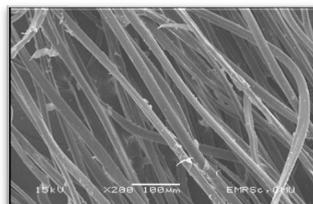
2. ผลการศึกษาการลดขนาดความแข็งแรงของเศษไหมที่สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อ

จากการเตรียมที่สภาวะต่าง ๆ ของการปั่นเยื่อไหม เพื่อให้ได้ผงเยื่อไหมที่เหมาะสมนำมาผลิตเป็นกระดาษใยไหม ดังตารางที่ 1

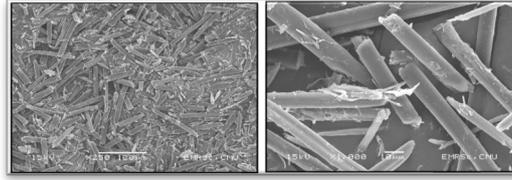
ตารางที่ 1 เเปอร์เซ็นต์ผงเยื่อไหมที่ผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จากการเตรียมของการปั่นผงเยื่อไหม

สารละลายที่ใช้ในการ แช่เศษไหม	น้ำหนักเศษไหม (g)	น้ำหนักค้ำบน ตะแกรง (g)	ผลต่างน้ำหนักเศษ ไหม (g)	ร้อยละ ที่ผ่านตะแกรง
สารละลาย NaOH 5%	5.0854	2.2401	2.8453	55.95
สารละลาย NaOH 10%	5.0720	1.8410	3.2310	63.70
สารละลาย NaOH 15%	5.0239	0.9160	4.1079	81.76
สารละลาย NaOH 20%	5.0450	0.7830	4.2620	84.47

จากตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรง พบว่า การลดความแข็งแรงของเศษไหมโดยการแช่ทิ้งไว้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีคุณสมบัติเป็นเบสความเข้มข้น ร้อยละ 15 สามารถปั่นลดขนาดของเยื่อไหมให้มีขนาดเล็กลงได้มาก และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงกว่า ร้อยละ 15 พบว่า เมื่อแช่ทิ้งไว้นาน 5 นาที จะทำให้มีลักษณะเปียกยุ่ยซึ่งยากต่อการนำไปล้างสารละลายออก ดังนั้นสภาพที่เหมาะสมสำหรับการแช่เศษไหมเพื่อลดความแข็งแรงของเส้นใย คือ ต้องใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 15 ในการแช่เศษไหม และลักษณะสัณฐานวิทยาของเศษไหมที่ยังไม่ได้ลดความแข็งแรง และลดความแข็งแรงโดยใช้สารละลายในการแช่เศษไหม และลักษณะสัณฐานวิทยาของเศษไหมที่ยังไม่ได้ลดความแข็งแรง และลดความแข็งแรงโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 15 ตรวจสอบ โดยใช้เทคนิค SEM ดังรูปที่ 6 และ 7 (วีชรารภรณ์ และปิยรัตน์, 2559)



รูปที่ 6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเศษไหมที่ยังไม่ได้ลดความแข็งแรงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า



รูปที่ 7 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเศษไหมที่ลดความแข็งแรงโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 15 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

3. ผลการขึ้นรูปเป็นกระดาษของเยื่อไหมที่สภาวะที่เหมาะสม

แผ่นกระดาษขนาด 25x25 เซนติเมตร ที่ผลิตจากเยื่อกระดาษจากใยไหม ที่แช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 15 โดยใช้น้ำหนักเยื่อกระดาษจากใยไหม 20, 30, 40 และ 50 กรัม ของเยื่อเปียก นำแผ่นกระดาษไปทดสอบสมบัติทางภาพของกระดาษ ผลการทดลอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษ

น้ำหนักเยื่อเปียก (g)	สมบัติของแผ่นกระดาษ		
	ทดสอบความเหนียว	ทดสอบการดูดซับน้ำ	สีและลวดลาย
20	ความเหนียวมากที่สุด	ดูดซับน้ำได้น้อย	สีเหลืองอ่อน มองเห็นลวดลายของเส้นใยในเนื้อกระดาษได้ผิวสัมผัสที่มีความละเอียดมากที่สุด
30	ความเหนียวมาก	ดูดซับน้ำได้ ดีปานกลาง	สีเหลืองอ่อน มองเห็นลวดลายของเส้นใยในเนื้อกระดาษได้ผิวสัมผัสที่มีความละเอียดมาก
40	ความเหนียวปานกลาง	ดูดซับน้ำได้ดี	สีเหลืองอ่อน มองเห็นลวดลายของเส้นใยในเนื้อกระดาษได้ผิวสัมผัสที่มีความละเอียดปานกลาง
50	ความเหนียวน้อย	ดูดซับน้ำได้ดีที่สุด	สีเหลืองอ่อน มองเห็นลวดลายของเส้นใยในเนื้อกระดาษได้ผิวสัมผัสที่มีความละเอียดน้อย

การทดสอบความเหนียว โดยการสังเกตขณะปั่นเยื่อและการฉีกกระดาษ พบว่า กระดาษผลิตด้วยมือที่มีความเหนียวมากที่สุด คือ เยื่อกระดาษจากใยไหม 20 กรัม เวลาฉีกกระดาษจะขาดจากกันยากต้องใช้แรงดึง เพราะเส้นใยเหนียวเกาะกันแน่น กระดาษที่มีความเหนียวรองลงมา คือ เยื่อกระดาษจากใยไหม 30 และ 40 กรัม คือ เวลาฉีกใช้แรงน้อยกว่า และกระดาษที่มีความเหนียวน้อยที่สุด คือ เยื่อกระดาษจากใยไหม 50 กรัม คือ ฉีกออกได้ง่ายที่สุดเหมือนฉีกกระดาษทั่วไป

การทดสอบการดูดซับน้ำ ตัดกระดาษให้มีขนาด 1x1.5 นิ้ว แล้วหยดน้ำหมึกหมักลงไป 1 หยดบนกลางกระดาษใช้เวลาเท่ากันสังเกตการดูดซับน้ำ พบว่า กระดาษที่ดูดซับน้ำได้เร็วที่สุด คือ เยื่อกระดาษจากใยไหม 50 กรัม ซึ่งใช้เวลาการดูดซับน้ำ 35 วินาที ซึ่งการดูดซับน้ำแบบกระจายตัว อันดับสอง คือ เยื่อกระดาษจากใยไหม 40 กรัม ใช้เวลา 38 วินาที ซึ่งจะทิ้งระยะเวลาในการดูดซับน้ำอันดับที่สาม คือ เยื่อกระดาษจากใยไหม 30 กรัม ใช้เวลา 40 วินาที อันดับสุดท้าย คือ เยื่อกระดาษจากใยไหม 20 กรัม ใช้เวลา 46 วินาที ซึ่งกระดาษทั้งหมดสามารถดูดซับน้ำเหมือนกันทั้งด้านบนและด้านล่าง

การสังเกตสีลวดลายและผิวสัมผัส ของกระดาษผลิตด้วยมือทั้ง 4 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ พบว่า มีสีและลวดลายที่ใกล้เคียงกัน คือ สีจะเป็นธรรมชาติหากถูกความร้อนหรือถูกแสงแดดมาก สีของกระดาษจะเป็นสีเหลืองอ่อน ทั้งนี้มองเห็นเส้นใยเนื้อกระดาษได้อย่างชัดเจน แต่หากสัมผัสที่เนื้อกระดาษจะพบว่า กระดาษที่มีส่วนผสมของเยื่อกระดาษจากใยไหมมากจะมีความหยابมากที่สุด และกระดาษที่มีส่วนผสมของเยื่อกระดาษจากใยไหมน้อยจะมีความหยาบลดลงจนไม่มีความหยาบ

4. ผลการปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากใยไหม

ผลการศึกษาหาปริมาณกาวลาเท็กซ์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติกระดาษจากเยื่อไหม การปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากเยื่อไหมให้มีความแข็งแรงมากขึ้นโดยการใช้กาวลาเท็กซ์นั้น ได้มีการศึกษาหาปริมาณกาวลาเท็กซ์ที่เหมาะสมโดยใช้เยื่อไหมผสมกาวลาเท็กซ์ที่มีความเข้มข้นของกาวลาเท็กซ์ ร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำมาปั่นผสมกับน้ำ 150 มิลลิลิตร สังเกตความใสของน้ำ พบว่า กาวลาเท็กซ์ที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 2 และ 4 มีเส้นใยละเอียดและกาวลาเท็กซ์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำซึ่งสามารถสังเกตได้จากน้ำ ยังมีความขุ่นอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้ปริมาณกาวลาเท็กซ์ที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 6 น้ำที่ได้มีความขุ่นน้อยที่สุด ส่วนปริมาณกาวลาเท็กซ์ที่ใช้ ร้อยละ 8 น้ำมีความขุ่นขาวซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการใช้ปริมาณกาวลาเท็กซ์มากเกินไปทำให้แป้งหลุดออกมากับน้ำ โดยในกระบวนการผลิตช่วงเปียกโดยมีการเติมกาวลาเท็กซ์ไป เป็นการเพิ่มสารตกค้างทำหน้าที่ช่วยให้เยื่อใยขนาดเล็กและอนุภาคอื่น ๆ จับตัวกันทั้งคงอยู่ในเนื้อกระดาษได้มากขึ้น ช่วยให้การระบายน้ำผ่านแผ่นกระดาษได้ดีขึ้น (นพมาส, 2553) ดังนั้น ใช้ปริมาณกาวลาเท็กซ์ ร้อยละ 6 น้ำที่ได้มีความขุ่นน้อยที่สุด แสดงว่าแป้งสามารถยึดเกาะผิวของเส้นใยได้ดีที่สุด จึงเลือกนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของกระดาษต่อไป

ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นกระดาษจากจากเยื่อไหม ที่ปรับปรุงด้วยกาวลาเท็กซ์ การปรับปรุงสมบัติของกระดาษโดยการใช้เยื่อกระดาษ 20 กรัม กับกาวลาเท็กซ์ ร้อยละ 6 ของน้ำหนักเยื่อเปียกต่อปริมาตร นำไปปั่นผสมกับน้ำ 1 ลิตร ด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็ว 1,800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปขึ้นแผ่นกระดาษด้วยเฟรม ขนาด 25x25 เซนติเมตร เมื่อนำกระดาษที่ผลิตได้ไปทดสอบสมบัติของกระดาษ

ผลการทดสอบคุณสมบัติกระดาษเศษไหมผลิตด้วยมือ ที่มีปรับปรุงด้วยกาวลาเท็กซ์ ผลของสมบัติของแผ่นกระดาษจากใยไหม

การทดสอบความเหนียว โดยการสังเกตขณะปั่นเยื่อและการฉีกกระดาษ พบว่า กระดาษผลิตด้วยมือที่มีความเหนียวมาก เวลาฉีกกระดาษจะขาดออกจากกันต้องใช้แรงดึง เพราะเส้นใยเหนียวเกาะกันแน่น

การทดสอบการดูดซับน้ำ ตัดกระดาษให้มีขนาด 1x1.5 นิ้ว แล้วหยดน้ำหมักลงไป 1 หยดบนกลางกระดาษ ใช้เวลาเท่ากัน สังเกตการดูดซับน้ำ พบว่า ช่วงแรกน้ำหมักยังไม่ซึมเมื่อทิ้งระยะเวลานานจึงจะดูดซับน้ำและการดูดซับแบบกระจายตัว

การสังเกตสีลวดลายและผิวสัมผัส พบว่า เมื่อนำเยื่อไหมที่สภาวะที่เหมาะสมไปขึ้นรูปเป็นกระดาษ สามารถขึ้นรูปเป็นกระดาษได้ จะได้กระดาษที่มีลักษณะผิวไม่เรียบ เนื้อกระดาษไม่มีความละเอียดสม่ำเสมอ สีมืดความขาวสว่างน้อย สีเส้นไม่สด มีสีเหลืองอ่อนหรือออกขาวหม่น ดังในรูปที่ 8



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 8 กระดาษใยไหมที่ได้จากการเตรียมเยื่อไหมในสภาวะที่เหมาะสม

5. ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีการออกแบบบรรจุภัณฑ์จากงานวิจัย

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการออกแบบบรรจุภัณฑ์จากงานวิจัย สู่ชุมชน นักศึกษา และกลุ่มผู้สนใจ จำนวน 2 ครั้ง ได้แก่ การถ่ายทอดเทคโนโลยีองค์ความรู้ ได้แก่ การเพิ่มพูนมูลค่า ความคิดสร้างสรรค์ และการออกแบบ จำนวน 23 คน มีค่าเฉลี่ย (\bar{x}) = 4.45 และค่า SD = 0.59 ปรากฏผลอยู่ในเกณฑ์ระดับดี และการถ่ายทอดเทคโนโลยีเชิงปฏิบัติการในการผลิตกระดาษใยไหม ได้แก่ ด้านเอกลักษณ์เฉพาะถิ่นการผลิตวัสดุที่ดึงดูดความ น่าสนใจ มีค่าเฉลี่ยระดับมาก (\bar{x}) = 4.30 ด้านประโยชน์ใช้สอย มีความสะดวกสบายสามารถนำไปใช้งานได้จริงในระดับมาก (\bar{x}) = 4.49 ด้านความงาม ตัวผลิตภัณฑ์มีความ ประณีต ลวดลายเป็นธรรมชาติในระดับมาก (\bar{x}) = 4.40 และด้านกรรมวิธีการผลิต การผลิตที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน กรรมวิธี เหมาะสมกับการใช้งานในระดับมาก (\bar{x}) = 4.35 จำนวน 12 คน

การอภิปรายผล

เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเศษใยไหมที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไหม จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการลงพื้นที่ศึกษา ปัญหาเศษใยไหม ที่เหลือจากกระบวนการผลิตไหมจากกลุ่มผ้าไหมทอมือ ทำให้ผู้วิจัยทราบถึงกระบวนการผลิตผ้าไหม ในแต่ละกระบวนการมีเศษไหมเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก และจากการวิเคราะห์ คุณสมบัติทางกายภาพและชนิดของเศษใยไหมทั้ง 3 ชนิด คือ เศษไหมที่เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของรังไหม เศษไหมที่เกิดจากกระบวนการผลิตนับตั้งแต่การสาวไหมจนถึงกระบวนการทอผ้าไหม และเศษไหมที่ได้จากการดัดหรือการสาวออกจากเศษผ้าไหมทอ และนำมาผลิตกระดาษเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากเศษไหมที่ให้สมบัติของเยื่อและกระดาษ จากผลศึกษาการลดขนาดความแข็งแรงของ เศษไหมที่สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อ โดยการแช่เศษไหมโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการแช่เศษไหมเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลผลิตของเยื่อ (%Yield) มีค่าลดลง และพบว่า เศษไหมให้ผลผลิตของเยื่อมากที่สุดในการแช่เศษไหมที่ทุกระดับความเข้มข้นของสารละลาย ที่ทำการแช่เศษไหม ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง และเมื่อพิจารณาลักษณะผลของเยื่อกระดาษที่ผลิตได้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษจากเศษไหม คือ เศษไหมที่แช่ ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 15 ได้เส้นใยมีความละเอียดและมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับนำไปผลิตเป็นแผ่นกระดาษ

ศึกษาการขึ้นรูปเป็นกระดาษของเยื่อไหมที่สภาวะที่เหมาะสม การผลิตกระดาษโดยใช้เยื่อกระดาษจากเศษไหมที่แช่ด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 15 โดยใช้น้ำหนัก 20, 30, 40 และ 50 กรัม ของเยื่อเปียก ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษ พบว่า แผ่นกระดาษมีความเหนียวและการดูดซับน้ำแตกต่างกัน ตามปริมาณเยื่อเปียกที่ใช้ ในการทำแผ่นจึงส่งผลต่อสมบัติของกระดาษ และมีสี ลวดลายที่ใกล้เคียงกัน คือ สีจะเป็นธรรมชาติหากถูกความร้อนหรือถูก แสงแดดมาก สีของกระดาษจะเป็นสีเหลืองอ่อน ทั้งนี้มองเห็นเส้นใยในเนื้อกระดาษได้อย่างชัดเจน แต่หากสัมผัสที่เนื้อ กระดาษจะ พบว่า กระดาษที่มีส่วนผสมของเยื่อกระดาษจากเศษไหมมากก็จะมี ความหยาบมากที่สุด และกระดาษ ที่มีส่วนผสมของเยื่อกระดาษจากเศษไหมน้อยก็จะมี ความหยาบลดลง

การปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากเศษไหม จากผลการปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากเศษไหมที่เหมาะสมที่สุดโดยการใช้เยื่อกระดาษ 20 กรัม กับกาวลาเท็กซ์ ร้อยละ 6 พบว่า กระดาษจากเศษไหมที่นำการปรับปรุงมีความเหนียวมากขึ้น เวลาฉีกกระดาษจะขาดออกจากกันต้องใช้แรงดึงเพราะเส้นใยเหนียวเกาะติดกันแน่น เนื่องจากกาวลาเท็กซ์ที่ผสมอยู่ในเนื้อ กระดาษจับตัวกับเส้นใยเยื่อกระดาษได้ดีขึ้น การดูดซับน้ำช่วงแรกน้ำหมึกยังไม่ซึมทิ้งระยะเวลาได้นานจึงจะดูดซับน้ำแบบ

กระจายตัว สีและผิวสัมผัสได้กระดาษที่มีลักษณะผิวไม่เรียบ เนื้อกระดาษไม่มีความละเอียดสม่ำเสมอ สีมีความขาวสว่างน้อย สีสนิมสโตสีเหลืองอ่อนหรือออกขาวหม่น

ดังนั้น การปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษเพื่อให้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้นสามารถใช้กาวลาเท็กซ์ผสมเยื่อในขั้นตอนการผลิตกระดาษ ทำให้ได้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากกาวลาเท็กซ์ทำหน้าที่ช่วยให้เยื่อไหมมีขนาดเล็ก และกาวลาเท็กซ์ยังสามารถจับตัวกันอยู่ในเนื้อกระดาษแล้วยังช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยด้วยกันเอง รวมทั้งเส้นใยกับกาวลาเท็กซ์ได้ดีขึ้นจึงส่งผลให้กระดาษที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้น จากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้มุ่งหวังเพื่อนำไปใช้ประโยชน์และพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ในอนาคตต่อไป

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการออกแบบบรรจุภัณฑ์จากงานวิจัย สู่ชุมชน นักศึกษา และกลุ่มผู้สนใจ จำนวน 2 ครั้ง ได้แก่ การถ่ายทอดเทคโนโลยีองค์ความรู้ จำนวน 23 คน มีค่าเฉลี่ย (\bar{x}) = 4.45 และค่า SD = 0.59 ปรากฏผลอยู่ในเกณฑ์ระดับดี และการถ่ายทอดเทคโนโลยีเชิงปฏิบัติการ จำนวน 12 คน มีค่าเฉลี่ย (\bar{x}) = 4.42 มีค่า SD = 0.56 ผลการประเมินความพึงพอใจการถ่ายทอดเทคโนโลยีการออกแบบบรรจุภัณฑ์จากกระดาษเศษเส้นไหมอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมทั้ง 2 ครั้ง ปรากฏความสำคัญจากประเด็นพิจารณาความคิดเห็น โดยประเด็นที่มีระดับความพึงพอใจด้านความรู้ ความเข้าใจ ได้แก่ การเพิ่มพูนมูลค่า ความคิดสร้างสรรค์และการออกแบบ และความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ มีค่าเฉลี่ย (\bar{x}) = 4.91 , 4.65 และ 4.78 ตามลำดับ ปรากฏผลอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก และการถ่ายทอดเทคโนโลยีเชิงปฏิบัติการในการผลิตกระดาษใยไหม ได้แก่ ด้านเอกลักษณ์เฉพาะถิ่นการผสมผสานวัสดุที่ดึงดูดความน่าสนใจ มีค่าเฉลี่ยระดับมาก (\bar{x}) = 4.30 ด้านประโยชน์ใช้สอย มีความสะดวกสบายสามารถนำไปใช้งานได้จริงในระดับมาก (\bar{x}) = 4.49 ด้านความงาม ตัวผลิตภัณฑ์มีความประณีต ลวดลายเป็นธรรมชาติในระดับมาก (\bar{x}) = 4.40 และด้านกรรมวิธีการผลิตการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน กรรมวิธีเหมาะสมกับการใช้งานในระดับมาก (\bar{x}) = 4.35



รูปที่ 9 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการออกแบบบรรจุภัณฑ์จากงานวิจัยสู่ชุมชน

บทสรุป

ศึกษาคุณสมบัติของเศษใยไหมที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไหม จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการลงพื้นที่ศึกษาปัญหาเศษใยไหม ที่เหลือจากกระบวนการผลิตไหมจากกลุ่มผ้าไหมทอมือ ทำให้ผู้วิจัยทราบถึงกระบวนการผลิตผ้าไหมในแต่ละกระบวนการมีเศษไหมเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก และจากการวิเคราะห์ คุณสมบัติทางกายภาพและชนิดของเศษใยไหมทั้ง 3 ชนิด คือ เศษไหมที่เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของรังไหม เศษไหมที่เกิดจากกระบวนการผลิตนับตั้งแต่การสาวไหมจนถึงกระบวนการทอผ้าไหม และเศษไหมที่ได้จากการดึงหรือการสาวออกจากเศษผ้าไหมทอ และนำมาผลิตกระดาษเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อไหม โดยนำเศษไหมมาแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 15 ได้เส้นใยมีความละเอียดและมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับนำไปผลิตเป็นแผ่นกระดาษ การปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษเพื่อให้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้นสามารถใช้กาวลาเท็กซ์ผสมเยื่อในขั้นตอนการผลิตกระดาษ ทำให้ได้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากกาวลาเท็กซ์ทำหน้าที่ช่วยให้เยื่อไหมมีขนาดเล็ก และกาวลาเท็กซ์ยังสามารถจับตัวกันอยู่ในเนื้อกระดาษแล้วยังช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยด้วยกันเอง รวมทั้งเส้นใยกับกาวลาเท็กซ์ได้ดียิ่งขึ้นจึงส่งผลให้กระดาษที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้น การขึ้นรูปอาจทำให้พื้นผิวของกระดาษมีความเรียบเนียน ไม่สม่ำเสมออาจส่งผลต่อค่าความหนาของกระดาษ ควรมีลูกกลิ้งเป็นตัวช่วยในการที่จะทำให้กระดาษมีความเรียบเนียนอย่างสม่ำเสมอ ได้มากขึ้น เศษเส้นไหมที่ผ่านการแปรสภาพเป็น แผ่นเศษเส้นไหมที่มีรูปแบบงานศิลปะนามธรรม (Abstract art) นำภาพเข้ากรอบเป็นงานศิลปะสำหรับประดับตกแต่งอาคารสถานที่ภายในอาคาร โคมไฟใช้เป็นสินค้าของตกแต่งบ้านโดยใช้หลอดเกลียวประหยัดพลังงาน ตึกตึกจากเศษเส้นไหม เศษเส้นไหมใช้เป็นสินค้าของตกแต่งบ้านของขวัญและของที่ระลึก ส่งเสริมเป็นสินค้าผลิตภัณฑ์ชุมชน (OTOP) โดยแสดงข้อบ่งชี้อัตลักษณ์ของชุมชน การแปรสภาพเศษเส้นไหมเป็นแผ่นเศษเส้นไหม พัฒนาให้สามารถควบคุมและกำหนดน้ำหนักขนาดและความหนาของแผ่นเศษเส้นไหมให้ได้มาตรฐานเดียวกัน การแปรสภาพเศษเส้นไหมโดยการผสมสาร (Polymers) ให้มีคุณสมบัติทางโครงสร้างในรูปแบบเคลือบแข็งในรูปแบบอ่อนยืดหยุ่น และในรูปแบบเป็นเส้นขนาดต่าง ๆ ที่มีสีสนของเศษเส้นไหมโดยผ่านกระบวนการผลิตแปรสภาพด้วยเครื่องจักรอุตสาหกรรม ควรมีการทดลองใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นโดยใช้วิธีการเวลาต้ม เพื่อให้ได้เยื่อกระดาษที่มีความละเอียดมากขึ้นเพื่อให้ได้เยื่อที่เหมาะสมนำไปผลิตกระดาษ และเพื่อลดการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อให้น้อยลง ทั้งยังได้ผลผลิตเยื่อมากขึ้น ควรมีทดลองโดยการลดน้ำยาต้มเยื่อกระดาษจาก 30 เท่าของน้ำหนัก เศษไหมแห้งมาเป็น 20-25 เท่าของน้ำหนักเศษไหมแห้ง ควรมีการศึกษาการผลิตเยื่อและกระดาษจากเศษไหมชนิดอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับสมบัติของกระดาษที่มีในงานวิจัยครั้งนี้ และควรมีการทดสอบสมบัติของกระดาษในด้านต่าง ๆ เพิ่มอีก เช่น น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความต้านทานแรงดึง และอื่น ๆ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนากระดาษใยไหมจากเศษไหมเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตผ้าไหม จังหวัดสุรินทร์ เพื่อใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหลายหน่วยงานซึ่งไม่อาจนำมากล่าวได้ทั้งหมด โดยได้รับความอนุเคราะห์จากองค์การบริหารส่วนตำบลตาเบา อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ในการให้ความประสานงานกับชุมชนท้องถิ่น และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาและฝึกอบรมพร้อมกันนี้ ขอขอบพระคุณโรงฝึกงานเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ตำบลนอกเมือง อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ ซึ่งใช้ในทดลองและการเขียนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ธีระชัย สุขสด. (2544). การออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพฯ.
- นพมาส เยี่ยมสวัสดิ์. (2553). ผลของการฉาบภายนอกของสารละลายแป้งต่อสมบัติของผิวกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปณิตา ป้องสีดา. (2557). การศึกษาเพื่อพัฒนาแนวทางการใช้ประโยชน์จากเศษใยไหมเพื่อประยุกต์ใช้ ในการออกแบบผลิตภัณฑ์. ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วุฒินันท์ คงทัด. (2545). กระดาษทำด้วยมือ. เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องงานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการผลิตเยื่อและกระดาษจากปอสา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- วัชรภรณ์ สีเทา และปิยรัตน์ มูลศรี. (2559). การพัฒนากระดาษใยไหมจากเศษไหม. ใน การประชุมสัมมนาวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติเครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 16. 22 กรกฎาคม 2559 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. เพชรบูรณ์. 879-880.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2566). การพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์จากกระดาษเส้นใยพืช. ค้นเมื่อ 16 มกราคม 2566. <https://www.tisi.go.th>.

Received: July 24, 2023; Revised: December 19, 2023; Accepted: May 5, 2024

การประเมินลักษณะประจำพันธุ์ข้าวพื้นเมือง ในเขตอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขงตอนกลาง
Evaluation of morphological traits for indigenous rice varieties in the central
of the Greater Mekong Subregion (GMS)

ภากร พันธุ์พาน^{1*}Phakorn Phunthupan^{1*}¹คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม¹Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom Province

*Corresponding Author Email Address: Phakorn_Phun@hotmail.com

บทคัดย่อ

ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญ โดยเกษตรกรนิยมใช้พันธุ์ข้าวที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์แล้ว ซึ่งส่งผลให้พันธุ์ข้าวพื้นเมืองค่อย ๆ หายไป ซึ่งข้าวพันธุ์พื้นเมืองเป็นแหล่งเชื้อพันธุกรรมที่มีศักยภาพในการปรับปรุงพันธุ์ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมเชื้อพันธุกรรมข้าวพื้นเมืองในเขตอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขงตอนกลางและประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยทำการเก็บรวบรวมเชื้อพันธุกรรมข้าว 7 พันธุ์จาก 4 จังหวัดของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดนครพนม บึงกาฬ มุกดาหาร และหนองคาย และใน 2 จังหวัดของประเทศลาว ได้แก่ จังหวัดคำม่วน และเชียงขวาง โดยมี กข6 (ข้าวเหนียว) และขาวดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า) เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ ทำการบันทึกข้อมูลลักษณะสัณฐานวิทยาทั้งหมด 24 ลักษณะ ใน 3 ระยะ ได้แก่ ระยะแตกกอเต็มที่ ระยะออกรวงร้อยละ 50 และระยะออกรวงแล้ว 20-25 วัน ผลศึกษาพบว่า ข้าวพันธุ์พื้นเมืองทั้ง 7 พันธุ์ มีสัณฐานวิทยาแตกต่างกันอย่างชัดเจนเกือบทุกลักษณะ ยกเว้น ทรงกอและการแตกกระแง ซึ่งมีเพียงรูปแบบเดียว มีข้าว 3 พันธุ์ที่มีลักษณะใบเป็นสีม่วงซึ่งเป็นลักษณะที่บ่งบอกถึงการมีสารแอนโทไซยานิน ได้แก่ ข้าวหอมนิล ข้าวเหนียวดำ และข้าวเหนียวกำไร และมีข้าว 3 พันธุ์ที่มีลักษณะขนที่แผ่นใบซึ่งเป็นลักษณะที่ช่วยลดการ ได้แก่ ข้าวเจ้าแดง ข้าวเหนียวหอม และข้าวเหนียวกำไร และพันธุ์ใก่น้อยมีความยาวของใบธงและจำนวนเมล็ดต่อต้นสูงซึ่งเป็นลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับผลผลิต ข้อมูลสัณฐานวิทยาเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์สำหรับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวในอนาคต

คำสำคัญ: ข้าวพันธุ์พื้นเมือง ลักษณะสัณฐานวิทยา ภูมิภาคลุ่มน้ำโขง

Abstract

Rice is an important crop. Farmers prefer to grow the improved rice resulting, the indigenous rice varieties gradually disappeared. Indigenous rice varieties have the potential to be used as a genetic resource for the breeding program. This study aimed to collect indigenous rice germplasm in the central of the Greater Mekong Subregion (GMS) and evaluate their morphology. The seven indigenous rice varieties such as Jaw Deang, Hom Nin, Niew Hom, Niew Deang, Niew Dam, Niew Kan Rai and Kai Noi were collected from four provinces in Thailand, including Nakhon Phanom, Bueng Kan, Mukdahan and Nong Khai, as well as two provinces of Laos, Khammouane and Xiangkhouang. RD6 (sticky rice) and KDML 105 (non-sticky rice) varieties were used for comparison. Twenty-four morphological traits were recorded at three stages, including the full tillering stage, 50 percent of the embryo stage, and 20-25 days after the heading stage. Almost all studied morphological aspects among the seven indigenous rice varieties exhibited differences, except for the culm habit and attitude of panicle branches, which followed a consistent pattern. Varieties with purple leaves, indicating the presence of anthocyanin, were identified, in Jaw Deang, Hom Nin, Niew Dam and Niew Kam Rai. Additionally, three rice varieties showed leaf blade pubescence on the blade surface, a characteristic known to reduce pest infestation, including Jaw Deang, Niew Hom and Niew Kam Rai. Kai Noi demonstrated a notably high flag leaf length and number of seeds per plant, both of which are correlated with yield. These collected morphological data can potentially contribute to future advancements in rice breeding programs.

Keywords: Indigenous rice varieties, Morphological traits, Greater Mekong Subregion

บทนำ

ข้าว เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและเป็นอาหารหลักของประเทศไทย โดยมีพื้นที่ปลูกประมาณ 61.7 ล้านไร่ และมีผลผลิตเฉลี่ย 445 กิโลกรัมต่อไร่ โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุด (38.1 ล้านไร่) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) พันธุ์ข้าวที่เกษตรกรนิยมปลูกในปัจจุบันเป็นพันธุ์ข้าวที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งมีลักษณะดีเด่นและให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวพื้นเมือง ส่งผลให้มีการปลูกข้าวพื้นเมืองน้อยลง อย่างไรก็ตาม ข้าวพื้นเมืองบางพันธุ์อาจมีลักษณะดีเด่นบางประการที่สามารถใช้เป็นแหล่งเชื้อพันธุกรรมสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ได้ เช่น ความต้านทานต่อโรคและแมลง ทนแล้ง ทนต่อดินเค็ม รวมถึงการสะสมสารสำคัญอื่น ๆ (Wang et al., 2016) ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาและอนุรักษ์ข้าวพื้นเมืองไว้เพื่อใช้เป็นแหล่งเชื้อพันธุกรรมในโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์ในอนาคต

ข้าวพื้นเมืองจัดเป็นข้าวที่กระจายอยู่ในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะในกลุ่มชนเผ่าต่าง ๆ ซึ่งในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างทางด้านวัฒนธรรมและวิถีชีวิตรวมถึงการปลูกและการบริโภคข้าวที่ต่างกัน (กรมการข้าว, 2558) ในเขตอนุภูมิภาคน้ำโขงตอนกลาง จัดได้ว่ามีชนเผ่าอยู่เป็นจำนวนมาก (ไพฑูริย์, 2559) ทำให้มีความหลากหลายของเชื้อพันธุกรรมของข้าวพื้นเมืองที่สืบต่อกันมาในแต่ละชนเผ่ามาเป็นเวลานาน ซึ่งมีรายงานว่า เชื้อพันธุกรรมข้าวมีความแปรปรวนในลักษณะทางสัณฐานวิทยาสูง (ชยุต และคณะ, 2563) โดยสัณฐานวิทยาบางอย่าง มีความสัมพันธ์กับลักษณะดีเด่นบางประการ เช่น พันธุ์ข้าวที่มีใบ และเมล็ดสีม่วงจะมีสารแอนโทไซยานินสูง (Anthocyanin) ที่ซึ่งมีคุณสมบัติในการต่อต้าน

อนุมูลอิสระ เป็นต้น (วชิระ และปิยะพร, 2560) อย่างไรก็ตาม ข้าวพื้นเมืองบางพันธุ์ยังไม่มีข้อมูลทางสัณฐานวิทยาที่สามารถจำแนกประเภทของข้าวได้ชัดเจน (Mulumba et al., 2012) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พันธุ์ข้าวพื้นเมืองในเขตอนุภูมิภาคลุ่มแม่น้ำโขงตอนกลาง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายของชนเผ่าพื้นเมืองสูงนั้น ยังขาดการศึกษาและรวบรวมข้อมูลสัณฐานวิทยาของพันธุ์ข้าวในพื้นที่ดังกล่าว ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและบันทึกลักษณะทางสัณฐานวิทยาของข้าวพื้นเมืองในเขตอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขงตอนกลางของข้าวพื้นเมืองแต่ละพันธุ์ให้มีความชัดเจน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับเป็นแหล่งเชื้อพันธุ์กรรมในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวและการศึกษาด้านอื่น ๆ ในอนาคตต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. พันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่ใช้ในการศึกษาและแหล่งพันธุ์

ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างพันธุ์ข้าวพื้นเมืองตามชนเผ่าและท้องถิ่นที่มีการปลูกเป็นจำนวนมาก โดยมีทั้งหมด 7 พันธุ์ใน 4 จังหวัดของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดนครพนม บึงกาฬ มุกดาหาร และหนองคาย และใน 2 จังหวัดของประเทศลาว ได้แก่ จังหวัดคำม่วน และเชียงขวาง (ตารางที่ 1) และพันธุ์ปลูกเปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ได้แก่ กข6 (RD6) ซึ่งเป็นข้าวเหนียว และข้าวดอกมะลิ 105 (KDML 105) ซึ่งเป็นข้าวเจ้า

ตารางที่ 1 ข้าวพันธุ์พื้นเมืองและแหล่งรวบรวมพันธุ์

พันธุ์	แหล่งรวบรวมพันธุ์
1) เจ้าแดง (Jaw Deang)	นครพนม ประเทศไทย
2) หอมนิล (Hom Nin)	นครพนม ประเทศไทย
3) เหนียวหอม (Niew Hom)	บึงกาฬ ประเทศไทย
4) เหนียวแดง (Niew Deang)	มุกดาหาร ประเทศไทย
5) เหนียวดำ (Niew Dam)	หนองคาย ประเทศไทย
6) เหนียวกำไร (Niew Kam Rai)	คำม่วน ประเทศลาว
7) ไก่น้อย (Kai Noi)	เชียงขวาง ประเทศลาว

2. การปลูกปฏิบัติดูแลรักษา

ทำการปลูกข้าวที่คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม ในเดือน สิงหาคม 2563 โดยนำเมล็ดพันธุ์ข้าว 7 พันธุ์ (ตารางที่ 1) มาแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และย้ายลงถาดหลุม ขนาด 104 หลุม พร้อมติดป้ายระบุพันธุ์ ทำการเตรียมดินปลูกโดยผสมแกลบเผาและดินร่วน อัตราส่วน 1:1 จากนั้นกรอกดินใส่ลงในกระถางปลูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร โดยใส่กระถางละ 10 กิโลกรัม เมื่อต้นกล้าอายุ 25 วัน ทำการย้ายต้นกล้าที่เพาะในถาดหลุมไปปลูกลงในกระถางปลูกที่เตรียมดินไว้ แล้วเติมน้ำลงในกระถางปลูกให้ระดับน้ำสูงกว่าดินปลูก 5 เซนติเมตร ปลูกข้าวพันธุ์ละ 3 กระถาง กระถางละ 2 ต้น เมื่อต้นข้าวอายุ 15 วัน ทำการถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อกระถาง ทำการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อข้าวมีอายุ 30 วันหลังปลูก และใส่ครั้งที่ 2 เมื่อข้าวอายุ 60 วันหลังปลูก โดยใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่

3. การประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ประเมินลักษณะประจำพันธุ์ข้าวพื้นเมืองพันธุ์ละ 3 ต้น ตามวิธีการของ IBPGR-IRRI Rice Advisory Committee (1980) และ อรอนงค์ (2550) โดยแบ่งการประเมินออกเป็น 3 ระยะ รวมทั้งหมด 25 ลักษณะ ดังนี้

- 1) ระยะแตกกอเต็มที่ (Tillering stage) (อายุ 60 วันหลังปลูก) จำนวน 9 ลักษณะ (ตารางที่ 2)
 - 2) ระยะออกรวง 50 เปอร์เซ็นต์ (50 Percent maturity stage) (อายุ 90-100 วันหลังปลูก) จำนวน 6 ลักษณะ (ตารางที่ 3)
 - 3) ระยะออกรวงแล้ว 20-25 วัน (20-25 days after heading stage) (อายุ 110-120 วันหลังปลูก) จำนวน 9 ลักษณะ (ตารางที่ 4)
- ทำการจัดกลุ่มข้อมูลสัณฐานวิทยา (Clustering) ของทุกลักษณะในแต่ละระยะโดยใช้โปรแกรม JMP Pro 16 (SAS Institute Inc, 2021)

ตารางที่ 2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของข้าวระยะแตกกอเต็มที่ (Tillering stage) (อายุ 60 วันหลังปลูก)

ลักษณะ	การบันทึก	รายละเอียดการบันทึก
1. ขนบนแผ่นใบ (Leaf blade pubescence on blade surface)	1=ไม่มีขน; 2=มีบ้าง; 3=มีขน; x=อื่น ๆ	ใช้มือลูบลงบนแผ่นใบ สุ่มเก็บ 4 ตัวอย่าง
2. สีของแผ่นใบ (Leaf blade color)	1=เขียวอ่อน; 2=เขียว; 3=เขียวเข้ม; 4=ม่วง; 5=ขอบใบสีม่วง; 6=ม่วงผสม เขียว; x=อื่น ๆ	ให้คะแนนสีใบข้าวโดยภาพรวมทั้งแปลง
3. สีของกาบใบ (Basal leaf sheath color)	1=เขียว; 2=เขียวเส้นม่วง; 3=ม่วงอ่อน; 4=ม่วง x=อื่น ๆ	ให้คะแนนสีกาบใบข้าวโดยภาพรวมทั้งแปลง
4. สีของลิ้นใบ (Ligule color)	1=ขาว; 2=เส้นม่วง; 3=ม่วง; x=อื่น ๆ	ให้คะแนนสีลิ้นใบข้าวโดยภาพรวมทั้งแปลง
5. รูปร่างลิ้นใบ (Ligule shape)	1=แหลม; 2=มีสองยอด; 3=ไม่แหลม; x=มีหลายแบบปน	ให้คะแนนรูปร่างลิ้นใบข้าวโดยภาพรวมทั้งแปลง
6. ความยาวลิ้นใบ (Ligule length)	บันทึกเป็น มม.	สุ่มวัดจากลำต้นหลักของกอข้าว 4 ตัวอย่าง
7. สีของหูใบ (Auricle color)	1=เขียวอ่อน; 2=เส้นม่วง; 3=ม่วง; x=อื่น ๆ	ให้คะแนนสีหูใบข้าวโดยภาพรวมทั้งแปลง
8. สีของข้อต่อใบ (Collar color)	1=เขียวอ่อน; 2=เขียว; 3=ม่วง; x=อื่น ๆ	ให้คะแนนสีข้อต่อใบข้าวโดยภาพรวมทั้งแปลง
9. มุมยอดใบ (Blade attitude)	1=ตั้งตรง; 5=นอน; 9=ตก; x=อื่น ๆ	ให้คะแนนตามลักษณะโดยภาพรวมทั้งแปลง

ที่มา: IBPGR-IRRI Rice Advisory Committee (1980) และ อรอนงค์ (2550)

ตารางที่ 3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของข้าวระยะออกรวง 50 เปอร์เซ็นต์ (50 percent maturity stage) (อายุ 90-100 วัน หลังปลูก)

ลักษณะ	การบันทึก	รายละเอียดการบันทึก
1. อายุออกดอก 50 % (50% day to flowering)	นับจำนวนวัน	นับจำนวนวันหลังปลูกถึงวันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์
2. สีของปล้อง (Internode color)	1=เขียว; 2=เหลืองอ่อน; 3=เขียวมีเส้น ม่วง; 4=ม่วง; x=อื่น ๆ	ให้คะแนนสีปล้องโดยภาพรวมทั้งแปลง
3. สีของยอดเกสรตัวเมีย (Stigma color)	1=ขาว; 2=เขียวอ่อน; 3=เหลือง; 4=ม่วงอ่อน; 5=ม่วง	ให้คะแนนสียอดเกสรตัวเมียโดยภาพรวมทั้งแปลง
4. ของยอดดอก (Apiculi color)	1=ขาว; 2=ฟาง; 3=น้ำตาลหรือเหลือง เข้ม; 4=แดง; 5=ชมพู; 6=ม่วง; 7=ดำ; x=สีอื่น ๆ	ให้คะแนนสียอดดอกโดยภาพรวมทั้งแปลง
5. สีของกลีบรองดอก (Sterile lemmas color)	1=ฟาง; 2=เหลือง; 3=แดง; 4=ม่วงดำ; 5=น้ำตาล; x=สีอื่น ๆ	ให้คะแนนสีกลีบรองดอกโดยภาพรวมทั้งแปลง
6. ทรงกอ (Culm habit)	1=กอดัง; 3=กอแยะ; 5=กอแผ่; 7= กอแผ่มาก; 9=แผ่เป็นแนวนอน	ให้คะแนนตามลักษณะโดยภาพรวมทั้งแปลง

ที่มา: IBPGR-IRRI Rice Advisory Committee (1980) และ อรอนงค์ (2550)

ตารางที่ 4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของข้าวระยะออกรวง 20-25 วัน (20-25 days after heading stage) (อายุ 110-120 วัน หลังปลูก)

ลักษณะ	การบันทึก	รายละเอียดการบันทึก
1. ความสูงของต้น (Plant height)	บันทึกเป็น ซม.	วัดจากผิวดินถึงจุดสูงสุดของลำต้นหลัก สุ่มเก็บ 4 ต้นต่อกอ
2. ความยาวของแผ่นใบ (Flag leaf length)	บันทึกเป็น ซม.	วัดจากข้อต่อใบถึงปลายใบของใบใต้ใบธงใบแรก ของลำต้นหลัก สุ่มเก็บ 4 ใบ (1 ใบต่อ 1 ต้น)
3. ความกว้างของแผ่นใบ (Flag leaf width)	บันทึกเป็น มม.	วัดบริเวณตรงกลางใบของใบใต้ใบธงใบแรกของลำ ต้นหลัก สุ่มเก็บ 4 ใบ (1 ใบต่อ 1 ต้น)
4. จำนวนรวงต่อกอ (Panicle number)	จำนวนรวง	สุมนับจำนวนรวงต่อกอแปลงย่อยละ 4 รวง
5. จำนวนเมล็ดต่อรวง (Grains per panicle)	จำนวนเมล็ด	สุมนับจำนวนเมล็ดต่อรวง แปลงย่อยละ 4 รวง
6. ความแข็งของลำต้น (Culm strength)	1=แข็งมาก (ทุกต้นตั้งตรง); 3=ค่อนข้างแข็ง (ส่วนมากเอน); 5=แข็งปานกลาง (มีล้มบ้าง); 7=ล้ม (ส่วนมากล้ม); 9=กระจาย (ล้มทุกกอ)	ให้คะแนนตามลักษณะโดยภาพรวมทั้งแปลง
7. ลักษณะใบธง	1=ตั้งตรง; 3=ปานกลาง;	ให้คะแนนตามลักษณะโดยภาพรวมทั้งแปลง

ลักษณะ	การบันทึก	รายละเอียดการบันทึก
(Flag leaf attitude)	5=แนวนอน; 7=หักลง; x=มีหลายแบบปนกัน	
8. ก้านรวงตั้งรวง (Panicle base attitude)	1=ตั้งตรง; 2=โค้ง	ให้คะแนนตามลักษณะโดยภาพรวมทั้งแปลง
9. การแตกกระแง้ (Attitude of panicle branches)	0=ไม่แตก; 1=ปานกลาง; 2=ระแง้ถี่; 3=เมล็ดเป็นกลุ่ม	ให้คะแนนตามลักษณะโดยภาพรวมทั้งแปลง

ที่มา: IBPGR-IRRI Rice Advisory Committee (1980) และ อรอนงค์ (2550)

ผลการวิจัย

จากการประเมินลักษณะประจำพันธุ์ข้าวพื้นเมือง 7 พันธุ์และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ โดยศึกษาลักษณะประจำพันธุ์ข้าวจำนวน 24 ลักษณะ ตั้งแต่ระยะแตกกอจนถึงระยะออกรวง แสดงให้เห็นว่าแต่ละพันธุ์มีลักษณะที่แตกต่าง ซึ่งสามารถจำแนกความแตกต่างของข้าวพันธุ์พื้นเมืองแต่ละพันธุ์ได้อย่างชัดเจน ดังนี้

1. ลักษณะสัณฐานวิทยาของข้าวระยะแตกกอเต็ม (อายุ 60 วันหลังปลูก) บันทึกจำนวน 9 ลักษณะ ได้แก่

- 1) ลักษณะขนบนแผ่นใบ มี 3 ระดับ คือ ไม่มีขน จำนวน 3 พันธุ์ มีขนบ้าง จำนวน 2 พันธุ์ และมีขน จำนวน 4 พันธุ์
- 2) ลักษณะสีของแผ่นใบ มี 5 ระดับ (รูปที่ 1 และตารางที่ 5) คือ สีเขียว จำนวน 4 พันธุ์ สีม่วงผสมเขียว จำนวน 1 พันธุ์ ขอบใบสีม่วง จำนวน 1 พันธุ์ สีเขียวอ่อน 1 พันธุ์ และสีม่วงจำนวน 2 พันธุ์ 3) ลักษณะสีของกาบใบ (รูปที่ 1) มี 2 ระดับ คือ สีเขียว จำนวน 6 พันธุ์ และสีม่วงจำนวน 3 พันธุ์ 4) ลักษณะสีของลิ้นใบ (รูปที่ 1) มี 3 ระดับ คือ สีขาว จำนวน 5 พันธุ์ สีม่วง จำนวน 3 พันธุ์ และสีเส้นม่วง จำนวน 1 พันธุ์ 5) ลักษณะรูปร่างลิ้นใบ (รูปที่ 1) มี 2 ระดับ คือ แหลม จำนวน 3 พันธุ์ และมีสองยอด จำนวน 6 พันธุ์ 6) ลักษณะความยาวลิ้นใบมีค่าระหว่าง 8.8 (เหนียวดำ) 16.5 (เหนียวแดง) มิลลิเมตร 7) ลักษณะสีหูใบ มี 3 ลักษณะ คือ สีเขียวอ่อน จำนวน 5 พันธุ์ เส้นม่วง จำนวน 2 พันธุ์ และสีม่วง จำนวน 2 พันธุ์ ตามลำดับ 8) ลักษณะสีของข้อต่อใบมี 2 ลักษณะ คือ เขียวอ่อน จำนวน 7 พันธุ์ และสีม่วง จำนวน 2 พันธุ์ และ 9) ลักษณะมุมยอดแผ่นใบ มี 2 ลักษณะ คือ ตั้งตรง จำนวน 8 พันธุ์ และนอน จำนวน 1 พันธุ์ (ตารางที่ 5)

สำหรับการจัดกลุ่มชุดข้อมูลลักษณะสัณฐานวิทยาของข้าวระยะแตกกอเต็มที่สามารถจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวเป็น 6 กลุ่ม ซึ่งข้าวแต่ละพันธุ์ มีลักษณะสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยมี 2 กลุ่ม ที่สามารถจัดกลุ่มด้วยกันได้ ได้แก่ กลุ่มที่ 5 (พันธุ์เหนียวหอม และขาวดอกมะลิ 105) และกลุ่มที่ 6 (พันธุ์เหนียวแดง และ กข6) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม มีลักษณะสีของกาบใบ (เขียว) สีของหูใบ (เขียวอ่อน) สีของข้อต่อใบ (เขียวอ่อน) และมุมใบ (ตั้งตรง) เหมือนกัน แต่มีความยาวลิ้นใบที่ต่างกัน โดยกลุ่มที่ 6 มีความยาวลิ้นใบมากกว่า (11.7-12.7 มิลลิเมตร) กลุ่มที่ 5 (15.6-16.5 มิลลิเมตร) และมี 4 กลุ่ม ที่มีเพียงพันธุ์เดียว ได้แก่ กลุ่มที่ 1 (เจ้าแดง), 2 (เหนียวดำ), 3 (หอมนิล) และ 4 (เหนียวกำไร) โดยกลุ่มที่ 1 มีลักษณะสีของแผ่นใบ (ม่วงผสมเขียว) และมุมยอดใบ (นอน) แตกต่างจากกลุ่มอื่น ๆ กลุ่ม 2 มีความแตกต่างในลักษณะความยาวลิ้นใบที่สั้นมากกว่ากลุ่มอื่น (8.8 มิลลิเมตร) สำหรับกลุ่มที่ 3 มีสีของแผ่นใบที่มีสีม่วงที่ขอบใบเพียงพันธุ์เดียว และกลุ่มที่ 4 มีลักษณะส่วนใหญ่ที่คล้ายกับกลุ่มที่ 3 แต่มีลักษณะขนของแผ่นใบ สีของแผ่นใบ และความยาวลิ้นใบที่แตกต่างกัน (รูปที่ 2)



รูปที่ 1 ลักษณะสีของแผ่นใบข้าวพื้นเมือง 9 พันธุ์ (ก) ได้แก่ สีเขียว พันธุ์ข้าว 1) เจ้าแดง 3) เหนียวหอม 4) เหนียวแดง 7) ไก่น้อย 8) กข6 และ 9) ชาวดอกมะลิ 105; สีม่วงผสมเขียว พันธุ์ข้าว 5) เหนียวดำ; สีม่วง พันธุ์ข้าว 2) หอมนิล และ 6) เหนียวกำไร์

ลักษณะสีกาบใบของข้าว 9 พันธุ์ (ข) ได้แก่ สีเขียว พันธุ์ข้าว 1) เจ้าแดง 3) เหนียวหอม 4) เหนียวแดง 7) ไก่น้อย 8) กข6 และ 9) ชาวดอกมะลิ 105; สีม่วง พันธุ์ข้าว 2) หอมนิล 5) เหนียวดำ และ 6) เหนียวกำไร์

ลักษณะสีลิ้นใบข้าว 9 พันธุ์ (ค) ได้แก่ สีขาว ข้าวพันธุ์ 1) เจ้าแดง 3) เหนียวหอม 4) เหนียวแดง 8) กข6 และ 9) ชาวดอกมะลิ 105; สีม่วง ข้าวพันธุ์ 2) หอมนิล 5) เหนียวดำ และ 6) เหนียวกำไร์; เส้นม่วง ข้าวพันธุ์ 7) ไก่น้อย

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน | ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2567

ลักษณะรูปร่างลำใบ 9 พันธุ์ (ค) ได้แก่ มีสองยอด ข้าวพันธุ์ 1) เจ้าแดง 2) หอมนิล 4) เหนียวแดง 6) เหนียวกำไ้ 7) ไก่น้อย และ 9) ขาวดอกมะลิ 105; แหลม ข้าวพันธุ์ 3) เหนียวหอม 5) เหนียวดำ และ 8) กข6

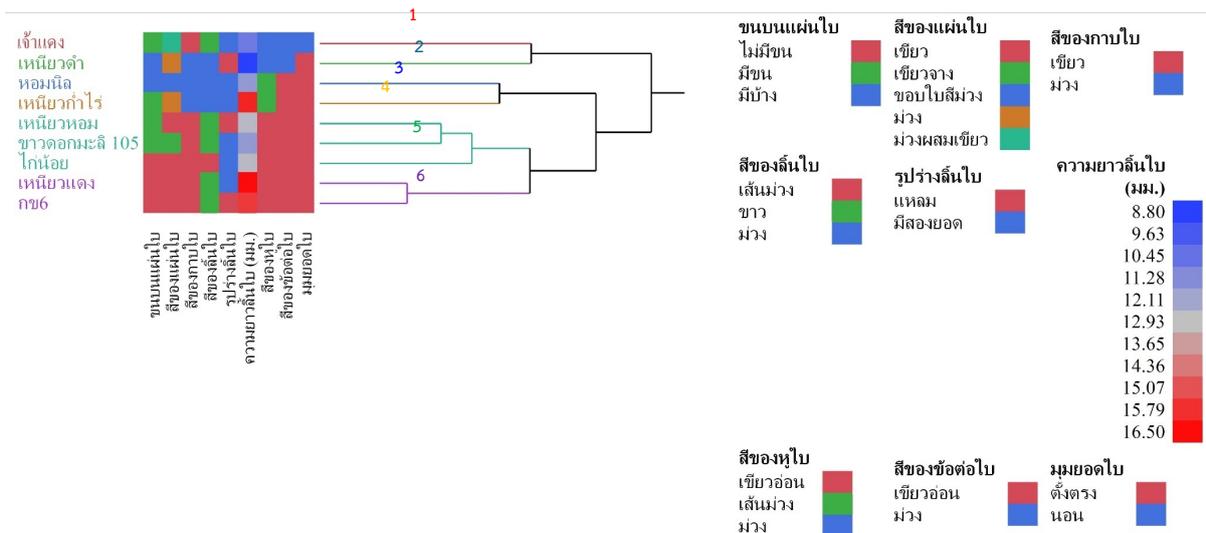
ตารางที่ 5 ลักษณะสัณฐานวิทยาของข้าวระยะแตกกอเต็มที่ (อายุ 60 วันหลังปลูก)

พันธุ์ที่	พันธุ์	ขนบนแผ่นใบ	สีของแผ่นใบ	สีของกาบใบ	สีของลำใบ	รูปร่างลำใบ	ความยาวลำใบ (มม.)	สีของหูใบ	สีของข้อต่อใบ	มุ่มยอดใบ
1	เจ้าแดง	มีขน	ม่วงผสมเขียว	เขียว	ขาว	มีสองยอด	10.7±1.9	ม่วง	ม่วง	นอน
2	หอมนิล	มีบ้าง	ม่วงที่ริม	เขียว	ม่วง	มีสองยอด	11.7±2.0	เส้นม่วง	เขียวอ่อน	ตั้งตรง
3	เหนียวหอม	มีขน	เขียว	เขียว	ขาว	แหลม	12.7±2.2	เขียวอ่อน	เขียวอ่อน	ตั้งตรง
4	เหนียวแดง	ไม่มีขน	เขียว	เขียว	ขาว	มีสองยอด	16.5±2.9	เขียวอ่อน	เขียวอ่อน	ตั้งตรง
5	เหนียวดำ	มีบ้าง	ม่วง	ม่วง	ม่วง	แหลม	8.8±1.5	ม่วง	ม่วง	ตั้งตรง
6	เหนียวกำไ้	มีขน	ม่วง	ม่วง	ม่วง	มีสองยอด	16.0±1.0	เส้นม่วง	เขียวอ่อน	ตั้งตรง
7	ไก่น้อย	ไม่มีขน	เขียว	เขียว	เส้นม่วง	มีสองยอด	12.7±2.2	เขียวอ่อน	เขียวอ่อน	ตั้งตรง
8	กข6	ไม่มีขน	เขียว	เขียว	ขาว	แหลม	15.6±2.7	เขียวอ่อน	เขียวอ่อน	ตั้งตรง
9	ขาวดอกมะลิ 105	มีขน	เขียวอ่อน	เขียว	ขาว	มีสองยอด	11.7±2.0	เขียวอ่อน	เขียวอ่อน	ตั้งตรง

หมายเหตุ: กข6 คือพันธุ์ข้าวเหนียวที่ใช้เปรียบเทียบ

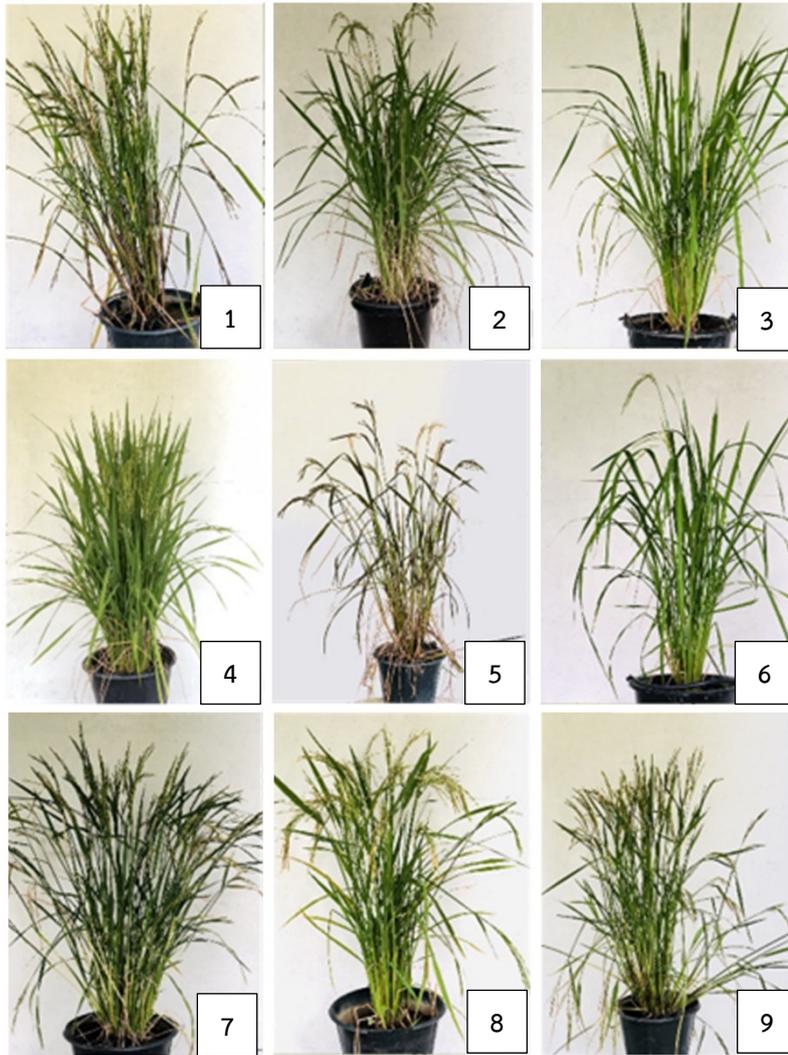
ขาวดอกมะลิ 105 คือพันธุ์ข้าวเจ้าที่ใช้เปรียบเทียบ

ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD)

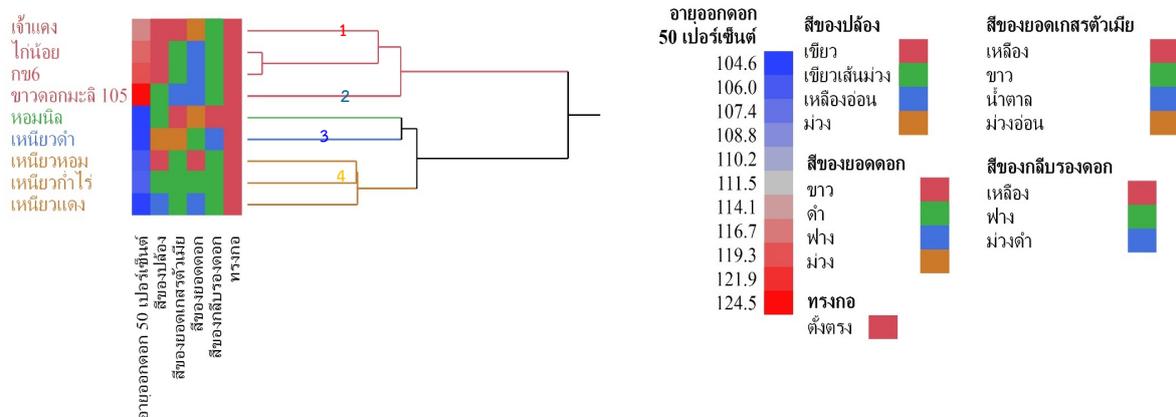


รูปที่ 2 เดนโดแกรม (Dendrogram) ของลักษณะทางสัณฐานวิทยาของข้าว 9 พันธุ์ ทั้งหมด 9 ลักษณะ ที่ระยะแตกกอเต็มที่

2. ลักษณะสัณฐานวิทยาของข้าวระยะออกทรง 50 เปอร์เซ็นต์ (อายุ 90-100 วันหลังปลูก) จากผลการสังเกตและบันทึกลักษณะทางสัณฐานวิทยา 6 ลักษณะ พบว่า 1) อายุการออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าระหว่าง 104.6 (หอมนิล) 124.5 (ข้าวดอกมะลิ 105) วันหลังปลูก 2) สีของปล้อง แสดงออกได้ 4 ลักษณะ คือ เขียว จำนวน 4 พันธุ์ สีเหลืองอ่อน จำนวน 1 พันธุ์ เขียวเส้นม่วง จำนวน 3 พันธุ์ และสีม่วง จำนวน 1 พันธุ์ 3) สีของเกสรตัวเมีย แสดงออกได้ 3 ลักษณะ คือ สีขาว จำนวน 5 พันธุ์ สีเหลือง จำนวน 2 พันธุ์ สีน้ำตาล จำนวน 1 พันธุ์ และสีม่วงอ่อน จำนวน 1 พันธุ์ 4) สีของยอดดอก แสดงออกได้ 4 ลักษณะ คือ สีขาว จำนวน 1 พันธุ์ สีฟ้า จำนวน 4 พันธุ์ สีม่วง จำนวน 2 พันธุ์ และสีดำ จำนวน 2 พันธุ์ 5) สีของกลีบรองดอก แสดงออกได้ 3 ลักษณะ คือ สีฟ้า จำนวน 7 พันธุ์ สีเหลือง จำนวน 1 พันธุ์ และสีม่วงดำ จำนวน 1 พันธุ์ และ 6) ลักษณะของทรงกอของข้าวพื้นเมือง มีการแตกกอรูปแบบเดียวกันทุกพันธุ์ คือ มีการแตกกอแบบตั้งตรง (รูปที่ 3 และตารางที่ 6) ลักษณะสัณฐานวิทยาทั้ง 6 ลักษณะสามารถจัดกลุ่มของข้าว 9 พันธุ์ ได้ทั้งหมด 4 กลุ่ม (รูปที่ 4) โดยพันธุ์ที่สามารถจัดกลุ่มได้คือกลุ่มที่ 1 ประกอบไปด้วยพันธุ์เจ้าแดง ไก่น้อย กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 โดยมีอายุออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ นาน (115-124 วันหลังปลูก) มีสีของปล้องเป็นสีเขียว ยกเว้น พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีสีเขียวเส้นม่วง มีสีของยอดดอกเป็นสีฟ้า ยกเว้น เจ้าแดงที่เป็นสีม่วง และมีลักษณะสีของกลีบรองดอกเป็นสีฟ้าทั้ง 4 พันธุ์ กลุ่มที่ 4 ประกอบไปด้วย พันธุ์เหนียวหอม เหนียงแดง และเหนียวกำไร โดยมีอายุออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ สั้น (104-106 วันหลังปลูก) มีสีของยอดเกสรตัวเมีย (ขาว) และสีของกลีบรองดอกเป็นสี (ฟ้า) เหมือนกันทั้ง 3 พันธุ์ และกลุ่มที่ 2 และ 3 มีเพียงกลุ่มละ 1 พันธุ์ คือ พันธุ์หอมนิล และเหนียวดำ โดยมีลักษณะสีของปล้อง สีของยอดเกสรตัวเมีย สีของยอดดอก และสีของกลีบดอกแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ลักษณะทรงกอของทั้ง 9 พันธุ์ มีลักษณะตั้งตรงเหมือนกันทั้งหมดทุกพันธุ์



รูปที่ 3 ทรงกอของข้าว 9 พันธุ์ มีลักษณะตั้งตรงทุกพันธุ์ ได้แก่ 1) เจ้าแดง 2) หอมนิล 3) เหนียวหอม 4) เหนียวแดง 5) เหนียวดำ 6) เหนียวกำไร 7) ไก่น้อย 8) กข6 และ 9) ขาวดอกมะลิ 105



รูปที่ 4 เดนโดแกรม (dendrogram) ของลักษณะทางสัณฐานวิทยาของข้าว 9 พันธุ์ ทั้งหมด 6 ลักษณะ ที่ระยะออกรวง 50 เปอร์เซ็นต์

3. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพืชระยะออกทรง (อายุ 110-120 วันหลังปลูก) จำนวน 9 ลักษณะ มีดังนี้ 1) ความสูงของต้น มีค่าระหว่าง 66.8 (หอมนิล) - 107.6 (เหนียวกำไร) เซนติเมตร 2) ลักษณะความยาวของแผ่นใบ มีค่าระหว่าง 23.0 (เจ้าแดง) - 54.7 (ไก่อ้อย) เซนติเมตร 3) ความกว้างของแผ่นใบ อยู่ระหว่าง 10.0 (เจ้าแดง) - 15.9 (ไก่อ้อย) มิลลิเมตร 4) จำนวนรวงต่อกอ มีค่าระหว่าง 10.0 (เหนียวแดง) - 79.7 (เหนียวกำไร) รวงต่อกอ 5) จำนวนเมล็ดต่อรวง มีค่าระหว่าง 98.7 (เหนียวกำไร) - 298.3 (ไก่อ้อย) เมล็ด 6) ลักษณะความแข็งของลำต้น มี 5 ระดับ คือ แข็งมาก จำนวน 1 พันธุ์ ค่อนข้างแข็ง จำนวน 1 พันธุ์ และแข็งปานกลาง จำนวน 7 พันธุ์ ตามลำดับ 7) ลักษณะใบธง มี 5 รูปแบบ คือ ตั้งตรงจำนวน 4 พันธุ์ ปานกลางจำนวน 4 พันธุ์ และแนวนอน 1 พันธุ์ ตามลำดับ 8) ลักษณะก้านรวงทั้งรวง มี 2 รูปแบบ คือ ตั้งตรง จำนวน 8 พันธุ์ และโค้งจำนวน 1 พันธุ์ ตามลำดับ และ 9) ลักษณะการแตกกระแง มีรูปแบบเดียวเหมือนกันทุกพันธุ์ คือ แตกกระแงปานกลาง (ตารางที่ 7)

การจัดกลุ่มข้อมูลลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ระยะออกทรง สามารถจำแนกได้ทั้งหมด 6 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ประกอบไปด้วยพันธุ์เจ้าแดงและเหนียวดำ โดยมีลักษณะความแข็งของลำต้น (แข็งปานกลาง) ลักษณะใบธง (ปานกลาง) และก้านรวงทั้งรวง (ตั้งตรง) ที่เหมือนกัน กลุ่มที่ 4 ประกอบไปด้วย พันธุ์หอมนิลและเหนียวแดง ซึ่งมีลักษณะความแข็งของลำต้น (แข็งปานกลาง) ลักษณะใบธง (ตั้งตรง) ก้านรวงทั้งรวง (ตั้งตรง) ที่เหมือนกัน และกลุ่มที่ 5 ประกอบไปด้วยพันธุ์เหนียวหอมและขาวดอกมะลิ 105 โดยมีลักษณะความกว้างของแผ่นใบที่ใกล้เคียงกัน และมีลักษณะความแข็งของลำต้น (แข็งปานกลาง) และก้านรวงทั้งรวง (ตั้งตรง) ที่เหมือนกัน และกลุ่มที่ 2, 3 และ 6 มีเพียงพันธุ์เดียว คือ พันธุ์กข6 เหนียวกำไร และไก่อ้อย โดยกลุ่มที่ 2 มีลักษณะใบธงเป็นแบบแนวนอนซึ่งมีความแตกต่างจากพันธุ์อื่น กลุ่มที่ 3 มีลักษณะความแข็งของลำต้นที่แข็งแรง และกลุ่มที่ 6 มีความยาวของแผ่นใบ (54.7 เซนติเมตร) ความกว้างของแผ่นใบ (เซนติเมตร) และจำนวนเมล็ดต่อรวง (298.3 เมล็ดต่อรวง) ที่สูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ (รูปที่ 5)

ตารางที่ 6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของข้าวระยะออกทรง 50 เปอร์เซ็นต์ (อายุ 90-100 วันหลังปลูก)

พันธุ์ที่	พันธุ์	อายุออกดอก		สีของยอด เกสรตัวเมีย	สีของยอด ดอก	สีของกลีบ รองดอก	ทรงกอ
		50 เปอร์เซ็นต์ (วัน)	สีของปล้อง				
1	เจ้าแดง	115.6±5.5	เขียว	เหลือง	ม่วง	ฟาง	ตั้งตรง
2	หอมนิล	104.6±3.8	เขียวเส้นม่วง	เหลือง	ม่วง	เหลือง	ตั้งตรง
3	เหนียวหอม	106.0±2.1	เขียว	ขาว	ขาว	ฟาง	ตั้งตรง
4	เหนียวแดง	104.7±3.1	เหลืองอ่อน	ขาว	ฟาง	ฟาง	ตั้งตรง
5	เหนียวดำ	104.7±5.0	ม่วง	ม่วงอ่อน	ดำ	ม่วงดำ	ตั้งตรง
6	เหนียวกำไร	106.3±2.6	เขียวเส้นม่วง	ขาว	ดำ	ฟาง	ตั้งตรง
7	ไก่อ้อย	118.0±4.4	เขียว	ขาว	ฟาง	ฟาง	ตั้งตรง
8	กข6	119.5±2.2	เขียว	ขาว	ฟาง	ฟาง	ตั้งตรง
9	ขาวดอกมะลิ 105	124.5±4.8	เขียวเส้นม่วง	น้ำตาล	ฟาง	ฟาง	ตั้งตรง

หมายเหตุ: กข6 คือพันธุ์ข้าวเหนียวที่ใช้เปรียบเทียบ

ขาวดอกมะลิ 105 คือพันธุ์ข้าวเจ้าที่ใช้เปรียบเทียบ

ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD)

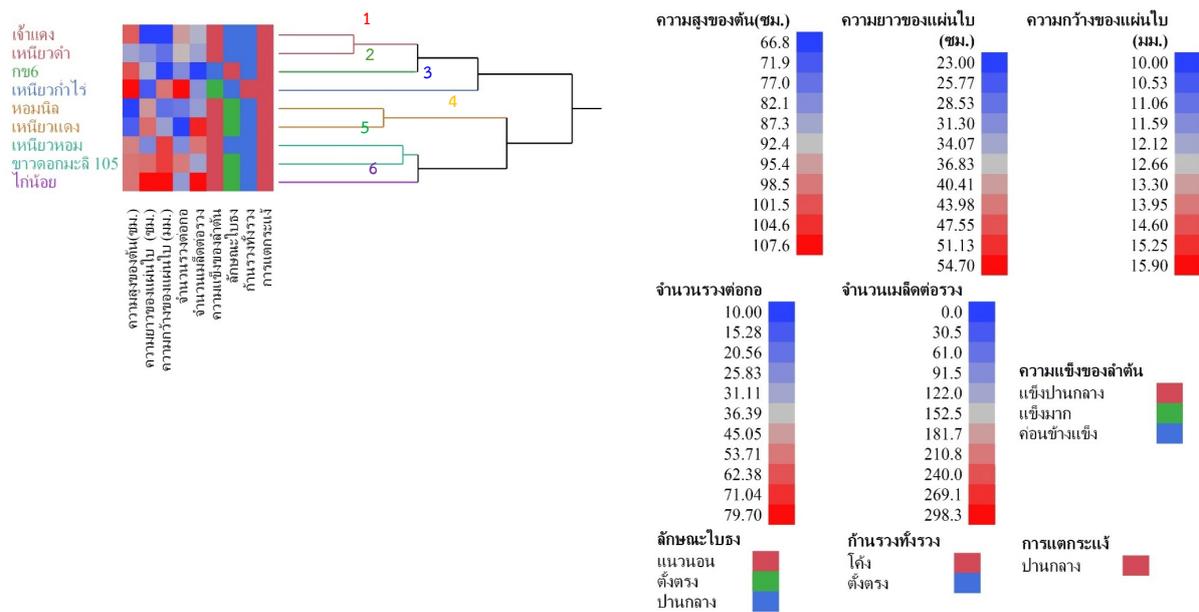
ตารางที่ 7 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาระยะออกทรงแล้ว 20-25 วัน (อายุ110-120 วันหลังปลูก)

พันธุ์ ที่	พันธุ์	ความสูงของต้น (ซม.)	ความยาว ของแผ่นใบ (ซม.)	ความกว้าง ของแผ่นใบ (มม.)	จำนวนรวง ต่อกอ	จำนวนเมล็ดต่อ รวง	ความแข็งของ ลำต้น	ลักษณะใบธง	ก้านรวงทั้งรวง	การแตกกระแฉ่
1	เจ้าแดง	100.7±3.8	23.0±1.0	10.0±0.4	45.0±1.7	137.5±5.2	แข็งปานกลาง	ปานกลาง	ตั้งตรง	ปานกลาง
2	หอมนิล	66.8±2.5	41.0±1.7	11.0±0.4	22.0±1.0	111.6±4.2	แข็งปานกลาง	ตั้งตรง	ตั้งตรง	ปานกลาง
3	เหนียวหอม	97.7±3.7	30.7±1.2	15.0±0.6	25.7±1.2	212.3±8.1	แข็งปานกลาง	ปานกลาง	ตั้งตรง	ปานกลาง
4	เหนียวแดง	72.8±2.8	45.0±1.7	12.0±0.5	10.0±0.0	279.1±10.6	แข็งปานกลาง	ตั้งตรง	ตั้งตรง	ปานกลาง
5	เหนียวดำ	86.7±3.3	31.7±1.2	11.0±0.4	38.0±1.7	116.6±4.4	แข็งปานกลาง	ปานกลาง	ตั้งตรง	ปานกลาง
6	เหนียวกำไร	107.6±4.1	25.7±1.2	14.0±0.5	79.7±2.9	98.7±3.7	แข็งมาก	ปานกลาง	โค้ง	ปานกลาง
7	ไก่อ้น้อย	98.7±3.7	54.7±2.1	15.9±0.6	28.7±1.2	298.3±10.1	แข็งปานกลาง	ตั้งตรง	ตั้งตรง	ปานกลาง
8	กข6	101.7±3.9	34.7±1.2	10.0±0.4	25.7±1.2	-	ค่อนข้างแข็ง	แนวนอน	ตั้งตรง	ปานกลาง
9	ขาวดอกมะลิ 105	98.7±3.7	45.0±1.7	15.0±0.6	52.7±2.1	118.6±4.5	แข็งปานกลาง	ตั้งตรง	ตั้งตรง	ปานกลาง

หมายเหตุ: กข6 คือพันธุ์ข้าวเหนียวที่ใช้เปรียบเทียบ

ขาวดอกมะลิ 105 คือพันธุ์ข้าวเจ้าที่ใช้เปรียบเทียบ

ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD)



รูปที่ 5 เดนโดแกรม (Dendrogram) ของลักษณะทางสัณฐานวิทยาของข้าว 9 พันธุ์ ทั้งหมด 9 ลักษณะ ที่ระยะออกรวง

การอภิปรายผล

ข้าวพื้นเมืองที่เก็บรวบรวมและทำการปลูกเพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา ตามการแบ่งเชื้อพันธุกรรมมาตรฐานเพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช (อรอนงค์, 2550; IBPGR-IRRI Rice Advisory Committee, 1980; Ayad et al., 1997) สามารถแบ่งเป็นกลุ่มข้าวที่ปลูกทั่วไป (กข 6 และ ข้าวดอกมะลิ 105) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) และกลุ่มข้าวพื้นเมืองที่ปลูกได้ใช้ประโยชน์ในการแปรรูป เช่น ข้าวเหนียวกำไร ข้าวโก้น้อย ข้าวเจ้าแดง ข้าวเหนียวแดง (พัชรี, 2555) สีของยอดเกสรตัวเมียสามารถบ่งบอกชนิดของข้าวได้ โดยสีของยอดเกสรตัวเมียของข้าวเหนียวเป็นสีขาวและข้าวเจ้ามีสีเหลือง (Russell, 1978) และสามารถแบ่งกลุ่มพันธุ์ข้าวจากลักษณะสีไปได้เป็น 2 สี คือ สีเขียว และสีม่วง โดยข้าวที่มีใบสีแดงหรือสีม่วง เช่น ข้าวเหนียวกำไร ข้าวหอมนิล และข้าวเหนียวดำ จะมีความสัมพันธ์กันกับสีเมล็ดของข้าว ซึ่งข้าวจะมีเมล็ดเป็นสีม่วง (ดำเนิน และ ศันสนีย์, 2543) พันธุ์ข้าวที่มีสีม่วงในใบและเมล็ดจะมีรงควัตถุสีม่วงที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่เรียกว่า แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ในปริมาณที่สูง (ช่อแก้ว และคณะ, 2554; วชิระ และปิยะพร, 2560) ซึ่งสารแอนโทไซยานินนี้ เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ ลดการอักเสบ และมีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Lucioli, 2012) ซึ่งพันธุ์ข้าวเหล่านี้สามารถใช้เป็นแหล่งเชื้อพันธุกรรมสำหรับการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มปริมาณสารแอนโทไซยานินได้ นอกจากนี้ ยังพบว่าเชื้อพันธุกรรมข้าวที่ทำการศึกษา ได้แก่ ข้าวพันธุ์เหนียวหอม เหนียวกำไร ข้าวเจ้าแดง หอมนิล และเหนียวดำ เป็นพันธุ์ที่ใบมีขน (Leaf pubescence or trichome) ค่อนข้างหนา โดยขนที่ใบของพืชกลุ่มธัญพืชจะช่วยลดการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืช (Doroshkov et al., 2016; Viz and Pacada, 2022) Dakshayani et al. (1993) รายงานว่า พื้นที่ใบของข้าวที่ถูกทำลายโดยตัวอ่อนของหนอนห่อใบข้าว (Rice leaf folder: *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenee)) มีความสัมพันธ์เชิงลบ ต่อความหนาแน่นของขนใบข้าว และมีรายงานว่าข้าวสาเลที่มีขนใบที่ยาวที่ใบจริงจะต้านทานต่อการเข้าทำลายของด้วงธัญพืช (*Oulema melanopus*) (Papp et al., 1992) อีกทั้งยังมีรายงานว่า ลักษณะขนที่ใบเกี่ยวข้องกับการทนแล้ง โดยข้าวสาเลที่มีความหนาแน่นของขนใบมากจะมีดัชนีความทนแล้งสูง (Tolerance index) (Pshenichnikova et al., 2019) และ Hamaoka et al. (2017) แนะนำว่าลักษณะขนที่ใบอาจเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงความทนทานต่อความแห้งแล้งของข้าว เนื่องจาก

พันธุ์ข้าวที่มีขนใบมีประสิทธิภาพการใช้น้ำที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic water use efficiency) สูงกว่าพันธุ์ที่ไม่มีขน โดยข้าวพันธุ์เหนียวกำไร่ มีลักษณะขนบนแผ่นใบและมีใบสีม่วง จึงเป็นพันธุ์หนึ่งที่มีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ในการปรับปรุงพันธุ์ให้มีสารแอนโทไซยานินและต้านทานต่อการเข้าทำลายของแมลงศัตรูได้ ลักษณะพื้นฐานวิทยาบางประการมีความสัมพันธ์กับผลผลิตของข้าว เช่น ความสูงของต้น ความยาวของใบธง จำนวนรวง และจำนวนเมล็ด เป็นต้น ซึ่งในเชื้อพันธุ์กรรมข้าวที่ทำการศึกษามีพันธุ์เหนียวหอม เหนียวดำ และไก่อ้อย ที่มีลักษณะต้นที่เตี้ยและมีจำนวนรวงมากกว่าหรือใกล้เคียงพันธุ์ กข6 ซึ่งเป็นพันธุ์เปรียบเทียบกับ Gravois and McNew (1993) รายงานว่าความสูงของข้าวจำนวน 16 สายพันธุ์มีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนรวง ($r = -0.50$) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเลือกพันธุ์ที่มีต้นเตี้ยกว่า มีแนวโน้มที่จะทำให้ทำให้มีจำนวนรวงมากกว่าพันธุ์ที่ต้นสูง ซึ่งสอดคล้องกับ Akinwale et al. (2011) และ Augustina et al. (2013) ที่ชี้ให้เห็นว่าความสูงของต้นมีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนรวงต่อกอ ($r = -0.44$ และ -0.57 ตามลำดับ) ในขณะที่จำนวนเมล็ดต่อต้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตของข้าว ($r = 0.52$ และ 0.76 ตามลำดับ) นอกจากนี้ พันธุ์ไก่อ้อยเป็นพันธุ์ที่มีความยาวของใบธง (54.7 เซนติเมตร) และจำนวนเมล็ดต่อต้นสูงที่สุด (8,561 เมล็ดต่อต้น) ซึ่งสูงกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (45.0 เซนติเมตร และ 6,250 เมล็ดต่อต้น) ซึ่งมีรายงานผลการศึกษาศึกษาของ Mahesh et al. (2022) ที่แสดงให้เห็นว่าความยาวของใบธงของพันธุ์ข้าวทดสอบจำนวน 11 สายพันธุ์ และพันธุ์ข้าวพื้นเมือง 5 พันธุ์ มีความสัมพันธ์กับผลผลิตสูง ($r = 0.83$) จากข้อมูลการจำแนกลักษณะพื้นฐานวิทยาของข้าวพันธุ์พื้นเมืองเหล่านี้ สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ที่มีลักษณะดีเด่นในโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์ได้

บทสรุป

การศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 7 พันธุ์ โดยการบันทึกข้อมูลลักษณะพื้นฐานวิทยา 3 ระยะ ได้แก่ ระยะแตกกอเต็ม ที่ ระยะออกรวง ระยะออกรวงแล้ว 20 วัน ทั้งหมด 25 ลักษณะ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีลักษณะพื้นฐานวิทยาที่แตกต่างกันที่สามารถจำแนกได้ชัดเจน ยกเว้น ทรงกอและการแตกกระแงที่มีเพียงรูปแบบเดียว และมีพันธุ์ข้าว 3 พันธุ์ที่มีลักษณะใบเป็นสีม่วงได้แก่ ข้าวหอมนิล ข้าวเหนียวดำ และข้าวเจ้าแดง ข้าวเหนียวหอม และข้าวเหนียวกำไร่เป็นพันธุ์ที่มีขนบนแผ่นใบ และพันธุ์ที่มีความยาวของใบธงและจำนวนเมล็ดต่อต้นสูงซึ่งเป็นลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับผลผลิต ได้แก่ ไก่อ้อย ซึ่งจากข้อมูลเหล่านี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ที่มีลักษณะดีเด่นในโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์ข้าวได้ อย่างไรก็ตาม อาจมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในลักษณะเฉพาะบางประการในอนาคต เช่น คุณภาพการหุงต้ม ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคติน และปริมาณสารแอนโทไซยานิน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบคุณ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริม ววน.) ปีงบประมาณ 2563 และสาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ได้สนับสนุนการทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. (2558). แผนยุทธศาสตร์ข้าวไทย (ด้านการผลิต) ฉบับที่ 3 ปี 2558 - 2562. กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพฯ.

- ชยุต ศรีฮาร์ณ, จิรวัดน์ สนิทชน และช่อแก้ว อนิลบล. (2563). การประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมของเชื้อพันธุกรรมข้าวพื้นเมือง โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและเครื่องหมายโมเลกุลชนิด SSR. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 37: 479-488.
- ช่อแก้ว อนิลบล, ปรมศ บรรเทิง, จิรวัดน์ สนิทชน และพัชริน ส่งศรี. (2554). การศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวเหนียวดำโดยใช้ วิธี HPLC และ Spectrophotometric. วารสารแก่นเกษตร. 39(ฉบับพิเศษ): 353-357.
- ดำเนิน กาละดี และศันสนีย์ จำจด. (2543). พันธุศาสตร์การปรับปรุงพันธุ์ และโภชนศาสตร์เกษตรของข้าวเหนียวดำ. รายงานการวิจัย. สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.
- พัชริน ตั้งตระกูล. (2555). การแปรรูปข้าวเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม. ใน การประชุมวิชาการ ข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 2 มิติใหม่วิจัยข้าวไทยพร้อมรับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและการเปิดตลาดเสรีอาเซียน 21-23 ธันวาคม 2555. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กรุงเทพฯ. 67.
- ไพฑูริย์ มีกุล. (2559). ประวัติศาสตร์ชาติพันธุ์อนุภูมิภาคุ่มแม่น้ำโขง. วารสารราชภัฏสุราษฎร์ธานี. 3: 1-32.
- วชิระ จิระรัตนรังสี และปิยะพร บุตรพรหม. (2560). ผลของกระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกันต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการยอมรับจากผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ข้าวไปข้าวเก่า. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 9: 91-103.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2561). ยุทธศาสตร์เกษตรและสหกรณ์ ระยะ 20 ปี (พ.ศ.2560-2579) และแผนพัฒนาการเกษตรในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ.2560-2564). สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2563). สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2563. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพฯ.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2550). ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- Akinwale M.G., Gregorio G., Nwilene F., Akinyele B.O., Ogunbayo S.A. and Odiyi A.C. (2011). Heritability and correlation coefficient analysis for yield and its components in rice (*Oryza sativa* L.). African Journal of Plant Science. 5(3): 207-212.
- Ayad W.G., Hodgkin T., Jaradat A. and Rao V.R. (1997). Molecular genetic techniques for plant genetic resources: Report of an IPGRI Workshop, 9-11 October 1995. International Plant Genetic Resources Institute: Rome.
- Augustina U.A., Iwunor O.P. and Ijeoma O.R. (2013). Heritability and character correlation among some rice genotypes for yield and yield components. Journal of Plant Breeding and Genetics. 1(2): 73-84.
- Dakshayani K., Bentur J.S. and Kalode M.B. (1993). Nature of resistance in rice varieties against leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée). International Journal of Tropical Insect Science. 14: 107-114.
- Doroshkov A.V., Afonnikov D.A., Dobrovolskaya O.B. and Pshenichnikova T.A. (2016). Interactions between leaf pubescence genes in bread wheat as assessed by high throughput phenotyping. Euphytica. 207: 491-500.
- Gravois K.A. and McNew R.W. (1993). Genetic relationships among and selection for rice yield and yield components. Crop Science. 33(2): 249-252.
- Hamaoka N., Yasui H., Yamagata Y., Inoue Y., Furuya N., Araki T., Ueno O. and Yoshimura A. (2017). A hairy-leaf gene, *BLANKET LEAF*, of wild *Oryza nivara* increases photosynthetic water use efficiency in rice. Rice. 10: 1-11.

- IBPGR-IRRI Rice Advisory Committee. (1980). Descriptors for Rice, *Oryza sativa* L. The International Rice Research Institute: Manila.
- SAS Institute Inc. (2021). JMP® 16 Documentation Library. SAS Institute Inc.: NC.
- Lucioli S. (2012). Anthocyanins: Mechanism of action and therapeutic efficacy. In Capasso A., Editor. Medicinal Plants as Antioxidant Agents: Understanding Their Mechanism of Action and Therapeutic Efficacy. Research Signpost: Kerala. 27-57.
- Mahesh G., Chandra M.Y., Saida N.D. and Narender R.S. (2022). Study on flag leaf and its penultimate leaves for their association with grain yield in rice (*Oryza sativa* L.). Biological Forum - An International Journal. 14(2): 270-274.
- Mulumba J.W., Nankya R., Adokorach J., Kiwuka C., Fadda C., De Santis P. and Jarvis D.I. (2012). A risk-minimizing argument for traditional crop varietal diversity use to reduce pest and disease damage in agricultural ecosystems of Uganda. Agriculture, Ecosystems & Environment. 157: 70-86.
- Papp M., Kolarov J. and Mesterhazy A. (1992). Relation between pubescence of seedling and flag leaves of winter wheat and its significance in breeding resistance to cereal leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). Environmental Entomology. 21: 700-705.
- Pshenichnikova T.A., Doroshkov A.V., Osipova S.V., Permyakov A.V., Permyakova M.D., Efimov V.M., and Afonnikov D.A. (2019). Quantitative characteristics of pubescence in wheat (*Triticum aestivum* L.) are associated with photosynthetic parameters under conditions of normal and limited water supply. Planta. 249: 839-847.
- Russell G.E. (1978). Plant Breeding for Pest and Disease Resistance: Studies in the Agricultural and Food Sciences. Butterworth-Heinemann: London.
- Viz J.A. and Pacada I.G. (2022). Density, orientation, and distribution of foliar trichomes in selected Philippine traditional rice varieties with resistance to *Scirpophaga* spp. Philippine Journal of Science. 151: 1737-1745.
- Wang Y., Wang Y., Sun X., Caiji Z., Yang J., Cui D., Cao G., Ma X., Han B., Xue D. and Han L. (2016). Influence of ethnic traditional cultures on genetic diversity of rice landraces under on-farm conservation in southwest China. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine. 12: 1-14.

Received: November 6, 2023; Revised: December 21, 2023; Accepted: May 5, 2024

หุ่นยนต์เดินตามเส้นสำหรับระบบการจัดการหนังสือห้องสมุด Line following robot for library book management system

ปิยพัฒน์ พานเมือง^{1*} จารุวรรณ ธาระศัพท์¹ กิตติ ทูลธรรม¹ สุรกิจ อภิรักษากร¹

มีโชค ตั้งตระกูล¹ ชุมพล เสนาพันธ์¹ จักรกฤษณ์ ศรีทอง¹ อังศิมา งามดี¹

ปิยะพงษ์ ฤทธิธรรม¹ วรางคณา เหนือคูเมือง¹ และพิสิฐ โมกขาว¹

Piyapat Panmuang^{1*}, Jaruwan Tharasup¹, Kitti Toontham¹, Surakit Apiraksakorn¹,
Meechok Tangtrakul¹, Chumpol Senaphan¹, Jakkis Srithong¹, Aungsima Ngamdee¹,
Piyapong Ritthithum¹, Warangkana Nueakhumuang¹ and Phisit Mokekaow¹

¹คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น

¹Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus, Khonkaen Province

*Corresponding Author E-mail Address : piyapat.pa@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นอัตโนมัติสำหรับการเคลื่อนย้ายหนังสือ เพื่อลดภาระงานของบุคลากรในการเคลื่อนย้ายหนังสือในห้องสมุด หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ในบริเวณพื้นผิวเรียบแนวราบ โดยมี 5 สถานีในการจอดเพื่อรับการจัดการหนังสือมีระยะทางรวม 200 เมตร ออกแบบหุ่นยนต์ขนาด 30 x 48 x 80 เซนติเมตร ขับเคลื่อน 4 ล้อ พบว่า จำนวนรอบที่เหมาะสมในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์คือจำนวน 4 รอบ โดยอ้างอิงจากรูปแบบการใช้งานห้องสมุด ซึ่งปริมาณน้ำหนักหนังสือ 70 กิโลกรัม แบตเตอรี่จากการชาร์จประจุเต็มคงเหลือ 8 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักหนังสือ 50 กิโลกรัม แบตเตอรี่คงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักหนังสือ 20 กิโลกรัม แบตเตอรี่คงเหลือ 15 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ หุ่นยนต์สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางได้ในระยะ 50 เซนติเมตร และหยุดตามจุดที่กำหนดเป็นระยะเวลา 2 นาที พร้อมทั้งส่งเสียงเตือน ซึ่งช่วยและทำให้งานการจัดเตรียมง่ายขึ้นหนังสือและยังช่วยลดงานประจำของเจ้าหน้าที่ห้องสมุดอีกด้วย

คำสำคัญ: หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้น การจัดการหนังสือ แบตเตอรี่คงเหลือ

Abstract

This study aims to create an automatic line-traveling robot to move books. To reduce the work of personnel moving books in the library. The robot can move on smooth, horizontal surfaces and has 5 parking stations to handle books. The total distance is 200 meters. The robot design measures 30 x 48 x 80 centimeters and drives on 4 wheels. It was found that the appropriate number of cycles for the robot's movement is 4 rounds. Based on library usage patterns, which the weight of the book 70 kg, the battery retains 8 % of its charge when fully powered. Carrying a load of 50 kg, the battery retains 10% of its charge when fully charged. Carrying a load of 20 kg, the battery retains 10% of its charge when fully charged. Moreover, the robot can detect obstacles within 50 centimeters and stop at the specified point for a period of 2 minutes and sound an alarm. It makes preparing books easier and also reduces the routine work of library staff.

Keywords: Line following robot, Book management system, The battery retains

บทนำ

หุ่นยนต์มีวิวัฒนาการและความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วต่อเนื่องมาตลอดหลายปีที่ผ่านมา โดยได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในชีวิตของมนุษย์ ทั้งในด้านการช่วยเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผลิตสินค้า ช่วยดูแลในเรื่องคุณภาพชีวิต ไปจนถึงการสร้างความสะดวกสบายต่าง ๆ สำหรับการใช้งานหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Luo and Xu, 2020; Zhao et al., 2022) แต่อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่สำคัญของอุตสาหกรรมหุ่นยนต์ไทย คือการขาดตลาดภายในประเทศ เพราะผู้ใช้งานมักไม่ได้ให้ความสำคัญกับหุ่นยนต์ที่พัฒนาในประเทศเท่าที่ควร จากการที่ผู้ผลิตรายใหญ่ ๆ ที่มีการปรับปรุงกระบวนการผลิตและการบริการเป็นระบบอัตโนมัติต่าง ๆ ล้วนนำเข้าหุ่นยนต์จากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังขาดการส่งเสริมผู้ประกอบการหุ่นยนต์รุ่นใหม่ที่มีศักยภาพในการคิดค้นนวัตกรรมให้เติบโตจนกลายเป็นวิสาหกิจเริ่มต้นทางด้านเทคโนโลยี ที่เป็นฐานเศรษฐกิจใหม่ของประเทศในอนาคต ทำให้ไทยยังต้องอาศัยการนำเข้าหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติที่มีมูลค่าสูงจากต่างประเทศเป็นหลัก ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างความแข็งแกร่งให้กับประเทศ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเตรียมความพร้อมใน ด้านต่าง ๆ เพื่อส่งเสริมให้เกิดการวิจัย พัฒนา ตลอดจนส่งเสริมอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อไป (บุญธรรม, 2556; Fernandes et al., 2021)

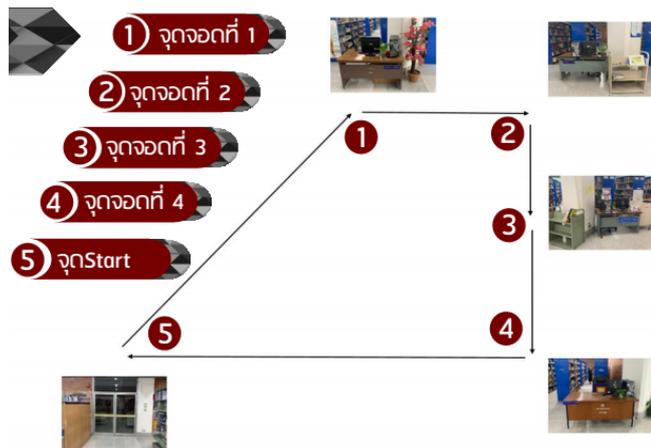
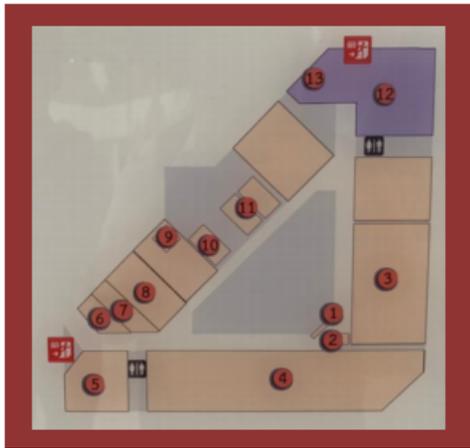
หุ่นยนต์แต่ละประเภทจะมีความสามารถที่เฉพาะแตกต่างกันไปตามภารกิจและตามมาด้วยต้นทุนในการผลิตที่สูงตามไปด้วย (Patric et al., 2017; Tippannavar et al., 2022) แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าภารกิจในการทำงานของหุ่นยนต์นั้นชัดเจนและสามารถควบคุมการผลิตและการออกแบบจากผู้ใช้งานจริงได้ จะส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตหุ่นยนต์นั้นลดลงและตรงวัตถุประสงค์ของผู้ใช้มากขึ้น เช่น หุ่นยนต์ขนส่งนำทางอัตโนมัติเป็นหุ่นยนต์คล้ายรถเข็นที่ใช้เซ็นเซอร์ส่วนต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยปัจจุบันตามโรงงานอุตสาหกรรมบางที่ยังใช้บุคลากรในการเข็นชิ้นส่วนในการทำงาน ซึ่งหุ่นยนต์ตัวนี้สามารถทดแทนบุคลากรเหล่านั้นได้ รวมถึงหุ่นยนต์เดินตามเส้นนั้นเป็นหุ่นยนต์ที่ออกแบบมาเพื่อเดินตาม “เส้น” หรือ เส้นทางที่ผู้ใช้กำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว (ยุพราช, 2553; Chaudhari et al., 2019; Saw and Mon, 2019) เส้นหรือเส้นทางอาจเป็นเครื่องหมายทางกายภาพบนพื้น ตัวติดตามเส้นจะลากเส้นสีดำบนพื้นผิวสีขาวหรือกลับกัน (อภิชาติ, 2551) ที่เซนเซอร์ให้ความคล่องตัวของหุ่นยนต์ซึ่งทำงานร่วมกับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์และอินพุตดิจิตอลคือใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ (ไพฑูรย์ และ

พิเชษฐ, 2547) มอเตอร์ทำงานตามแบบเอาต์พุตเซนเซอร์และไดรเวอร์หุ่นยนต์ประเภทนี้พบการใช้งานจากอุตสาหกรรมมุมมองในโรงงานกึ่งอัตโนมัติเต็มรูปแบบ ในเรื่องนี้สภาพแวดล้อม หุ่นยนต์ตัวนี้ทำหน้าที่เป็นผู้ขนส่งวัสดุในการส่งมอบผลิตภัณฑ์จากจุดผลิตหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยทางรถไฟไม่สามารถใช้โซลูชันสายพานลำเลียงและโครงสร้างที่ตั้งสิ่งของได้ ส่วนใหญ่บรรทัดที่ติดตามหุ่นยนต์ได้รับการออกแบบโดยมีแนวคิดที่แตกต่างกันสำหรับเพื่อความบันเทิง การแข่งขันหุ่นยนต์ และวัตถุประสงค์อื่น ๆ ทามกลางการออกแบบเหล่านั้นมีน้อยมากที่ใช้สำหรับการใช้งานเฉพาะสำหรับระบบบริหารจัดการห้องสมุด ซึ่งในการใช้บริการห้องสมุดทั้งในระดับประถม มัธยม และอุดมศึกษา ได้มีการใช้บุคลากรเพื่อออกไปรับหนังสือตามจุดต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ โดยบุคลากรมีหน้าที่เดินไปเก็บหนังสือที่นิตได้ทำการอ่านแล้ว นำมาจัดเรียงตามหมวดหมู่ของชั้นหนังสือทำให้เกิดการเสียเวลาในการเดินทางจากจุดรับหนังสือไปยังจุดเก็บหนังสือการจัดเก็บหนังสือหลังการใช้บริการ เป็นการบริการพื้นฐานที่จำเป็นของห้องสมุดที่ต้องจัดให้แก่ผู้ใช้บริการ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้บริการหลังการอ่าน ผู้ใช้บริการสามารถนำหนังสือหรือทรัพยากรสารสนเทศไปอ่านภายในสถานที่ที่จัดเตรียมไว้ในห้องสมุดได้ (สรายุทธ และณิชนันท์, 2560) ซึ่งเป็นการสนับสนุนให้ผู้ใช้บริการได้มีเวลาในการศึกษาค้นคว้าในเรื่องที่ต้องการได้อย่างเต็มที่ เพื่อให้หนังสือหรือทรัพยากรสารสนเทศที่ห้องสมุดได้จัดเตรียมไว้บริการมีการหมุนเวียนไปสู่ผู้ใช้บริการอย่างทั่วถึง แต่ก็เกิดปัญหาในการเก็บเข้าที่เดิมเพราะเนื่องจากมีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมากทำให้มีจำนวนหนังสือที่มีการนำออกไปใช้บริการตกค้างอยู่ตามสถานที่ต่าง ๆ และจุดรับหนังสือ การนำหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นอัตโนมัติเพื่อเคลื่อนย้ายหนังสือเข้ามาใช้ในห้องสมุด จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อคิดออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นอัตโนมัติเพื่อเคลื่อนย้ายหนังสือ เพื่อช่วยแบ่งเบาภาระการทำงานของบุคลากรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของบุคลากรให้มีเวลาเพิ่มขึ้นในการจัดแก้ปัญหาหรือทำการกิจอื่น โดยเนื้อหาในบทความนี้ประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ บทนำ ระเบียบวิธีและการออกแบบ การทดลอง ผลการทดลอง และบทสรุปที่จะนำเสนอตามลำดับ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

หุ่นยนต์ถูกออกแบบให้เคลื่อนที่ตามเส้นดำที่ได้ออกแบบไว้ โดยมี 5 จุดสถานี ดังแสดงในรูปที่ 1 เส้นทางสำหรับการเดินทางของหุ่นยนต์ โดยหุ่นยนต์ที่ถูกชาร์จประจุเต็มร้อยละ 100 จะเริ่มเดินทางจากจุดจอดที่ 1 ไปยังจุดจอดที่ 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ เมื่อหุ่นยนต์ถึงจุดจอดแต่ละสถานีจะแสดงสัญญาณไฟเพื่อรอการจัดการจากเจ้าหน้าที่ประจำจุด หลังจากนั้นเจ้าหน้าที่จะกดปุ่มเพื่อให้หุ่นยนต์เดินทางไปยังจุดจอดถัดไป โดยระหว่างเส้นทางเดินทางเมื่อหุ่นยนต์พบสิ่งกีดขวางหุ่นยนต์จะส่งสัญญาณแจ้งเตือน และเส้นทางเดินทางหุ่นยนต์มีลักษณะพื้นผิวเรียบเป็นระยะทางรวม 200 เมตร โดยทำการทดสอบบรรทุกน้ำหนักของหนังสือที่ 20 50 และ 70 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยทำการทดสอบซ้ำจำนวน 5 ครั้ง ในแต่ละค่าน้ำหนักของหนังสือที่แตกต่างกันเพื่อเก็บค่าเฉลี่ยแบตเตอรี่คงเหลือ



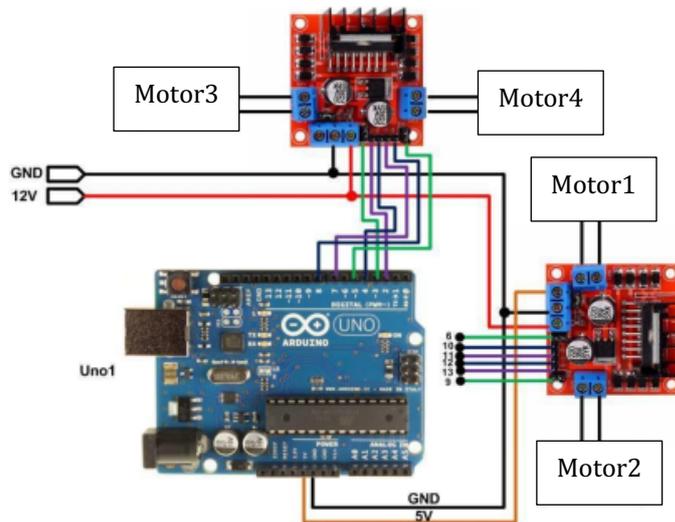
(ก) ผังประจำห้องสมุด

(ข) สถานที่ที่หุ่นยนต์หยุด ก่อนเดินทางไปยังจุดถัดไป

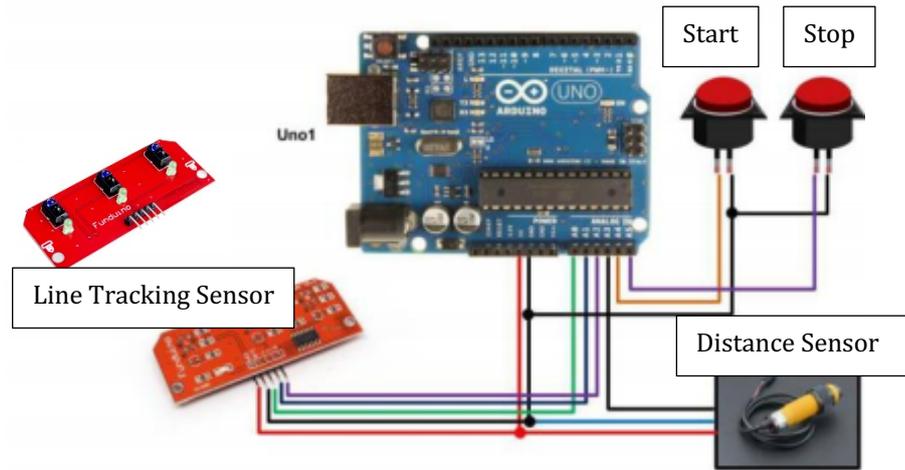
รูปที่ 1 เส้นทางสำหรับการเดินทางของหุ่นยนต์ รวมระยะทาง 200 เมตรต่อรอบ

ออกแบบการทดลอง

หุ่นยนต์ต้นแบบมีขนาดคือ กว้าง 30 ซม. ยาว 48 ซม. และสูง 80 ซม. ขับเคลื่อนด้วยล้อมอเตอร์กระแสตรงสี่ตัว (DC Motor รุ่น ZHENGKE ZGB102FGG DC 12 V 50 rpm) โดยมีไดรเวอร์มอเตอร์ (L298N Dual H-Bridge Motor Controller) และมีเซนเซอร์ในการตรวจจับแถบเส้นการเดินทาง (3-Way Infrared Line Tracking Module - TCRT5000 Sensor) เซนเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวางด้านหน้าหุ่นยนต์ (E18-D80NK Infrared Reflectance Sensor Photoelectric Sensor) และมีแหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ (Battery Deep Cycle รุ่น TGB12V 12AH) เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Model: Arduino UNO R3)



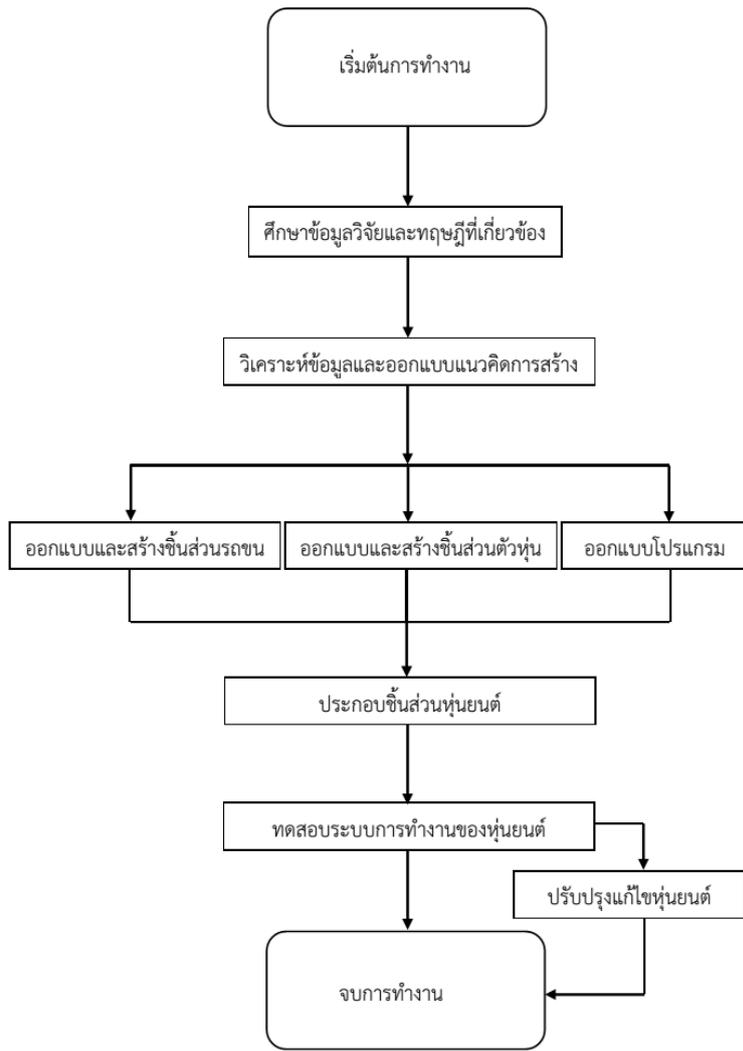
(ก) วงจรควบคุมการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์



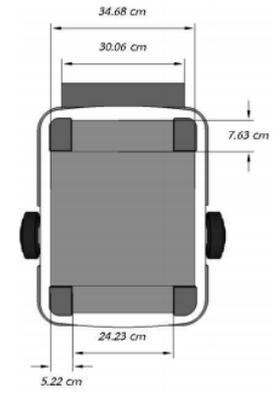
(ข) วงจรควบคุมการตรวจจับแถบเส้นและวัตถุสีดำ

รูปที่ 2 แสดงวงจรการควบคุมหุ่นยนต์

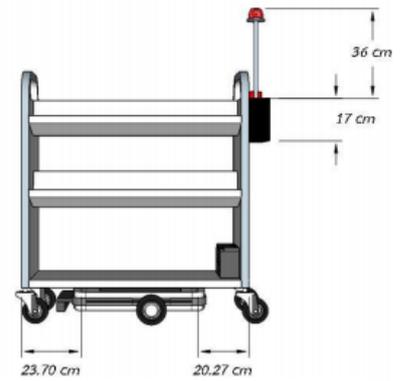
รูปที่ 2 แสดงวงจรการควบคุมหุ่นยนต์ โดยมีหลักการทำงานด้วยอุปกรณ์ Line Tracking Sensor ตรวจจับแถบสีดำบนพื้นหลังสีขาว เอานต์พุตเซนเซอร์จะถูกป้อนเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งทำหน้าที่ตัดสินใจและส่งให้ไดรเวอร์มอเตอร์ L298N เหมาะสมขยับมอเตอร์ตามนั้น เซนเซอร์จะรับรู้แสงสะท้อนจากพื้นผิวและป้อนเอาต์พุตไปยังตัวเปรียบเทียบ ตัวเปรียบเทียบจะเปรียบเทียบอินพุตแบบอนาล็อกจากเซนเซอร์ที่มีแรงดันอ้างอิงคงที่ การอ้างอิงแรงดันไฟฟ้าสามารถปรับได้โดยการเปลี่ยนค่าของตัวแปรตัวต้านทาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกตั้งโปรแกรมให้ทำหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ถอยหลัง เลี้ยวขวา หรือ เลี้ยวซ้ายตามอินพุตที่มาจากตัวเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ของไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกป้อนให้กับไดรเวอร์มอเตอร์ ส่วนรูปที่ 3 แสดงผังงานการทำงาน โดยผู้วิจัยได้ศึกษางานที่เกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์และหาแนวทางมาพัฒนาและปรับให้เหมาะสมกับข้อมูลผู้ใช้งานของห้องสมุดกับภารกิจในการเคลื่อนย้ายและการจัดการหนังสือ และรูปที่ 4 แสดงโครงสร้างโดยรวมของหุ่นยนต์โดยตัวหุ่นยนต์จะถูกติดตั้งไว้ด้านล่างเพื่อขับเคลื่อนซึ่งเป็นตำแหน่งที่ช่วยรักษาสมดุลของหุ่นยนต์เมื่อมีโหลด และเพื่อไม่ขวางพื้นที่ในการจัดเก็บของชั้นหนังสือของหุ่น



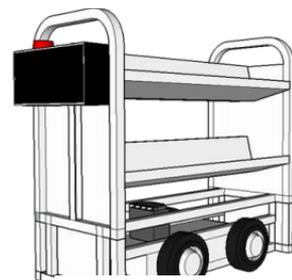
รูปที่ 3 แสดงผังการทำงานแนวคิดและการออกแบบ



(ก) ชุดกล่องขับเคลื่อนหุ่นยนต์



(ข) ชุดกล่องติดตั้งกับชั้นวางหนังสือ

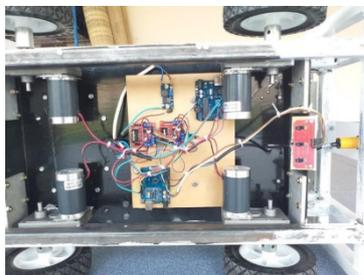


(ค) ต้นแบบหุ่นยนต์

รูปที่ 4 แสดงแบบจำลองหุ่นยนต์



(ก) ชุดกล่องขับเคลื่อนหุ่นยนต์



(ข) วงจรและชุดขับเคลื่อนหุ่นยนต์

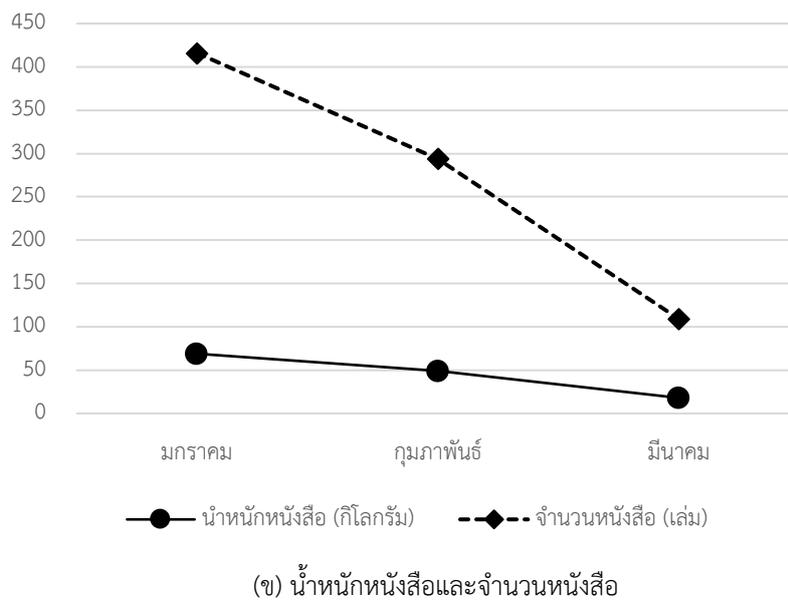
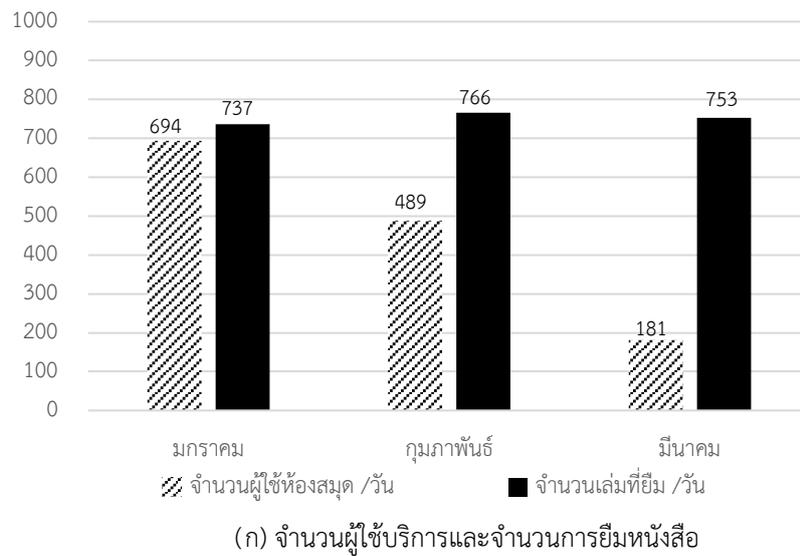


(ค) หุ่นยนต์ขนย้ายหนังสือ

รูปที่ 5 แสดงหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทำงานจริง

ผลการวิจัย

จากการศึกษาและออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นอัตโนมัติเพื่อเคลื่อนย้ายหนังสือ โดยอ้างอิงจากการสำรวจและเก็บข้อมูลจำนวนผู้ใช้บริการ จำนวนการยืมหนังสือ น้ำหนักหนังสือ และจำนวนหนังสือ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 6 ซึ่งเป็นข้อมูลจำนวนผู้ใช้ห้องสมุด ตั้งแต่เดือนมกราคม - เดือนมีนาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 41,285 ครั้ง และจำนวนผู้ยืมหนังสือ ตั้งแต่เดือนมกราคม - เดือนมีนาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 68,375 เล่ม โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยจำนวนคนต่อการยืมหนังสือต่อเล่ม เพื่อเป็นการหาจำนวนการวิ่งในแต่ละวัน พบว่า หลังจากการวิ่งหุ่นยนต์ฯ 4 ครั้งต่อวันซึ่งเป็นจำนวนรอบที่เหมาะสม ปริมาณแบตเตอรี่จากการชาร์จประจุเต็มลดลงร้อยละ 85 90 และ 92 ที่น้ำหนักหนังสือ 20 50 และ 70 กิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 และนำเสนอกราฟแนวโน้มการใช้พลังงานของแบตเตอรี่ในรูปที่ 7

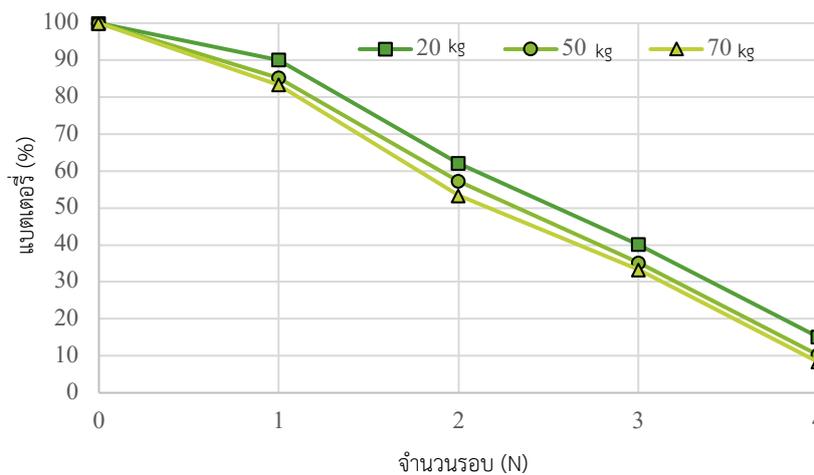


รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) จำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนการยืมหนังสือ (ข) น้ำหนักหนังสือและจำนวนหนังสือ

ตารางที่ 1 ตารางแสดงสถานะร้อยละของแบตเตอรี่ที่ทดสอบด้วยน้ำหนักแตกต่างกัน

Round	Battery percentage (%)		
	20 (kg)	50 (kg)	70 (kg)
1	90	85	83
2	62	57	55
3	40	35	33
4	15	10	8

หมายเหตุ : แบตเตอรี่ถูกชาร์จ 100% ก่อนเริ่มทำงานทุกกรณี และหุ่นยนต์ใช้เวลา 24-25 นาทีต่อรอบ



รูปที่ 7 แสดงกราฟปริมาณแบตเตอรี่เทียบกับจำนวนรอบเดินทางของหุ่นยนต์ที่น้ำหนักการขนของหนังสือที่แตกต่างกัน

การอภิปรายผล

หุ่นยนต์นี้ถูกสร้างขึ้นตามเงื่อนไขของเจ้าหน้าที่ห้องสมุด ซึ่งต้องการแบ่งเบาภาระงานในการขนย้ายหนังสือไปแต่ละจุด โดยหุ่นยนต์สามารถขนหนังสือรวมน้ำหนักสูงสุด 70 กิโลกรัมต่อรอบ จำนวนรอบ 4 รอบต่อวัน และตัวหุ่นยนต์ถูกสร้างจากโครงชั้นเหล็กที่ห้องสมุดมีอยู่แล้ว ดังรูปที่ 5(ค) ผลการทดลองพบว่า หุ่นยนต์สามารถทำได้ตามเงื่อนไขตามที่กำหนด อย่างไรก็ตาม การนำหุ่นยนต์นี้ไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นจำเป็นต้องพิจารณาเงื่อนไขของผู้ใช้งานเพิ่มเติมหรือสามารถพัฒนาต่อไปสำหรับงานในอนาคต เช่น หุ่นยนต์สามารถสื่อสารกับบรรณารักษ์ผ่านการสื่อสารข้อมูลไร้สาย หุ่นยนต์สามารถแยกหมวดของหนังสือเพื่อความสะดวกในการคัดแยกและจัดเก็บของเจ้าหน้าที่ หุ่นยนต์สามารถควบคุมแบบไร้สายเพื่อทำภารกิจอื่นสำหรับการอำนวยความสะดวกให้เจ้าหน้าที่ห้องสมุดได้ ซึ่งงานวิจัยในอนาคตหากมีการเปรียบเทียบเวลาการทำงานระหว่างบุคลากรและหุ่นยนต์ที่ชัดเจน ผลการทดลองจะเป็นแรงจูงใจการใช้หุ่นยนต์ช่วยงานด้านอื่น ๆ ในอนาคตอีกด้วย เป็นต้น

บทสรุป

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นอัตโนมัติได้ถูกออกแบบเพื่อใช้การขนย้ายหนังสือตามเส้นทางและรอบการขนย้ายชัดเจน โดยมีการทดสอบประสิทธิภาพของปริมาณน้ำหนักที่แตกต่างกันในการเคลื่อนย้ายหนังสือ และเคลื่อนที่ไปยังจุดในแต่ละสถานีที่กำหนดไว้ หุ่นยนต์สามารถตรวจสอบวัตถุที่กีดขวางเส้นทางการเดินทางโดยจะหยุดและส่งเสียงแจ้งเตือนให้ทราบ และได้ทดสอบในการใช้งานจริงของเจ้าหน้าที่ประจำห้องสมุด ซึ่งเป็นการพิสูจน์ว่าหุ่นยนต์สามารถตอบโจทย์ความต้องการในการลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายหนังสือ

เอกสารอ้างอิง

- บุญธรรม ภัทราจารุกุล (2556). หุ่นยนต์อุตสาหกรรม. ซีเอ็ดดูเคชั่น. กรุงเทพฯ.
- ไพฑูรย์ พูลสุขโข และพิเชษฐ กัณฑ์วัง. (2547). ระบบขนส่งลำเลียงแบบอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปทุมธานี.
- ยุพราช ขาวยอง. (2553). การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้รถอัตโนมัติ (AGV) ในการลำเลียงชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- สรายุทธ นาขมื่น และณิชนันท์ ขาวมงคล. (2560). พาหนะขนส่งเคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยระบบขับเคลื่อนแบบล้อแมคคาณัม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยบูรพา
- อภิชาติ พันธุ์ชัย. (2551). การควบคุมรถเอจีวีด้วยกล้องโรสาย ระบบนำร่องทางเดินของรถ AGV. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ.
- Chaudhari J., Desai A. and Gavarskar S. (2019). Line following robot using arduino for hospitals. 2nd International Conference on Intelligent Communication and Computational Techniques (ICCT). 330-332.
- Fernandes K., Fernandes R., Francis J., Muttu Y., Leitao F. and Bhatt N. (2021). Design and implementation of library management robotic system. IEEE Bombay Section Signature Conference (IBSSC). 1-5.
- Luo X. and Xu L. (2020). On research progress and trend of motion control in industrial robot applications. Chinese Automation Congress (CAC). 5944-5947.
- Patic P.C., Mainea M., Pascale L. and Mantescu G. (2017). Designing a mobile robot used for access to dangerous areas. International Conference on Control, Artificial Intelligence, Robotics and Optimization (ICCAIRO). 60-65.
- Saw K.K. and Mon L.Y. (2019). Design and construction of line following robot using arduino. International Journal of Trend in Scientific Research and Development. 3(4): 939–941.
- Tippannavar S.S., Puneeth K.M., Yashwanth S.D., Madhu Sudan M.P., Chandrashekar Murthy B.N. and Vinay Prasad M.S. (2022). SR2 - search and rescue robot for saving endangered civilians at hazardous areas. International Conference on Disruptive Technologies for Multi-Disciplinary Research and Applications (CENTCON). 21-26.

Zhao L., Li Y. and Xu Y. (2022). Analysis of research status and development trend of industrial robot based on knowledge map. International Conference on Automation, Robotics and Computer Engineering (ICARCE). 1-5.

Received: February 12, 2024; Revised: May 4, 2024; Accepted: May 13, 2024

ผลของการใช้สีน้ำเทียม (ชนิดสี และระดับความเข้มข้น) ต่อการลดอัตราการตาย
เนื่องจากการกินกันเองของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus*) ระยะ First crab
Effects of artificial water color (colors and concentration levels) to reduce
the mortality rate due to cannibalism of blue swimming crab (*Portunus pelagicus*)
larvae in First crab stage

ชลดา ลีอร่าม^{1*} รุ่งทิวา คนสันทัด¹ วาสนา อากรรัตน์¹ และวุฒิชัย อ่อนเอี่ยม¹
Chonlada Leearam^{1*}, Rungtiwa Konsantad¹, Wasana Arkronrat¹ and Vutthichai Oniam¹

¹คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

¹Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Prachuap Khiri Khan Province

*Corresponding Author E-mail Address: Cld.leearam.77180@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มี 2 วัตถุประสงค์ คือ ศึกษาผลของการใช้สีน้ำเทียมต่อการลดอัตราการตายเนื่องจากการกินกันเองของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus*) ระยะ First crab โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม คือ ไม่ใส่สีน้ำเทียม (T0), ใส่สีน้ำเทียมสีเขียว (T1), และสีน้ำตาล (T2) ที่ความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน และศึกษาระดับความเข้มข้นของสีน้ำเทียมสีน้ำตาลที่เหมาะสมสำหรับการอนุบาลลูกปูม้าโดยแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ชุดควบคุม คือ 1 ส่วนในล้านส่วน (T0), 25 ส่วนในล้านส่วน (T1), และ 50 ส่วนในล้านส่วน (T2) ผลการศึกษาผลของการใช้สีน้ำเทียมต่ออัตราการตายเฉลี่ย พบว่า ลูกปูม้าที่เลี้ยงในชุดการทดลอง T2 มีอัตราการตายเฉลี่ยต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับชุดการทดลอง T0 และ T1 โดยมีค่าอัตราการตายเฉลี่ยเท่ากับ 4.62 ± 1.48 , 9.75 ± 2.39 และ 11.85 ± 3.31 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ ส่วนผลการใส่สีน้ำเทียมสีน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นต่างกันนั้น พบว่า ลูกปูม้าในชุดการทดลอง T1 และ T2 นั้น มีอัตราการตายเฉลี่ยต่ำกว่า ($p < 0.05$) ชุดการทดลอง T0 โดยมีค่าอัตราการตายเฉลี่ย เท่ากับ 14.91 ± 3.19 , 18.13 ± 9.71 และ 32.00 ± 2.52 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ ดังนั้นผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การอนุบาลลูกปูม้าระยะ First crab ด้วยการใส่สีน้ำเทียมสีน้ำตาลจะสามารถลดการกินกันเองของลูกปูม้าได้ดีที่สุด และระดับความเข้มข้นของสีน้ำเทียมสีน้ำตาลที่เหมาะสม คือ 25 ส่วนในล้านส่วน เป็นระดับที่ช่วยลดอัตราการตายของลูกปูม้าและคุ้มค่า

คำสำคัญ: ปูม้า อัตราการตาย สีน้ำเทียม

Abstract

This study had two objectives to study the effects of artificial water color to reduce the mortality rate due to cannibalism of blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) larvae in First crab stage. The experiment was divided into 3 treatments: the control set, without artificial water color (T0). with artificial green water color (T1) and brown water color (T2) at a concentration of 1 part per million and study the level of concentration of artificial brown water color suitable for nursing the blue swimming crab larvae, divided into 3 levels; 1 (T0), 25 (T1), and 50 (T2) parts per million. The results of the effect artificial water color on the average mortality rate showed that blue swimming crab larvae nursed in the T2 had a significantly lower average mortality rate ($p < 0.05$) than those in the T0 and T1 with an average mortality rate of 4.62 ± 1.48 , 9.75 ± 2.39 and 11.85 ± 3.31 percent per day, respectively. As for the results of adding artificial brown water color at different concentrations. It was found that the blue swimming crab larvae in the T1 and T2 had a lower average mortality rate ($p < 0.05$) than the T0. The average values were 14.91 ± 3.19 , 18.13 ± 9.71 and 32.00 ± 2.52 percent per day, respectively. Therefore, the results of this study showed that nursing of blue swimming crab larvae in First crab stage by adding artificial brown water color can reduce the cannibalism of young crabs the best. And the appropriate concentration level of artificial brown water color is 25 parts per million. It is a level that helps reduce the mortality rate of blue swimming crabs and is worthwhile.

Keywords: Blue swimming crab, Mortality rate, Artificial water color

บทนำ

ปูม้า *Portunus pelagicus* เป็นทรัพยากรประมงที่มีความสำคัญทางการค้าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ เป็นสัตว์น้ำที่มีศักยภาพสูงในการเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศทำให้เกิดความต้องการปูม้าเพิ่มสูงขึ้น ประเทศไทยพบแพร่กระจายทั้งฝั่งอันดามัน ฝั่งอ่าวไทยและบริเวณปากแม่น้ำ จากข้อมูลสถิติการประมงแห่งประเทศไทย พบว่า ในปี พ.ศ. 2562 ปริมาณปูม้าที่จับได้ในทะเลบริเวณอ่าวไทยมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจากปี พ.ศ. 2558 เฉลี่ยปีละ 56 เปอร์เซ็นต์ (กรมประมง, 2564) และมีแนวโน้มความต้องการเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้การเพาะเลี้ยงปูม้าเข้ามามีบทบาทมากขึ้น ถึงแม้ว่าปัจจุบันมีการพัฒนาองค์ความรู้และงานวิจัยด้านการเพาะเลี้ยงปูม้าอย่างต่อเนื่อง แต่ปัญหาของการอนุบาลลูกปูม้าวัยอ่อนที่พบมากที่สุด คือ อัตรารอดต่ำ อันเนื่องมาจากพฤติกรรมการกินกันเอง (Cannibalism) ของปูม้า (Marshall et al., 2005) ดังนั้น การเข้าใจเกี่ยวกับสภาพทางชีววิทยาของปูตั้งแต่ระยะแรกเริ่มเป็นสิ่งจำเป็น ถือเป็น การเพิ่มประสิทธิภาพระหว่างการพัฒนา ระยะ ทั้งช่วงของแสงและระดับความเข้มแสงมีความสำคัญ สีพื้นหลังหรือสีน้ำเป็นอีกเงื่อนไขหนึ่งของการเพาะเลี้ยงส่งผลต่อการอยู่รอดของปู (Ikhwanuddin et al., 2019; Kawamura et al., 2020) ถิ่นอาศัยตามธรรมชาติของปูที่ฟุ้งลอกคราบเสี่ยงต่อการถูกกินมักซ่อนตัวอยู่บริเวณป่าชายเลน หาดโคลน หาดทราย สาหร่ายและแนวหญ้าทะเล (Roy et al., 2020; Sanda et al., 2021) ดังนั้น การเพาะและอนุบาลรวมไปถึงการเลี้ยงปูม้าในสภาวะการกักขัง ควรจัดให้มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม มีที่หลบซ่อนหรือพรางตัวเพื่อลดความเครียดและนำไปสู่การเพิ่มความอยู่รอดของสัตว์น้ำ ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะกับการอนุบาลลูกสัตว์น้ำวัยอ่อนหลายชนิด มีการประยุกต์ใช้สีน้ำเทียมในการทำสีน้ำภายในบ่ออนุบาลเพื่อช่วยพรางแสง ควบคุมสีน้ำ และลดความเครียดของลูกกุ้งจากน้ำที่มีความใสได้ ช่วยลดการทำร้ายกันเอง และกินอาหารได้ดีขึ้น (วิญญู และ

คณะ, 2561; Ikhwanuddin et al., 2019) ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความพยายามอย่างยิ่งเพื่อปรับปรุงอัตราการรอดชีวิต ลดการกินกันเอง ดังนั้น การทำสีน้ำภายในบ่ออนุบาลหรือบ่อเลี้ยงโดยใช้สีน้ำเทียมหรือสีน้ำวิทยาศาสตร์ก็เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่ควรมีการศึกษา ต่อเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการอนุบาลลูกปูม้า (วิญญู และคณะ, 2561; อัศวพงษ์ และคณะ, 2565) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลกระทบของสีน้ำเทียม เพื่อเลียนแบบถิ่นอาศัยตามธรรมชาติของปูที่ใช้ในการพรางตัว และศึกษาระดับความเข้มข้นของ สีน้ำเทียมสีน้ำตาลที่เหมาะสมสำหรับการอนุบาลลูกปูม้า ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้รับจะเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคนิคการอนุบาลที่ ช่วยเพิ่มศักยภาพการผลิตลูกพันธุ์ปูม้าภายใต้ระบบโรงเพาะฟักต่อไป

วัตถุประสงค์ และวิธีการ

ศึกษาผลของการใส่สีน้ำเทียมต่ออัตราการตายของลูกปูม้าระยะ First crab โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ศึกษา สีของสีน้ำเทียมหรือสีน้ำวิทยาศาสตร์ และศึกษาระดับความเข้มข้นของสีน้ำเทียมสีน้ำตาลที่เหมาะสมสำหรับการอนุบาลลูก ปูม้าระยะ First crab

1. การเตรียมสัตว์ทดลอง

นำลูกปูม้าความกว้างกระดอง 0.36 ± 0.05 เซนติเมตร ความยาวกระดอง 0.20 ± 0.04 เซนติเมตร น้ำหนักตัวเฉลี่ย 0.01 ± 0.00 กรัม (ศึกษาสีของสีน้ำเทียม) และลูกปูม้าความกว้างกระดอง 0.36 ± 0.05 เซนติเมตร ความยาวกระดอง 0.21 ± 0.04 เซนติเมตร น้ำหนักตัวเฉลี่ย 0.01 ± 0.00 กรัม (ศึกษาระดับการใส่สีน้ำเทียมสีน้ำตาล) ที่ได้จากการเพาะและอนุบาล ภายในโรงเพาะฟักตามวิธีของวุฒิชัย และคณะ (2552) ณ โรงเพาะฟักสถานีวิจัยประมงคลองวาฬ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

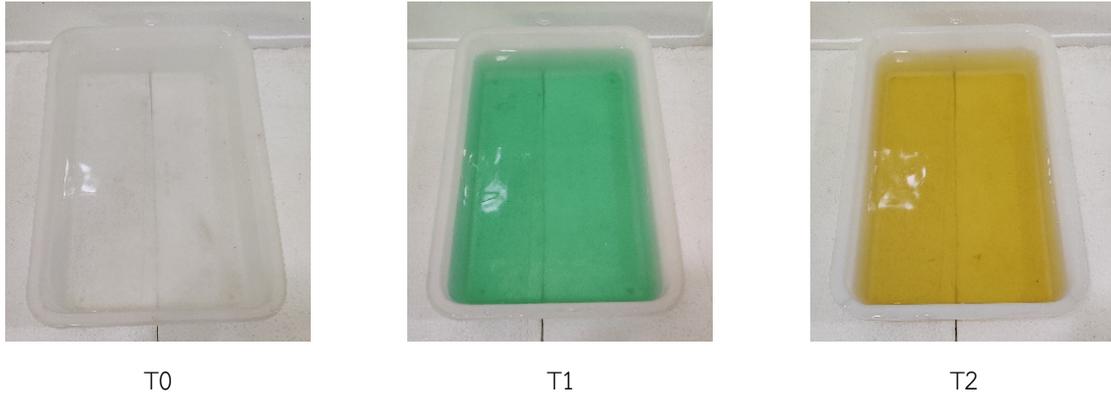
2. การเตรียมน้ำและภาชนะ

ล้างทำความสะอาดถาดทดลอง (ขนาด $22 \times 33 \times 9$ เซนติเมตร) ปริมาตร 7 ลิตร จำนวน 30 ถาด ตากให้แห้ง และเตรียมถัง พลาสติกขนาดความจุ 200 ลิตร สำหรับเตรียมน้ำทะเลความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน ผ่านถุกรองขนาด 5 ไมครอน ลงในถัง พลาสติกปริมาตร 200 ลิตร ฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผง 65 เปอร์เซ็นต์ ระดับความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน พร้อมทั้งให้อากาศ รองจนคลอรีนสลายหมดประมาณ 1-2 วัน จึงปิดอากาศพักให้น้ำตกตะกอนและดูดตะกอนออก จากนั้นนำน้ำมาใช้เลี้ยงลูกปูม้า ตามแผนการทดลอง

3. วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 การศึกษาสีของสีน้ำเทียมสำหรับการเลี้ยงปูม้าระยะ First crab

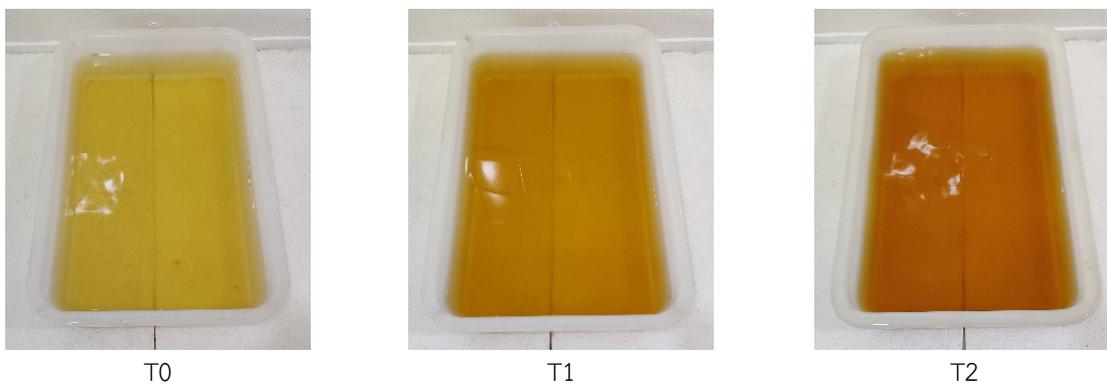
วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุด การทดลอง แต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 10 ซ้ำ ($n=10$) คือ ชุดควบคุม คือ ไม่ใส่สีน้ำเทียม (T0) ใส่สีน้ำเทียมสีเขียวความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน (T1) และใส่สีน้ำเทียมสีน้ำตาลความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน (T2) โดยเลี้ยงปูม้าในถาดพลาสติก สีขาวทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความจุ 7 ลิตร (ขนาด $22 \times 33 \times 9$ เซนติเมตร) ใส่สีน้ำความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน ที่ปริมาตร 5 ลิตร ในอัตราปล่อย 5 ตัวต่อถาด และเลี้ยงปูม้าด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปของกุ้งทะเล (อาหารเบอร์ 4) ที่อัตรา 1 เม็ดต่อตัว ต่อวัน เลี้ยงนาน 168 ชั่วโมง (7 วัน) (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 การเลี้ยงปูม้าระยะ First crab ในแต่ละชุดการทดลอง โดย T0 หมายถึง ชุดควบคุม คือ ไม่ใส่สีน้ำเทียม, T1 หมายถึง ใส่สีน้ำเทียมสีเขียวที่ความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน และ T2 หมายถึง สีน้ำเทียมสีน้ำตาลที่ความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน

3.2 การศึกษาาระดับการใส่สีน้ำเทียม (สีน้ำตาล) สำหรับการเลี้ยงปูม้าระยะ First crab

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 10 ซ้ำ ($n=10$) คือ ชุดควบคุม คือ ใส่สีน้ำเทียมสีน้ำตาล 1 ส่วนในล้านส่วน (T0) ใส่สีน้ำเทียมสีน้ำตาล 25 ส่วนในล้านส่วน (T1) และใส่สีน้ำเทียมสีน้ำตาล 50 ส่วนในล้านส่วน (T2) โดยเลี้ยงปูม้าในถาดพลาสติกสีขาวขุ่นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความจุ 7 ลิตร (ขนาด 22×33×9 เซนติเมตร) ใส่ น้ำความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน ที่ปริมาตร 5 ลิตร ในอัตราปล่อย 5 ตัว/ถาด เลี้ยงปูม้าด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปของกุ้งทะเล (อาหารเบอร์ 4) ที่อัตรา 1 เม็ดต่อตัวต่อวัน เลี้ยงนาน 168 ชั่วโมง (7 วัน) (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ระดับความเข้มข้นของสีน้ำเทียมสีน้ำตาลในการเลี้ยงปูม้าระยะ First crab ในแต่ละชุดการทดลอง โดย T0 หมายถึง ชุดควบคุม คือ 1 ส่วนในล้านส่วน T1 หมายถึง 25 ส่วนในล้านส่วน และ T2 หมายถึง 50 ส่วนในล้านส่วน

3.3 การเก็บข้อมูลและการจัดการคุณภาพน้ำ

ระหว่างการศึกษาทั้ง 2 ส่วน มีการตรวจสอบและบันทึกการตายของลูกปูม้าในแต่ละชุดการทดลองเพื่อประเมินอัตราการตาย (Mortality Rate; MR) ตามสมการที่ 1 และมีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนทดลองและหลังทดลองด้วยเครื่องมือและวิธีการดังนี้ ความเค็มน้ำวัดด้วย Salinity Refractometer ยี่ห้อ Prima tech, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) และอุณหภูมิน้ำวัดด้วย DO meter รุ่น YSI 550A, ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำวัดด้วย pH meter ยี่ห้อ Cyber Scan pH 11

จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวดพลาสติกประมาณ 250 มิลลิลิตร เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความเป็นต่างของน้ำด้วยวิธี Titration method (American Public Health Association, 2023) ภายในห้องปฏิบัติการ ส่วนปริมาณแอมโมเนียรวม และปริมาณไนโตรเจนวิเคราะห์ด้วย Test kit แบรินต์ Para test

$$\text{อัตราการตาย} = (\text{จำนวนปูม้าที่ตาย} / \text{จำนวนปูม้าที่ปล่อยเลี้ยง}) \times 100 \quad (1)$$

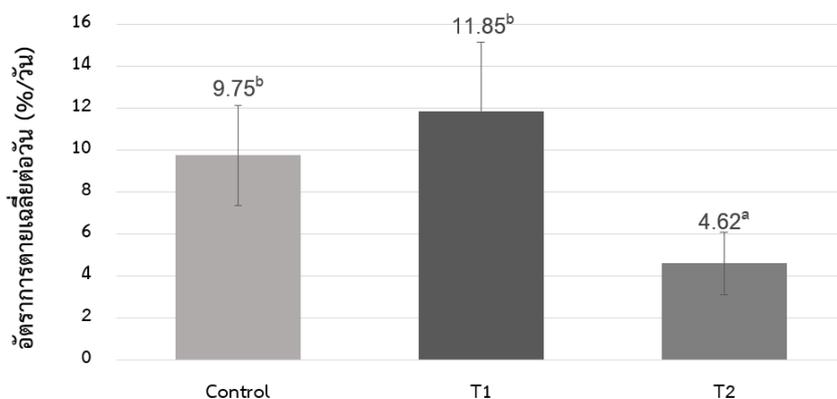
4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการศึกษาทั้ง 2 ส่วน โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพื่อหาความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิเคราะห์ และประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics for windows (Version 24.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

1. การศึกษาสีของสีน้ำเทียมสำหรับการเลี้ยงปูม้าระยะ First crab

ผลการศึกษาสีของสีน้ำเทียมที่ใช้ในการเลี้ยงปูม้าระยะ First crab พบว่า การเลี้ยงปูม้าโดยใส่สีน้ำเทียมสีน้ำตาล (T2) ส่งผลให้อัตราการตายเฉลี่ยต่อวันมีค่าต่ำที่สุด คือ มีอัตราการตายน้อยที่สุด เท่ากับ 4.62 ± 1.48 เปอร์เซ็นต์/วัน เมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงปูม้าโดยไม่ใส่สีน้ำเทียม (T0) และสีน้ำเทียมสีเขียว (T1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.75 ± 2.39 และ 11.85 ± 3.31 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 อัตราการตายเฉลี่ยต่อวันของปูม้าระยะ First crab (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) ที่เลี้ยงในแต่ละชุดการทดลอง โดย T0 หมายถึง ชุดควบคุม คือ ไม่ใส่สีน้ำเทียม, T1 หมายถึง ใส่สีน้ำเทียมสีเขียวที่ความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน และ T2 หมายถึง สีน้ำเทียมสีน้ำตาลที่ความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a, b) บนแผนภูมิแท่ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

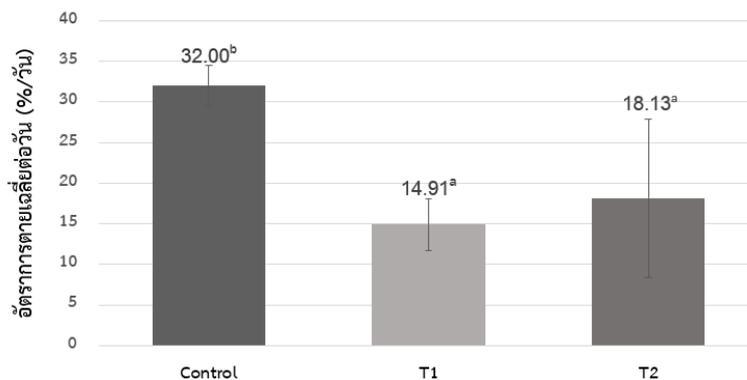
ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปูม้า ระยะ First crab ที่เลี้ยงแบบไม่ใส่สีน้ำเทียม (T0) ใส่สีน้ำเทียมสีเขียวความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน (T1) และใส่สีน้ำเทียมสีน้ำตาลความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน (T2)

พารามิเตอร์	T0	T1	T2	p-value
ความเค็มน้ำ (ppt)	30.00±0.00 ^a	30.00±0.00 ^a	30.00±0.00 ^a	1.000
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/l)	5.62±0.74 ^b	6.32±0.33 ^a	5.36±0.44 ^b	0.002
อุณหภูมิของน้ำ (°C)	27.65±0.52 ^b	28.35±0.13 ^a	27.54±0.34 ^b	0.000
ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ	8.62±0.27 ^a	8.46±0.06 ^b	8.31±0.04 ^c	0.006
ปริมาณแอมโมเนียรวม (mg-N/l)	00.00±0.00 ^a	00.00±0.00 ^a	00.00±0.00 ^a	1.000
ปริมาณไนไตรท์ (mg-N/l)	00.00±0.00 ^a	00.00±0.00 ^a	00.00±0.00 ^a	1.000
ความเป็นต่างของน้ำ (mg/l as CaCO ₃)	171.07±8.89 ^b	177.10±5.32 ^{ab}	184.38±15.22 ^a	0.039

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a, b}) ในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

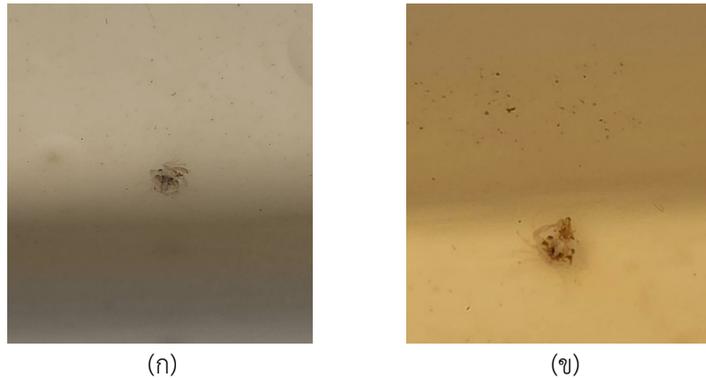
2. การศึกษาระดับการใส่สีน้ำเทียมสีน้ำตาลสำหรับการเลี้ยงปูม้าระยะ First crab

ผลการศึกษาการใส่สีน้ำเทียมสีน้ำตาลในการเลี้ยงปูม้าระยะ First crab พบว่า การเลี้ยงปูม้าโดยใส่สีน้ำเทียมสีน้ำตาล 25 ส่วนในล้านส่วน (T1) สีน้ำเทียมสีน้ำตาล 50 ส่วนในล้านส่วน (T2) ส่งผลให้อัตราการตายเฉลี่ยต่อวันที่สุด (ตายน้อย) เท่ากับ 14.91±3.19 และ 18.13±9.71 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงปูม้าโดยใส่สีน้ำเทียมสีน้ำตาล 1 ส่วนในล้านส่วน (T0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เท่ากับ 32.00±2.52 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ (รูปที่ 4) และจากการศึกษาสาเหตุการตายปูม้ามีการตายเนื่องจากการกินกันเองและปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ร่วมด้วยโดย พบว่า ในชุดการทดลอง T0, T1 และ T2 มีการตายเนื่องจากการกินกันเองอยู่ที่ 80, 76.6 และ 66.67 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ ซึ่งประมาณการณได้ว่า หากเพิ่มระดับความเข้มข้นของสีน้ำเทียมจึงจะทำให้ลดปัญหาการกินกันเองได้ในการอนุบาลหรือเลี้ยงปูม้าระยะ First crab



รูปที่ 4 อัตราการตายเฉลี่ยต่อวันของปูม้าระยะ First crab (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) ที่ระดับความเข้มข้นของสีน้ำเทียมสีน้ำตาลในการเลี้ยงปูม้าระยะ First crab ในแต่ละชุดการทดลอง โดย T0 หมายถึง ชุดควบคุม คือ 1 ส่วนในล้านส่วน, T1 หมายถึง 25 ส่วนในล้านส่วน และ T2 หมายถึง 50 ส่วนในล้านส่วน

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a, b}) บนแผนภูมิแท่ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 5 พฤติกรรมการกินกันเอง (Cannibalism) ของปูม้าระยะ First crab ที่เลี้ยง โดย (ก) คือ ไม่ใส่สื่อน้ำเทียม และ (ข) คือ ใส่สื่อน้ำเทียมสีน้ำตาล 1 ส่วนในล้านส่วน

การศึกษที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าสีของถัง ช่วงของแสง และสีน้ำมีผลกระทบต่ออัตราการรอดและการเจริญเติบโตของปลา และสัตว์น้ำในกลุ่มครัสเตเชียน เช่น ปลากะพงขาว *Lates calcarifer* (วิญญู และคณะ, 2561; ชนกันต์ และคณะ, 2562; วิญญู และคณะ, 2562) ปูม้า *P. pelagicus* (Ikhwanuddin et al., 2019) ปูดำ *S. olivacea* (Alimuddin et al., 2019) กุ้ง *Macrobrachium tenellum* (Aréchiga-Palomera et al., 2018) จากการศึกษาในครั้งนี้ หากคำนึงถึงสาเหตุการตายที่เกิดจากการกินกันเองและปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ร่วมด้วย (รูปที่ 5) โดยพบว่า ในชุดการทดลองที่ไม่ใส่สื่อน้ำเทียม (T0), ใส่สื่อน้ำเทียมสีเขียว 1 ส่วนในล้านส่วน (T1) และใส่สื่อน้ำเทียมสีน้ำตาล 1 ส่วนในล้านส่วน (T2) มีร้อยละการตายเนื่องจากการกินกันเองอยู่ที่ 100, 72.50 และ 55.00 ตามลำดับ ดังนั้นการเลี้ยงในสภาพทดลองที่มีสีน้ำสีน้ำตาลสามารถพรางตัวและลดการกินกันเองในปูม้าได้มากกว่าการเลี้ยงในสภาพสีน้ำสีเขียวและไม่ใส่สื่อน้ำ สอดคล้องกับ Alimuddin et al. (2019) กล่าวว่า ทดลองเลี้ยงปูระยะ Zoea-megalopa (*S. olivacea*) ในถังสีดำ น้ำเงิน แดง และส้ม ที่ความหนาแน่น 50 ตัวต่อลิตร พบว่า ถังสีดำมีอัตราการรอดชีวิตสูงสุด (21.88 ± 0.35) ซึ่งสอดคล้องกับ Muthmainnah et al. (2020) รายงานการทดลองเลี้ยงปูม้า (*P. pelagicus*) ระยะ Zoea ในถังพลาสติกสีดำ เขียว น้ำเงิน และแดง เพื่อศึกษาผลของสีต่าง ๆ ต่ออัตราการกินอาหารและอัตราการตายของลูกปูม้า พบว่า สีถังมีผลกระทบต่ออัตราการกินอาหาร ($p < 0.05$) และอัตราการตาย ($p < 0.01$) โดยลูกปูม้าที่เลี้ยงในถังสีดำและแดง (83.4% และ 86.4%) มีอัตราการตายต่ำกว่าถังสีน้ำเงินและเขียว (97.44% และ 97.98%) ขัดแย้งกับการรายงานของ Kawamura et al. (2020) กล่าวว่า ปู *S. tranquebarica* ตัวเต็มวัย มีความสามารถในการมองเห็นและแยกแยะสีโดยชอบพื้นหลังสีฟ้ามากกว่าสีดำ แดง เขียว ขาว และเทา จากนั้น Thien et al. (2022) ทดลองเลี้ยงปู *S. tranquebarica* ในถังสีดำ พบว่า ปูมีอัตราการตายเท่ากับร้อยละ 73.3 ต่ำกว่าที่เลี้ยงในถังสีขาวยกกับร้อยละ 80.0 ($p = 0.052$) เนื่องจากถังสีดำมีการเลียนแบบที่อยู่ตามธรรมชาติของปูมากที่สุด แต่ไม่สอดคล้องกับ Wang et al. (2019) กล่าวว่า สำหรับการเลี้ยงปู *P. trituberculatus* ที่เลี้ยงในถังสีแดงและสีน้ำเงินมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าเมื่อมีการเพาะเลี้ยงแยกกัน แต่เมื่อเลี้ยงรวมกันในถังสีขาวทำให้ปูมีอัตราการตายต่ำกว่า

คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปูม้า ระยะ First crab ที่เลี้ยงแบบไม่ใส่สื่อน้ำเทียม (T0) ใส่สื่อน้ำเทียมสีเขียวความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน (T1) และใส่สื่อน้ำเทียมสีน้ำตาลความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน (T2) พบว่า ในชุดการทดลอง T1 มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และอุณหภูมิของน้ำสูงกว่า T0 และ T2 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในชุดการทดลอง T0 มีความเป็นกรด-ด่าง สูงกว่า T1 และ T2 ($p < 0.05$) และค่าความเป็นด่างของน้ำในชุดการทดลอง T2 สูงกว่า T0 ($p < 0.05$) แต่ไม่ต่างกับ T1 (ตารางที่ 1) และการเปลี่ยนแปลงของค่าคุณภาพน้ำในแต่ละพารามิเตอร์ของการศึกษาทั้ง 2 ส่วน (ชนิดสี และระดับความเข้มข้น) ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง โดยคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปูม้า ได้แก่ ความเค็มน้ำอยู่ในช่วง 25-35 ส่วนในพันส่วน อุณหภูมิอยู่ในช่วง 28-30°C ความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 7.0-8.5

ความเป็นต่างอยู่ในช่วง 80-150 mg/l as CaCO₃ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) มากกว่า 4 mg/l ปริมาณแอมโมเนียรวมน้อยกว่า 0.4 mg-N/l และปริมาณไนโตรเจน น้อยกว่า 0.1 mg-N/l (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2564; Zhang et al., 2020)

อย่างไรก็ตาม เมื่อสิ้นสุดการทดลองปูม้ามีความกว้างกระดอง 0.74±0.50 เซนติเมตร ความยาวกระดอง 0.42±0.25 เซนติเมตร และน้ำหนักตัวเฉลี่ย 0.09±0.08 กรัม จากการศึกษาผลของการใช้สื่อน้ำเทียม (ชนิดสี และระดับความเข้มข้น) พบว่า การเลี้ยงปูม้าระยะ First crab ที่ระยะเวลาเลี้ยง 7 วัน ลูกปูม้ามีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กล่าวได้ว่าชนิดสีและระดับความเข้มข้นของสื่อน้ำเทียมไม่ได้ส่งผลต่อการเจริญเติบโต สอดคล้องกับ Krasteva et al. (2020) กล่าวว่า ในทางปฏิบัติของการใส่สื่อน้ำเทียมนั้นสามารถทำได้ แต่ควรเลือกใช้สื่อน้ำเทียมในปริมาณที่ไม่ส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายของสัตว์น้ำที่เลี้ยง มีการศึกษาจำนวนมากให้ความสนใจเกี่ยวกับผลกระทบของการใส่สื่อน้ำ เทียมหรือสื่อน้ำวิทยาศาสตร์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอื่น ๆ เช่น ช่วยลดความเครียด พรางตัว และสื่อน้ำเทียมยังมีอิทธิพลต่อการ ลอกคราบ การพัฒนาการระยะของวัยอ่อน พฤติกรรมการอยู่รอด อัตราการรอดตาย เช่น กลุ่มปู *P. trituberculatus* (Wang et al., 2019), *S. tranquebarica* (Kawamura et al., 2020), *S. paramamosain* (Chen et al., 2022), กลุ่มกุ้ง *M. amazonicum* (Bastos et al., 2019), *M. rosenbergii* (Wei et al., 2021), *Litopenaeus vannamei* (Supriyono et al., 2021), กลุ่มปลา *Clarias magur* และ *Pangasius pangasius* (Ferosekhan et al., 2020), *Colossoma macropomum* (Boaventura et al., 2021), *C. macrocephalus* × *C. gariepinus* (Ninwichian et al., 2022) และ *Oreochromis niloticus* (Wang et al., 2023) เป็นต้น และจากการศึกษา อัครพงษ์ และคณะ (2565) กล่าวว่า การเลี้ยงลูกปูม้าระยะ Zoea แบบไม่ใส่สื่อน้ำเทียมและใส่สื่อน้ำ เทียมความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน มีผลทำให้การพัฒนาการระยะลูกปูเร็วขึ้นสามารถดำรงชีวิตจนพัฒนาจากระยะ Zoea 3-4 ได้ และมีอัตราการรอดตายเฉลี่ยสูงกว่าเมื่อเทียบกับการอนุบาลลูกปูแบบใส่สื่อน้ำเทียมความเข้มข้น 25 ส่วนในล้านส่วน และ 50 ส่วนในล้านส่วน ทั้งนี้สีของถัง ช่วงของแสง และสื่อน้ำมีผลกระทบต่ออัตราการอยู่รอดและการเจริญเติบโตของปู แต่ด้วยพฤติกรรม ของปูมีการกินกันเองสูงในช่วงลอกคราบ หรือกัดกินกันเองเวลาแย่งอาหาร เพราะไม่มีวัสดุต่าง ๆ หลบซ่อนตัว (Marshall et al., 2005) ซึ่งอาจต้องทำการศึกษาระดับความเข้มข้นสื่อน้ำกับวัสดุหลบซ่อนต่อการลดอัตราการกินกันเองช่วยเพิ่มศักยภาพใน การเพาะเลี้ยงปูต่อไป

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำระหว่างการอนุบาลแต่ละพารามิเตอร์ภายใต้การศึกษาผลของการใช้สื่อน้ำเทียม (ชนิดสี และระดับความเข้มข้น) ต่อการลดอัตราการตาย เนื่องจากการกินกันเองของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus*) ระยะ First crab อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งและไม่มีผลต่ออัตราการตายของลูกปูม้าวัยอ่อน (สำนักงาน มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2564; Zhang et al., 2020)

บทสรุป

สาเหตุหลักที่ทำให้ปูม้ามีอัตราการตายสูงมาจากการกินกันเองและปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ร่วมด้วย จากการศึกษาสื่อน้ำเทียม ที่ใช้ในการเลี้ยงปูม้าระยะ First crab สื่อน้ำเทียมสีน้ำตาลทำให้ลูกปูม้ามีอัตราการตายน้อยกว่าการเลี้ยงปูม้าแบบไม่ใส่สื่อน้ำเทียม หรือใส่สื่อน้ำเทียมสีเขียว และระดับสื่อน้ำเทียม (สีน้ำตาล) ที่ความเข้มข้น 25 ส่วนในล้านส่วน และ 50 ส่วนในล้านส่วน ทำให้ปูม้ามีอัตราการตายเฉลี่ยต่อวันต่ำที่สุด คือ มีการตายน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงปูม้าโดยใส่สื่อน้ำเทียม สีน้ำตาล 1 ส่วนในล้านส่วน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้หากเพิ่มระดับความเข้มข้นของสื่อน้ำเทียมจึงจะทำให้ ลดปัญหาการกินกันเองได้ในการอนุบาลหรือเลี้ยงปูม้าระยะ First crab นอกจากนี้ ค่าคุณภาพน้ำและการเปลี่ยนแปลง คุณภาพน้ำแต่ละพารามิเตอร์ภายใต้การใส่สื่อน้ำเทียมของการเลี้ยงปูม้าระยะ First crab ทั้งสองการศึกษาอยู่ในเกณฑ์

ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งและไม่มีผลต่ออัตราการตายของลูกปูม้าวัยอ่อน อย่างไรก็ตาม ควรศึกษาผลของระดับการใส่สีน้ำเขียวต่อการลอกคราบหรือประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปูเพื่อลดการเกิดผลกระทบเชิงลบต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. (2564). สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2562. เอกสารวิชาการฉบับที่ 2/2564. กรมประมง: กรุงเทพฯ
- ชนกันต์ จิตมนัส, น้ำเพชร ประกอบศิลป์, ประจวบ ฉายบุญ, วิญญู บุญประเสริฐ, สุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย และอาณาภา วรณคนพล. (2562). ผลของสีน้ำต่อการเจริญเติบโตและสีผิวของปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch 1790) ที่เลี้ยงในระบบบ่อควาโปนิคส์. วารสารแก่นเกษตร. 47(1): 1337-1344.
- วิญญู บุญประเสริฐ, ประจวบ ฉายบุญ, เกียรติศักดิ์ เม่งอำพัน, จงกล พรหมยะ และชนกันต์ จิตมนัส. (2561). ผลของสีน้ำต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลากะพงขาววัยรุ่นที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบบ่อควาโปนิคส์. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 12(1): 11-22.
- วิญญู บุญประเสริฐ, ประจวบ ฉายบุญ, เกียรติศักดิ์ เม่งอำพัน, จงกล พรหมยะ และชนกันต์ จิตมนัส. (2562). ผลของสีน้ำเขียวต่อกิจกรรมของเอนไซม์ อัตราส่วนระหว่างทรिปีซินไคโมทริปีซิน (T/C ratio) และการเจริญเติบโตของปลากะพงขาววัยรุ่นที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียน. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 13(2): 11-24.
- วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม, เทพบุตร เวชกามา และโสภี วิชัยเมือง. (2552). อัตราการรอดตายของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ที่ได้จากพ่อแม่พันธุ์ในบ่อดิน. ใน การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 (สาขาประมง) 17-20 มีนาคม 2552. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 381-387.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2564). การปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดีสำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อการบริโภค มาตรฐานเลขที่ มกษ. 7436(G)-2564. เล่มที่ 138 ตอนพิเศษ 196 ง. อัครพงษ์ มหาสินไพศาล, เอกภพ จิวลาวย, สุธัญญา พูลเกษม, เจนจิรา กรุดทอง, ทัดมาพร ชนะสงคราม, วาสนา อากรรัตน์ และรุ่งทิวา คนสันทัด. (2565). ผลกระทบของระดับความเข้มข้นของสีน้ำเขียวต่อการพัฒนาการและอัตราการตายของลูกปูม้า (*Portunus Pelagicus*) ระยะชูเอี้ยง 1 ถึง 4. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์ วิศกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ และเทคโนโลยี ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม 27 กรกฎาคม 2022. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. มหาสารคาม. 19-29.
- Alimuddin, Karim M.Y. and Tahya A.M. (2019). Survival rate of mud crab *Scylla olivacea* larvae reared in coloured tanks. *Aquaculture, Aquarium, Conservation and Legislation Bioflux*. 12(4): 1040-1044.
- American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation. (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 24th Edition. American Public Health Association, Washington.
- Aréchiga-Palomera M.A., Vega-Villasante F., Montoya-Martinez C., Mendoza-González A. and Badillo-Zapata D. (2018). Background color effect on the pigmentation of prawn *Macrobrachium tenellum*. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 46(3): 610-614.
- Bastos A.M., Lima J.F. and Tavares-Dies M. (2019). Effect of environmental light colors on the larviculture of the amazon river prawn *Macrobrachium amazonicum*. *Aquaculture International*. 27: 1525-1534.

- Boaventura T.P., Pedras P.P.C., Santos F.A.C., Ferreira A.L., Favero G.C., Palheta G.D.A., Melo N.F.A.C. and Luz R.K. (2021). Cultivation of juvenile *Colossoma macropomum* in different colored tanks in recirculating aquaculture system (RAS): Effects on performance, metabolism and skin pigmentation. *Aquaculture*. 532: 736079.
- Chen S., Shi C., Migaud H., Song C., Mu C., Ye Y., Wang C. and Ren Z. (2022). Light spectrum impacts on growth, molting and oxidative stress response of the mud crab *Scylla paramamosain*. *Aquatic Physiology*. 9: 1-14.
- Ferosekha S., Saho S.K., Radhakrishnan K., Velmurugan P., Shamna N., Giri S.S. and Pillai B.R. (2020). Influence of rearing tank colour on Asian catfish, magur (*Clarias magur*) and pangas (*Pangasius pangasius*) larval growth and survival. *Aquaculture*. 521: 735080.
- Kawamura G., Yong A.S.K., Roy D.C. and Lim L.S. (2020). Shelter colour preference in the purple mud crab *Scylla tranquebarica* (Fabricius). *Applied Animal Behaviour Science*. 225: 104966.
- Krasteva V., Zaikov A. and Yankova M. (2020). Effect of different tank colours on some productive parameters of European catfish (*Silurus glanis* L.) fingerlings. *Agricultural Sciences and Technology*. 12(1): 19-23.
- Ikhwanuddin M., Ahmad-Fadzil N.S., Mohamad S. and Abol-Munafi A.B. (2019). Growth and survival of blue swimming crab, *Portunus pelagicus* larvae at different photo period and light intensity. *Asian Journal of Biological Sciences*. 12(2): 199-203.
- Marshall S., Warburton K., Paterson B. and Mann D. (2005). Cannibalism in juvenile blue-swimmer crab *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1766): effects of body size, moult stage and refuge availability. *Applied Animal Behaviour Science*. 90: 65-82.
- Muthmainnah M., Karim M.Y. and Achmad M. (2020). Effect of basin color on the performance of blue swimming crab (*Portunus pelagicus*). *Torani Journal of Fisheries and Marine Science*. 4: 50-57.
- Ninwichian P., Phuwan N. and Limlek P. (2022). Effects of tank color on the growth, survival rate, stress response, and skin color of juvenile hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *Clarias gariepinus*). *Aquaculture*. 554: 738129.
- Roy P., Chandan C.S.S., Roy N.C. and Islam I. (2020). Feed types affect the growth survival and cannibalism in early juvenile of striped snakehead (*Channa striata* Bloch.). *Egyptian Journal of Aquatic Research*. 46: 377-382.
- Sanda T., Shimizu T., Dan S. and Hamasaki K. (2021). Effect of body size on cannibalism in juvenile mud crab *Scylla serrata* (Decapoda: Brachyura: Portunidae) under laboratory conditions. *Aquatic Animals*. 50: 87-93.
- Supriyono E., Rasul, Budiardi T. and Pujihastuti Y. (2021). A study on the effect of different colours of culture tanks in nursery, on the production performance, biochemical composition of flesh and physiological responses of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Research* 52(4): 4086-4093.

- Thien F.Y., Hamasaki K., Shapawi R., Kawamura G., Cruz-Huervana J.D.L. and Yong A.S.K. (2022). Effect of background tank color in combination with sand substrate and shelters on survival and growth of *Scylla tranquebarica* instar. *Egyptian Journal of Aquatic Research*. 48(3): 241-246.
- Wang J., Peng K., Lu H., Li R., Weiwei S., Liu L., Wang H., Wang C. and Shi C. (2019). The effect of tank colour on growth performance, stress response and carapace colour of juvenile swimming crab *Portunus trituberculatus*. *Aquaculture Research*. 50: 2735-2742.
- Wang K., Li K., Li L., Tanase C., Mols R. and Meer M. (2023). Effects of light intensity and photoperiod on the growth and stress response of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture and Fisheries*. 8(1): 85-90.
- Wei J., Tian L., Wang Y., Yu L. and Zhu X. (2021). Effects of salinity, photoperiod, and light spectrum on larval survival, growth and related enzyme activities in the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*. 53: 735794.
- Zhang X., Zhang Y., Zhang Q., Liu P., Guo R., Jin S., Lin J., Chen L., Ma Z. and Liu Y. (2020). Evaluation and analysis of water quality of marine aquaculture area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17(4): 1-15.

Received: August 7, 2024; Revised: May 20, 2024; Accepted: May 25, 2024

รูปแบบระบบหมุนเวียนน้ำต่อการเพาะพันธุ์ปลาในบ่อดินด้วยไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ Effects of upper and lower water circulation system with solar energy for fish breeding in earth pond

ศตพร โนนคู่เขตโขง^{1*} วิจิตรดา อรรถสาร¹ อดิเทพชัยการณ ภาชนะวรรณ¹ และวัลจิราพร รอดชุม¹
Sataphon Nonkhukhetkhong^{1*}, Vijitta Atthasan¹, Adithepchaikarn Pachanawan¹
and Wanchiraporn Rodchum¹

¹คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม

¹Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom Province

*Corresponding Author E-mail Address: sataphon882@gmail.com

บทคัดย่อ

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำถือเป็นการลดข้อจำกัดด้านพลังงานและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเพาะพันธุ์สัตว์น้ำในบ่อเลี้ยงโดยตรงซึ่งต้องการคุณภาพน้ำที่ดีสำหรับพัฒนาการของปลาวัยอ่อน ผู้วิจัยจึงใช้ระบบหมุนเวียนน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันมาใช้เพาะพันธุ์สัตว์น้ำโดยมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้งาน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ระบบหมุนเวียนน้ำแบบเหนือน้ำและใต้น้ำ แล้วใช้ระบบดังกล่าวในการเพาะพันธุ์ปลาตะเพียนขาวขนาด 172.6 ± 113.7 กรัม ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ เก็บข้อมูลปริมาณไข่ทั้งหมด จำนวนไข่ดี อัตราการปฏิสนธิ จำนวนลูกปลาและอัตราการฟักเป็นตัว ผลการศึกษาระบบหมุนเวียนน้ำทั้งสองแบบพบว่า จำนวนไข่ทั้งหมด จำนวนไข่ดี และอัตราการปฏิสนธิไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) จำนวนลูกปลาพบที่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนด้านอัตราการฟักมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) นอกจากนี้ยังพบว่าคุณภาพน้ำทุกค่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แม้ว่าข้อมูลของการศึกษานี้จะสรุปได้ว่าระบบหมุนเวียนน้ำแบบเหนือน้ำให้ผลที่ดีกว่าแบบใต้น้ำ แต่ข้อมูลค่าจำนวนไข่ดี อัตราการปฏิสนธิจำนวนลูกปลาและอัตราการฟักเป็นตัวอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำเมื่อเทียบกับการศึกษาอื่นซึ่งอาจเกิดจากอัตราการไหลของน้ำที่มากเกินไปจนไข่ปลาเกิดความเสียหาย การปรับลดความแรงของน้ำหรือเพิ่มช่องทางออกของท่อน้ำจึงอาจช่วยทำให้ผลการศึกษา มีความชัดเจนมากขึ้น

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์ ระบบหมุนเวียนน้ำ การเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ

Abstract

One of the important issues in the field of aquaculture is the insufficient energy, where the culture pond is far away. Nowadays solar cell equipment is cost-effective and easier to install in the system for customers. Breeding directly in the pond and rearing until reaching the desired size can enhance the efficiency of aquaculture. To achieve this, it is crucial to manage and control the dissolved oxygen level (DO) by using water pumps or air blowers. This present study was aimed to compare the performance of two prototypes of water circulation systems with solar energy. Divided the outlet pipe of system into two groups according to direction of the water outlet including above water (T1) and under water (T2). Then breeding a 172.6 ± 113.7 g silver barb with three replicates and then comparing the total number of eggs, fertilized eggs, fertilization rate, number of fries and hatching rate from both groups. The result showed that total number of eggs, fertilized eggs and fertilization rate were not significant ($p > 0.05$). For the number of fries, it has significantly difference between groups ($p < 0.05$). In addition, the hatching rate of T1 was highly different from T2 ($p < 0.01$). In the of water quality there was no differences between groups ($p > 0.05$). Although the data of this study was quite low when compare with other experimental about fish breeding due to the water flow rate in the circulation system is too strong. Based on the result of this study the above water circulation system was better than underwater circulation system when breeding directly in the pond.

Keywords: Solar energy, Water circulation system, Aquatic animal breeding

บทนำ

ในกระบวนการเพาะพันธุ์ปลา การเคลื่อนย้ายสัตว์น้ำเป็นหนึ่งในขั้นตอนที่นับว่ามีความเสี่ยงต่อความบอบช้ำของสัตว์น้ำ ทั้งการย้ายพ่อแม่พันธุ์จากบ่อเลี้ยงมายังโรงเพาะฟักเพื่อทำการผสมพันธุ์ และการย้ายพ่อแม่พันธุ์กลับไปยังบ่อเลี้ยงหลังผสมเสร็จ รวมถึงต้องมีการขนย้ายลูกปลาที่ฟักออกจากไข่ไปยังบ่ออนุบาล จึงมีแนวคิดที่จะลดขั้นตอนการขนย้ายโดยการเพาะพันธุ์ในบ่อดินโดยตรง โดยการวางกระชังในบ่อแล้วทำการผสมพันธุ์และฟักไข่ปลาต่อในกระชัง จากนั้นทำการอนุบาลปลาในบ่อดินต่อจนได้ขนาด ซึ่งแนวคิดนี้สามารถลดความซับซ้อนลงได้มาก แต่ต้องมีความระมัดระวังในการจัดการคุณภาพน้ำ โดยเฉพาะระดับออกซิเจนที่ควรรักษาให้สูงอยู่ตลอด (กรมประมง, 2562) ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของสัตว์น้ำกับสิ่งแวดล้อมคือการขับถ่ายของเสียออกมาในรูปแบบของแอมโมเนีย ดังนั้นการหมุนเวียนน้ำทำให้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูงขึ้น ทำให้วัฏจักรไนโตรเจนซึ่งต้องการออกซิเจนในปฏิกิริยาต่าง ๆ เกิดได้มากขึ้น ส่งผลให้ความเป็นพิษในน้ำลดลง (สุภัณฑิต และวีรพงศ์, 2552) ซึ่งระบบหนึ่งที่สามารถลดปัญหานี้ได้ดีคือระบบการผลักดันมวลน้ำและเติมอากาศ โดยใช้หลักการยกตัวของอากาศ (Airlift) ทำให้สามารถเพิ่มระดับออกซิเจนในน้ำได้ ทั้งนี้ระบบดังกล่าวต้องใช้ต้นทุนค่าวัสดุและค่าพลังงานในระดับหนึ่ง (Parker and Suttle, 1987) โดยการใช้ระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell) เริ่มมีการใช้งานในประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ. 2543 โดยเป็นการติดตั้งใช้งานในพื้นที่ที่ห่างไกล โดยระบบที่ใช้เป็นแบบเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ (Off grid system) ไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทำให้ผู้ติดตั้งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เองและมีหลากหลายการใช้งาน ซึ่งต้องเลือกให้เหมาะกับการใช้งาน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2545; ศิริโรตม์ และคณะ, 2563) ปัจจุบันการใช้ระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในการเลี้ยงสัตว์น้ำมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น ใช้กับ

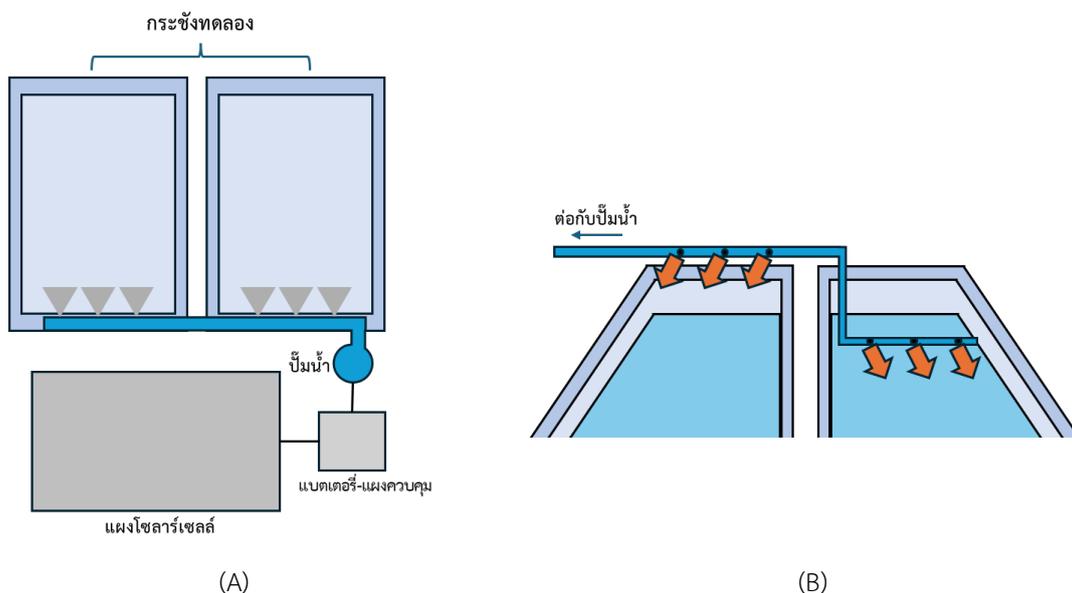
เครื่องต้นน้ำแบบใบพัดในการเลี้ยงกุ้งขาว (สุทธิณี และคณะ, 2564) ระบบการเติมอากาศในการเลี้ยงปลานิล (สุรศักดิ์ และคณะ, 2558) ระบบหมุนเวียนน้ำในการเลี้ยงปลาดุก (บัณฑิตา และคณะ, 2566) โดยมากจะเป็นการประยุกต์ใช้กับเครื่องให้อากาศในน้ำโดยตรงทำให้ระดับออกซิเจนอยู่ในระดับที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ คือไม่ต่ำกว่า 4 มก./ลิตร (Culberson and Piedrahita, 1996)

เนื่องจากในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจำเป็นต้องมีการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งกลายเป็นข้อจำกัดเมื่ออยู่ในพื้นที่ที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ประกอบกับระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำให้ผู้ใช้งานสามารถผลิตไฟฟ้าใช้ได้เองโดยไม่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ และในปัจจุบันมีที่ราคาถูกลงมาก จึงมีแนวคิดที่จะใช้ระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่ชุดอุปกรณ์หมุนเวียนน้ำในบ่อเพื่อใช้ในการเพาะพันธุ์ปลา ซึ่งจะช่วยให้ระดับออกซิเจนในบ่อเพียงพอต่อการฟักไข่ปลาส่งผลให้มีอัตราการฟักและอัตราการรอดที่ดี นวัตกรรมนี้สามารถนำมาจัดทำเป็นต้นแบบเพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรสามารถใช้ในการเพาะพันธุ์ปลาในบ่อได้โดยตรง โดยชุดอุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับชุดจ่ายไฟฟ้าพ่วงกับแบตเตอรี่ซึ่งต่อกับปั๊มน้ำที่เดินระบบท่อน้ำออกเพื่อหมุนเวียนน้ำในบ่อปลา ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการเปรียบเทียบระบบหมุนเวียนน้ำแบบต่อท่อเหนือน้ำและแบบใต้น้ำ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเตรียมระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และกระชังทดลอง

ติดตั้งชุดแผงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยต่อวงจรจากแผงเข้ากับแผงควบคุม แบตเตอรี่ขนาด 50 Ah และปั๊มน้ำขนาด 130 W ตามลำดับ จากนั้นวางกระชังตาข่ายไนลอนขนาด 1x2x0.8 เมตร ในบ่อปลาที่มีระดับน้ำไม่ต่ำกว่า 50 เซนติเมตร. และวางกระชังผ้าตาถี่ซ้อนในกระชังไนลอน จากนั้นติดตั้งปั๊มน้ำลงในบ่อแล้วต่อท่อโดยปรับท่อน้ำออกให้มีการพ่นน้ำเป็นแบบเหนือน้ำและใต้น้ำ ดังรูปที่ 1(A) และ (B) ตามลำดับ



รูปที่ 1 (A) แผนผังแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ในการทดลอง (B) ลักษณะของระบบหมุนเวียนน้ำแบบเหนือน้ำและใต้น้ำ

การเตรียมสัตว์ทดลอง

ฟักปลาตะเพียนขาวที่ทำการรวบรวมมาจำนวน 50 ตัว ในกระชังตาข่ายไนลอนขนาด 3x2x0.8 เมตร เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้เกิดการปรับตัว ให้อาหารสำเร็จรูปสำหรับปลากินพืชที่ระดับโปรตีนไม่ต่ำกว่า 18% วันละ 2 มื้อ (08.00 น. และ 17.00 น.) ระหว่างการฟักปลา ก่อนการทดลองทำการจำแนกเพศ ชั่งน้ำหนัก แล้วทำการฉีดฮอร์โมนสังเคราะห์เพื่อกระตุ้นการผสมพันธุ์วางไข่ ตามลำดับ

การวางแผนการศึกษา

เปรียบเทียบความแตกต่างของ 2 กลุ่มประชากร โดยใช้สถิติกลุ่ม T-test ได้แก่ ระบบหมุนเวียนน้ำแบบเหนือน้ำและแบบใต้น้ำ โดยใช้อัตราส่วนปลาตะเพียนเพศเมียต่อเพศผู้เท่ากับ 1 ต่อ 2 ตามวิธีของปรกรณ์ (2532) แบ่งเป็นกลุ่มละ 7 ตัว เป็นเพศผู้ 5 ตัว และเพศเมีย 2 ตัว ตามลำดับ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยเพาะพันธุ์ปลาในกระชังที่ใช้ระบบหมุนเวียนน้ำแต่ละแบบ แล้วเปรียบเทียบอัตราการฟักเป็นตัวของลูกปลาและปัจจัยทางคุณภาพน้ำต่าง ๆ

การเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลโดยหลังจากฉีดฮอร์โมนประมาณ 6-8 ชั่วโมง สังเกตการณ์ผสมพันธุ์วางไข่ของปลาตะเพียน แล้วนับจำนวนไข่ปลาด้วยวิธีการเทียบความหนาแน่น และคำนวณอัตราการปฏิสนธิ หลังจากปลาวางไข่ประมาณ 18-24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างลูกปลาในกระชังมาคำนวณอัตราการฟักเป็นตัว ตามวิธีการศึกษาของ วิมล และคณะ (2535) ดังนี้

$$\text{จำนวนไข่ปลาทั้งหมด (ฟอง)} = \text{จำนวนไข่ปลาที่นับได้ในภาชนะขนาด 1 ลิตร} \times \text{ปริมาตรน้ำ}$$

$$\text{อัตราการปฏิสนธิ (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนไข่ปลาทั้งหมด} - \text{จำนวนไข่เสีย}}{\text{จำนวนไข่ปลาทั้งหมด}} \times 100$$

$$\text{อัตราการฟักเป็นตัว (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนลูกปลาที่นับได้ในภาชนะขนาด 1 ลิตร} \times \text{ปริมาตรน้ำในบ่อหรือกระชัง}}{\text{จำนวนไข่ปลาทั้งหมด}} \times 100$$

ในด้านคุณภาพน้ำ นำตัวอย่างน้ำในกระชังก่อนและหลังการเพาะพันธุ์ปลาในแต่ละกระชังมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีตามวิธีของ นิพนธ์ และคณิตา (2550) โดยเก็บข้อมูลอุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) และค่าแอมโมเนียรวม (TAN)

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้ออกมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป

ผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์ในการเพาะพันธุ์ปลาแบบท่อเหนือน้ำและใต้น้ำ โดยได้ทำการเพาะพันธุ์ปลาตะเพียนขาว เป็นจำนวน 3 ซ้ำ ได้ผลการวิจัยดังนี้

ประสิทธิภาพในการเพาะพันธุ์ปลาของระบบหมุนเวียนน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แล้วพบว่าค่าเฉลี่ยในด้านต่างๆ ของระบบหมุนเวียนน้ำแบบท่อน้ำมีค่าสูงกว่าแบบได้น้ำตลอดการทดลอง ในด้านจำนวนไข่ทั้งหมด จำนวนไข่ดี และอัตราการปฏิสนธิ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในด้านจำนวนลูกปลาพบว่า ระบบหมุนเวียนน้ำแบบเหนือน้ำ ($62,500\pm 11,113$ ตัว) และแบบได้น้ำ ($3,567\pm 1,676$ ตัว) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนด้านอัตราการฟักพบว่า ระบบหมุนเวียนน้ำแบบเหนือน้ำ (60.12 ± 15.93 เปอร์เซ็นต์) และแบบได้น้ำ (4.75 ± 0.74 เปอร์เซ็นต์) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์ในการเพาะพันธุ์ปลา

	แบบเหนือน้ำ	แบบได้น้ำ	ค่า t	p-value	แปลผล
จำนวนไข่ (ฟอง)	301,500±25,923	254,500±39,285	1.40	0.60	ns
จำนวนไข่ดี (ฟอง)	112,000±32,780	64,000±29,402	1.54	0.90	ns
อัตราการปฏิสนธิ (%)	36.45±8.11	23.99±7.43	1.60	0.91	ns
จำนวนลูกปลา (ตัว)	62,500±11,113	3,567±1,676	7.52	0.04	*
อัตราการฟัก (%)	60.12±15.93	4.75±0.74	4.98	0.004	**

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($n=3$) * หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) **หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ตัวอักษร^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

คุณภาพน้ำตลอดการทดลอง

ในด้านคุณภาพน้ำพบว่า ตลอดการทดลอง ทั้งก่อนการเพาะพันธุ์ปลา หลังเพาะพันธุ์ 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างกลุ่มทดลอง และเกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (กรมประมง, 2562) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อที่ใช้ระบบหมุนเวียนน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์ในการเพาะพันธุ์ปลา

ปัจจัยคุณภาพน้ำ	ช่วงเวลา	แบบเหนือน้ำ	แบบได้น้ำ	ค่า t	p-value	ค่าที่เหมาะสม
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/l)	ก่อนการทดลอง	4.4±0.2	4.5±0.1	0.69 ^{ns}	0.53	
	หลังเพาะปลา 12 ชั่วโมง	4.1±0.1	4.5±0.1	-4.11 ^{ns}	0.01	≥ 4.0
	หลังเพาะปลา 24 ชั่วโมง	4.9±0.4	4.5±0.0	1.15 ^{ns}	0.31	
	ก่อนการทดลอง	7.0±0.4	7.2±0.5	0.38 ^{ns}	0.72	
	หลังเพาะปลา 12 ชั่วโมง	7.0±0.4	7.0±0.0	0.50 ^{ns}	0.64	6.5-9.0
	หลังเพาะปลา 24 ชั่วโมง	7.0±0.4	6.8±0.5	0.00 ^{ns}	1.00	

ปัจจัยคุณภาพน้ำ	ช่วงเวลา	แบบเหนือน้ำ	แบบใต้น้ำ	ค่า t	p-value	ค่าที่เหมาะสม
อุณหภูมิ (°C)	ก่อนการทดลอง	24.7±1.9	24.8±1.7	-0.09 ^{ns}	0.93	
	หลังเพาะปลา 12 ชั่วโมง	25.1±0.8	25.3±1.0	-0.21 ^{ns}	0.84	28-32
	หลังเพาะปลา 24 ชั่วโมง	25.2±1.2	25.8±0.6	-0.66 ^{ns}	0.54	
	ก่อนการทดลอง	0.0±0.0	0.0±0.0	-	-	
แอมโมเนียรวม (mg/l)	หลังเพาะปลา 12 ชั่วโมง	0.0±0.0	0.0±0.0	-	-	<0.02
	หลังเพาะปลา 24 ชั่วโมง	0.0±0.0	0.0±0.0	-	-	
	ก่อนการทดลอง	0.0±0.0	0.0±0.0	-	-	

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (n=3) ตัวอักษร ^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

การอภิปรายผล

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์ในการเพาะพันธุ์ปลาแบบท่อเหนือน้ำและใต้น้ำ โดยได้ทำการเพาะพันธุ์ปลาตะเพียนขาวเพื่อทดสอบความแตกต่างในด้านจำนวนไข่ปลา จำนวนไข่ดี อัตราการปฏิสนธิ จำนวนลูกปลา และอัตราการฟัก ตามลำดับ ทางด้านจำนวนไข่ปลา ไข่ดีและอัตราการปฏิสนธิ พบว่า สองคล่องกับ มานพ และคณะ (2531) ชุมพล และคณะ (2559) ฐาปนพันธ์ และคณะ (2552) ศิริภรณ์ และคณะ (2566) ที่รายงานตรงกันว่าระบบเพาะฟักที่ต่างกันจะไม่ส่งผลต่อจำนวนไข่ปลาที่ได้จากการเพาะ แต่จะผลต่ออัตราการฟักและอัตราการรอดของลูกปลา ในด้านจำนวนลูกปลาพบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05) และด้านอัตราการฟักพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (p<0.01) ทั้งนี้เป็นผลมาจากความแรงของน้ำในระบบที่ไม่เท่ากัน โดยที่ระบบหมุนเวียนน้ำแบบเหนือน้ำจะทำให้น้ำในระบบไหลช้ากว่าการต่อท่อแบบใต้น้ำ เนื่องจากมีการสูญเสียแรงดันจากความเสียดทานและการยกตัวประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ (มนตรี, 2552; วรสิทธิ์, 2556) เมื่อลูกปลาระยะแรกฟักซึ่งยังไม่แข็งแรงพอในการว่ายน้ำทวนมาอยู่ในบริเวณที่น้ำเกิดการเคลื่อนที่ ทำให้ลูกปลาไปกองกันอยู่ที่บริเวณท้ายกระชังจนเกิดความบอบซ้ำและตายในที่สุด (Basak et al., 2014) ทำให้ระบบหมุนเวียนน้ำแบบเหนือน้ำมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าแบบใต้น้ำ ด้านอัตราการปฏิสนธิ ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้แม้จะไม่มีผลแตกต่างกันทางสถิติ แต่ผลที่ได้ที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการศึกษาของ มานพ และคณะ (2531) และ Rusda et al. (2023) ที่รายงานว่าอัตราการปฏิสนธิของไข่ปลาตะเพียนขาวโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 74.23 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องมาจากพ่อแม่พันธุ์มีอายุมากและมีขนาดเล็ก หากใช้พ่อแม่พันธุ์ที่มีอายุและขนาดเหมาะสมกว่านี้อาจทำให้อัตราการปฏิสนธิสูงขึ้นได้ ด้านอัตราการฟัก พบว่า มีสัดส่วนใกล้เคียงกันกับรายงานของมานพ และคณะ (2531) และ Rusda et al. (2023) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเพาะพันธุ์ปลาตะเพียนขาว พบว่า อัตราการฟักของไข่ปลาตะเพียนขาวโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 56.73 และ 64.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนทางด้านคุณภาพน้ำ พบว่า เมื่อใช้ระบบหมุนเวียนน้ำทั้งสองรูปแบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากระบบน้ำหมุนเวียนทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำอยู่ตลอดเวลาที่ทำการศึกษา ในปัจจัยคุณภาพบางค่า เช่น ออกซิเจนที่ละลายในน้ำจึงมีค่าสูงกว่าจุดที่เป็นอันตรายต่อการพัฒนาของไข่ปลา คือไม่ต่ำกว่าโดย 3 mg/l อยู่เสมอ เฉพาะอย่างยิ่งในเวลากลางคืน (วิรัช, 2540)

บทสรุป

จากผลของการวิจัย สรุปได้ว่าการใช้ระบบหมุนเวียนน้ำแบบเหนือน้ำทำให้ปลาที่ทำการเพาะพันธุ์มีอัตราการรอดตายของลูกปลาสูงกว่าระบบหมุนเวียนแบบใต้น้ำ แต่ในด้านของปัจจัยทางคุณภาพน้ำ พบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดการเพาะพันธุ์ปลา ส่วนปัญหาและอุปสรรคที่พบระหว่างการวิจัยได้แก่ ปัญหาด้านพลังงาน เนื่องจากสภาพอากาศมีความแปรปรวนในช่วงเวลาที่ทำการวิจัย ทำให้ไม่มีพลังงานแสงอาทิตย์เพียงพอสำหรับใช้จ่ายให้ปั้มน้ำ การแก้ไขเบื้องต้นคือการตั้งค่าการจ่ายพลังงานจากแผงควบคุมให้ดึงพลังงานจากแบตเตอรี่ในช่วงเวลากลางคืน ส่วนเวลากลางวันใช้พลังงานจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม สำหรับทุนวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้และพัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ที่ตอบสนองความต้องการของชุมชนและสังคม สำหรับบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุนประจำปีงบประมาณ 2566

เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. (2562). คู่มือการวิเคราะห์น้ำ เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการตรวจมาตรฐานฟาร์ม. กองพัฒนาระบบการรับรองมาตรฐานสินค้าประมงและหลักฐานเพื่อการสืบค้น. กรมประมง: กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2562). การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายถอดและการเผยแพร่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน: กรุงเทพฯ.
- ชุมพล ศรีทอง, ทินวุฒิ ล่องพริก และยนต์ มุสิก. (2559). ผลของการใช้ระบบหมุนเวียนน้ำในการอนุบาลปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* X *O. mossambicus*). ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54 2-5 กุมภาพันธ์ 2559 กรุงเทพฯ. 958-967.
- ฐาปนพันธ์ สุรจิต และเรืองวิษญ์ ยूनพันธ์. (2552). การศึกษาเปรียบเทียบระบบการเพาะพันธุ์ปลานิล (*Oreochromis niloticus*, Linn) ในบ่อดิน บ่อซีเมนต์ และกระชังแขวนลอยในบ่อดิน เพื่อผลิตลูกปลานิลเชิงพาณิชย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุรักษ์. (2550). หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- บัณฑิตา ภูทร์พรมมีโปณะทอง, เอกวิทย์ แก้วทอง, พงษ์พันธ์ ราชภักดี และฉัตรพล พิมพา. (2566). การพัฒนาระบบการเลี้ยงปลาแบบหมุนเวียนน้ำโดยพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษา ชุมชนบ้านนาไม้ไผ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 13(1): 97-110.
- ปรกรณ์ อุ่นประเสริฐ. (2532). การเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืด. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- มนตรี พิรุณเกษตร. (2552). กลศาสตร์ของไหล. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- มานพ ตั้งตรงไพโรจน์, สมศักดิ์ ล้วนปรีดา, สุจินต์ หนูขวัญ และวิสุทธิ์ ศรีชุมพวง. (2531). การอนุบาลปลาตะเพียนขาวในบ่อดิน. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ: กรุงเทพฯ.

- วรรณยู ขุนเจริญ, อนุวัติ อุปนนไชย และจิระภา โปธิศรี. (2551). ประสิทธิภาพการฟักไข่ปลาตกแก้วโดยใช้วิธีฟักไข่ที่แตกต่างกัน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2551. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด. กรมประมง: กรุงเทพฯ.
- วิทธิ อิงภากรณ์. (2556). การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร. พิมพ์ครั้งที่ 6. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์: กรุงเทพฯ.
- วิมล จันทโรทัย, ประเสริฐ สีตะสิทธิ์, ศิริมล ชุ่มสูงเนิน และสมฤกษ์ ชินมุข. (2535). อาหารที่ระดับโปรตีนต่างกันแต่พลังงานคงที่ต่อการเจริญเติบโตและไขมันสะสมในปลาสาวย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 124. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด กรมประมง: กรุงเทพฯ.
- วิรัช จิวแหยม. (2540). คุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและวิธีวิเคราะห์. ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น: ขอนแก่น.
- ศิริภรณ์ โคตะมี, อุไรวรรณ เปียสูงเนิน และชิตพล คงศิลา. (2566). ผลของจำนวนหัวฉีดที่ปล่อยน้ำระบบหมุนเวียนและรูปทรงลาดฟักไข่ต่ออัตราการรอดตายของลูกปลานิลในระยะฟักเป็นตัว. วารสารแก่นเกษตร. 51(3): 499-511.
- ศิศิโรตม์ เกตุแก้ว, พรชัย วงศ์วาสนา และมณี อัครานนท์. (2563). การประยุกต์ใช้แสงอาทิตย์สำหรับการจ่ายไฟฟ้าในฟาร์มกวาง มหาวิทยาลัยรามคำแหง. วารสารวิจัยรามคำแหง. 23(1): 72-82.
- สุบัณฑิต นิมิตรัน, และวีรพงศ์ วุฒิปันธุ์ชัย. (2552). การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน : บทบาทของจุลินทรีย์และการประยุกต์ใช้. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- สุทธิณี ลิ้มธรรมมหิศร, พุทธ ส่องแสงจินดา, ชัยวุฒิ สุดทอง และคมสัน ทองแถม. (2564). โครงการลดต้นทุนการผลิตกุ้งทะเลเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในอุตสาหกรรมกุ้งทะเลอย่างยั่งยืน ปี 2564. เอกสารประกอบโครงการวิจัย. กรมประมง.
- สุรศักดิ์ แสนทวีสุข, นิกร สุขบุร่ง และวิชชุดา ภาโสสม. (2558). การใช้เซลล์แสงอาทิตย์กับเครื่องเติมอากาศแบบ ศทม. สำหรับบ่อเลี้ยงปลา. เอกสารประกอบโครงการวิจัย. ศูนย์เทคโนโลยีที่เหมาะสม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2545). ถาม-ตอบ เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์.โครงการศูนย์เทคโนโลยีพลังงาน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ: กรุงเทพฯ.
- Basak S.K., Basak B., Gupta N. and Rahman S.M.M. (2014). Embryonic and larval development of Silver Barb (*Barbodes gonionotus*) in a mobile hatchery under laboratory condition. Journal of Agriculture and Veterinary Science. 7(4): 81-90.
- Culberson S.D. and Piedrahita R.H. (1996). Aquaculture pond ecosystem model: temperature and dissolved oxygen prediction-mechanism and application. Ecological modeling. 89(1): 231-258.
- Parker N.C. and Suttle M.A. (1987). Design of airlift pumps for water circulation and aeration in aquaculture. Aquacultural Engineering. 6(2): 97-110.
- Rusda Y., Prayitno S.B. and Hastuti S. (2023). Effect of soaking Java Barb (*Baryoniums gonionotus*) eggs in jatropa leaf solution (*Jatropha curcas* L.) on their hatching and survival rate. Omni Akuatika. 19(2): 115-125.

Received: December 20, 2023; Revised: April 29, 2024; Accepted: May 25, 2024

การสังเคราะห์และวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์
ที่ปลูกด้วยเทคนิคสปัตเตอร์ริง
Synthesis and characterization of cesium iodide thin film,
grown by RF-Magnetron sputtering

ปวิวรรต ลิ้มธนะเมธีกุล^{1*} พรรณี แสงแก้ว¹ มติ ห่อประทุม² ทศพร เลิศวนิชผล² และกิตติธัช ธนสิวะวงษ์²
Pariwat Limthanameteekul^{1*}, Phannee Saengkaew¹, Mati Horprathum²,
Tossaporn Lertvanithphol² and Kittidhaj Dhanasiwawong²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร

¹Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok.

²ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ จังหวัดปทุมธานี

²National Electronic and Computer Technology Center (NECTEC), National Science and Technology Development Agency, Ministry of Science and Technology, Pathum Thani Province

*Corresponding Author E-mail Address : phannee.s@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาอุปกรณ์วัดรังสีของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ (CsI) ปลูกบนฐานรอง Si(100) โดยเทคนิคสปัตเตอร์ริงอาร์เอฟแมกนีตรอนที่ได้มีการปรับค่ากำลังสปัตเตอร์ริงที่ 10, 30 และ 50 วัตต์ ซึ่งใช้เวลาสังเคราะห์ฟิล์มบาง 30 นาที ภายใต้ความดันบรรยากาศก๊าซอาร์กอน 10 มิลลิทอร์ ฟิล์มบางที่ได้มีลักษณะเฉพาะเชิงโครงสร้างโดยวิเคราะห์การเลี้ยวเบนมุมเล็กๆของรังสีเอกซ์ (GIXRD) ลักษณะทางกายภาพโดยวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ชนิดฟิล์มอีมีสชัน (FE-SEM) คุณสมบัติเชิงแสงวิเคราะห์ด้วยการวัดค่าเปล่งแสง (PL) และคุณสมบัติไฟฟ้าวิเคราะห์จากปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) ผลการวิเคราะห์ GIXRD พบว่าฟิล์มบาง CsI มีโครงสร้างลูกบาศก์ (BCC) โดยแสดงระนาบที่โดดเด่น คือ CsI(100) และ CsI(211) ซึ่งมีค่าคงที่แลตทิซของโครงสร้างผลึกของคือ $4.5622 \pm 0.0024 \text{ \AA}$ ภายใต้ความเค้นแบบยืดออกน้อยมาก ๆ ที่ -0.004% ลักษณะทางกายภาพ FE-SEM แสดงให้เห็นความหนาของฟิล์มบาง CsI ที่ปลูกด้วยกำลังสปัตเตอร์ริง 50 วัตต์ ให้การจัดเรียงตัวของผลึกที่หนาแน่น โดยมีอัตราการเคลือบที่ 400 นาโนเมตรต่อชั่วโมง วัดการเปล่งแสง PL ระบุว่าฟิล์มบาง CsI ดูดกลืนและปลดปล่อยโฟตอนด้วยพลังงานกระตุ้นความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ซึ่งเปล่งแสงออกมาหลายฟิสิกในช่วง 420-470 นาโนเมตร ปรากฏการณ์ฮอลล์แสดงให้เห็นฟิล์มบาง CsI เป็นสารกึ่งตัวนำประเภทพี ที่มีความหนาแน่นของประจุพาหะ 2.935×10^{15} ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และสภาพความต้านทานไฟฟ้า 0.3735 กิโลโอห์มเซนติเมตร ผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า ฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่สังเคราะห์จากเทคนิคการสปัตเตอร์ริงมีแนวโน้มที่ดีในการพัฒนาการตรวจจับสนิวเคลียร์ในอนาคต

คำสำคัญ: ซีเซียมไอโอไดด์ ฟิล์มบาง การตรวจวัดรังสี สปัตเตอร์ริง

Abstract

To develop Cesium Iodide (CsI)-based optoelectronic devices, CsI thin films were deposited on Si (100) wafer substrate by RF-magnetron sputtering with varying sputtering power at 10, 30 and 50 watts. Along the 30 minutes of deposition with Ar gas, the operating pressure was controlled at the constant of 10 mTorr. The prepared CsI films were characterized for their crystallinities, morphologies, optical properties, and electrical properties through the grazing-incidence X-ray diffraction (GIXRD), field-emission scanning electron microscope (FE-SEM), photoluminescence (PL) and Hall Effect measurements. The GIXRD results show that the CsI films are formed in BCC structure with several crystallographic planes, especially (1 1 0) and (2 1 1) which have a crystal structure lattice constant of $4.5622 \pm 0.0024 \text{ \AA}$ under a minimal tensile strain of -0.004%. The cross-sectional FE-SEM images exhibit that the thickness of the CsI thin films growth at a sputtering power of 50 W results in a dense crystalline arrangement. And the growth rate of CsI films is 400 nanometers per hour. The PL measurements indicate that the CsI films, by the excitation wavelength of 200 nm, have an emission light as multiple peaks in the 420-470 nm range. In addition, the Hall measurements show that the growth CsI films are p-type semiconductors with a carrier concentration $2.935 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ and a resistivity of and 0.3735 $\text{k}\Omega\text{cm}$. All results of the film's characterizations indicate that these CsI films, by the optimized sputtering technique are promising for the future development of radiation semiconductor detector.

Keywords: CsI thin films, Optoelectronic devices, Radiation detector, Sputtering deposition

บทนำ

ในปัจจุบันรังสีมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ค่อนข้างมาก ทั้งรังสีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและรังสีที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ และด้วยว่ามนุษย์เราไม่สามารถรับรู้ถึงปริมาณรังสีได้ด้วยตนเอง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจวัดรังสีทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เพื่อการนำมาใช้งานที่เหมาะสมและปลอดภัยที่สุด สำหรับผู้ปฏิบัติงานและประชาชนทั่วไป การตรวจวัดรังสีต้องอาศัยหัววัดที่มีประสิทธิภาพการตอบสนองต่อรังสีที่ดี ความแม่นยำสูง และให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง หัววัดรังสีที่นิยมใช้ในงานในปัจจุบันมี 3 ประเภท คือ หัววัดรังสีบรรจุก๊าซ หัววัดรังสีผลึกเรืองแสง และหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ ซึ่งหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำนั้นเป็นหัววัดที่มีการพัฒนากันอย่างมาก ด้วยว่าหัววัดชนิดนี้สามารถออกแบบให้มีขนาดเล็ก สะดวกในการพกพา และสามารถตรวจวัดรังสีพลังงานต่ำ มีกำลังแยกพลังงานได้ดีมากระดับ eV อีกทั้งพลังงานที่ป้อนเข้าให้กับหัววัดชนิดนี้ค่อนข้างน้อยมากเมื่อเทียบกับหัววัดแบบอื่น และโดยอาศัยคุณสมบัติเฉพาะของสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างระดับชั้นพลังงาน (Band gap) เฉพาะของแต่ละสารนั้น ซึ่งหัววัดรังสีสารกึ่งตัวนำโครงสร้างอย่างง่ายหรือโครงสร้างรอยต่อพีเอ็น (PN junction) และด้วยว่าช่วงรอยต่อนี้จะเป็บริเวณเขตปลอดพาหะ (Depletion region) ถ้าหากเมื่อมีรังสีเข้ามาในพื้นที่บริเวณนี้ก็สามารถทำให้เกิดคู่อิออนหรือเกิดพาหะนำไฟฟ้า ซึ่งก็จะเคลื่อนที่แยกกันไปแต่ละด้านของรอยต่อ ซึ่งสามารถทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นได้หรือเกิดเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มักจะมีส่วนแปรผันตามระดับพลังงานของรังสีที่เข้ามาตกกระทบหัววัดรังสีประเภทนี้ได้ และสามารถให้สัญญาณวัดจำนวนมาก จึงถือว่ามี

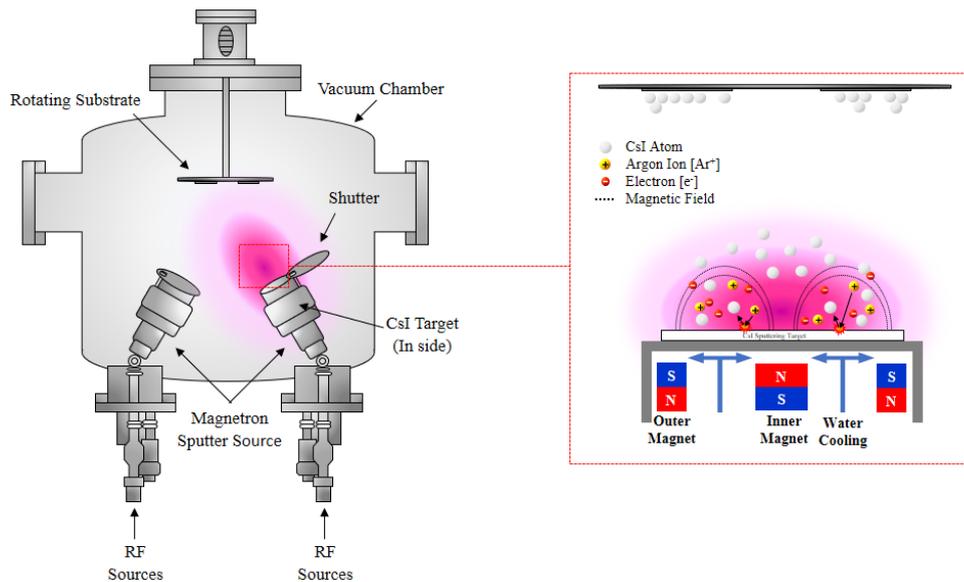
ประสิทธิภาพสูงมาก อีกทั้งหัววัดรังสีที่นิยมใช้กันคือหัววัดรังสีชนิดผลึกซิลทิลเลชัน แต่ด้วยว่ามีขั้นตอนในการปลูกผลึกก้อนให้สมบูรณ์ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนและต้องใช้ปริมาณสารตั้งต้นปริมาณมากพอสมควร

ดังนั้นการพัฒนาสารกึ่งตัวนำชนิดใหม่เพื่อเป็นวัสดุตั้งต้นของหัววัดรังสีประเภทนี้จึงเป็นที่น่าสนใจและมีบทบาทค่อนข้างสูง สารกึ่งตัวนำที่ใช้กันอย่างแพร่หลายหลากหลายด้าน อาทิเช่น ในแผ่นรับภาพดิจิทัลทางการแพทย์ (Digital radiography) และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง (Optoelectronic devices) เป็นต้น มักมีชิ้นส่วนที่ทำจากสารกึ่งตัวนำเชิงสารประกอบ (Compound semiconductor) ที่อยู่ในหมู่หนึ่ง-เจ็ด อาทิเช่น ซีเซียมไอโอไดด์ (Cesium Iodide; CsI) ซึ่งสารตั้งต้นที่ถูกนำมาใช้งานมากมาย เนื่องจากมีคุณสมบัติการเปล่งแสงของอิเล็กตรอนที่ดี มีสัมประสิทธิ์ควอนตัมสูง และมีช่องว่างของระดับชั้นพลังงานที่กว้าง รวมถึงเลขมวลของ Cs สูง จึงสามารถเพิ่มโอกาสในการทำอันตรกิริยากับรังสีได้มากและสามารถวัดรังสีพลังงานสูงได้ดีกว่าสารประกอบชนิดอื่น (Fraser and Pearson, 1984; Simons et al., 1987; Breskin et al., 1991; Frumkin et al., 1993; Breskin et al., 1994; Almeida et al., 1995 and Rabus et al., 1999) นอกจากนี้จำเป็นต้องเลือกวิธีการสังเคราะห์ฟิล์มที่นำมาเป็นวัสดุพื้นฐานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงของโครงสร้างของหัววัดรังสีให้มีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากที่สุด ซึ่งวิธีปลูกผลึกฟิล์มบางด้วยเทคนิคสเปตเตอริง จึงถือว่าเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความนิยมด้วยว่ารูปแบบผลึกที่ได้จากการปลูกเป็นลักษณะของฟิล์มบางระดับนาโนที่มีความสม่ำเสมอและมีความบริสุทธิ์สูง และผลึกฟิล์มบางที่ได้จากวิธีการนี้สามารถนำใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ

ด้วยเหตุนี้ จึงเป็นที่มาและความสำคัญในการศึกษาวิจัยนี้เพื่อพัฒนาการปลูกฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ด้วยเทคนิคสเปตเตอริงสำหรับเป็นวัสดุตั้งต้นของอุปกรณ์การวัดรังสีในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

งานนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ ด้วยเทคนิคการปลูกผลึกฟิล์มบางด้วยเทคนิคอาร์เอฟแมกนีตรอนสเปตเตอริง (RF-Magnetron sputtering) สำหรับการนำไปทำเป็นวัสดุตั้งต้นของอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ในการวัดรังสี กระบวนการนี้ดำเนินโดยใช้เป้าสารตั้งต้น (Sputtering target) ในที่นี้ใช้ผลึกซีเซียมแคลเซียมไอโอไดด์ที่ปลูกด้วยเทคนิคบริดแมนสโตกบาร์เกอร์ในการนำมาเป็นเป้าสำหรับการทดลอง โดยการสังเคราะห์ฟิล์มบางดำเนินการภายใต้สภาวะสุญญากาศ ก๊าซอาร์กอน (Argon; Ar) จะถูกป้อนเข้ามาภายในแชมเบอร์และแตกตัวเป็นไอจากการเร่งด้วยสนามไฟฟ้า ไอที่เกิดขึ้นจะวิ่งเข้าชนบริเวณผิวหน้าเป้าของสารตั้งต้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้อะตอมของสารตั้งต้นให้หลุดออก และเคลื่อนที่ไปเรียงตัวที่ผิวหน้าของฐานรอง เกิดเป็นฟิล์มบางเคลือบบนฐานรองนั้น แสดงดังรูปที่ 1 ไอของก๊าซเฉื่อยที่ได้จากเทคนิคการสเปตเตอริงจะมีพลังงานสูงมาก ส่งผลให้อะตอมของสารตั้งต้นที่หลุดออกเคลื่อนที่ไปสะสมบนฐานรองได้ดี ทำให้การยึดติดของฟิล์มบางด้วยวิธีสเปตเตอริงดีกว่าวิธีการระเหยสารมาก หากแรงยึดติดของฟิล์มบางกับฐานรองต่ำจะทำให้ฟิล์มบางหลุดออกง่าย จากนั้นเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพของฟิล์มบางที่ปลูกได้นี้เป็นอย่างไร จึงทำการวิเคราะห์คุณภาพฟิล์มนี้ การวิเคราะห์คุณสมบัติโครงสร้างผลึก การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ การวิเคราะห์คุณสมบัติการเปล่งแสง และการวิเคราะห์คุณสมบัติไฟฟ้า



รูปที่ 1 แสดงการสังเคราะห์ฟิล์มบางแบบสปีดเตอริงประเภท RF-Magnetron sputtering

เริ่มต้นการสังเคราะห์ฟิล์มบางจากการเตรียมอุปกรณ์ โดยการทำความสะอาดอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในห้องสปีดเตอริง (Sputtering chamber) ด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ เพื่อป้องกันการปนเปื้อน ในการศึกษาหาเงื่อนไขในการสังเคราะห์ สำหรับงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาหาค่าสปีดเตอริงที่เหมาะสมภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศ 10 มิลลิทอร์ อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และใช้เวลาในการสังเคราะห์ฟิล์มบาง 30 นาที โดยในการสังเคราะห์ฟิล์มบางแต่ละครั้ง จะมีการศึกษาหาค่าสปีดเตอริงในช่วง 10 - 50 วัตต์ ซึ่งค่าที่ใช้ในการทดลองปลูกได้แก่ 10 30 และ 50 วัตต์ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1 โดยมีฐานรองเป็นซิลิกอนที่มีระนาบ Si(100) ชนิด n-type

ตารางที่ 1 เงื่อนไขในการสังเคราะห์ฟิล์มบางแบบสปีดเตอริงประเภท RF-Magnetron sputtering

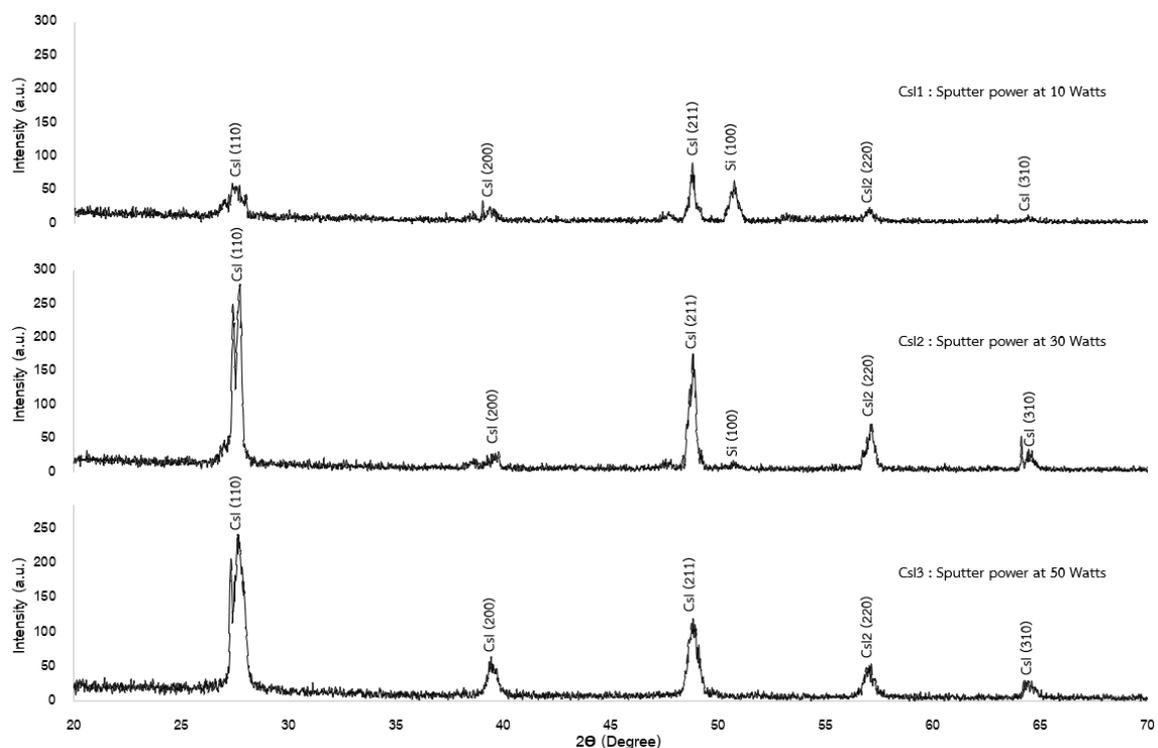
RF power (watts)	Pressure (mTorr)	Ar flow rate (sccm)
10	10	50
30	10	50
50	10	50

จากนั้นนำชิ้นงานที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer: XRD) ยี่ห้อ Rigaku รุ่น TTRAX III วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้านตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field emission scanning electron microscope: FESEM) ยี่ห้อ Hitachi รุ่น SU8030 วิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะเชิงแสงของฟิล์มบางด้วยเครื่องวัดค่าการเปล่งแสง (Photoluminescence: PL) ยี่ห้อ Photon technology international รุ่น QuantaMaster 40 และวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) ยี่ห้อ Ecopia รุ่น HMS-3000 เพื่อศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดต์ สำหรับการนำไปทำเป็นอุปกรณ์ตรวจจับรังสีต่อไป

ผลการวิจัย

การวิเคราะห์คุณสมบัติโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แบบ Grazing-incidence (GIXRD)

ผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง จะได้ฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่มีคุณภาพที่ดีควรเริ่มต้นจากการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ผลึกหรือปลูกผลึกฟิล์มนั้น โดยปัจจัยหลักที่ใช้ในการปรับตั้งค่าของเครื่องสเปคโตรริงคือกำลังสเปคโตรริง ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองหาค่ากำลังสเปคโตรริงในช่วง 10 - 50 วัตต์ ซึ่งค่าที่ใช้ในการทดลองสังเคราะห์ฟิล์ม ได้แก่ 10 30 และ 50 วัตต์ ตามลำดับ หลังจากการสังเคราะห์ฟิล์มบางตามกำลังสเปคโตรริงดังกล่าว จึงนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แบบมุมตกกระทบแคบแบบแฉลบ ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์เฉพาะฟิล์มบางที่เคลือบอยู่บนฐานรองเท่านั้นถ้าหากว่าฟิล์มนี้มีความหนาเพียงพอ จากผลการวิเคราะห์พบว่า ฟิล์มบางมีโครงสร้างของสารประกอบซีเซียมไอโอไดด์แบบโครงสร้างลูกบาศก์ในทุกค่ากำลังสเปคโตรริง และมีโครงสร้างที่โดดเด่นคือ CsI(110), CsI(200), CsI(211), CsI(220) และ CsI(310) ตามลำดับ (Triloki et al., 2014; Triloki and Singh, 2015; Phannee et al., 2016; Prawit et al., 2023) แสดงดังรูปที่ 2

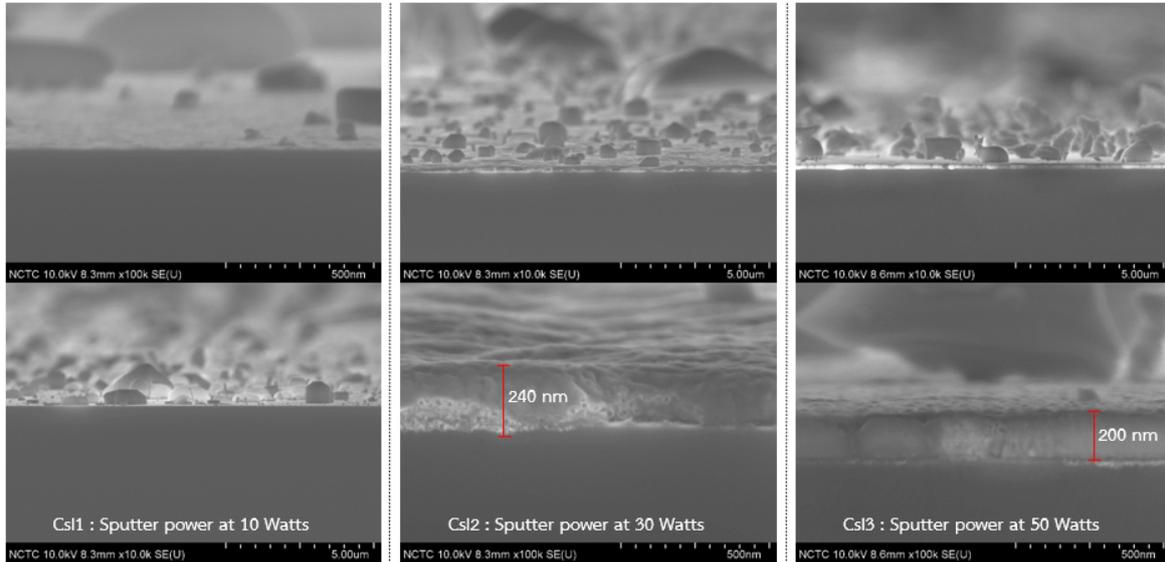


รูปที่ 2 แสดง $\theta/2\theta$ โดยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่กำลังสเปคโตรริง 10 30 และ 50 วัตต์

1. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้านตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูงชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope: FESEM)

ผลของการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้านตัดขวางของฟิล์มบาง พบว่า เมื่อนำฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยการตั้งค่ากำลังสเปคโตรริงที่ 10 30 และ 50 วัตต์ มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้านตัดขวางของชิ้นงานด้วยเทคนิคการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ชนิดฟิลด์อิมิสชัน ได้ผลวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 3 จากผลการวิเคราะห์พบว่า ที่กำลังสเปคโตรริง 10 วัตต์ มีอัตราการเคลือบของซีเซียมไอโอไดด์ต่ำมาก จึงทำให้ฟิล์มที่สังเคราะห์ได้บาง

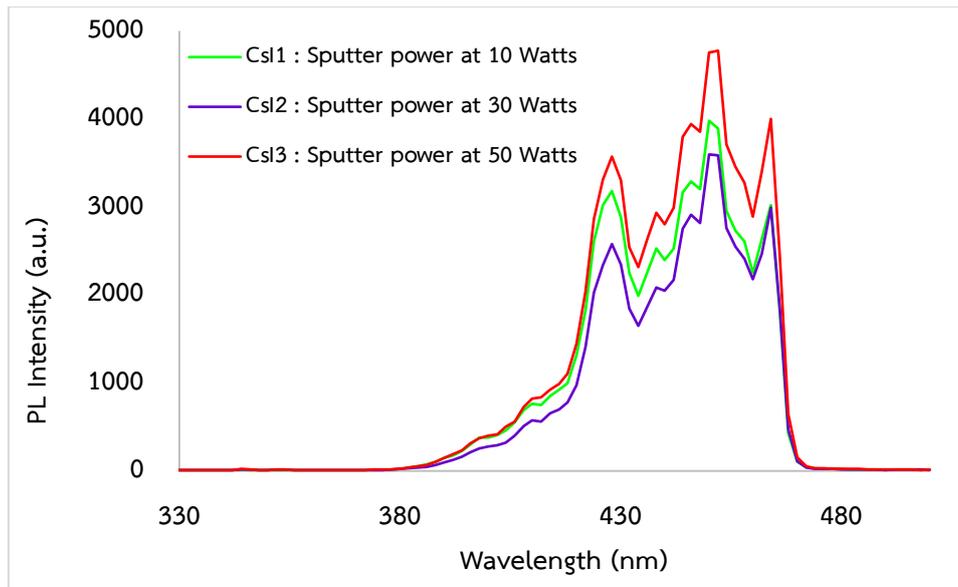
มาก ๆ และมีกระจายตัวเป็นกระจุก (Clusters) ที่กำลังสปีดเตอริง 30 วัตต์ พบฟิล์มหนา 240 นาโนเมตร โดยมีอัตราการเคลือบของฟิล์มซีเซียมไอโอไดด์ 480 นาโนเมตรต่อชั่วโมง และที่กำลังสปีดเตอริง 50 วัตต์ โดยมีอัตราการเคลือบของฟิล์มซีเซียมไอโอไดด์ 400 นาโนเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 3 แสดงภาพตัดขวางของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่กำลังสปีดเตอริง 10 30 และ 50 วัตต์

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติการเปล่งแสงของฟิล์มบางด้วยเทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence: PL)

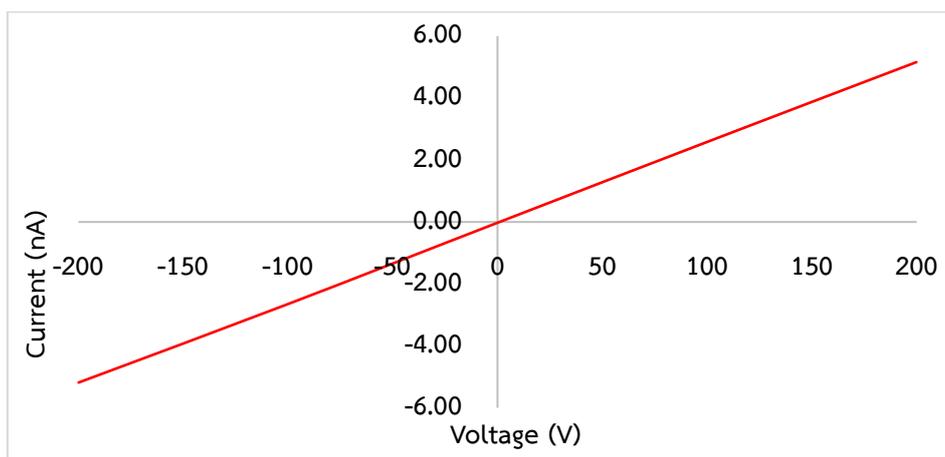
ผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติการเปล่งแสงของฟิล์มบาง โดยใช้เทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนซ์ พบว่าเมื่อใช้การกำเนิดพลังงานกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่สังเคราะห์ได้จากกำลังสปีดเตอริงที่ 10 30 และ 50 วัตต์ ถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติการเปล่งแสง ได้ผลวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 4 จากผลการวิเคราะห์พบว่า ผลึกเมื่อโดนกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ผลึกมีการเปล่งแสงออกมาในลักษณะพีคหลายพีค ในช่วง 420 - 470 นาโนเมตร (อิมรอน, 2560) ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับผลึกซีเซียมแคลเซียมไอโอไดด์ที่ปลูกด้วยเทคนิคบริดแมนส์ต็อกบาร์เกอร์ในการนำมาเป็นเป้าสำหรับการทดลอง



รูปที่ 4 แสดงค่าการเปล่งแสงของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดต์ในช่วง 420 - 470 นาโนเมตร โดยใช้แสงกระตุ้นที่ 200 นาโนเมตร

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติไฟฟ้าด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect)

ผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง พบว่า เมื่อนำฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดต์ที่ได้จากการปลูกด้วยการตั้งค่ากำลังสปีดเตอริงที่ 10 30 และ 50 วัตต์ มาวิเคราะห์คุณสมบัติไฟฟ้าด้วยการวัดความสัมพันธ์ I-V ตามกฎของโอห์ม จากปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) ได้ผลวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 5 จากผลการวิเคราะห์พบว่า ฟิล์มบางที่ปลูกด้วยกำลังสปีดเตอริง 10 วัตต์ และ 30 วัตต์ ไม่สามารถวัดความต้านทานไฟฟ้าได้ ส่วนฟิล์มบางที่ปลูกด้วยกำลังสปีดเตอริง 50 วัตต์ ความต้านทานไฟฟ้า 26.2 เมกะโอห์ม สภาพต้านทานไฟฟ้า 0.3735 กิโลโอห์มต่อตารางเซนติเมตร และค่าความหนาแน่นของประจุพาหะ 2.935×10^{15} ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน (IV Curve) ของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดต์ที่กำลังสปีดเตอริง 50 วัตต์

ตารางที่ 2 สรุปการสังเคราะห์ฟิล์มบางแบบสปีดเตอริงประเภท RF-Magnetron sputtering

หัวข้อวิเคราะห์	กำลังสปีดเตอริง		
	10 วัตต์	30 วัตต์	50 วัตต์
อัตราการปลูกฟิล์ม	หาค่าไม่ได้	480 นาโนเมตร	400 นาโนเมตร
ความสมบูรณ์ของผลึก	โครงสร้างลูกบาศก์	โครงสร้างลูกบาศก์	โครงสร้างลูกบาศก์
คุณสมบัติการเปล่งแสง	หลายพีค 420-470 นาโนเมตร	หลายพีค 420-470 นาโนเมตร	หลายพีค 420-470 นาโนเมตร
คุณสมบัติไฟฟ้า	วัดไม่ได้	วัดไม่ได้	ความต้านทานไฟฟ้า 26.2 เมกะโอห์ม

การอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดต์ที่ปลูกด้วยเทคนิคสปีดเตอริงในคุณสมบัติด้านต่าง ๆ พบว่าการวิเคราะห์คุณสมบัติโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ จะสังเกตเห็นว่า พีคในแต่ละระนาบของชั้นงานเพิ่มสูงขึ้น อันเนื่องมาจากชั้นงานมีความเป็นฟิล์มมากขึ้น โดยเฉพาะที่ระนาบ CsI(200) ที่กำลังสปีดเตอริง 50 วัตต์ สามารถสังเกตเห็นโครงสร้างนี้ชัดเจนมากขึ้น นอกจากนี้ที่กำลังสปีดเตอริงต่ำ ๆ ยังพบโครงสร้างของระนาบ Si(100) ของฐานรอง (Kana et al., 2005) แต่เมื่อใช้กำลังสปีดเตอริงสูงขึ้นในการสังเคราะห์ฟิล์มบาง ระนาบของฐานรองดังกล่าวจะค่อนข้างลดลงจากผลการวิเคราะห์ที่ได้ เมื่อนำไปคำนวณตามสมการ Bragg's Law ทำให้ทราบค่าคงที่แลตทิซของโครงสร้างผลึกของซีเซียมไอโอไดต์คือ $4.5622 \pm 0.0024 \text{ \AA}$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำหนดทางทฤษฎีที่มีค่าคงที่แลตทิซ 4.5620 แสดงว่ามีความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี 0.004% โดยค่าคงที่แลตทิซของผลึกที่ปลูกได้มีค่ามากกว่าค่าคงที่แลตทิซทางทฤษฎี (Balamurugan et al., 2005) นั้นบ่งบอกว่า ฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้เป็นฟิล์มที่มีความเค้นแบบยืดออกที่น้อยมาก ๆ โดยสรุปแล้วโครงสร้างฟิล์มมีคุณภาพที่ดีเกิดจากการสังเคราะห์ที่กำลังสปีดเตอริง 50 วัตต์ การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้านตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูงชนิดฟิลด์อิมิชัน พบว่า ฟิล์มบางที่สังเคราะห์ด้วยกำลังสปีดเตอริง 30 วัตต์ มีความหนาแน่นกว่าฟิล์มบางที่ปลูกด้วยกำลังสปีดเตอริง 50 วัตต์ แต่ลักษณะทางกายภาพตัดขวางของฟิล์ม 50 วัตต์ มีความหนาแน่นการก่ตัวของฟิล์มที่ดีกว่า การวิเคราะห์คุณสมบัติการเปล่งแสงของฟิล์มบางด้วยเทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนซ์ พบว่า ฟิล์มบางทั้ง 3 ตัวอย่างอาจมาจากการที่ผลึกมีโครงสร้างแบบพหุผลึก และฟิล์มบางที่มีค่าการเปล่งแสงสูงสุดคือ ฟิล์มที่สังเคราะห์ด้วยกำลังสปีดเตอริง 50 10 และ 30 วัตต์ ตามลำดับ เนื่องจากฟิล์มที่สังเคราะห์ด้วยกำลัง 50 วัตต์ มีความหนาแน่นการก่ตัวของฟิล์มที่ดีที่สุด การวิเคราะห์คุณสมบัติไฟฟ้าด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ พบว่า ค่าความหนาแน่นของประจุพาหะเท่ากับ 2.935×10^{15} ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งบ่งบอกได้ว่าฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดต์ที่ปลูกได้นั้นเป็นสารกึ่งตัวนำประเภทพี (Amnah et al., 2022)

บทสรุป

ในการสังเคราะห์ฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดต์ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของกำลังสปีดเตอริง กำลังสปีดเตอริงที่เหมาะสมคือ 50 วัตต์ ได้ฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดต์ที่มีคุณภาพผลึกที่ดี มีค่าคงที่แลตทิซของโครงสร้างผลึกของซีเซียมไอโอไดต์คือ $4.5622 \pm 0.0024 \text{ \AA}$ ภายใต้ความเค้นแบบยืดออกที่น้อยมาก ๆ ที่ -0.004% โดยฟิล์มบางมีความหนา 200 นาโนเมตรและมีการก่ตัวของฟิล์มบางที่หนาแน่น อัตราการปลูกฟิล์มซีเซียมไอโอไดต์ 400 นาโนเมตรต่อชั่วโมง ฟิล์มมีคุณสมบัติในการเปล่งแสงที่ดี และมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำประเภทพี ซึ่งมีความหนาแน่นของประจุพาหะ 2.935×10^{15} ต่อลูกบาศก์

เซนติเมตร ดังนั้นจากผลการศึกษาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า ฟิล์มซีเซียมไอโอไดด์นี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดรังสีได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือทางวิชาการกับศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) และศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC) โดยให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือสำหรับการสังเคราะห์และการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง และให้ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- อิมรอน วาเต็ง. (2560). การพัฒนาผลึกซีเซียมไอโอไดด์โดยเทคนิคการเจือสารร่วมหลายชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีนิเวศสีเขียว คณะวิศวกรรมนิเวศสีเขียว จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Amnah S. Abd-Alrahman, Raid A.I., Mudhafar A. and Mohammed. (2022). Colloidal synthesis of cesium iodide nanocrystals for visible-enhanced photodetection applications. *Physica*. 143.
- Almeida J., Amadon A., Besson P., Bourgeois P., Braem A., Breskin A., Buzulutskov A., Chechik R., Coluzza C., Di Mauro A., Friese J., Homolka J., Ljubovic Jr. A., Margaritondo G., Miné Ph., Nappi E., Dell'Orto T., Paic G., Piuze F., Posa F., Santiard J.C., Sgobba S., Vasileiadis G. and Williams T.D. (1995). Review of the development of cesium iodide photocathodes for application to large rich detectors. European Organization for Nuclear Research. 95–63.
- Balamurugan N., Arulchaaravarthi A., Selvakumar S., Lenin M., Rakesh K., Muralithar S., Sivaji K. and Ramasamy P. (2005). Growth and characterization of undoped and thallium doped cesium iodide single crystals. *Journal of Crystal Growth*. 286(2): 294-299.
- Breskin A., Chechik R., Dangendorf V., Majewski S., Malamud G., Pansky A. and Vartsky D. (1991). New approaches to spectroscopy and imaging of ultrasoft-to-hard x-rays. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 310: 57-69.
- Fraser G.W. and Pearson J.F. (1984). Soft x-ray energy resolution with microchannel plate detectors of high. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 219: 199-212.
- Frumkin I., Breskin A., Chechik R., Elkind V. and Notea A. (1993). Properties of CsI - based gaseous secondary emission X-ray imaging detector. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 329: 337-347.
- Kana O., Toshikazu H. and Toshihiro N. (2005). Analysis of crystalline phases in airborne particulates by grazing incidence X-ray diffractometry. *The Royal Society of Chemistry*. 1059-1064.
- Phanee S., Sakuntam S., Manit J., Kulthawat C., Chadet Y., Decho T., Visittapong Y., Chanchana T. and Noppadon N. (2016). Impact of precursor purity on optical properties and radiation detection of CsI:TL scintillators. *Applied physics*. 122, 729.

- Prawit B., Phannee S., Kulthawat C., Decho T., Kittidhaj D., Visittapong Y., Akapong P., Jakrapong K., Nuchjaree K. and Nakarin S. (2023). Calcium-doped cesium iodide scintillator for gamma-ray spectroscopy. *Journal of Materials Science. Materials in Electronics*. 34: 96.
- Rabus H., Kroth U., Richter M., Ulm G., Friese J., Gernhauser R., Kastenmuller A., Maier-Komor P. and Zeitelhack K. (1999). Quantum efficiency of cesium iodide photocathodes in the 120-220 nm spectral range traceable to a primary detector standard. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 438: 94-103.
- Simons D.G., Fraser G.W., De Korte P.A.J., Pearson J.F. and De Jong L. (1987). UV AND XUV quantum detection efficiencies of CsI-coated microchannel plates. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 261: 579-586.
- Triloki Garg P., Rai R. and Singh B.K. (2014). Structural characterization of “as-deposited” cesium iodide films studied by X-ray diffraction and transmission electron microscopy techniques. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 736: 128-134.
- Triloki Rai R. and Singh B.K. (2015). Optical and structural properties of CsI thin film photocathode. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 785: 70-76.

Received: August 23, 2023; Revised: March 4, 2024; Accepted: June 11, 2024

การส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ด้วยนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะ
บนฐานนโยบายประเทศไทย 4.0

Sport tourism promotion in Buriram using intelligence tourism innovation
based on Thailand 4.0 policy

วิไลรัตน์ ยาทองไชย¹ ชุศักดิ์ ยาทองไชย^{1*} กมลรัตน์ สมใจ¹ พวงเพชร ราชประโคน¹ ปุริม ชฎารัตนฐิติ¹
และวรินทร์พิพัชร วัชรพงษ์เกษม¹

Wilairat Yathongchai¹, Chusak Yathongchai^{1*}, Kamonrat Somjai¹, Phuangphet
Ratchaprakhon¹, Purim Chadarattanathiti¹ and Warinpiphat Watcharapongkasem¹

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์

¹Faculty of Science, Buriram Rajabhat University, Buriram Province

*Corresponding Author E-mail Address : chusak.yt@bru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ ที่มีกระบวนการวิจัย คือ 1) เก็บรวบรวมความต้องการ/การมีส่วนร่วมกำหนดรูปแบบและการทำงานของนวัตกรรม 2) วิเคราะห์และออกแบบระบบด้วยหลักการเชิงวัตถุ และใช้แบบจำลองฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ 3) พัฒนานวัตกรรมในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน และ 4) ศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีของนักท่องเที่ยวในการใช้นวัตกรรม ผลการวิจัยพบว่า นวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ ประกอบด้วย 5 ส่วน คือ ส่วนแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวโดยรวม ส่วนจัดการข้อมูลท่องเที่ยว ส่วนจัดการสมาชิก ส่วนแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวส่วนบุคคล และแชทบอตส่งเสริมการท่องเที่ยว ผลการประเมินความสามารถในการใช้งานได้ของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.26$, S.D. = 0.54) โดยมีความพึงพอใจด้านความยืดหยุ่นของการใช้งานมากที่สุด ($\bar{x} = 4.45$, S.D. = 0.57) รองลงมาคือ ด้านความสามารถในการเรียนรู้ได้ ($\bar{x} = 4.40$, S.D. = 0.64) ด้านประสิทธิผล ($\bar{x} = 4.27$, S.D. = 0.47) ด้านประสิทธิภาพของการใช้งาน ($\bar{x} = 4.13$, S.D. = 0.65) และด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ($\bar{x} = 4.07$, S.D. = 0.39) ตามลำดับ ผลการศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีตามแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี พบว่า นักท่องเที่ยวมีการยอมรับเทคโนโลยีโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.08$, S.D. = 0.72) โดยด้านที่มีระดับการยอมรับเทคโนโลยีสูงสุด คือ การรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับ ($\bar{x} = 4.15$, S.D. = 0.66) รองลงมาคือ การเข้าถึงบริการ ($\bar{x} = 4.11$, S.D. = 0.70) การรับรู้ความง่ายในการใช้งาน ($\bar{x} = 4.08$, S.D. = 0.74) และสิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งาน ($\bar{x} = 3.97$, S.D. = 0.80)

คำสำคัญ: การท่องเที่ยวเชิงกีฬา จังหวัดบุรีรัมย์ นวัตกรรมท่องเที่ยว การแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวส่วนบุคคล แชทบอตการท่องเที่ยว

Abstract

This research aims to develop and study the technology acceptance for the intelligent tourism innovation of sport tourism in Buriram province. The research processes follow the system development life cycle: 1) gathering requirements and participation in determining the format and use of the innovation; 2) analyzing and designing the system using object-oriented principles and a relational database model; 3) developing the innovation as a web application and evaluating its usability and 4) studying the technology acceptance of tourists who use the innovation. The results showed that the intelligent tourism innovation of sport tourism in Buriram province consists of five components: general attraction recommendations, tourism information management, member and profile management, personalized attraction recommendations, and a tourism promotion chatbot. The assessment result of overall system usability with experts was at the highest level ($\bar{x} = 4.26$, S.D. = 0.54), with the highest satisfaction in terms of flexibility of use ($\bar{x} = 4.45$, S.D. = 0.57), followed by learning ability ($\bar{x} = 4.40$, S.D. = 0.64), effectiveness ($\bar{x} = 4.27$, S.D. = 0.47), efficiency ($\bar{x} = 4.13$, S.D. = 0.65), and user satisfaction ($\bar{x} = 4.07$, S.D. = 0.39), respectively. Additionally, the results of the technology acceptance study, based on the Technology Acceptance Model (TAM), showed that tourists had a high level of technology acceptance overall ($\bar{x} = 4.08$, S.D. = 0.72). The factor of perceived usefulness was the highest ($\bar{x} = 4.15$, S.D. = 0.66), followed by service access ($\bar{x} = 4.11$, S.D. = 0.70), perceived ease of use ($\bar{x} = 4.08$, S.D. = 0.74), and facilities ($\bar{x} = 3.97$, S.D. = 0.80).

Keywords: Sport tourism, Buriram province, Tourism innovation, Personalized attraction recommendation, Tourism chatbot

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวได้กลายเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งคาดว่าในปี พ.ศ. 2570 อุตสาหกรรมท่องเที่ยวจะมีมูลค่าประมาณ 2.71 ล้านล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 14.30 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ โดยจากการวิเคราะห์สถานการณ์และแนวโน้มของการท่องเที่ยวไทย พบว่า การเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมนักท่องเที่ยวที่ส่งผลต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมท่องเที่ยวไทยมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไป คือ การเติบโตของกลุ่มนักท่องเที่ยว Generation-Y และ Generation-Z ที่ชอบการสื่อสารและใช้เทคโนโลยีในชีวิตประจำวันมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นโอกาสให้นักท่องเที่ยวสามารถเข้าถึงแหล่งข้อมูลด้านการท่องเที่ยวโดยตรงได้มากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการและสร้างประสบการณ์ที่ดีแก่นักท่องเที่ยว และเกิดการท่องเที่ยวซ้ำ การพัฒนาการท่องเที่ยวให้มีความสอดคล้องและตอบรับกับแนวโน้มการท่องเที่ยวที่เปลี่ยนไปถือว่าเป็นความได้เปรียบทางการแข่งขัน ตลอดจนการพัฒนาเทคโนโลยีและช่องทางดิจิทัลเพื่อรองรับรูปแบบพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวในการอำนวยความสะดวกแก่นักท่องเที่ยวจึงถือเป็นสิ่งสำคัญ (กรมการท่องเที่ยว, 2561)

การท่องเที่ยวเชิงกีฬา (Sport tourism) เป็นอีกหนึ่งรูปแบบการท่องเที่ยวที่สามารถตอบโจทย์ความสนใจเฉพาะทางสำหรับผู้ชื่นชอบกีฬา มีความสนใจท่องเที่ยวเฉพาะทางด้านสุขภาพและการออกกำลังกาย (กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, 2559) จากการตั้งเป้าหมายที่จะพัฒนาให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางกีฬาระดับอาเซียนหรือเอเชีย (Sport Hub of ASEAN or ASIA) และกระแสนวัตกรรมด้านด้านการท่องเที่ยวเชิงกีฬา จังหวัดบุรีรัมย์จัดเป็นจังหวัดหนึ่งที่มุ่งพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬาโดยเล็งเห็นถึง

โอกาสในการมุ่งพัฒนาสู่เป้าหมายหลักเป็นเมืองกีฬามาตรฐานโลกโดยมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ให้เป็นจุดหมายปลายทางด้านการท่องเที่ยวเชิงกีฬาที่สำคัญของประเทศไทย สอดรับแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาขององค์การบริหารส่วนจังหวัดและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ในการมุ่งพัฒนาการกีฬาสู่สากล พร้อมเพิ่มศักยภาพด้านการท่องเที่ยวให้ควบคู่กันไปเพื่อให้สอดคล้องกับกระแสความนิยมของนักท่องเที่ยวที่เปลี่ยนไป (สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์, 2563) ทั้งนี้เพื่อเป็นการส่งเสริมการท่องเที่ยวผ่านช่องทางออนไลน์ที่เป็นปัจจัยสำคัญของการท่องเที่ยวด้านกีฬาของจังหวัดบุรีรัมย์ และเป็นเป้าหมายหลักตามแผนพัฒนาการท่องเที่ยวของประเทศ คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบเพื่ออำนวยความสะดวกให้นักท่องเที่ยวในการวางแผนการท่องเที่ยวที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการเดินทางขึ้นเพื่อตอบสนองแนวโน้มกระแสการใช้สื่อสังคมออนไลน์ในอนาคตที่สอดคล้องกับรูปแบบพฤติกรรมของนักท่องเที่ยว

จากการศึกษาช่องทางออนไลน์สำหรับส่งเสริมและสนับสนุนการท่องเที่ยวของไทยในปัจจุบัน พบว่า มีหลากหลายแหล่งที่ช่วยเผยแพร่ข้อมูลการท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นผลต่อนักท่องเที่ยวที่สามารถหาข้อมูลการท่องเที่ยวและอำนวยความสะดวกแก่นักท่องเที่ยวทางออนไลน์ได้หลากหลายขึ้น เช่น เว็บไซต์ที่นำเสนอข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว ที่พัก ร้านอาหาร อีเว้นท์ การจองแพ็คเกจทัวร์ โปรแกรมการท่องเที่ยวต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศ ได้มีการนำเสนอข้อมูลในหลายด้านของการท่องเที่ยว แต่ข้อมูลจำนวนมากที่เกิดขึ้นนี้ได้แนะนำข้อมูลโดยยังไม่คำนึงถึงความต้องการของนักท่องเที่ยวแต่ละบุคคล ทำให้นักท่องเที่ยวต้องใช้เวลาเพิ่มมากขึ้นในการค้นหาข้อมูลการท่องเที่ยวเพื่อให้ได้ตรงกับความต้องการของตน และนำมาวางแผนเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการท่องเที่ยวด้วยตนเอง

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาของจังหวัดบุรีรัมย์ด้วยการพัฒนานวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะสำหรับการท่องเที่ยวเชิงกีฬา บนฐานนโยบายประเทศไทย 4.0 ขึ้น โดยมีการนำเสนอข้อมูลการท่องเที่ยวต่าง ๆ ของจังหวัดบุรีรัมย์ การแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวที่ตรงตามความต้องการเฉพาะบุคคลของนักท่องเที่ยวที่ได้รับการจัดอันดับให้เหมาะกับนักท่องเที่ยวแต่ละบุคคล และส่วนที่เป็นเครื่องมือในการติดต่อสื่อสารกับนักท่องเที่ยวโดยตรงในรูปแบบแชทบอต (Chatbots) ที่เป็นช่องทางสื่อสารประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวเชิงกีฬาที่เลียนแบบการโต้ตอบของมนุษย์โดยมีการจำลองการสนทนาที่เหมือนมนุษย์โดยการใช้ปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งจะช่วยให้นักท่องเที่ยวสามารถวางแผนการท่องเที่ยวได้อย่างถูกต้องด้วยการสนทนาอัจฉริยะกับแชทบอตในฐานเครื่องมือส่วนตัว โดยนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะนี้จะสามารถรองรับต่อความต้องการสารสนเทศของนักท่องเที่ยวที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคตที่จะช่วยอำนวยความสะดวกในการตัดสินใจในการท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น บนฐานนโยบายการท่องเที่ยว 4.0

วัตถุประสงค์ และวิธีการ

การจัดการท่องเที่ยวเชิงกีฬาที่มีคุณภาพต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลายด้าน ผู้จัดกิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาต้องมีการบริหารจัดการ มีความรู้ ทักษะ และการประสานงานที่รอบด้าน ตั้งแต่ด้านโครงสร้างพื้นฐาน ระบบสาธารณูปโภค จนถึงเทคนิคการแข่งขัน เพื่อให้ผู้รับบริการเกิดการรับรู้ และประสบการณ์ที่มีคุณภาพเหนือกว่าความคาดหวังก่อให้เกิดความประทับใจและเดินทางกลับมาซ้ำ (ประภัสสร, 2560) การที่จะมีนักท่องเที่ยวเดินทางเข้ามาท่องเที่ยวที่นั่นต้องมีการตลาดการท่องเที่ยวในการชักนำให้เข้ามาท่องเที่ยว ซึ่งการตลาดการท่องเที่ยว หมายถึง ความพยายามที่จะทำให้นักท่องเที่ยวกลุ่มเป้าหมายเดินทางเข้ามาท่องเที่ยวในแหล่งท่องเที่ยวของตนและใช้สิ่งอำนวยความสะดวกทางการท่องเที่ยวและบริการท่องเที่ยวในแหล่งท่องเที่ยวที่นั่น โดยการตลาดการท่องเที่ยวทำได้ 2 วิธี

1) การให้ข้อมูลข่าวสารการท่องเที่ยว หมายถึง การให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องต่าง ๆ ทางการท่องเที่ยว เช่น ทรัพยากรการท่องเที่ยว สิ่งอำนวยความสะดวกทางการท่องเที่ยว และการบริการการท่องเที่ยว เป็นต้น

2) การโฆษณาและประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยว หมายถึง การสื่อข้อมูลข่าวสารการท่องเที่ยวไปยังนักท่องเที่ยวกลุ่มเป้าหมายโดยผ่านสื่อต่าง ๆ เช่น โทรทัศน์ วิทยุ นิตยสาร หนังสือพิมพ์ จดหมาย เป็นต้น เพื่อเชิญชวนกระตุ้นให้นักท่องเที่ยวกลุ่มเป้าหมายเดินทางเข้ามาท่องเที่ยวยังแหล่งท่องเที่ยวของตน

โดยการวิจัยนี้จะนำทฤษฎีส่วนประสมทางการตลาดบริการ หรือ 7P's มาใช้เป็นหลักการในการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาของจังหวัดบุรีรัมย์ โดยเน้นด้านช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) และด้านส่งเสริมการตลาด (Promotion) ในการนำเสนอข้อมูลการท่องเที่ยวของจังหวัดบุรีรัมย์ให้แก่นักท่องเที่ยวที่ตรงกลุ่มเป้าหมาย และเป็นเครื่องมือในการติดต่อสื่อสารแก่นักท่องเที่ยวในการตัดสินใจเดินทางมาท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ให้มากขึ้น โดยนักท่องเที่ยวให้ความสำคัญในด้านช่องทางการจัดจำหน่ายสินค้า และบริการทางการท่องเที่ยว ให้นักท่องเที่ยวสามารถเข้าถึงสินค้าและบริการทางการท่องเที่ยวได้อย่างรวดเร็ว เพราะมีแหล่งข้อมูลที่ดี มีการจัดรายการส่งเสริมการขายและกระตุ้นการท่องเที่ยว ซึ่งจะทำให้จังหวัดบุรีรัมย์มีการพัฒนาสินค้าและบริการด้านการท่องเที่ยว ระบบบริหารจัดการการท่องเที่ยวที่ยั่งยืนและสร้างการเผยแพร่ภาพลักษณ์การท่องเที่ยวเพื่อให้นักท่องเที่ยวเกิดความประทับใจมีความสะดวกสบายมากขึ้นในการวางแผนและการเดินทางท่องเที่ยวในจังหวัด และเกิดความประทับใจคิดที่กลับมาท่องเที่ยวอีกครั้ง โดยงานวิจัยนี้ได้ออกแบบนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะ เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ที่ทำงานอยู่ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันที่ช่วยนักท่องเที่ยวในการวางแผนท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ และทำการศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีของนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะสำหรับการท่องเที่ยวเชิงกีฬาของจังหวัดบุรีรัมย์ โดยการนำแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้และศึกษาในปัจจัยการรับรู้ความง่ายในการใช้งาน สิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งาน การเข้าถึงบริการ และการรับรู้ประโยชน์ที่เกิดจากการใช้ของนักท่องเที่ยว

วิธีดำเนินการวิจัย

การส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ด้วยนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะ บนฐานนโยบายประเทศไทย 4.0 ครั้งนี้เป็น การวิจัยประเภทการวิจัยและพัฒนา (Research and development) โดยนำวงจรการพัฒนา ระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) มาเป็นแนวทางของการวิจัยมีขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

1. ศึกษาและกำหนดปัญหาในการเข้าถึงสารสนเทศการท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ของนักท่องเที่ยว พร้อมศึกษาความเป็นไปได้ของแนวทางการพัฒนานวัตกรรมเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาของจังหวัดบุรีรัมย์

2. เก็บรวบรวมความต้องการ/การมีส่วนร่วมกำหนดรูปแบบและการทำงานของนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ของนักท่องเที่ยว จำนวน 81 คน ด้วยแบบสอบถามความต้องการรูปแบบและการทำงานของนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะ เพื่อนำมาวิเคราะห์และออกแบบนวัตกรรมที่อยู่บนบริบท ปัญหาการเข้าถึงสารสนเทศ และความต้องการในการใช้นวัตกรรมของนักท่องเที่ยว

3. วิเคราะห์และออกแบบนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ ด้วยหลักการวิเคราะห์และออกแบบระบบเชิงวัตถุนำเสนอกระบวนการทำงานด้วยแผนภาพยูสเคส (Use case diagram) ทำการออกแบบฐานข้อมูลโดยใช้แบบจำลองฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational database model) และใช้ระบบจัดการฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล (MySQL) โดยออกแบบการทำงานหลัก 2 ส่วน คือ

3.1 การแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวโดยใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม (K-Mean clustering) และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process: AHP) เพื่อสร้างแบบจำลองการจัดลำดับสถานที่ท่องเที่ยวในการแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวตามความชอบ และเงื่อนไขต่าง ๆ สำหรับนักท่องเที่ยว

3.2 แชตบอตการท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ ที่เก็บรวบรวมข้อมูลคำถามจากที่นักท่องเที่ยวเข้ามาตั้งคำถามกระทู้ และการโพสต์ถามตอบเกี่ยวกับการท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ในเว็บไซต์การท่องเที่ยว และคำถามของนักท่องเที่ยวที่เข้ามาท่องเที่ยวในจังหวัดบุรีรัมย์รวบรวมโดยเจ้าหน้าที่ประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ที่ประจำอยู่ศูนย์ต่าง ๆ ในจังหวัด

บุรีรัมย์เพื่อให้บริการนักท่องเที่ยว จากนั้นนำมาพัฒนารูปแบบการรับคำสั่งและวิเคราะห์ประโยคในส่วนคำตอบได้จากการค้นคืนจากฐานข้อมูลของระบบที่มีการออกแบบไว้อย่างครอบคลุม และนำมาออกแบบโครงสร้างการสนทนาของแชทบอท

4. พัฒนาและทดสอบระบบ ระบบถูกพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน (Web application) ด้วยเทคนิคการออกแบบให้ทำงานได้กับอุปกรณ์ที่มีขนาดของจอภาพแตกต่างกัน (Responsive design) จึงทำให้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ทุกประเภทที่สามารถเปิดเว็บเบราว์เซอร์ได้ จากนั้นทำโดยผู้เขียนโปรแกรมในการตรวจสอบ 2 ระดับ คือ 1) การทดสอบทีละหน่วย (Unit testing) โดยทำการทดสอบโปรแกรมทีละส่วน ทีละฟังก์ชันการทำงาน ซึ่งกลยุทธ์ที่ใช้ในการทดสอบ มี 2 อย่าง คือ ความถูกต้องและความสมบูรณ์ และ 2) การทดสอบโดยนำมารวมกัน (Integration testing) คือ นำเอาโปรแกรมทั้งหมดมารวมกันแล้วทำการทดสอบการทำงานของเมนูต่าง ๆ ในระบบว่าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ จากนั้นทดสอบการใช้งานระบบโดยติดตั้งจดทะเบียนชื่อโดเมน (Domain name) และใช้บริการเว็บโฮสติ้ง (Web hosting)

5. ทดสอบและประเมินผลระบบ เพื่อประเมินผลว่าระบบสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ทำงานได้ตรงตามความต้องการ รวมถึงการประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของระบบความสามารถในการใช้งานได้ของระบบ (System usability) โดยใช้แบบสอบถามเพื่อประเมินความสามารถในการใช้งานได้ของระบบจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน (Battleson et al, 2001) มีการประเมิน 5 ด้าน คือ ด้านประสิทธิภาพของการใช้งาน (Efficiency) ด้านประสิทธิผล (Effectiveness) ด้านความยืดหยุ่น (Flexibility) ด้านความสามารถในการเรียนรู้ได้ (Learnability) และด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งาน (Satisfaction) (Nielsen, 1993)

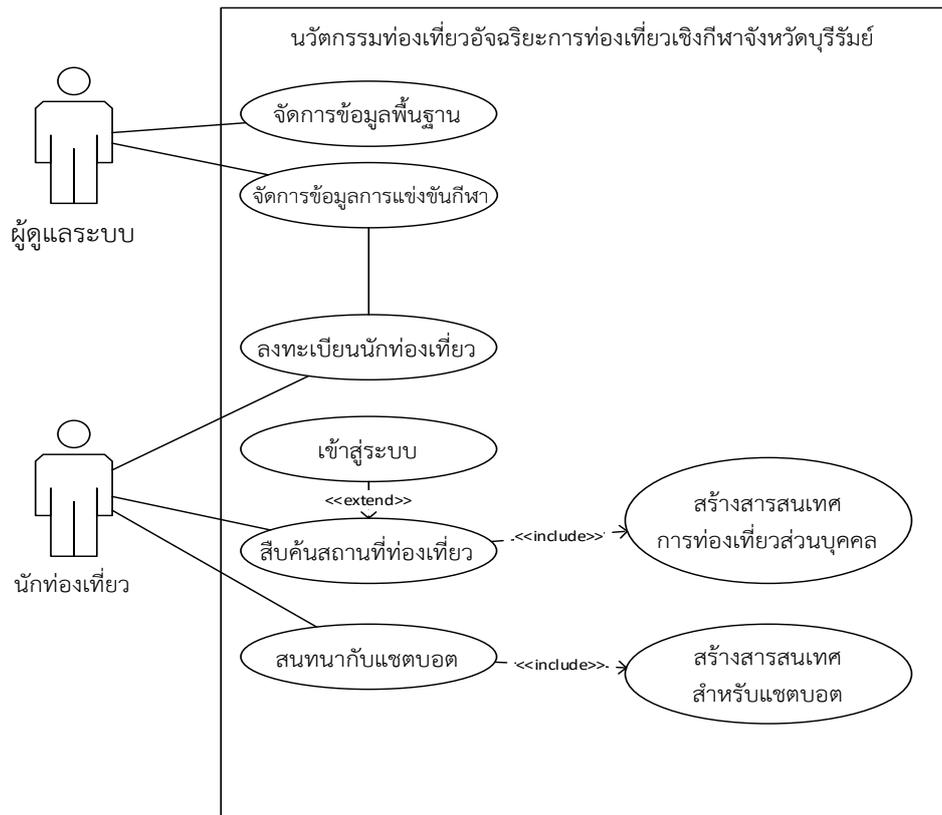
6. ศึกษาการยอมรับเทคโนโลยี โดยนักท่องเที่ยวที่ใช้ันวัดกรมการท่องเที่ยวอัจฉริยะการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ระหว่างเดือนตุลาคม-ธันวาคม 2565 จำนวน 40 คน ตามแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model : TAM) (Davis, 1989) ใน 4 ด้าน ดังนี้ การรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับ ความง่ายในการใช้งาน สิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งาน และการเข้าถึงบริการ จากนั้นนำมาสรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

ในการวิจัยการพัฒนานวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะการท่องเที่ยวเชิงกีฬาเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวของจังหวัดบุรีรัมย์มีผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์การวิจัย คือ ผลการพัฒนานวัตกรรม และผลการศึกษาการยอมรับเทคโนโลยี มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการพัฒนานวัตกรรม

จากการวิเคราะห์และออกแบบระบบนำเสนอกระบวนการทำงานหลักของระบบด้วยแผนภาพยูสเคส (Use case diagram) โดยมีผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบ (Actor) คือ ผู้ดูแลระบบ และนักท่องเที่ยว ซึ่งมีกระบวนการทำงานหลัก (Use case) ของระบบ ในส่วนของผู้ดูแลระบบเพื่อจัดการข้อมูลพื้นฐานของระบบ และจัดการข้อมูลการแข่งขันกีฬา ส่วนของนักท่องเที่ยวมีการทำงานหลักคือ ลงทะเบียนนักท่องเที่ยวสมาชิกเพื่อรับสารสนเทศการท่องเที่ยวส่วนบุคคล รวมถึงการสืบค้นข้อมูลการท่องเที่ยว และสนทนาถามตอบข้อมูลการท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ผ่านแชทบอท ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพยูสเคสกระบวนการทำงานของระบบ

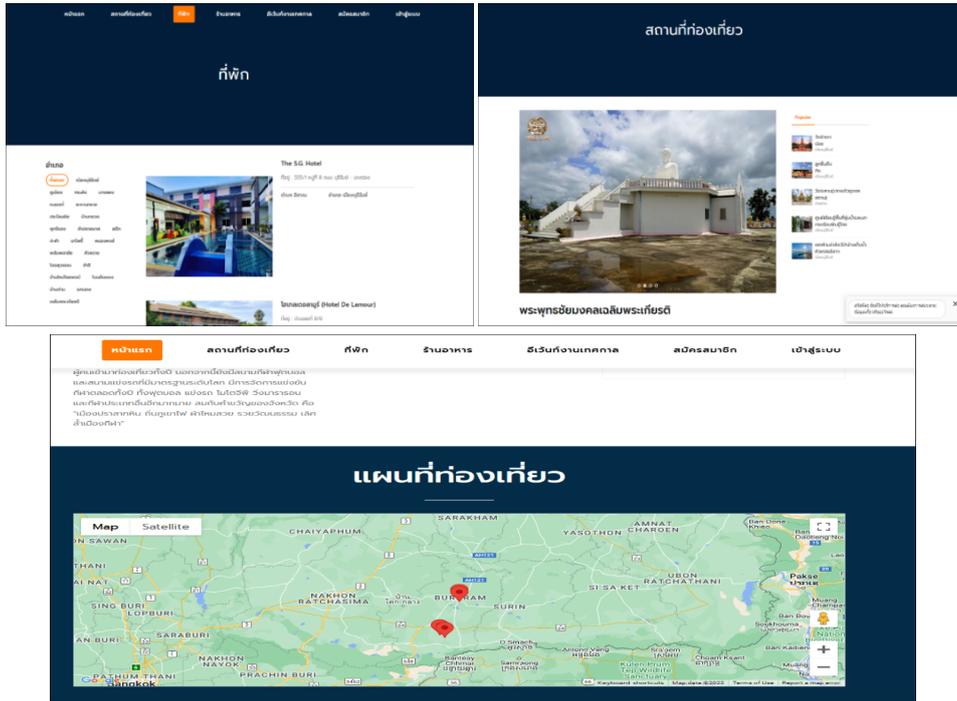
โดยนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ทำงานในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน มีส่วนการทำงานของระบบที่สำคัญ คือ การแนะนำสถานที่ท่องเที่ยว การจัดการข้อมูลท่องเที่ยว และแชตบอตการท่องเที่ยวบุรีรัมย์ ซึ่งนักท่องเที่ยวสามารถเข้าใช้งานระบบได้ผ่านหน้าจอหลัก ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 หน้าจอหลักการทำงานนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะ

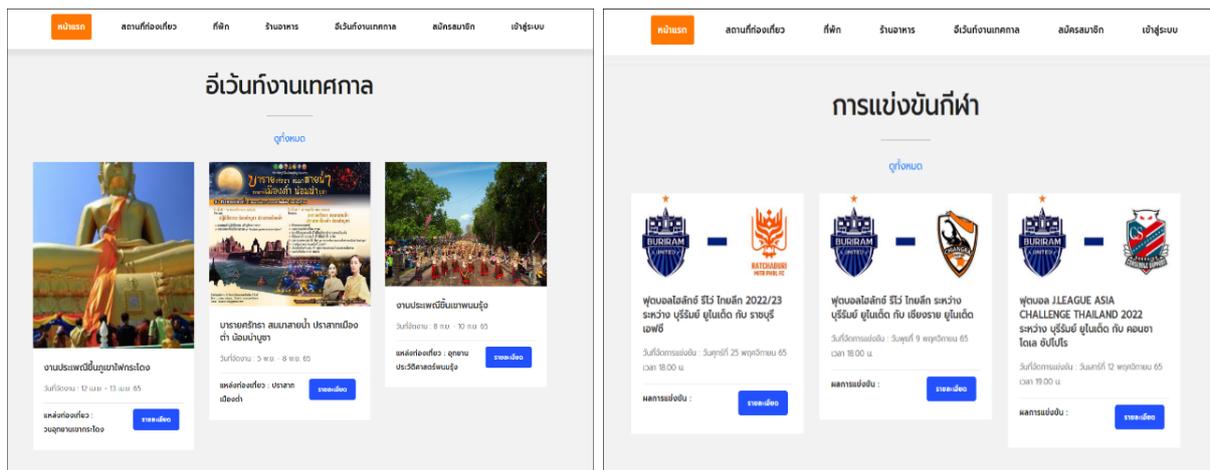
การแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวโดยการแสดงข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวในจังหวัดบุรีรัมย์โดยรวม 5 อันดับแรกที่วิเคราะห์ได้จากความชอบและเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ ของนักท่องเที่ยวทั้งหมดที่เคยเข้าใช้งานระบบ นอกจากนี้ยังสามารถเลือกดูสถานที่

ท่องเที่ยวตามต้องการของแต่ละอำเภอ ที่พัก ร้านอาหาร ซึ่งนักท่องเที่ยวสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมและเรียกดูแผนที่ประกอบการเดินทางไปยังสถานที่ได้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ส่วนแสดงที่พัก สถานที่ท่องเที่ยว และแผนที่การเดินทาง

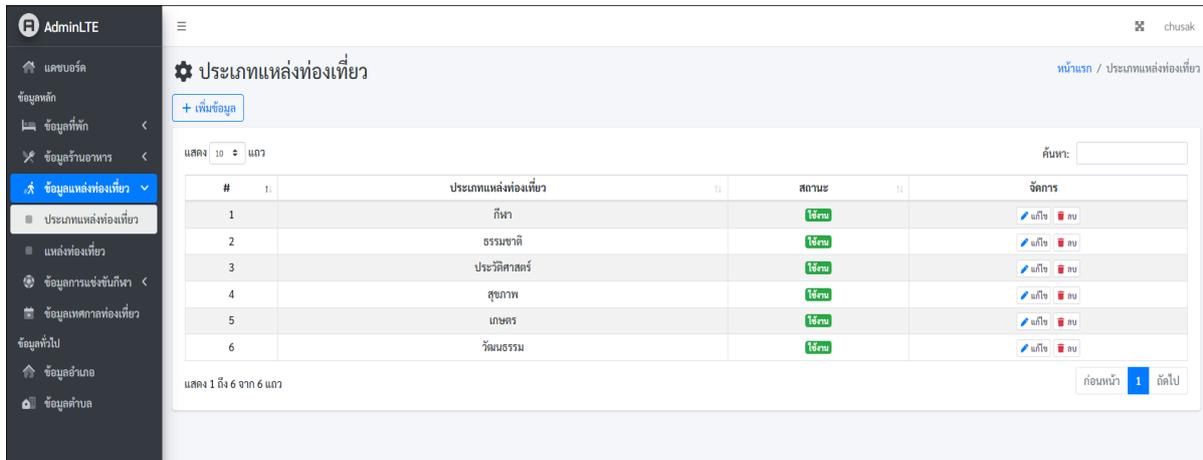
เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ ระบบยังสามารถแสดงกิจกรรมงานเทศกาลและนำเสนอปฏิทินของกิจกรรมที่นักท่องเที่ยวสามารถค้นหาดูรายละเอียดในแต่ละเดือน รวมทั้งตารางการแข่งขันกีฬาที่จะมีขึ้นในจังหวัดบุรีรัมย์ตามช่วงเวลาที่มีการแข่งขัน ดังรูปที่ 4



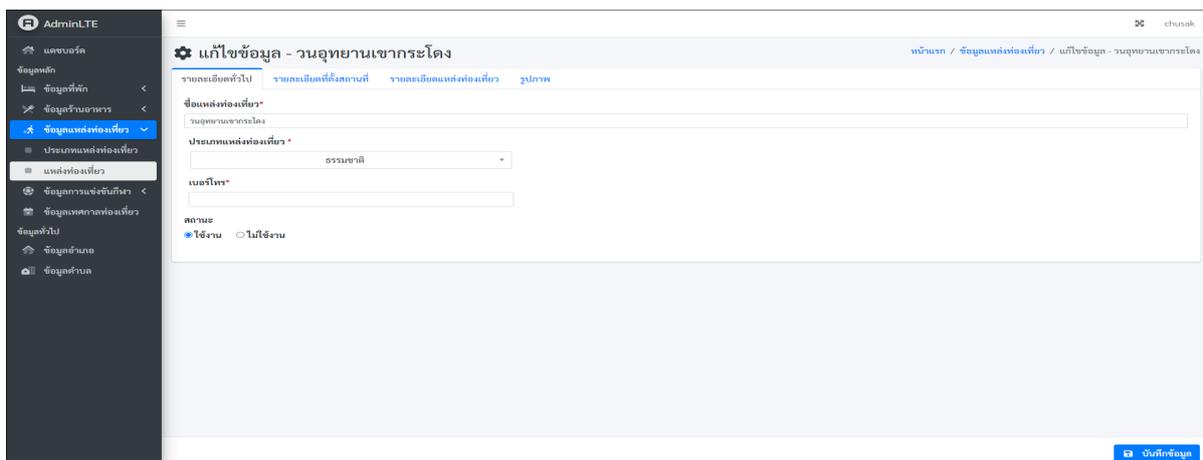
รูปที่ 4 ส่วนแสดงกิจกรรม ปฏิทินงานเทศกาล และตารางการแข่งขันกีฬา

ส่วนจัดการข้อมูลการท่องเที่ยวแบ่งตามผู้ใช้งานระบบออกเป็น 2 ประเภท คือ นักท่องเที่ยว และผู้ดูแลระบบ โดยนักท่องเที่ยวมีสิทธิโดยสามารถค้นหา และดูข้อมูลการท่องเที่ยวโดยรวมได้แต่ไม่สามารถเพิ่ม แก้ไข และลบข้อมูลในระบบได้

ในขณะที่ผู้ดูแลระบบสามารถจัดการข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลที่พัก ร้านอาหาร แหล่งท่องเที่ยว การแข่งขันและเทศกาลการแข่งขัน รวมถึงข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบโดยการเพิ่ม แก้ไข และลบข้อมูลต่าง ๆ ในระบบได้ ดังรูปที่ 5 และ 6

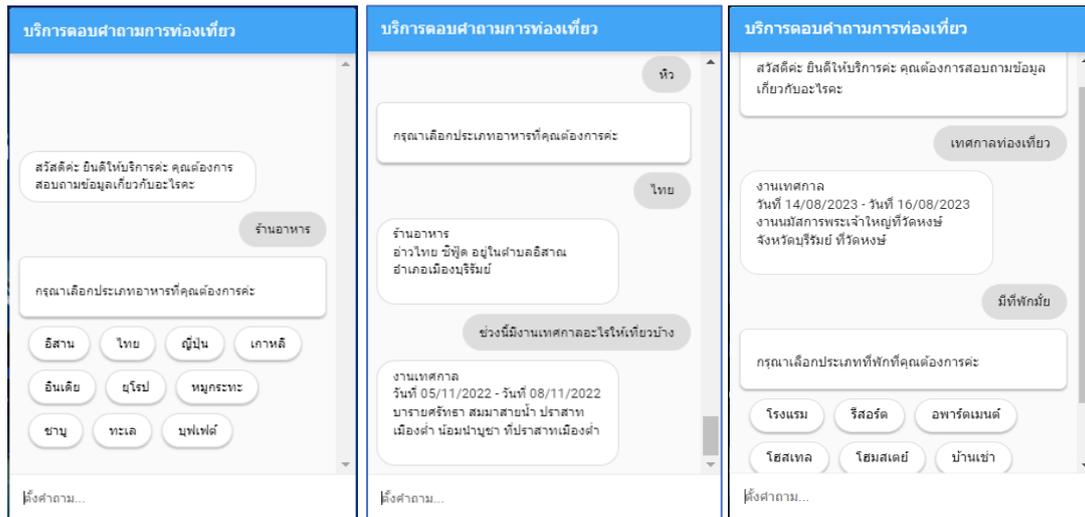


รูปที่ 5 ส่วนจัดการรายละเอียดข้อมูลประเภทแหล่งท่องเที่ยวสำหรับผู้ดูแลระบบ



รูปที่ 6 ส่วนจัดการรายละเอียดที่ตั้งแหล่งท่องเที่ยวสำหรับผู้ดูแลระบบ

ส่วนแชตบอตการท่องเที่ยวบุรีรัมย์ เป็นเครื่องมือในการติดต่อสื่อสารกับนักท่องเที่ยวในรูปแบบการโต้ตอบอัตโนมัติที่เป็นช่องทางสื่อสารส่งเสริมการท่องเที่ยวที่เลียนแบบการโต้ตอบของมนุษย์ซึ่งมีการจำลองการสนทนาที่เหมือนมนุษย์โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งจะช่วยให้นักท่องเที่ยวสามารถท่องเที่ยวได้โดยสะดวกตามตารางเวลา งบประมาณและความชอบอื่นด้วยการสนทนาอัจฉริยะกับแชตบอตในฐานะเครื่องมือส่วนตัว เพื่อรองรับต่อความต้องการสารสนเทศของนักท่องเที่ยวที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคตที่จะช่วยส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาของจังหวัดบุรีรัมย์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยนักท่องเที่ยวสามารถเลือกสนทนากับแชตบอตได้ตลอดเวลาโดยคลิก  ซึ่งนักท่องเที่ยวสามารถเลือกการสนทนาผ่านรายการเมนู หรือการสนทนาโดยตรงเกี่ยวกับการท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ที่เกี่ยวข้องกับ สถานที่ท่องเที่ยว ที่พัก ร้านอาหาร หรือการแข่งขันกีฬา เสมือนการสนทนากับเจ้าหน้าที่ที่คอยให้คำแนะนำหรือตอบข้อสงสัยให้กับนักท่องเที่ยว โดยระบบสามารถโต้ตอบได้ในทุกบริบทของการสนทนา ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตัวอย่างการสนทนาของแชทบอตการท่องเที่ยวบุรีรัมย์

โดยนวัตกรรมการท่องเที่ยวอัจฉริยะจังหวัดบุรีรัมย์ มีผลการศึกษาความสามารถในการใช้งานได้ของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญแบ่งออกเป็น 5 ด้าน คือ ด้านประสิทธิภาพของการใช้งาน ด้านประสิทธิผล ด้านความยืดหยุ่น ด้านความสามารถในการเรียนรู้ได้ และด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยมีผลการประเมินดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความสามารถในการใช้งานได้ของระบบแต่ละด้าน

ความสามารถของระบบ	ระดับความคิดเห็น		
	\bar{x}	S.D.	ระดับ
1. ด้านความยืดหยุ่นของการใช้งาน	4.45	0.57	มากที่สุด
2. ด้านความสามารถในการเรียนรู้ได้	4.40	0.64	มากที่สุด
3. ด้านประสิทธิผล	4.27	0.47	มาก
4. ด้านประสิทธิภาพของการใช้งาน	4.13	0.65	มาก
5. ด้านความพึงพอใจของผู้ใช้	4.07	0.39	มาก
เฉลี่ย	4.26	0.54	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความสามารถในการใช้งานได้ของระบบในแต่ละด้าน พบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.26$, S.D. = 0.54) เมื่อพิจารณาความสามารถแต่ละด้านของระบบโดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ย (\bar{x}) จากมากที่สุดไปน้อยที่สุดพบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจในความสามารถด้านความยืดหยุ่นของการใช้งานในระดับมากที่สุด โดยพิจารณาจากความยืดหยุ่นในการเลือกเพิ่ม ลบ หรือแก้ไขข้อมูลการท่องเที่ยวได้ตามความต้องการ และสามารถเลือกเดินหน้าไปยังขั้นตอนถัดไปหรือย้อนกลับไปยังขั้นตอนเดิมได้โดยเลือกเมนูของระบบได้อย่างสะดวก รองลงมาคือ ด้านความสามารถในการเรียนรู้ได้โดยผู้เชี่ยวชาญเห็นว่าระบบมีการใช้ข้อความ สัญลักษณ์ สีและปุ่มตัวเลือกที่สื่อความหมายรวมถึงการมีปฏิสัมพันธ์โต้ตอบกับผู้ใช้ทำให้เข้าใจการใช้งานได้ง่าย ส่วนในด้านประสิทธิผล และด้านประสิทธิภาพของการใช้งานนั้นผู้เชี่ยวชาญพึงพอใจในการจัดการข้อมูลการท่องเที่ยวได้อย่างรวดเร็วไม่ว่าจะเป็นข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว ที่พัก/ร้านอาหารรวมถึงการจัดการข้อมูลสมาชิก ส่วนด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งานในลำดับสุดท้าย ซึ่งผู้เชี่ยวชาญเห็นว่านวัตกรรมมีส่วนส่งเสริมให้สนใจมาท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์มากขึ้นและจะแนะนำให้เพื่อนใช้งานนวัตกรรมนี้

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ในการกระจายตัวของข้อมูลโดยรวม คือ 0.54 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแต่ละด้านมีค่าอยู่ระหว่าง 0.39 ถึง 0.65 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.25 แสดงว่ามีการกระจายคะแนนน้อย นั่นคือกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อความสามารถในการใช้งานได้ของระบบใกล้เคียงกัน จากผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการพัฒนานวัตกรรมเข้ามาช่วยในการส่งเสริมด้านการท่องเที่ยวทั้งในด้านการวางแผนการท่องเที่ยวภายใต้ข้อบังคับด้านความปลอดภัย (จิตมินต์ และคณะ, 2562) การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันวางแผนการท่องเที่ยวเชิงพุทธศาสนาของจังหวัดนันทบุรี (นุชรรัตน์, 2565) หรือระบบมีคเคศก์พกพาสำหรับการท่องเที่ยว (ขวัญชัย และคณะ, 2558) ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของประเทศในการส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีและช่องทางดิจิทัลเพื่ออำนวยความสะดวกแก่นักท่องเที่ยวตามรูปแบบพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวปัจจุบัน

2. ผลการศึกษาการยอมรับเทคโนโลยี

นวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ได้เปิดใช้งาน และศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีของนักท่องเที่ยวที่มีต่อระบบระหว่างเดือนตุลาคม-ธันวาคม 2565 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง 25 คน (62.5%) เพศชาย 15 คน (37.5%) ส่วนใหญ่มีอายุอยู่ระหว่าง 25 – 35 ปี จำนวน 14 คน (35%) โดยมีความถี่ในการเดินทางท่องเที่ยวต่อปีมากที่สุด จำนวน 2-5 ครั้ง/ปี (56%) นอกจากนี้มีวิธีการค้นหาข้อมูลและเตรียมตัวท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ผ่านสื่อที่ใช้มากที่สุด คือ สื่อสังคมออนไลน์ 18 คน (45%) และผ่านเว็บไซต์/บล็อกการท่องเที่ยว 11 คน (27.5%) และทำการศึกษาปัจจัยด้านความเชื่อมั่นและความไว้วางใจในการใช้นวัตกรรมที่ส่งผลต่อการศึกษารับเทคโนโลยี ตามแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) ใน 4 ด้าน คือ การรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับ ความง่ายในการใช้งาน สิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งาน และการเข้าถึงบริการ ผลการศึกษาดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาการยอมรับเทคโนโลยี

ประเด็นการศึกษา	ระดับความคิดเห็น		
	\bar{x}	S.D.	ระดับ
การรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับ			
1. มีการให้บริการนักท่องเที่ยวในการให้ข้อมูลการท่องเที่ยว การติดต่อสื่อสารของจังหวัดบุรีรัมย์	4.05	0.71	มาก
2. ช่วยเพิ่มความสะดวกในการสืบค้นข้อมูลการท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์	4.15	0.70	มาก
3. สามารถช่วยแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ สำหรับนักท่องเที่ยวตามเงื่อนไขเฉพาะบุคคลได้	4.28	0.60	มากที่สุด
4. สามารถช่วยในการถาม-ตอบข้อมูลการท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ได้ผ่านแชตบอต	4.18	0.64	มาก
5. โดยรวมแล้วท่านคิดว่านวัตกรรมท่องเที่ยวนี้มีประโยชน์ต่อการใช้งานในการเดินทางท่องเที่ยวของท่าน	4.10	0.63	มาก
เฉลี่ย	4.15	0.66	มาก
การเข้าถึงบริการ			
6. ท่านใช้งานนวัตกรรมท่องเที่ยวผ่านอินเทอร์เน็ต	4.30	0.69	มากที่สุด
7. ท่านใช้งานนวัตกรรมท่องเที่ยวผ่านอุปกรณ์การสื่อสารอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น แท็บเล็ต โทรศัพท์มือถือ	3.95	0.75	มาก
8. ท่านสามารถถาม-ตอบข้อมูลท่องเที่ยวบุรีรัมย์ผ่านแชตบอตได้ตลอด 24 ชั่วโมง	4.20	0.69	มากที่สุด

ประเด็นการศึกษา	ระดับความคิดเห็น		
	\bar{x}	S.D.	ระดับ
9. ท่านต้องการบอกต่อผู้อื่นเกี่ยวกับการใช้งานนวัตกรรมท่องเที่ยวนี้เนื่องจากสามารถส่งเสริมการท่องเที่ยวให้จังหวัดบุรีรัมย์ได้	4.13	0.65	มาก
10. ท่านจะใช้นวัตกรรมท่องเที่ยวนี้ก่อนการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวทุกครั้งที่มีโอกาส	4.08	0.73	มาก
เฉลี่ย	4.11	0.70	มาก
ความง่ายในการใช้งาน			
11. มีส่วนสำหรับการแนะนำการใช้งาน	3.93	0.97	มาก
12. ขั้นตอนการใช้งานไม่ซับซ้อน มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน	4.23	0.73	มากที่สุด
13. การใช้ภาพ สัญลักษณ์ ตัวอักษร แทนฟังก์ชันการใช้งานที่เข้าใจง่าย	4.08	0.76	มาก
14. ทำให้การค้นหาข้อมูลท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ที่ต้องการสามารถทำได้โดยง่าย	4.05	0.60	มาก
15. ขั้นตอนการใช้งานระบบมีความชัดเจนและเข้าใจง่าย	4.18	0.68	มาก
เฉลี่ย	4.08	0.74	มาก
สิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งาน			
16. เมื่อใช้งานท่านรู้สึกว่าการมีฟังก์ชันช่วยในการทำงานที่สะดวกและเกิดแรงจูงใจที่อยากใช้งาน	3.90	0.67	มาก
17. ท่านมีความพร้อมที่จะใช้นวัตกรรมท่องเที่ยวนี้	3.70	0.94	มาก
18. เข้าถึงกลุ่มนักท่องเที่ยวได้หลากหลาย	3.95	0.96	มาก
19. นักท่องเที่ยวสามารถเรียกดูข้อมูลการท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ได้ทุกเวลา	4.13	0.76	มาก
20. ท่านคิดนวัตกรรมท่องเที่ยวช่วยสร้างความพอใจ	3.98	0.73	มาก
เฉลี่ย	3.97	0.80	มาก
เฉลี่ยทุกด้าน	4.08	0.72	มาก

จากตารางที่ 2 ผลการศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีในแต่ละด้าน พบว่า นักท่องเที่ยวมีระดับการยอมรับเทคโนโลยีโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.08$, S.D. = 0.72) เมื่อพิจารณาระดับการยอมรับเทคโนโลยีในรายด้าน โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ย (\bar{x}) จากมากที่สุดไปน้อยที่สุด พบว่า นักท่องเที่ยวมีระดับการยอมรับเทคโนโลยีทุกข้ออยู่ในระดับมากคือ การรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับ การเข้าถึงบริการ ความง่ายในการใช้งาน และสิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งานตามลำดับ เมื่อพิจารณาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ในการพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลโดยรวม คือ 0.72 และแต่ละด้านมีค่าอยู่ระหว่าง 0.66 ถึง 0.80 แสดงว่ามีการกระจายคะแนนน้อย นั่นคือกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีระดับการยอมรับเทคโนโลยีจากการใช้งานนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาถึงระดับการยอมรับด้านการรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับซึ่งมีค่าสูงสุด ($\bar{x} = 4.15$, S.D. = 0.66) นั้นสอดคล้องกับผลการศึกษาความสามารถในการใช้งานได้ของระบบในด้านความยืดหยุ่นของการใช้งาน และด้านความสามารถในการเรียนรู้ซึ่งมีค่าสูงสุดเช่นกัน ด้วยความง่ายของการใช้งานนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะนั้นจะส่งผลให้เกิดการรับรู้ประโยชน์ของนวัตกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากนักท่องเที่ยวต่างเห็นประโยชน์ของการนำนวัตกรรมมาใช้ในการวางแผนการท่องเที่ยวเชิงกีฬาของจังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุนิสา (2561) ที่ศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีแฮตบอตในธุรกิจธนาคารในประเทศไทย รวมถึงงานวิจัยของณัฐนันท์ (2560) ที่มีผลการรับรู้ความง่ายในการใช้งานแอปพลิเคชันซื้อสินค้าออนไลน์ในการซื้อสินค้าออนไลน์ของผู้บริโภคที่มีความยืดหยุ่น และสามารถเรียนรู้การใช้งานได้เอง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับรู้ถึง

ประโยชน์ที่ได้รับ เนื่องจากผู้ใช้เชื่อว่าไม่ต้องอาศัยความพยายามในการใช้งาน คือ หากผู้ใช้ไม่ต้องใช้ความพยายามมากในการใช้งานผู้ใช้จะรับรู้ว่าคุณเทคโนโลยีนั้นสามารถนำมาใช้งานได้ง่าย และส่งผลให้มีการนำเทคโนโลยีมาใช้จริง ซึ่งเป็นไปตาม Ooi and Tan (2016) กล่าวว่า การรับรู้ความง่ายในการใช้งานคือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับจากเทคโนโลยีสารสนเทศด้วยระดับที่ผู้ใช้เชื่อว่าไม่ต้องอาศัยความพยายาม (Free of effort) ในการใช้งาน เช่นเดียวกับงานวิจัยของสุธาสินี (2562) ที่ได้ศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าออนไลน์ของผู้สูงอายุที่มีผลการศึกษาพบว่า การยอมรับเทคโนโลยีด้านการรับรู้ความเข้าใจ ด้านการรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้งานมีผลต่อความตั้งใจใช้เทคโนโลยี และก่อให้เกิดพฤติกรรมการยอมรับเทคโนโลยี นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังพบว่านักท่องเที่ยวที่มีอายุอยู่ระหว่าง 25 – 35 ปี และมีระดับการศึกษาสูงกว่าระดับปริญญาตรีจะมีความรู้ความเข้าใจ ความคุ้นเคยในการใช้งานเทคโนโลยีต่าง ๆ มากกว่า ส่งผลให้ระดับการยอมรับเทคโนโลยีในด้านการเข้าถึงบริการ ($\bar{x} = 4.11$, S.D. = 0.70) และด้านความง่ายในการใช้งาน ($\bar{x} = 4.08$, S.D. = 0.74) มีระดับสูงรองมา ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของสุณิสสา (2559) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าออนไลน์ผ่านช่องทางตลาดกลางพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-Marketplace)

จากผลการวิจัยสนับสนุนถึงการใช้นวัตกรรมท่องเที่ยวนี้ในการค้นหาข้อมูลการท่องเที่ยวของจังหวัดบุรีรัมย์ด้วยระบบสามารถช่วยแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ สำหรับนักท่องเที่ยวตามเงื่อนไขเฉพาะบุคคลของนักท่องเที่ยวที่ได้รับการจัดอันดับให้เหมาะกับนักท่องเที่ยวแต่ละบุคคลซึ่งช่วยลดเวลาการค้นหาข้อมูลท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ นอกจากนี้ยังช่วยในการติดต่อสื่อสารในการถาม-ตอบข้อมูลการท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ผ่านแชตบอตได้ตลอด 24 ชั่วโมงซึ่งแตกต่างจากการค้นหาข้อมูลด้วย Google หรือเว็บไซต์ท่องเที่ยวทั่วไป ที่ช่วยให้นักท่องเที่ยวสามารถวางแผนการท่องเที่ยวได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วขึ้น

บทสรุป

นวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์เป็นนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้นักท่องเที่ยวได้รับสารสนเทศด้านการท่องเที่ยวเชิงกีฬาของจังหวัดบุรีรัมย์ได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง และตรงตามความต้องการที่รองรับพฤติกรรมการท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวที่เปลี่ยนไป โดยนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะมีการทำงานหลักที่สำคัญในรูปแบบของระบบแนะนำการท่องเที่ยวเฉพาะบุคคลและแชตบอตเพื่อสื่อสารการตลาดการท่องเที่ยวในช่องทางการจำหน่าย และการส่งเสริมทางการตลาดเพื่อดึงดูดนักท่องเที่ยวให้เดินทางมาเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์ โดยการวิจัยนี้เป็นการวิจัยประเภทการวิจัยและพัฒนาที่ดำเนินการวิจัยตามวงจรการพัฒนาระบบ ที่ได้นำผลการศึกษาความต้องการ/รูปแบบการพัฒนานวัตกรรมท่องเที่ยวมาออกแบบและพัฒนาระบบทำให้ได้นวัตกรรมที่ทำงานในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันที่มีการทำงานหลักคือ ในส่วนที่ 1 สำหรับการบริการนักท่องเที่ยว (Tourist Service) สำหรับผู้ใช้ที่เป็นนักท่องเที่ยวทั่วไป และส่วนที่ 2 การบริการดูแลระบบ (Administrator Services) ที่มีฟังก์ชันการทำงานสำคัญ คือ ส่วนแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวโดยรวม ส่วนจัดการข้อมูลท่องเที่ยว ส่วนจัดการสมาชิก ส่วนจัดการประวัติส่วนตัว ส่วนแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวส่วนบุคคล และแชตบอตส่งเสริมการท่องเที่ยว โดยระบบมีผลการประเมินความสามารถในการใช้งานได้ของระบบโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด นอกจากนี้พบว่านักท่องเที่ยวมีการยอมรับเทคโนโลยีตามแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) ใน 4 ด้าน ดังนี้ การรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับ ความง่ายในการใช้งาน สิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งาน และการเข้าถึงบริการ มีระดับการยอมรับเทคโนโลยีโดยรวมอยู่ในระดับมาก

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการใช้งานโดยการประชาสัมพันธ์ส่งเสริมการใช้งานระบบให้เป็นที่รู้จัก สร้างเครือข่ายผู้ประกอบการด้านการท่องเที่ยวในจังหวัดเพื่อให้มีการเพิ่มและปรับปรุงข้อมูลด้านการท่องเที่ยวของจังหวัดให้มากขึ้นและเป็นปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นช่องทางการตลาดที่สำคัญในการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาของจังหวัดบุรีรัมย์ต่อไป โดยมีข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อไปโดยนวัตกรรมท่องเที่ยวอัจฉริยะการท่องเที่ยวเชิงกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์นี้ได้มีการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้

เพื่อให้ระบบมีความชาญฉลาดรองรับต่อพฤติกรรมของนักท่องเที่ยว ซึ่งสามารถนำเทคนิคอื่นมาใช้ในการนำเสนอข้อมูล สถานที่ท่องเที่ยวได้หลากหลาย รวมถึงการใช้งานในรูปแบบโมบายแอปพลิเคชัน นอกจากนี้แชทบอทการท่องเที่ยวบุรีรัมย์ สามารถใช้ผ่านช่องทางการสื่อสารอื่น เช่น Facebook Messenger LINE เป็นต้น ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกแก่นักท่องเที่ยวด้วยนวัตกรรมเทคโนโลยีและช่องทางดิจิทัลตามนโยบายประเทศไทย 4.0

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ของโครงการ ด้วยได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ประเภททุนสนับสนุนงานพื้นฐาน Fundamental fund ประจำปีงบประมาณ 2565 นอกจากนี้ขอขอบคุณ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิ เจ้าหน้าที่และบุคลากรสำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬา จังหวัดบุรีรัมย์ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรม ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล คำแนะนำ ความรู้ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รวมทั้งสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ในการอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. (2559). โครงการศึกษาแนวทางการพัฒนาและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬา. รายงานฉบับสมบูรณ์ กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา: กรุงเทพฯ.
- กรมการท่องเที่ยว. (2561). แผนยุทธศาสตร์พัฒนาการท่องเที่ยว พ.ศ. 2561 - 2564 ของกรมการท่องเที่ยว.
- วีไอพีก็อปปีปริ๊น: กรุงเทพฯ.
- ขวัญชัย สุขแสน, ณัฐวุฒิ มูลศาสตร์ และมนัสนันท์ จันโท. (2557). ระบบมีคเคศท์พกพาสำหรับการท่องเที่ยว. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 10 8-9 พฤษภาคม 2557. คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมพระนครเหนือ. ภูเก็ต. 276-280.
- จิตมินต์ อังสกุล, สุรัชย์ กมลลิมสกุล และธรา อังสกุล. (2562). โปรแกรมประยุกต์สำหรับวางแผนการท่องเที่ยวภายใต้ข้อบังคับด้านความปลอดภัย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 38(3): 316-329.
- ณัฐนันท์ พิธีวิฑิตกุล. (2560). การยอมรับเทคโนโลยีโทรศัพท์มือถือ การตลาดผ่านสื่อสังคมออนไลน์ และพฤติกรรมผู้บริโภคออนไลน์ส่งผลต่อความตั้งใจซื้อสินค้าออนไลน์ผ่านแอปพลิเคชันของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร. มหาวิทยาลัยกรุงเทพ: กรุงเทพฯ.
- นุชรัตน์ นุชประยูร และจิตตฤ พูลวัน. (2565). การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันวางแผนการท่องเที่ยวเชิงพุทธศาสนาแบบมีส่วนร่วมของนักท่องเที่ยวในอำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี. รายงานการวิจัย. คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ นนทบุรี.
- ประภัสสร มีน้อย. (2560). รูปแบบและกลยุทธ์การจัดการท่องเที่ยวเชิงกีฬาของภูมิภาคตะวันตกเพื่อรองรับการเข้าสู่ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สุธาณี ตูลานนท์ (2562). การยอมรับเทคโนโลยีที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าออนไลน์ของผู้สูงอายุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจ เศรษฐศาสตร์และการสื่อสาร มหาวิทยาลัยนครสวรรค์.
- สุนิสา ทรแก้ว. (2561). การยอมรับเทคโนโลยี Chatbot ในธุรกิจธนาคารในประเทศไทย. การค้นคว้าอิสระปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สุณิสา ทรงจิตร. (2559). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าออนไลน์ผ่านช่องทางตลาดกลางพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-Marketplace). การค้นคว้าอิสระปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์. (2563). แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์. ค้นเมื่อ 1 เมษายน 2565.

<http://www.buriram.go.th/web3/index.php/province-development/plan-development>.

Battleson B., Booth A. and Weintrop J. (2001). Usability testing of an academic library web site: A case study. *Journal of Academic Librarianship*. 27(3): 188-198.

Davis F.D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*. 13(3): 319-339.

Nielsen J. (1993). *Usability Engineering*. Academic press: San Diego, CA.

Ooi K.B. and Tan G. W-H. (2016). Mobile technology acceptance model: An investigation using mobile users to explore smartphone credit card. *Journal of Expert Systems with Applications*. 59: 33-46.

Received: February 22, 2024; Revised: June 11, 2024; Accepted: July 3, 2024

ผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช 2, 4-D ไดเมทิลแอมโมเนียมต่อการเหนี่ยวนำการสังเคราะห์
ไวเทลโลเจนินในพลาสมาของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) และการศึกษาในภาคสนาม
Effects of the herbicide 2, 4-D dimethylammonium on induction of
vitellogenin synthesis in the plasma of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)
and field study

น้ำทิพย์ จันถาวร¹ พงศ์ภัทร เกียรติประเสริฐ¹ วิชชуда ประสาทแก้ว² พัชรี มงคลวัย³พอจิต นันทนาวัฒน์⁴ และชุตินา ถนอมสิทธิ์^{1*}Namthip Cantawon¹, Pongpat Kiatprasert¹, Witchuda Prasatkaew²,Patcharee Mongkolvai³, Phochit Nanthanawat⁴ and Chutima Thanomsit^{1*}¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์¹Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร²Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University, Bangkok³คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จังหวัดสกลนคร³Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan Sakon Nakhon Campus, Sakon Nakhon Province⁴คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี⁴Faculty of Science, Burapha University, Chonburi Province

*Corresponding Author E-mail Address: chutima.tn@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

สารกำจัดวัชพืชที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ สามารถรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ โดยชักนำให้ปลาเพศผู้หรือปลา
วัยอ่อนสังเคราะห์ไวเทลโลเจนิน งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการเหนี่ยวนำไวเทลโลเจนินในพลาสมาของปลานิล
(*Oreochromis niloticus*) โดยใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไดเมทิลแอมโมเนียม โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ
1) การศึกษาในห้องปฏิบัติการด้วยการเหนี่ยวนำไวเทลโลเจนินด้วยฮอร์โมนเอสโตรเจน (E_2) และสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ระดับ
ความเข้มข้นที่ไม่ก่อให้เกิดการตาย (2.5 ไมโครลิตรต่อลิตร) โดยวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนรวมในพลาสมา ศึกษารูปแบบ
ของโปรตีนด้วยเทคนิค SDS-PAGE และการแสดงออกของไวเทลโลเจนินด้วยเทคนิคทางแอนติบอดี คือ เวสเทิร์นบลอต
และดอทบลอต ร่วมกับการศึกษาภาคสนาม โดยเก็บตัวอย่างปลาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ คือ อ่างเก็บน้ำห้วยเสนง จังหวัด
สุรินทร์ และฟาร์มปลาเอกชนที่ใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำห้วยเสนงในระบบเพาะเลี้ยง โดยนำมาศึกษาปริมาณโปรตีน การแสดงออก
ของโปรตีน และการแสดงออกของไวเทลโลเจนิน ร่วมกับการตรวจสอบการปนเปื้อนสารกำจัดวัชพืชในน้ำด้วยชุดทดสอบ

อย่างง่าย GT test kit ผลการศึกษาพบว่า ปลานิลที่ได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืช 2,4-D สามารถเหนี่ยวนำให้มีการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินได้เช่นเดียวกับ E_2 โดยไวเทลโลเจนินที่พบมีขนาด 250 และ 220 กิโลดาลตัน ส่วนปลาธรรมชาติจากอ่างเก็บน้ำห้วยเสนง 4 ชนิด ที่ทำการศึกษาคือ ปลาช่อน ปลาดุกกร๊สเซีย ปลาบู่ และปลาดุกลูกผสม ไม่พบการแสดงออกของไวเทลโลเจนิน ส่วนปลานิลจากฟาร์มเอกชน พบการแสดงออกของไวเทลโลเจนินในทุกตัวอย่างที่ศึกษา สอดคล้องกับผลการตรวจสอบการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชในน้ำให้ผลบวกเช่นเดียวกัน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าสารกำจัดวัชพืช 2,4-D มีผลต่อการทำงานของต่อมไร้ท่อ โดยตรวจสอบได้จากการใช้ไวเทลโลเจนินเป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพ ซึ่งการบริโภคปลาที่ได้รับสารเหล่านี้อาจส่งผลให้เกิดการสะสมสารกำจัดวัชพืชเพิ่มขึ้นตามลำดับห่วงโซ่อาหารและเป็นอันตรายกับมนุษย์ได้

คำสำคัญ: ไวเทลโลเจนิน สารกำจัดวัชพืช การปนเปื้อน 2,4-D ไตเมทิลแอมโมเนียม

Abstract

Herbicides contaminating water sources can disrupt endocrine functions by inducing vitellogenin in male or juvenile fish. This study investigates the induction of vitellogenin in the plasma of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) using the herbicide 2,4-D dimethylammonium. The experiment was divided into two parts as 1) Laboratory Study: This part involved inducing vitellogenin using estrogen (E_2) and 2,4-D at a non-lethal concentration of 2.5 $\mu\text{L/L}$. The plasma protein content and protein expression were analyzed using SDS-PAGE, while vitellogenin expression was detected using antibody techniques (Western blot and dot blot) 2) Field Study: Fishes samples were collected from Huai Senang reservoir in Surin province, and a fish farm using reservoir water in culture system. The plasma protein content, protein expression, and vitellogenin expression, together with pesticide contamination in the water using the GT test kit. The results showed that Nile tilapia exposed to 2,4-D herbicide synthesized vitellogenin similarly to those exposed to E_2 , with vitellogenin sizes of 250 and 220 kDa. In contrast, natural fishes from the Huai Senang reservoir (Snakehead fish, African catfish, Goby and Hybrid catfish) did not show vitellogenin expression. However, Nile tilapia from the private farm showed vitellogenin expression in all samples, correlating with positive pesticide contamination in the water. The study indicates that the herbicide 2,4-D affects endocrine function, with vitellogenin serving as a biomarker. Consuming fish exposed to such contaminants may lead to bioaccumulation of pesticides in the food chain, posing health risks to humans.

Keywords: Vitellogenin, Herbicides, Contamination, 2,4-D dimethylammonium

บทนำ

การขยายตัวของการส่งออกสินค้าเกษตรและการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็วส่งผลให้ระบบเกษตรกรรมของไทยถูกผลักดันเข้าสู่ระบบเกษตรกรรมกระแสหรือเกษตรกรรมเคมี เกษตรกรจึงนำเทคโนโลยีมาช่วยเพิ่มผลผลิตทางด้านอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค โดยใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร การปรับปรุงพันธุ์พืช และการป้องกันกำจัดศัตรูพืช เห็นได้จากปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีและสารป้องกันกำจัดวัชพืชที่เพิ่มขึ้นต่อเนื่อง โดยในปี

พ.ศ. 2566 มีการนำเข้ารวม 0.141 ล้านตัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 23.68 จากปี พ.ศ. 2565 โดยมีการนำเข้ารวม 0.114 ล้านตัน ซึ่งสารเคมีที่มีการนำเข้ามากที่สุด คือ สารกำจัดวัชพืช จำนวน 90,465 ตัน รองลงมา คือ สารป้องกันและกำจัดโรคพืช จำนวน 22,702 ตัน และสารกำจัดแมลง จำนวน 22,559 ตัน ซึ่งสารป้องกันและกำจัดวัชพืชที่มีการนำเข้ามากที่สุด ได้แก่ กลูโฟซิเนต-แอมโมเนียม, โกลโฟเซต-ไอโซโพรพิลแอมโมเนียม และ 2,4-D-ไดเมทิลแอมโมเนียม ตามลำดับ (สำนักงานควบคุมพืชและวัสดุทางการเกษตร, 2567) ทั้งนี้สารกำจัดศัตรูพืชนับเป็นปัจจัยที่มีความจำเป็นอย่างหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะสารในกลุ่มกำจัดวัชพืชที่มีปริมาณการใช้มากขึ้น เนื่องจากการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชมีต้นทุนน้อยกว่าการกำจัดวัชพืชโดยใช้วิธีการทางกายภาพ ซึ่งการใช้สารเคมีทางการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งสารกำจัดวัชพืชเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม การใช้สารกำจัดวัชพืชที่ปราศจากการควบคุมอย่างถูกวิธีมีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายของสารกำจัดวัชพืชสู่สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ปัญหาการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่มากเกินไปยังทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในดิน อากาศ และแหล่งน้ำ (Thanomsit et al., 2020a) โดยการตรวจสอบการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชในแหล่งน้ำจากพื้นที่ฝั่งธนบุรีในเขตที่มีการทำเกษตรกรรม พบการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืช 7 ชนิด จาก 2 กลุ่ม คือ คาร์บาเมต และออร์แกโนฟอสเฟต ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบมีค่าเฉลี่ยมากกว่ามาตรฐานของแหล่งน้ำในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งอาจมีผลแบบฉับพลันและเรื้อรังในสัตว์น้ำ (อุทุมพร, 2564) โดยการปนเปื้อนของสารดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำและทำให้เกิดการสะสมสารพิษในสัตว์น้ำ แม้การปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชอาจอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภคของมนุษย์ แต่ระดับการปนเปื้อนที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติอาจมีผลต่อสัตว์น้ำได้ (อุไรวรรณ, 2545; วิชิตา และรัตติยากร, 2548; Thanomsit et al., 2016a; Thanomsit et al., 2020a) โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเกิดการปนเปื้อนในสัตว์น้ำที่มนุษย์ใช้บริโภคก็จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

2,4-D ไดเมทิลแอมโมเนียม (2,4-D dimethylammonium) เป็นสารกำจัดวัชพืชในกลุ่ม chlorophenoxyacetic acid ใช้สำหรับกำจัดวัชพืชใบกว้าง (Broad-leaf weed) สำหรับธัญพืช สนามหญ้า สวนสาธารณะ และสนามกอล์ฟ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโต (Growth regulator) ในพืชใบเลี้ยงคู่เพื่อให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งในทางการค้า 2,4-D ในรูปของกรดที่ใช้เป็นสารออกฤทธิ์แล้วยังมีอนุพันธ์ที่เป็นเกลือและเอสเทอร์จำนวนมาก ผลิตภัณฑ์ของ 2,4-D และอนุพันธ์นอกจากใช้เป็นสารออกฤทธิ์เพียงสารเดียวแล้วยังรวมกับสารกำจัดวัชพืชอื่น ๆ อีกหลายชนิด ซึ่งสาร 2,4-D นั้นเป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของต่อมไร้ท่อ จึงสามารถชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนในสิ่งมีชีวิตได้ โดยสารกำจัดวัชพืช 2,4-D มีผลต่อสัตว์น้ำ โดยไปรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ ทำให้มีผลต่อฮอร์โมนและระบบการสืบพันธุ์ (Ackers et al., 2000) และยิ่งไปกว่านั้น Sarikaya and Yilmaza (2003) รายงานว่าเมื่อปลาไน (*Cyprinus carpio*) ได้รับสัมผัสสาร 2,4-D จะก่อให้เกิดความเป็นพิษในปลาสูงมาก และในปลาคูกด้าน (*Clarias batrachus*) หากได้รับสัมผัสกับสาร 2,4-D จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมและการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อ (Ateccq et al., 2006)

ไวเทลโลเจนิน (Vitellogenin) เป็นโปรตีนที่พบในสิ่งมีชีวิตที่สืบพันธุ์ด้วยการวางไข่ ควบคุมโดยฮอร์โมน 17 β -เอสตราไดออล (17 β -estradiol; E₂) สังเคราะห์ขึ้นบริเวณตับของปลาเพศเมียที่โตเต็มวัยและหลังเข้าสู่กระแสเลือดเพื่อพัฒนาโอโอไซต์ (Oocyte) (Hock et al., 2001) ในสภาวะปกติปลาเพศผู้และปลาวัยอ่อนจะไม่มีสังเคราะห์ไวเทลโลเจนิน แต่สามารถสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยสารรบกวนที่มีลักษณะคล้ายเอสโตรเจนที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลไกของฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับระบบสืบพันธุ์ (Marin and Matozzo, 2004) การเพิ่มขึ้นของไวเทลโลเจนินในปลาเพศผู้หรือปลาที่ยังไม่สมบูรณ์เพศ สามารถเกิดขึ้นได้โดยการเหนี่ยวนำของสารคล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจนทั้งชนิดเดียวหรือหลายชนิดร่วมกัน ทั้งการสัมผัสสารที่มีความเข้มข้นต่ำเป็นระยะเวลานาน หรือสัมผัสสารความเข้มข้นสูงในเวลาสั้น (Hock et al., 2001) สารคล้ายเอสโตรเจนที่พบในชีวิตประจำวันเป็นได้ทั้งสารเคมีที่มีอยู่ในธรรมชาติหรือที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้ในด้านการแพทย์ การเกษตร และอื่น ๆ เช่น ฮอร์โมน ฮอร์โมนสังเคราะห์ โลหะหนัก และสารกำจัดวัชพืช (พอจิต, 2558) ซึ่งสารกำจัดศัตรูพืชที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ สามารถรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อโดยชักนำให้ปลาเพศผู้สังเคราะห์ไวเทลโลเจนินได้ โดยมีรายงานการสำรวจไวเทลโลเจนินในปลาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

เช่น ปลาไนล์ ปลาช่อน ปลาตะเพียน และปลากระดี่ พบการแสดงออกของไวเทิลโลเจนินในปลาเพศผู้จากแหล่งน้ำในพื้นที่อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นแหล่งที่มาของสารคล้ายเอสโตรเจนในสิ่งแวดล้อม (Okoumassoun et al., 2002; Prasatkaew et al., 2019) ซึ่งการสังเคราะห์ไวเทิลโลเจนินในปลาเพศผู้และปลาวัยอ่อนมีผลต่อสมดุลของประชากรในระบบนิเวศ อีกทั้งการบริโภคปลาที่ได้รับสารเหล่านี้ อาจส่งผลให้เกิดพิษสะสมเพิ่มขึ้นตามลำดับห่วงโซ่อาหารและเป็นอันตรายกับมนุษย์ได้

ไวเทิลโลเจนินถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพของการรับสัมผัสสารคล้ายเอสโตรเจน การตรวจสอบไวเทิลโลเจนินด้วยเทคนิคทางแอนติบอดีถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถตรวจตัวอย่างครั้งละมาก ๆ ทราบผลได้รวดเร็ว ค่าใช้จ่ายน้อย และมีความแม่นยำ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาไวเทิลโลเจนินในปลาไนล์ เนื่องจากเป็นปลาที่มีการแพร่กระจายในแหล่งน้ำทั่วประเทศ และเป็นปลาเศรษฐกิจที่มีการบริโภคในปริมาณมาก จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดการได้รับสัมผัสสารดังกล่าวในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยทำการศึกษากการแสดงออกของไวเทิลโลเจนินเมื่อได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไคเมทิลแอมโมเนียม ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายในพื้นที่การเกษตร เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมน 17 β -เอสตราไดออล และกลุ่มควบคุมผลผลิตที่ไม่ได้รับสารใด โดยใช้เทคนิคทางแอนติบอดีตรวจสอบการแสดงออกของไวเทิลโลเจนินในห้องปฏิบัติการ ร่วมกับการศึกษาในภาคสนาม คือตรวจสอบไวเทิลโลเจนินจากปลาชนิดอื่น ๆ ในแหล่งน้ำธรรมชาติ และปลาไนล์จากฟาร์มเอกชนที่มีการนำน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาใช้ในระบบการเพาะเลี้ยง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืช 2,4-D และการวางแผนการใช้สารกำจัดวัชพืชให้เหมาะสม เพื่อป้องกันผลกระทบต่อระบบนิเวศและจำนวนประชากรปลาในแหล่งน้ำในอนาคต

วัตถุประสงค์ และวิธีการ

สัตว์ทดลอง และแผนการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการทดลองที่สาขาประมง คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ตามกฎหมายสวัสดิภาพของสัตว์ และได้รับการรับรองการอนุมัติให้ดำเนินการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานวิทยาศาสตร์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ใบอนุญาตใช้สัตว์ทดลองเลขที่ UL-03405-2559 โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ 1) การศึกษาในห้องปฏิบัติการด้วยการเหนี่ยวนำไวเทิลโลเจนินด้วย E₂ และ 2,4-D โดยนำมาศึกษาปริมาณโปรตีน การแสดงออกของโปรตีนด้วยเทคนิค SDS-PAGE และการแสดงออกของไวเทิลโลเจนินด้วยเทคนิคเวสเทิร์นบลอต และดอทบลอต 2) การศึกษาภาคสนาม โดยการเก็บตัวอย่างปลาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ คือ อ่างเก็บน้ำห้วยเสนง และฟาร์มปลาเอกชนที่ใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำในระบบเพาะเลี้ยง นำมาศึกษาปริมาณโปรตีน การแสดงออกของโปรตีน และการแสดงออกของไวเทิลโลเจนิน ร่วมกับการตรวจสอบสารกำจัดศัตรูพืชในน้ำด้วยชุดทดสอบอย่างง่าย (GT test kit)

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมีที่ใช้ทดสอบ คือ ฮอร์โมน 17 β -เอสตราไดออล (E₂) และสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไคเมทิลแอมโมเนียม (บริษัท แอกรอนอินดัสตรีส์ จำกัด ประเทศไทย หมายเลข CAS 2008-39-1) สารเคมีทั่วไปที่ใช้ในการวิจัยเป็นชนิดเกรดวิเคราะห์ และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษารูปแบบโปรตีน และการศึกษาการเหนี่ยวนำการสร้างไวเทิลโลเจนิน (E₂) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Merck (หมายเลข CAS 50-28-2)

สัตว์ทดลอง

ห้องปฏิบัติการ

นำปลานิลเพศผู้น้ำหนักเฉลี่ย 150-200 กรัม ยาว 20-25 เซนติเมตร มาปรับสภาพในบ่อคอนกรีตขนาด 100 ลิตร เป็นเวลา 7 วัน ซึ่งปลานิลจะได้รับอาหารวันละ 2 ครั้ง จากนั้นแบ่งตัวอย่างปลานิลออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มควบคุมผลบที่ไม่ได้รับสารใด 2) กลุ่มทดลองที่ทำการฉีดกระตุ้นให้ปลานิลสร้างไวเทลโลเจนินด้วยฮอร์โมน E_2 ปริมาณ 1.2 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม จำนวน 4 ครั้ง เป็นระยะเวลา 12 วัน (ฉีดกระตุ้นวันที่ 0, 4, 8 และ 12 หลังการเก็บตัวอย่างเลือดปลานิล) การเก็บตัวอย่างเลือดปลานิลจะทำการเก็บทุก ๆ 3 วัน ก่อนการฉีดกระตุ้น โดยเริ่มเก็บตัวอย่างเลือดปลานิลตั้งแต่อ่อนฉีดครั้งแรก (วันที่ 0) จนถึงครั้งสุดท้าย และ 3) กลุ่มที่ได้รับสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไดเมทิลแอมโมเนียม ความเข้มข้น 2.5 ไมโครลิตรต่อลิตร เก็บตัวอย่างปลาเพื่อศึกษาระดับความเป็นพิษจำนวน 4 ครั้ง แต่ครั้งห่างกัน 7 วัน ตั้งแต่ก่อนการแช่ครั้งแรก (วันที่ 0) จนถึงครั้งสุดท้ายเป็นเวลา 28 วัน การเก็บตัวอย่างปลาเพื่อศึกษาทำได้โดยนำปลานิลมาสลบ และเก็บเลือดปลาบริเวณเหนือเส้นข้างลำตัว โดยใช้เข็มฉีดยาขนาด 24G ที่เคลือบด้วยสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (EDTA) และใส่ในหลอดที่เคลือบเฮปารินและ 0.01% Phenylmethylsulfonyl fluoride (PMSF) (บริษัท Sigma) และจัดการส่วนที่เหลือของสัตว์น้ำโดยการนำใส่ถุงพลาสติกและส่งไปกำจัดพร้อมขยะติดเชื้อ

การสกัดโปรตีนจากพลาสมาของปลานิลเพื่อศึกษารูปแบบของโปรตีนและการวัดปริมาณโปรตีน

การสกัดโปรตีน

การเก็บตัวอย่างพลาสมาของปลานิลในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการศึกษาโดยการเจาะเลือดปลานิลจากเส้นข้างลำตัว หลังจากนั้นเลือดที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจะนำไปปั่นหิว้งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็ว 3,500 RPM เป็นเวลา 5 นาที เก็บส่วนใสเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่มีการเหนี่ยวนำการสร้างไวเทลโลเจนิน (พวจิต และคณะ, 2559)

การวัดปริมาณโปรตีน

นำโปรตีนมาตรฐาน BSA มาเจือจางให้มีปริมาณโปรตีน 0.03125, 0.0625, 0.25 และ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร (พวจิต และคณะ, 2559) หลังจากนั้นนำตัวอย่างพลาสมาของปลานิลที่ต้องการวัดปริมาณโปรตีนมาเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น 1:10 เท่า นำสารละลาย BSA และตัวอย่างพลาสมาตัวอย่างละ 10 ไมโครลิตร ใส่ลงในไมโครไตเตอร์เพลทหลุมที่ต้องการทดสอบโดยใส่ตัวอย่างละ 2 หลุม เติมสารละลาย Dry reagent เจือจางที่ปริมาตร 200 ไมโครลิตรทุกหลุม ผสมให้เข้ากัน ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย BSA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ นำมาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณ BSA กับค่าการดูดกลืนแสง และนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับโปรตีนจากกราฟมาตรฐาน

การศึกษารูปแบบของโปรตีนที่พบในพลาสมาของปลานิลโดยใช้เทคนิคโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต เจล อิเล็กโทรโฟรีซิส (SDS-PAGE) และการศึกษาการเหนี่ยวนำการสร้างไวเทลโลเจนินโดยใช้เทคนิคเวสเทิร์น บลอต (Western blot)

การศึกษารูปแบบโปรตีนจากปลานิล ดัดแปลงจาก Prasatkaew et al. (2019) โดยใช้เครื่อง mini PROTEIN® Tetra Cell ในการศึกษาใช้ Separating gel 10% โดยนำพลาสมาตัวอย่างที่ต้องการศึกษา และไวเทลโลเจนินบริสุทธิ์ มาเจือจางด้วย PBS (pH 7.2) ผสมกับสารละลายตัวอย่าง (2x buffer) แล้วนำมาแยกโปรตีนโดยใช้กระแสไฟฟ้าเป็น 120 โวลต์ จนกระทั่งสังเกตเห็นสีของ Bromophenol blue เคลื่อนที่ถึงส่วนล่างของเจลจึงค่อยหยุดกระแสไฟฟ้า จากนั้นนำไปย้อมโปรตีนด้วยสี 0.1% Coomassie brilliant blue R-250 ซ้ำมคิน จากนั้นล้างสีออกด้วย Destaining solution จนกระทั่งเห็นแถบสีน้ำเงินของโปรตีนที่อยู่บนแผ่นเจลชัดขึ้น หลังจากนั้นล้างแผ่นเจลด้วยน้ำกลั่น เพื่อดูแถบโปรตีนและบันทึกผลแถบโปรตีนที่พบเปรียบเทียบกับโปรตีนมาตรฐานที่ทราบโมเลกุล สำหรับการศึกษารูปแบบการสร้างไวเทลโลเจนินจะใช้เทคนิคเวสเทิร์น บลอต ดัดแปลงจาก พวจิต และคณะ (2559) โดยแยกไวเทลโลเจนินใน 10% SDS-PAGE หลังจากนั้นทำการย้าย

โปรตีนจากแผ่นเจลที่ทำการศึกษาลงบนแผ่นไนโตรเซลลูโลสเมมเบรน ใช้กระแสไฟฟ้าที่ 15 โวลต์ เป็นเวลา 20 นาที นำแผ่นเมมเบรนแช่ในสารละลาย 5% Skim milk ใน PBS เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างแผ่นเมมเบรนด้วยสารละลาย 0.1% tween-20 ใน PBS เป็นเวลา 5 นาที จำนวน 3 ครั้ง นำแผ่นเมมเบรนแช่ในสารละลายแอนติบอดีที่จำเพาะต่อไวเทลโลเจนิน (MAb-VTG 23 1:50) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ล้างออกด้วยสารละลาย 0.1% tween-20 ใน PBS เป็นเวลา 5 นาที จำนวน 3 ครั้ง นำแผ่นเมมเบรนไปแช่ในแอนติบอดีตัวที่สองที่ติดฉลากด้วยเอนไซม์ (GAM-HRP 1:1,000) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ล้างแผ่นเมมเบรนด้วยสารละลาย 0.1% tween-20 ใน PBS เป็นเวลา 5 นาที จำนวน 3 ครั้ง นำแผ่นเมมเบรนมาทำให้เกิดสีของปฏิกิริยาในสารละลายสับสเตรท (DAB 0.03%, H₂O₂ 0.03%, COCl₂ 0.05% และ PBS 20 มิลลิลิตร) สังเกตผลของปฏิกิริยาคือการเกิดแถบสีน้ำตาลเทาบนแผ่นเมมเบรน คำนวณหาหน้าหนักโมเลกุลของไวเทลโลเจนินโดยเทียบกับโปรตีนมาตรฐาน (Pre-Stained protein ladder, Cleaver Scientific, Thailand)

การศึกษาการเหนี่ยวนำการสร้างไวเทลโลเจนินในปลานิลโดยใช้เทคนิคดอทบロット (Dot blot)

การศึกษาการเหนี่ยวนำการสร้างไวเทลโลเจนินในปลานิลโดยใช้เทคนิคดอทบล็อต ดัดแปลงจากวิชชุดา และพวจิต (2561) โดยเตรียมตัวอย่างให้มีความเข้มข้นของโปรตีนเท่ากับ 40, 20, 10, 5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.312, 0.156 และ 0.078 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร จากนั้นนำตัวอย่างปลาสมมติที่ต้องการศึกษามายดลงบนไนโตรเซลลูโลสเมมเบรน ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นแช่เมมเบรนในสารละลายนมพร่องมันเนย 5% ใน PBS เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างแผ่นเมมเบรนด้วยสารละลาย 0.1% tween-20 ใน PBS เป็นเวลา 5 นาที จำนวน 3 ครั้ง นำแผ่นเมมเบรนออกแช่ในสารละลายแอนติบอดีที่จำเพาะต่อไวเทลโลเจนิน (MAb-VTG 23 1:50) นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นล้างออกด้วยสารละลาย 0.1% tween-20 ใน PBS เป็นเวลา 5 นาที จำนวน 3 ครั้ง นำเมมเบรนไปแช่ใน GAM-HRP 1:1,000 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วล้างออกด้วยสารละลาย 0.1% tween-20 ใน PBS เป็นเวลา 5 นาที จำนวน 3 ครั้ง นำเมมเบรนมาทำให้เกิดสีของปฏิกิริยาในสารละลายสับสเตรทเช่นเดียวกับเทคนิคเวสต์เทิร์น บลอต สังเกตและบันทึกผลการเกิดปฏิกิริยา ผลบวกของปฏิกิริยาคือเกิดจุดสีน้ำตาลเทาบนแผ่นเมมเบรน

การเก็บตัวอย่างภาคสนาม

ทำการเก็บตัวอย่างปลาเพศผู้จากแหล่งน้ำธรรมชาติบริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยเสนง (Huai Saneng) ตำบลเฉนียง อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2566 จากแหล่งชุมชนที่มีท่าเรือชาวบ้านประกอบอาชีพเกษตรกรรมและทำการประมงพื้นบ้านเป็นอาชีพเสริม โดยตาข่ายดักปลาความยาว 30 เมตร ขนาดตา 1.3 เซนติเมตร ทำการแยกชนิด ชั่งน้ำหนัก และวัดความยาว ที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สาขาประมง คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ นอกจากนี้ยังได้ทำการเก็บตัวอย่างปลานิลเพศผู้จากฟาร์มปลาเอกชนบริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยเสนงซึ่งใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำในระบบการเพาะเลี้ยง โดยการเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติและฟาร์มเอกชนจะทำเช่นเดียวกับการศึกษาในห้องปฏิบัติการ และทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากอ่างเก็บน้ำและฟาร์มเอกชนมาตรวจสอบการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชโดยใช้ชุดทดสอบอย่างง่าย GT-Test Kit

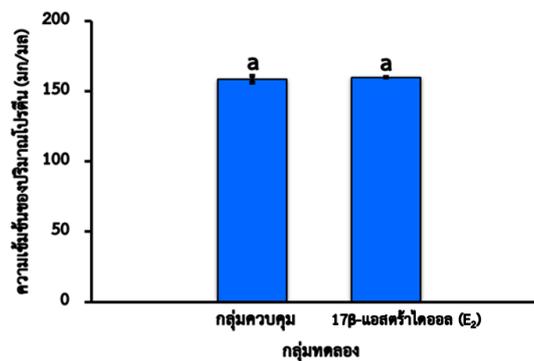
การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการทดลองที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณคือปริมาณโปรตีนในปลาสมมติของปลา ใช้การวิเคราะห์สถิติแบบ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง โดยใช้โปรแกรม SAS University sedition (order number 1095069)

ผลการวิจัย

การศึกษาปริมาณโปรตีนรวมในพลาสมาของปลานิลที่มีการเหนี่ยวนำการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินโดยการฉีดกระตุ้นด้วย 17 β -estradiol (E₂)

เมื่อทำการศึกษาปริมาณโปรตีนรวมในพลาสมาของปลานิลในกลุ่มควบคุมและในปลานิลที่ฉีดกระตุ้นด้วย E₂ จำนวน 4 ครั้ง แต่ละครึ่งห่างกัน 3 วัน พบว่า ปริมาณโปรตีนในพลาสมาของปลานิลกลุ่มควบคุม และปลานิลที่ได้รับการเหนี่ยวนำให้สร้างไวเทลโลเจนินโดยฉีดกระตุ้นด้วย E₂ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยปริมาณโปรตีนในพลาสมาปลากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ฉีดกระตุ้นด้วย E₂ เท่ากับ 158.77 ± 2.42 และ 160.03 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 1)

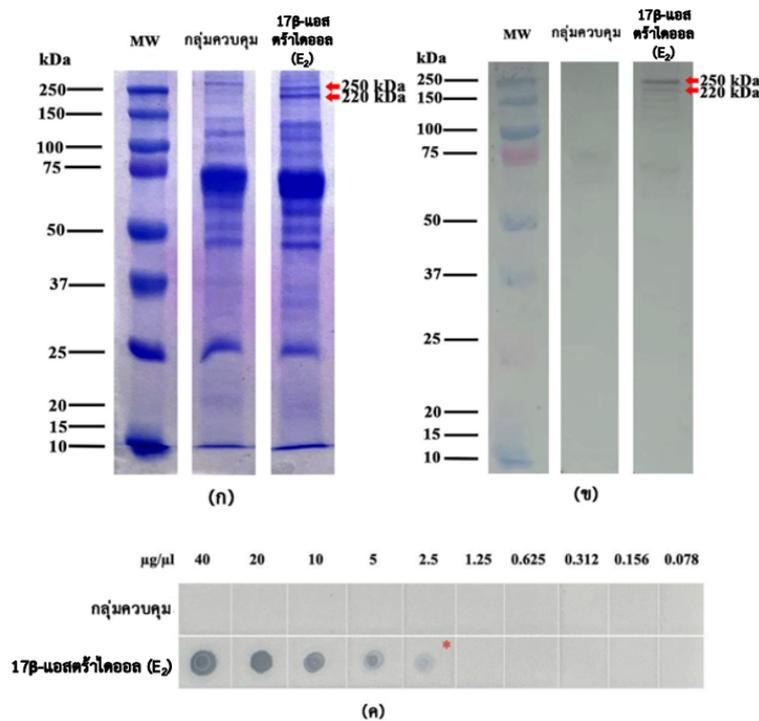


รูปที่ 1 ปริมาณโปรตีนรวมในพลาสมาของปลานิลในกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับการเหนี่ยวนำให้มีการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินโดยการฉีดกระตุ้นด้วย E₂

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การศึกษารูปแบบของโปรตีนและความจำเพาะของไวเทลโลเจนินในพลาสมาโดยใช้เทคนิคเวสเทิร์นบลอตและดอทบลอต

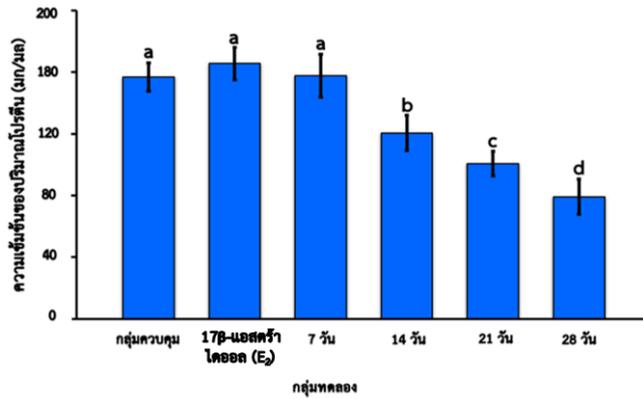
เมื่อทำการศึกษารูปแบบของโปรตีนในพลาสมาของปลานิลในกลุ่มควบคุม และปลานิลที่ได้รับการเหนี่ยวนำให้มีการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินโดยการฉีดกระตุ้นด้วย E₂ จำนวน 4 ครั้ง โดยใช้เทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส พบว่า รูปแบบของโปรตีนที่พบในทั้ง 2 กลุ่ม มีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยพบแถบโปรตีนขนาดใหญ่จำนวน 1 แถบ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 70 kDa ในกลุ่มที่ฉีดด้วย E₂ พบว่า ไวเทลโลเจนินมีขนาด 250 และ 220 kDa (รูปที่ 2ก) โดยไวเทลโลเจนินที่ตรวจสอบได้สามารถยืนยันได้จากการศึกษาด้วยเทคนิคเวสเทิร์นบลอต (รูปที่ 2ข) โดยใช้แอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อไวเทลโลเจนินที่ผลิตจากปลากะพงขาว ปริมาณโปรตีนที่ใช้ในการศึกษา คือ 4 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร ระดับการเจือจางของแอนติบอดีที่จำเพาะของไวเทลโลเจนิน คือ 1:50 และเมื่อทำการศึกษาความจำเพาะของไวเทลโลเจนินที่เกิดจากการเหนี่ยวนำโดยการฉีด E₂ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมโดยใช้เทคนิคดอทบลอต พบว่า ขีดจำกัดของการตรวจสอบคือ 2.5 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร (รูปที่ 2ค) แสดงให้เห็นถึงการศึกษารูปแบบของโปรตีนในพลาสมาของปลานิล การศึกษาความจำเพาะของไวเทลโลเจนินที่เกิดจากการเหนี่ยวนำโดยการฉีดกระตุ้น E₂



รูปที่ 2 รูปแบบของโปรตีนในพลาสมาของปลานิลในกลุ่มควบคุมและในกลุ่มที่มีการเหนี่ยวนำให้มีการสังเคราะห์ไวเทโลเจนิน โดยการฉีดกระตุ้นด้วย E₂ (ก); การศึกษาความจำเพาะของไวเทโลเจนินโดยใช้เทคนิคเวสเทิร์นบลอต (ข); การศึกษาความจำเพาะของไวเทโลเจนินโดยใช้เทคนิคเวสเทิร์นบลอต (ค); การศึกษาความจำเพาะของไวเทโลเจนิน โดยใช้เทคนิคดอทบลอต

การศึกษาการเหนี่ยวนำไวเทโลเจนินในปลานิลโดยใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไดเมทิลแอมโมเนียม

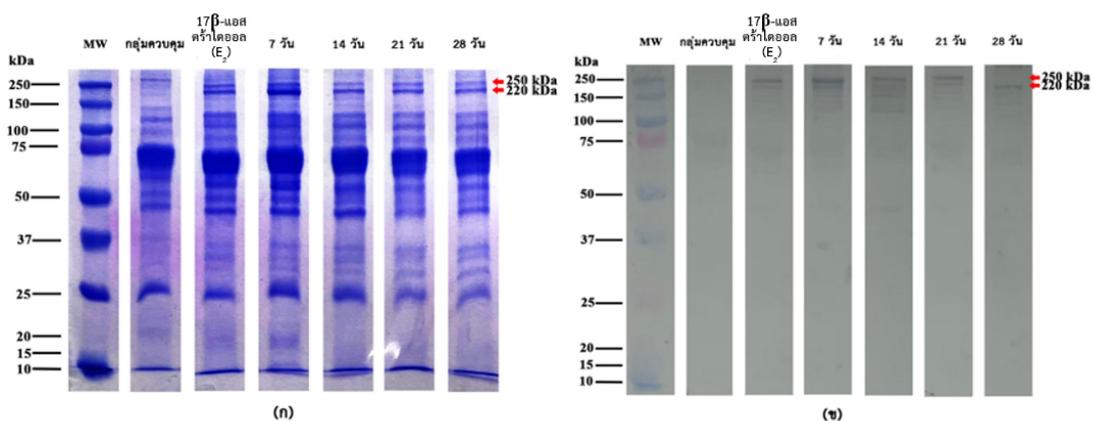
การเหนี่ยวนำไวเทโลเจนินในปลานิลโดยใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไดเมทิลแอมโมเนียม พบว่า ปริมาณโปรตีนรวมในพลาสมาของกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 159.60 ± 1.15 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กลุ่มที่ฉีดกระตุ้นด้วย E₂ เพื่อให้มีการเหนี่ยวนำการสังเคราะห์ไวเทโลเจนินมีปริมาณโปรตีนรวมในพลาสมาเท่ากับ 160.70 ± 1.31 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และในกลุ่มที่ได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไดเมทิลแอมโมเนียมเป็นเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน พบว่า ปริมาณโปรตีนรวมในพลาสมามีค่าเท่ากับ 159.70 ± 1.73 , 155.07 ± 1.42 , 152.57 ± 1.00 และ 149.90 ± 1.41 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในพลาสมาในกลุ่มที่ทำการศึกษา พบว่า กลุ่มควบคุม กลุ่มที่ฉีดกระตุ้นด้วย E₂ และกลุ่มที่ได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไดเมทิลแอมโมเนียมเป็นเวลา 7 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ในกลุ่มที่ได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไดเมทิลแอมโมเนียมเป็นเวลา 14, 21 และ 28 วัน นั้นมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส และปริมาณโปรตีนในพลาสมาปลานิลทั้ง 3 กลุ่ม (14, 21 และ 28 วัน) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รูปที่ 3



รูปที่ 3 ปริมาณโปรตีนรวมในพลาสมาของปลานิลในกลุ่มควบคุม กลุ่มที่มีการเหนี่ยวนำให้มีการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนิน โดยการฉีดกระตุ้นด้วย E₂ และกลุ่มที่ได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไดเมททิลแอมโมเนียมเพื่อให้มีการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินเป็นเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

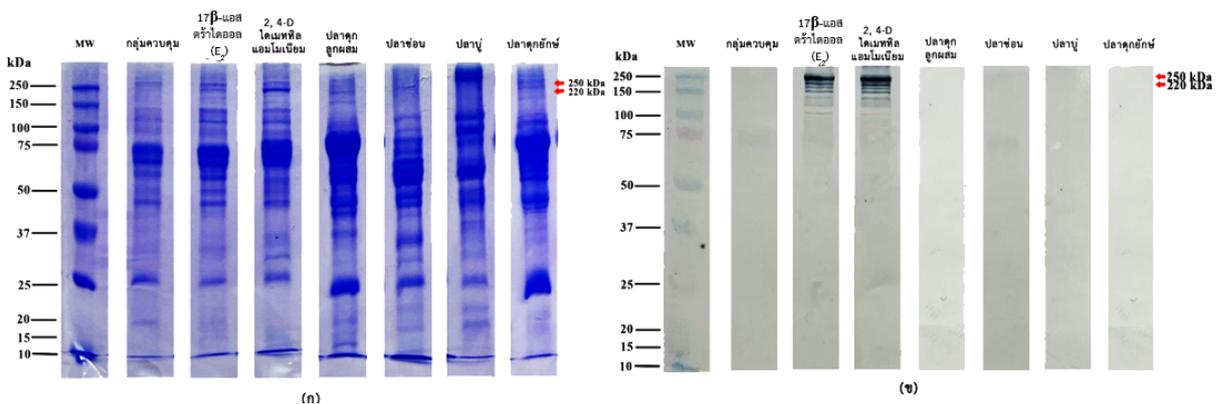
หลังจากที่ทำการศึกษาปริมาณโปรตีนรวมในพลาสมาของปลานิลแล้ว ได้มีการศึกษาถึงรูปแบบของโปรตีนที่พบในพลาสมาโดยใช้เทคนิค SDS-PAGE (รูปที่ 4ก) ซึ่งพบโปรตีนแถบใหญ่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 70 kDa และพบโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุล 250 และ 220 kDa ในปลาทุกกลุ่ม ซึ่งมีแนวโน้มว่าอาจเป็นไวเทลโลเจนิน เมื่อทำการศึกษาความจำเพาะของไวเทลโลเจนินโดยใช้เทคนิคเวสเทิร์นบลอต (รูปที่ 4ข) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มที่มีการเหนี่ยวนำให้มีการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินโดยการฉีดกระตุ้นด้วย E₂ และกลุ่มที่ได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไดเมททิลแอมโมเนียมเพื่อเหนี่ยวนำให้มีการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินเป็นเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน พบว่า กลุ่มที่ได้รับการฉีดกระตุ้นด้วย E₂ และกลุ่มที่ได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไดเมททิลแอมโมเนียมเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน จะพบไวเทลโลเจนิน 2 isoform ที่มีขนาด 250 และ 220 kDa ส่วนในปลานิลที่ได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืช 2, 4-D ไดเมททิลแอมโมเนียมเป็นเวลา 28 วัน จะพบเพียงการแสดงออกของไวเทลโลเจนินเพียง 1 isoform ขนาด 220 kDa (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 (ก); รูปแบบโปรตีนในพลาสมาของปลานิล (ข); และการศึกษาความจำเพาะของไวเทลโลเจนินในพลาสมาของปลานิลในกลุ่มควบคุม กลุ่มที่มีการเหนี่ยวนำให้มีการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินโดยการฉีด E₂ และกลุ่มที่ได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไดเมททิลแอมโมเนียมเป็นเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน โดยใช้เทคนิคเวสเทิร์นบลอต

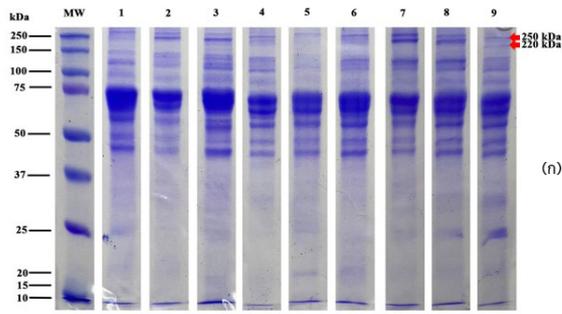
การเก็บตัวอย่างภาคสนาม

การเก็บตัวอย่างภาคสนามจากแหล่งน้ำธรรมชาติ บริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยเสนง ตำบลเฉนียง อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็นช่วงฤดูของการทำนา โดยทำการเก็บตัวอย่างปลาทั้งหมด 4 ชนิด ชนิดละ 3 ตัวให้เป็นตัวแทนของปลาในแหล่งน้ำที่มีการทำการเกษตรโดยปลาที่นำมาใช้ในการศึกษา คือ ปลาช่อน ปลาดุกกรัสเซีย ปลานู และปลาดุกกลมผสม (รูปที่ 5 และตารางที่ 1) ซึ่งจากการศึกษา พบว่า ปลาทั้งหมดทุกชนิดที่ทำการศึกษาไม่พบการแสดงออกของไวเทลโลเจนิน เมื่อเปรียบเทียบกับปลานิลในกลุ่มควบคุม และปลานิลที่ได้รับการเหนี่ยวนำให้มีการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินโดยการฉีดกระตุ้นด้วย E_2 (รูปที่ 5ข) โดยรูปแบบของโปรตีนที่พบในปลาแต่ละชนิด พบว่า มีความแตกต่างกันเมื่อทำการศึกษาโดยใช้เทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส (รูปที่ 5ก)

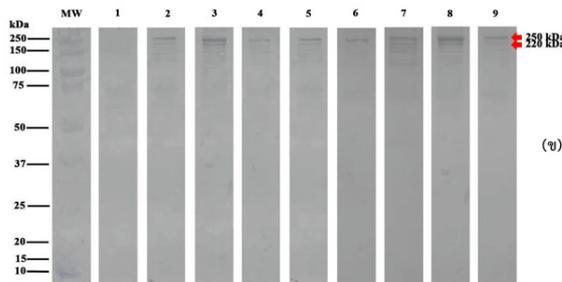


รูปที่ 5 (ก) รูปแบบพลาสมาโปรตีนของปลานิลกลุ่มควบคุม ปลานิลที่ได้รับ E_2 และปลาช่อน ปลาดุกกรัสเซีย ปลานู และปลาดุกกลมผสม จากอ่างเก็บน้ำห้วยเสนง (ข) การศึกษาความจำเพาะของไวเทลโลเจนินในปลาโดยใช้เทคนิคเวสเทิร์นบลอตเพื่อตรวจสอบการแสดงออกของไวเทลโลเจนิน

การศึกษาการแสดงออกของไวเทลโลเจนินในปลาจากฟาร์มเอกชนบริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยเสนง พบรูปแบบของโปรตีนมีลักษณะแตกต่างกันเล็กน้อย (รูปที่ 6ก) โดยปลานิลในกลุ่มที่ได้รับการเหนี่ยวนำให้มีการแสดงออกของไวเทลโลเจนินโดยการฉีด E_2 และปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืช 2,4-D พบไวเทลโลเจนินจำนวน 2 isoform ขนาด 250 และ 220 kDa เมื่อศึกษาโดยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสและเทคนิคเวสเทิร์นบลอต แต่ปลานิลที่จากฟาร์มปลาเอกชนทั้งหมด 6 ตัวอย่าง พบว่ามีเพียงตัวอย่างที่ 3 และ 4 เท่านั้นที่มีการแสดงออกของไวเทลโลเจนิน 2 isoform ที่มีขนาด 250 และ 220 kDa ส่วนตัวอย่างที่ 1, 2, 5 และ 6 จะตรวจพบการแสดงออกของไวเทลโลเจนิน 1 isoform ขนาด 250 kDa (รูปที่ 6 และตารางที่ 1)



1. ปลานิล (กลุ่มควบคุม)
2. ปลานิล (กลุ่มที่ฉีดกระตุ้นด้วย 17β-เอสตราไดออล (E₂))
3. ปลานิล (กลุ่มที่ได้สารกำจัดวัชพืช 2, 4-D ไดเมทิลแอมโมเนียม)
4. ปลานิล (ฟาร์มเอกชน)
5. ปลานิล (ฟาร์มเอกชน)
6. ปลานิล (ฟาร์มเอกชน)
7. ปลานิล (ฟาร์มเอกชน)
8. ปลานิล (ฟาร์มเอกชน)
9. ปลานิล (ฟาร์มเอกชน)



1. ปลานิล (กลุ่มควบคุม)
2. ปลานิล (กลุ่มที่ฉีดกระตุ้นด้วย 17β-เอสตราไดออล (E₂))
3. ปลานิล (กลุ่มที่ได้สารกำจัดวัชพืช 2, 4-D ไดเมทิลแอมโมเนียม)
4. ปลานิล (ฟาร์มเอกชน)
5. ปลานิล (ฟาร์มเอกชน)
6. ปลานิล (ฟาร์มเอกชน)
7. ปลานิล (ฟาร์มเอกชน)
8. ปลานิล (ฟาร์มเอกชน)
9. ปลานิล (ฟาร์มเอกชน)

รูปที่ 6 (ก) รูปแบบโปรตีนในพลาสมาของปลานิลกลุ่มควบคุม ปลานิลที่ได้รับ E₂ และปลานิลที่ได้มาจากฟาร์มเอกชน
(ข) การศึกษาความจำเพาะของไวเทลโลเจนนินในปลาโดยใช้เทคนิคเวสเทิร์นบลอตเพื่อตรวจสอบการแสดงออกของไวเทลโลเจนนิน (ปริมาณโปรตีน 4 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร และระดับการเจือจางของแอนติบอดี 1:50)

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาไวเทลโลเจนนินในปลาน้ำจืดจากอ่างเก็บน้ำห้วยเสนง ตำบลเนินัง อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ และจากฟาร์มปลาเอกชน และการตรวจสอบสารกำจัดวัชพืชในน้ำด้วย GT-Test kit

บริเวณที่ทำการศึกษา	ชนิดของปลา	น้ำหนักโมเลกุลของไวเทลโลเจนนิน	ผลการตรวจสอบสารกำจัดวัชพืชในน้ำ
อ่างเก็บน้ำห้วยเสนง ตำบลเนินัง อำเภอเมืองสุรินทร์	ปลาช่อน (n=3)	-	ผลบวก
	ปลาดุกศรีเชียย (n=3)	-	
	ปลานู๋ (n=3)	-	
	ปลาดุกลูกผสม (n=3)	-	
ฟาร์มปลาเอกชน 1	ปลานิล (n=3)	250, 220 kDa	ผลบวก
ฟาร์มปลาเอกชน 2	ปลานิล (n=3)	250, 220 kDa	ผลบวก
ฟาร์มปลาเอกชน 3	ปลานิล (n=3)	250, 220 kDa	ผลบวก
ฟาร์มปลาเอกชน 4	ปลานิล (n=3)	250 kDa	ผลบวก
ฟาร์มปลาเอกชน 5	ปลานิล (n=3)	250 kDa	ผลบวก
ฟาร์มปลาเอกชน 6	ปลานิล (n=3)	250, 220 kDa	ผลบวก

การอภิปรายผล

สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไดเมทิลแอมโมเนียม เป็นสารกำจัดวัชพืชที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม chlorophenoxyacetic acid และยังเป็นกลุ่มสารที่ออกฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจนหรือสารแปลกปลอมทางชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงกลไกการออกฤทธิ์ของฮอร์โมนที่เรียกว่า ซีโนเอสโตรเจน (Xenoestrogen) และซีโนไบโอติค (Xenobiotic) ซึ่งเป็นกลุ่มสารเคมีที่มีผลต่อการทำงาน

ของต่อมไร้ท่อทำให้มีผลต่อการสังเคราะห์ไวเทโลเจนิน ซึ่งในทางการค้า 2,4-D จะอยู่ในรูปของกรดที่ใช้เป็นสารออกฤทธิ์และยังเหมือนพืชที่เป็นเกลือและเอสเทอร์จำนวนมากที่นำมาใช้ในปัจจุบัน ผลกระทบของสาร 2,4-D ที่ตรวจพบในปลาจะมีผลต่อฮอร์โมนและระบบการสืบพันธุ์ โดยการเปลี่ยนแปลงโดยจะตรวจพบได้เมื่อปลาสัมผัสกับสารที่ระดับความเข้มข้น 10 ppb (Ackers et al., 2000) ซึ่งสาร 2,4-D เป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของต่อมไร้ท่อ จึงสามารถชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนในสิ่งมีชีวิตได้ (Campbell et al., 2006) นอกจากนี้หากสารดังกล่าวมีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทางน้ำและสะสมในสัตว์น้ำ เช่น ปลาน้ำจืดชนิดต่าง ๆ ก็จะทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศได้ การศึกษาครั้งนี้เริ่มจากการศึกษาการเหนี่ยวนำการสังเคราะห์ไวเทโลเจนินในพลาสมาของปลานิลเพศผู้ที่ได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืชในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดการตาย คือ ความเข้มข้น 2.5 ไมโครลิตรต่อลิตร ซึ่งพบว่าสามารถทำให้เกิดการสังเคราะห์ไวเทโลเจนินได้ โดยในสภาวะปกติยืนสำหรับสังเคราะห์ไวเทโลเจนินในปลาเพศผู้ และปลาวัยอ่อน จะไม่มีการทำงานแต่หากได้รับการกระตุ้นจากสารคล้ายเอสโตรเจนในสิ่งแวดล้อมจะสามารถกระตุ้นให้ปลาเหล่านี้ไวเทโลเจนินขึ้นมาได้ เช่นเดียวกับการทำงานของฮอร์โมนเอสโตรเจนที่สังเคราะห์ขึ้นจากภายในร่างกาย (พอจิต, 2558) โดยเมื่อเปรียบเทียบกับปลานิลที่ได้รับการฉีดกระตุ้นให้มีการเหนี่ยวนำการสังเคราะห์ไวเทโลเจนินโดยใช้ E₂ จำนวน 2 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม เป็นกลุ่มควบคุมผลบวก และใช้ปลานิลที่ไม่ได้รับสารใดเป็นกลุ่มควบคุมผลลบ พบว่า รูปแบบของไวเทโลเจนินในพลาสมาปลานิลที่ได้รับ E₂ และ 2,4-D ไคเมททิลแอมโมเนียม ปริมาณ 2.5 ไมโครลิตรต่อลิตร เป็นเวลา 7-28 วัน มี 2 isoform (น้ำหนักโมเลกุล 250 และ 220 kDa) เช่นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงโปรตีนรวมที่พบในพลาสมา พบว่า ปริมาณโปรตีนในพลาสมาปลาที่ได้รับสัมผัสกับ 2,4-D ไคเมททิลแอมโมเนียมจะลดลงตามระยะเวลาและต่ำสุดในวันที่ 28 ซึ่งรูปแบบของไวเทโลเจนินในปลานิลที่ตรวจสอบได้ในครั้งนี้แตกต่างจากการศึกษาของ Garnayark et al. (2013) ที่ได้ศึกษารูปแบบของไวเทโลเจนินในปลา Asian catfish ที่มีขนาด 97 และ 67 kDa และการศึกษารูปแบบของไวเทโลเจนินในปลา Indian walking catfish (*Clarias batrachus* (L.)) พบไวเทโลเจนินขนาดโมเลกุล 97 และ 67 kDa (Mahapatra et al., 2017)

ในปัจจุบันการศึกษากการเหนี่ยวนำการสังเคราะห์ไวเทโลเจนินโดยใช้สารกำจัดวัชพืชยังมีอยู่น้อยมากในประเทศไทย ส่วนในต่างประเทศได้มีรายงานไว้ เช่น การศึกษาของ Gupta and Verma (2020) ที่พบว่าสารกำจัดวัชพืชเพนไดเมทาลิน (Pendimethalin) สามารถเหนี่ยวนำให้มีการสังเคราะห์ไวเทโลเจนินในปลากระดุกเข็ง (*Clarias batrachus*) (Linnaeus) เพศผู้ โดยระยะเวลาที่สามารถเหนี่ยวนำให้มีการสังเคราะห์ไวเทโลเจนินได้คือ 30, 45 และ 60 วัน นอกจากนี้ Ishibashi et al. (2001) ได้ศึกษาผลของสาร bisphenol A ต่อปลาทอง (Goldfish, *Carassius auratus*) โดยพบว่า ปลาทองเพศผู้ที่ได้รับสาร bisphenol A ระยะเวลา 28 วัน สามารถสังเคราะห์ไวเทโลเจนินได้ และ Norberg and Haux (1988) พบว่า ปริมาณไวเทโลเจนินในเลือดลดปริมาณลง เมื่อได้รับยาฆ่าวัชพืช คือ เพนทาทิลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol) ซึ่งเป็นสารที่พบทั่วไปในแหล่งน้ำต่าง ๆ แสดงว่าสารเคมีในแหล่งน้ำมีผลต่อการสังเคราะห์ไวเทโลเจนินในปลา ยิ่งไปกว่านั้น สุรัสวดี และคณะ (2560) พบว่า โนนิลฟีนอล สามารถชักนำให้เกิดไวเทโลเจนินในปลากระพงขาววัยอ่อนได้เช่นเดียวกับปลาที่ได้รับฮอร์โมน 17 β -เอสตราไดออล โดยสามารถตรวจสอบไวเทโลเจนินได้ด้วยเทคนิคทางแอนติบอดีตั้งแต่วันที่ 3 หลังจากปลาได้รับสาร และการศึกษาของ Wang et al. (2015) พบการเหนี่ยวนำของไวเทโลเจนินในปลาทองเพศผู้ที่ได้รับสารกำจัดศัตรูพืชชนิดโมโนโครโตฟอส 0.01, 0.01 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งการตรวจสอบเชิงคุณภาพด้วยเทคนิค Western blot ที่พบโปรตีนขนาดขนาด 130, 106, และ 81 kDa และการตรวจสอบเชิงปริมาณด้วยเทคนิค ELISA แบบแซนด์วิช ที่พบปริมาณไวเทโลเจนินในปลาทองที่ได้รับโมโนโครโตฟอส ระหว่าง 7.8 ถึง 250 นาโนกรัมต่อมิลลิกรัม ซึ่งการศึกษาเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าไวเทโลเจนินเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาผลกระทบของสารคล้ายเอสโตรเจนต่อปลาหลายชนิดได้

ในจังหวัดสุรินทร์อ่างเก็บน้ำห้วยเสนงมีความสำคัญต่อวิถีการดำเนินชีวิตของประชาชนในท้องถิ่นและชุมชนใกล้เคียงเป็นอย่างมาก มีรายงานว่าการทำประมงในอ่างเก็บน้ำห้วยเสนงสามารถทำได้ตลอดทั้งปี และยิ่งไปกว่านั้นเนื่องจากอ่างเก็บน้ำห้วยเสนงเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีปริมาณน้ำเพียงพอสำหรับใช้ในการเกษตรและประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ดังนั้นการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชจึงมีโอกาที่จะตกค้างในสัตว์น้ำและเกิดการสะสมในสัตว์น้ำได้ สารกำจัดวัชพืชนั้นสามารถ

ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำและก่อให้เกิดการสะสมให้มีปริมาณสูงขึ้นตามลำดับชั้นของห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่น กุ้ง หอย ปู และปลา จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจจะทำให้ทราบถึงผลกระทบโดยตรงคือการประยุกต์ใช้ตัวชี้วัดทางชีวภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไวเทลโลเจนินซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่มีความจำเพาะกับสารกำจัดแมลง และสารกำจัดวัชพืช เช่น โกลโฟเสต พาราควอต และ 2,4-D ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาบ่งชี้ถึงการได้รับสัมผัสสาร และมีความเป็นไปได้ที่จะใช้สิ่งมีชีวิตในน้ำมาเป็นตัวบ่งบอกถึงการปนเปื้อนของสารดังกล่าวในแหล่งน้ำ

การสำรวจภาคสนามเพื่อศึกษาถึงการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชในพื้นที่บริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยเสนง ตำบลเนินยาง อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ ซึ่งเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นเพื่อดูความเป็นไปได้ในการใช้ไวเทลโลเจนินเป็นตัวชี้วัดการปนเปื้อนสารกำจัดวัชพืชในแหล่งน้ำ เนื่องจาก 2,4-D เป็นสารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในการเกษตร จึงอาจมีการปนเปื้อนของสารปราบศัตรูพืชในแหล่งน้ำในพื้นที่ดังกล่าว นอกจากนี้ยังทำการสำรวจในปลาจากฟาร์มเอกชนที่นำน้ำจากอ่างเก็บน้ำมาใช้ในระบบเพาะเลี้ยง โดยผลการสำรวจในภาคสนามโดยการเก็บตัวอย่างปลาน้ำจืดชนิดต่าง ๆ จากพื้นที่อ่างเก็บน้ำห้วยเสนง มาศึกษา พบว่า ลักษณะสัณฐานวิทยาของปลาน้ำจืดชนิดต่าง ๆ ที่เก็บมาได้มีลักษณะปกติ ไม่พบบาดแผล ดังนั้นหากใช้ลักษณะสัณฐานวิทยาเป็นเกณฑ์อาจประเมินเบื้องต้นได้ว่าปลาอาจจะไม่ได้มีการสัมผัสสารกำจัดวัชพืช เนื่องจาก Thanomsit et al. (2020b) อธิบายว่าปลาที่ได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืชจะมีลักษณะสัณฐานวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งในเรื่องของรูปร่างและสีผิว เช่น ลำตัวมีสีซีด ผันปิดเหงือกมีแผลและจำเลือด ลำตัวมีบาดแผล มีเลือดออก และเกล็ดหลุดร่อน (ไชยวัฒน์ และคณะ, 2564) โดยการสำรวจปลาน้ำจืดในพื้นที่บริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยเสนง คือ ปลาช่อน ปลาดุกศรีชัย ปลานู และปลาดุกลูกผสม ซึ่งไม่พบการแสดงออกของไวเทลโลเจนิน เมื่อเปรียบเทียบกับปลานิลที่ได้รับการเหนี่ยวนำให้มีการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินโดยการฉีดกระตุ้นด้วย E_2 แต่ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชในน้ำโดยชุดทดสอบอย่างง่าย GT test kit ผลว่า ให้ผลบวก โดยอาจจะเนื่องมาจากปลาชนิดต่าง ๆ สามารถเคลื่อนที่ไปมาในบริเวณต่าง ๆ ของอ่างเก็บน้ำได้ หรืออาจได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืชในปริมาณต่ำหรือระยะเวลาสั้น ๆ ทำให้ไม่สามารถเหนี่ยวนำการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินได้ โดย Walker et al. (2006) และ Thanomsit et al. (2022) ได้รายงานว่าความเป็นพิษของสารที่ตรวจพบในปลานั้นมีหลายปัจจัยที่ควบคุมการแสดงออกของตัวชี้วัดทางชีวภาพ เช่น ฮอร์โมนหรือโปรตีนชนิดต่าง ๆ ในร่างกาย ซึ่งได้แก่ ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส ความเข้มข้นของสาร และเส้นทางการได้รับสัมผัส นอกจากนี้ยัง พบว่า การได้รับสารเคมีที่รบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อหลายชนิดร่วมกัน เช่น โนนิลฟีนอลร่วมกับเบนโซ (เอ) ไพรีน และแคดเมียมคลอไรด์ ทำให้พบปริมาณไวเทลโลเจนินต่ำกว่าการได้รับสารชนิดเดียวอย่างมีนัยสำคัญ (Prasatkaew et al., 2019) ในขณะที่การตรวจสอบการปนเปื้อนของยาฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในปลานิลในธรรมชาติจากแม่น้ำ Ouémé ประเทศเบนินในแอฟริกาตะวันตก ซึ่งเป็นแม่น้ำที่อยู่ใกล้พื้นที่เกษตรกรรม โดยใช้ไวเทลโลเจนินเป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพ ร่วมกับการตรวจสอบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในเนื้อเยื่อของปลานิล ผลการศึกษาพบปริมาณไวเทลโลเจนินในปลาจากบริเวณที่มีการปนเปื้อนสารปราบศัตรูพืช โดยมีความสัมพันธ์กับระดับออร์กาโนคลอรีนในเนื้อเยื่อ ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนปนเปื้อนในแหล่งน้ำ โดยสารเหล่านี้รบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อในปลานิลได้ นอกจากนี้การบริโภคปลาจากแม่น้ำที่มีการปนเปื้อน อาจส่งผลให้ยาฆ่าแมลงเหล่านี้สะสมเพิ่มขึ้นตามห่วงโซ่อาหารส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้ (Okoumassoun et al., 2002) ส่วนการศึกษาไวเทลโลเจนินในปลานิลจากฟาร์มปลาเอกชน พบว่า มีการแสดงออกของไวเทลโลเจนินในทุกตัวอย่างที่ทำการศึกษา สอดคล้องกับการตรวจสอบการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชที่พบผลบวกเนื่องมาจากฟาร์มเอกชนที่ทำการเก็บตัวอย่างครั้งนี้มีการนำน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาใช้ในระบบการเพาะเลี้ยง ซึ่งหากเป็นช่วงฤดูทำนาอาจจะมีการใช้สารเคมีทางการเกษตรค่อนข้างสูง ทำให้เกิดการปนเปื้อนในน้ำและส่งผลกระทบต่อปลาที่เลี้ยงในฟาร์มได้ โดยการเลี้ยงในพื้นที่จำกัดทำให้ปลาไม่สามารถเคลื่อนย้ายที่และอาจสัมผัสกับสารกำจัดวัชพืชอยู่ตลอดเวลา ทำให้สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการสังเคราะห์ไวเทลโลเจนินได้

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสารกำจัดวัชพืช 2,4-D สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการสังเคราะห์ไวเทโลเจนินในพลาสมาของปลาไนลพิษผู้ได้ โดยสามารถใช้ปลาไนเป็นตัวชี้วัดการได้รับสัมผัสสารดังกล่าวทั้งในห้องปฏิบัติการ แหล่งน้ำธรรมชาติ และฟาร์มที่มีการเพาะเลี้ยง ซึ่งผลการทดลองชี้ให้เห็นการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชทั้งในแหล่งน้ำธรรมชาติ และฟาร์มที่มีการเพาะเลี้ยง ดังนั้นจึงควรมีการเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารกลุ่มดังกล่าว และวางแผนการใช้สารกำจัดวัชพืชให้เหมาะสมเพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม และมนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคลำดับสูงสุดในห่วงโซ่อาหาร

บทสรุป

เมื่อศึกษาถึงการเหนี่ยวนำการสังเคราะห์ไวเทโลเจนินในพลาสมาของปลาไนโดยใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไคเมทิลแอมโมเนียมที่ระดับความเข้มข้นที่ไม่ก่อให้เกิดการตาย คือ 2.5 µ/L พบว่าไวเทโลเจนินสามารถเหนี่ยวนำให้มีการสังเคราะห์ขึ้นได้เมื่อปลาไนได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ตั้งแต่ 7-28 วัน การศึกษาโดยใช้เทคนิค SDS-PAGE และเทคนิคเวสเทิร์นบลอต พบว่า ไวเทโลเจนินที่ตรวจสอบได้มี 2 isoform ขนาด 250 และ 220 kDa เมื่อทำการศึกษากการแสดงออกของไวเทโลเจนินในปลาบริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยเสนง อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ และในฟาร์มปลาเอกชน พบว่า ไม่มีการแสดงออกของไวเทโลเจนินในปลา 4 ชนิดที่ทำการศึกษาในบริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยเสนง คือ ปลาช่อน ปลาดุกศรีชัย ปลาบู่ และปลาดุกลูกผสม แต่เมื่อทำการตรวจสอบการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชโดยใช้ชุดทดสอบอย่างง่าย พบว่า ให้ผลบวก ส่วนศึกษากการแสดงออกของไวเทโลเจนินในปลาไนจากฟาร์มเอกชน พบว่า มีการแสดงออกในทุกตัวอย่างสอดคล้องกับผลการตรวจสอบการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชในน้ำที่ให้ผลบวกเช่นเดียวกัน จากข้อมูลงานวิจัยข้างต้น มีแนวโน้มว่าสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ไคเมทิลแอมโมเนียมสามารถเหนี่ยวนำการสังเคราะห์ไวเทโลเจนินในปลาได้ ดังนั้นควรมีการวางแผนและเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชดังกล่าวในแหล่งน้ำและในปลาน้ำจืดเพราะอาจจะส่งผลกระทบต่อจำนวนประชากรปลาและระบบนิเวศในแหล่งน้ำธรรมชาติได้

เอกสารอ้างอิง

- ไชยวัฒน์ นวลขาว, พัทรี มงคลวัย, สำเนาวิ เสาวกุล, พงจิต นันทนาวัฒน์, จันท์พิมพ์ กังพานิช, อำนวย วัฒนกรสิริ และ ชุตินา ถนอมสิทธิ์. (2564). ผลกระทบของพาราควอตต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การแสดงออกของอะซิติลโคลีนเอสเตอเรสและการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อวิทยาของปลาไน. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ “ราชชมงคลสุรินทร์ ครั้งที่ 12 วิจัยและนวัตกรรมเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจวิถีใหม่” 16-17 กันยายน 2564. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์. สุรินทร์. F20 – F32.
- พงจิต นันทนาวัฒน์. (2558). ไวเทโลเจนิน : ตัวชี้วัดทางชีวภาพสำหรับการปนเปื้อนสารรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ ในแหล่งน้ำ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 20(1): 201-208.
- พงจิต นันทนาวัฒน์, นันทิกา คงเจริญพร และศุภกิจ ศรีสวัสดิ์. (2559). การพัฒนาโมโคโนลแอนติบอดีจำเพาะต่อไวเทโลเจนินในปลากระพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี.
- วิชาดา จงมีวาสนา และรัตติยากร ไชยพลงาม. (2548). การปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดแมลงเอนซัลแฟนในน้ำประปา. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 47(3): 202-212.
- วิชชุดา ประสาทแก้ว และพงจิต นันทนาวัฒน์. (2561). การพัฒนาเทคนิคคอบลอตเพื่อตรวจสอบไวเทโลเจนินสำหรับใช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพของสารรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 23(3): 1448-1457.

- สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. (2567). สรุปรายการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร ปี 2566 10 อันดับ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ค้นเมื่อ 4 มิถุนายน 2567. <https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2024/04/5-รายงานสรุปรายการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร-ปี-พ.ศ.-2566-ประเภท.pdf>.
- สุรัสวดี แพทย์รังษี, วิชชุดา ประสาทแก้ว และพอลจิต นันทนาวัฒน์. (2560). ผลของโนนินฟีโนลต่อการชักนำไวเทโลเจนินในปลากระพงขาววัยอ่อน. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 22(ฉบับพิเศษ): 195-202.
- อุไรวรรณ อินทร์ม่วง. (2545). มลพิษทางน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น: ขอนแก่น.
- อุทุมพร สมพงษ์. (2564). การศึกษาชนิดและปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในน้ำบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมของกรุงเทพมหานครฝั่งธนบุรี. วารสารวิชาการชายันต์เทคโนโลยี. 5(2): 17-30.
- Akers J.T., Johnston M.F. and Haasch M.L. (2000). Immunodetection of hepatic peroxisomal PMP70 as an indicator of peroxisomal proliferation in the ummichog, *Fundulus heteroclitus*. Marine Environmental Research. 50: 361-365.
- Ateq B., Farah M.A. and Ahmad W. (2006). Evidence of apoptotic of 2,4-D and butachlor on walking catfish, *Clarias batrachus*, by transmission electron microscopy and DNA degradation studies. Lift Sciences. 78: 977-986.
- Campbell D.G., Borglin S.E., Green F.B., Grayson A., Wozei E. and Stringfellow W.T. (2006). Biologically directed environmental monitoring, fate, and transport of estrogenic endocrine disrupting compounds in water: A review. Chemosphere. 65(8): 1265-1280.
- Garnayak S.K., Mohanty J., Rao T.V., Sahoo S.K. and Sahoo P.K. (2013). Vitellogenin in Asian catfish, *Clarias batrachus*: Purification, partial characterization and quantification during the reproductive cycle by ELISA. Aquaculture. 392-395: 148-155.
- Gupta P. and Verma S.K. (2020). Impacts of herbicide pendimethalin on sex steroid level, plasma vitellogenin concentration and aromatase activity in teleost *Clarias batrachus* Linnaeus. Environmental Toxicology and Pharmacology. 75(3): 103324.
- Hock B., Marx A., Sherry J. and Hansen P.D. (2001). A new monoclonal antibody against vitellogenin from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Chemosphere. 44: 393-399.
- Ishibashi H., Tachibana K., Tsuchimoto M., Soyano K., Ishibashi Y., Tominaga N. and Arizono K. (2001). In vivo testing system for determining the estrogenic activity of endocrine-disrupting chemicals (EDCs) in goldfish (*Carassius auratus*). Journal of Health Science. 47(2): 213-218.
- Mahapatra S., Kabita S.K., Bhattacharya D., Sarkar S., Juin S.K., Maitra S. and Nath P. (2017). Purification and development of ELISAs for two forms of vitellogenin in Indian walking catfish, *Clarias batrachus* (L.). Fish Physiology and Biochemistry. 43: 477-491.
- Marin M.G.M. and Matozzo V. (2004). Vitellogenin induction as a biomarker of exposure estrogenic compounds in aquatic environmental. Marine Pollution Bulletin. 48: 835-839.
- Nicolas J.M. (1999). Vitellogenin in fish and the effects of PAH contaminants. Aquatic Toxicology. 45: 77-90.
- Norberg B. and Haux C. (1988). A homologous radioimmunoassay for rainbow trout (*Salmo trutta*) vitellogenin. Fish Physiology and Biochemistry. 5(2): 59-68.

- Okoumassoun L.E., Brochu C., Deblois C., Akponan S., Marion M., Averill-Bates D. and Denizeau F. (2002). Vitellogenin in tilapia male fishes exposed to organochlorine pesticides in Ouémé River in Republic of Benin. *Science of The Total Environment*. 299: 163-172.
- Prasatkaew W., Nanthanawat P. and Thanomsit C. (2019). Assessment of endocrine disrupting chemicals exposure in Sea Bass (*Lates calcarifer*) and wild fishes using vitellogenin as a biomarker. *Environment Asia*. 12(2): 69-78.
- Sarikaya R. and Yilmaz M. (2003). Investigation of acute toxicity and the effect of 2,4-D (2,4-D dichlorophenoxyacetic acid) herbicide on the behavior of the common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758; Pisces, Cyprinidae). *Chemosphere*. 52: 195-201.
- Thanomsit C., Wattanakornsiiri A. and Nanthanawat P. (2016a). Effect of glyphosate on fish behavior and histological alteration of gills in Asian Sea bass (*Lates calcarifer*). *Burapha Science Journal*. 21(2): 204-215.
- Thanomsit C., Wattanakornsiiri A. and Nanthanawat P. (2016b). Toxicity evaluation of glyphosate on mortality rate and histological alteration in Black Rice crab. *Burapha Science Journal*. 21(3): 151-165.
- Thanomsit C., Saowakoon S., Wattanakornsiri A., Nanuam J., Prasatkaew W., Nanthanawat P., Monkolvai P. and Chalorchaoenyong W. (2020a). Glyphosate (Roundup) : fate, toxicity assessment and adverse effect on aquatic environment. *Naresuan University Journal: Science and Technology*. 28(1): 65-81.
- Thanomsit C., Nuankaew C., Prasatkaew W., Wattanakornsiri A., Nanuam J., Nanthanawat P., and Kiaprasert P. (2020b). Adverse effects of chlorpyrifos and cypermethrin mixture on physiological alterations and cholinesterase on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Thai Journal of Agricultural Science*. 53(3): 134-148.
- Thanomsit C., Saetiew J. and Meemon P. (2022). Optical coherence tomography as an alternative tool for evaluating the effects of glyphosate on hybrid catfish (*Clarias gariepinus* × *Clarias macrocephalus*). *Toxicology Reports*. 9: 181-190.
- Walker C.H., Hopkin S.P. and Peakall D.B. (2006). *Principle of ecotoxicology*. Publisher: USA.
- Wang J., Bing X., Yu K., Tian H., Wang W. and Ru S. (2015). Preparation of a polyclonal antibody against goldfish (*Carassius auratus*) vitellogenin and its application to detect the estrogenic effects of monocrotophos pesticide. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 11: 109-116.

Received: December 23, 2023; Revised: May 25, 2024; Accepted: July 8, 2024

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชันจากปลาน้ำจืด

Development of freshwater fish emulsion sausages

กัญญา รัชตชัยยศ^{1*} บำเพ็ญ นิมเขียน¹ สุภัทรา กล้าสกุล¹ และประกาศ ชมภูทอง¹Kanya Ratchatachaiyos^{1*}, Bumpen Nimkian¹, Supatra Klamsakul¹and Prakard Chomphuthong¹¹คณะเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี¹Faculty of Agriculture, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi Province

*Corresponding Author E-mail Address : kanya.satit@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชันจากปลาน้ำจืดและศึกษาชนิดของสารยึดเกาะที่เหมาะสม จากการผลิตไส้กรอกจากปลาน้ำจืด 5 ชนิด คือ ปลาทราย ปลาช่อน ปลาดุก ปลานิล และปลาทับทิม ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยใช้สเกลความชอบ 9 ระดับ พบว่า ไส้กรอกปลาช่อนมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด (7.17 คะแนน) เมื่อนำไปศึกษาชนิดของสารยึดเกาะที่เหมาะสมในการผลิตจากสารยึดเกาะ 5 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด พบว่า ไส้กรอกสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไส้กรอกสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ($p \leq 0.05$) มีคะแนนอยู่ในช่วง 7.72-7.73 ส่วนค่าแรงเฉือนและค่าความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 2.68-3.03 นิวตัน และ 0.35-0.38 นิวตัน ตามลำดับ ทุกสูตรการผลิตไส้กรอกมีค่าสี L^* , a^* และ b^* ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเนื่องจากมีปริมาณโปรตีนมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง จากนั้นนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ไส้กรอกปลาช่อนที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือ และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ ร้อยละ 77.66, 15.30, 2.75, 1.92, 0.60 และ 1.77 ตามลำดับ คุณภาพด้านจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องไส้กรอกปลา (มผช.143/2555)

คำสำคัญ: ไส้กรอกปลา ปลาน้ำจืด โปรตีนถั่วเหลืองสกัด

Abstract

The purposes of this study were to develop emulsion sausages from freshwater fish and to study the optimum binder. Fish sausages were produced from 5 types of freshwater fish, including clown featherback, snakehead fish, catfish, Nile tilapia and red tilapia. The sensory analysis were using 9-point hedonic scale test. The result revealed that the liking score of the snakehead fish sausages was the highest (7.17 scores). After that, the study of the optimum binder such as tapioca flour, corn flour, rice flour, wheat flour and soy protein isolated found that both sausages which added soy protein isolate and tapioca flour showed the highest sensory score ($p \leq 0.05$) varied from 7.72-7.73 as indicated of moderately like. The shear force and firmness were 2.68-3.03 newtons and 0.35-0.38 newtons respectively. The colors of L^* , a^* and b^* were not different significantly ($p > 0.05$). The soy protein isolated was chosen because it had higher amount of protein than tapioca flour. Proximate analysis of snakehead fish sausages added soy protein isolated showed that moisture content, protein, fat, ash, fiber and carbohydrate were 77.66, 15.30, 2.75, 1.92, 0.60 and 1.77% respectively. The microbiological properties of the product met the Thai Community Product Standards as fish sausages (TCPS 143/2012).

Keywords: Fish sausages, Freshwater fish, Soy protein isolated

บทนำ

การผลิตไส้กรอกปลาอิมัลชันเริ่มจากการนำเนื้อปลาสดที่มีโปรตีนสูงไขมันต่ำมาผสมกับเกลือ ไขมัน น้ำแข็ง และส่วนผสมอื่นที่ช่วยในการเกิดเจลและทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะ (Binder) เช่น สารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ กัม แป้ง และโปรตีนอื่น ๆ สารยึดเกาะจะช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและเพิ่มปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์ (จักษี, 2544) การผสมต้องควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำ ส่วนผสมเหนียวที่ได้เรียกว่าแบตเตอร์ (Batter) มีลักษณะคล้ายการเกิดอิมัลชัน การเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ไม่จัดเป็นอิมัลชันอย่างแท้จริงเนื่องจากส่วนผสมไม่ได้เป็นของเหลวทั้งหมด แต่มีลักษณะคล้ายการเกิดอิมัลชันแบบไขมันที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ (Fat in water emulsion) ในขั้นตอนการอัดไส้ต้องอัดด้วยแรงที่สม่ำเสมอเพื่อให้เนื้อสัมผัสของไส้กรอกปลามีความนุ่ม ยืดหยุ่น คงรูป ไม่มีโพรงอากาศ ไม่มีการแยกตัวของหยดน้ำหรือน้ำมันออกจากเนื้อไส้กรอกปลา (วันเพ็ญ, 2560; จารุวรรณ, 2564)

ไส้กรอกปลาเป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ เนื่องจากโปรตีนเนื้อปลากุ้ยย่อยและดูดซึมได้ง่ายกว่าโปรตีนจากเนื้อสัตว์ใหญ่ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สะดวกในการบริโภคในสภาวะการดำเนินชีวิตแบบเร่งรีบในปัจจุบันได้ คนไทยบริโภคไส้กรอกเฉลี่ย 5 กิโลกรัมต่อคนต่อปี โดยตลาดไส้กรอกมีมูลค่า 32,000 ล้านบาท เดบโตเฉลี่ยร้อยละ 1-2 ต่อปี ตลาดไส้กรอกแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ตลาดไส้กรอกพรีเมียมที่มีราคาขายกิโลกรัมละ 400 บาทขึ้นไป มีสัดส่วนร้อยละ 6 หรือมูลค่า 1,920 ล้านบาท ไส้กรอกเกรด A ที่มีราคาขายกิโลกรัมละ 200-400 บาท มีสัดส่วนร้อยละ 45 หรือมูลค่า 14,400 ล้านบาท ซึ่งไส้กรอกกลุ่มนี้มีอัตราการขยายตัวสูงสุด และไส้กรอกระดับกลาง-ล่าง ที่มีราคาขายกิโลกรัมละ 50-200 บาท มีสัดส่วน ร้อยละ 49 หรือประมาณ 15,680 ล้านบาท (ประชาชาติธุรกิจ, 2562)

จากรายงานของกรมประมง พบว่า ปลาช่อน ปลาดุก ปลานิล และปลาหัวทิม เป็นปลาเศรษฐกิจของไทย มีการประกอบอาชีพเพาะเลี้ยงปลาเหล่านี้อย่างแพร่หลายในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำและชายฝั่งแม่น้ำ (กรมประมง, 2563) ซึ่งจังหวัดเพชรบุรีมีพื้นที่

การประกอบอาชีพทำการประมงน้ำจืดทั้งจากแหล่งน้ำธรรมชาติและการเพาะเลี้ยง การนำผลผลิตปลาน้ำจืดเหล่านี้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นับว่าเป็นการพัฒนาอาชีพอีกทางหนึ่ง คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจนำปลากราย ปลาช่อน ปลาดุก ปลานิล และปลาตะเพียน มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชัน จากงานวิจัยของ รสจรินทร์ (2553) ได้ศึกษาการผลิตไส้กรอกปลาที่เตรียมจากปลานวลจันทร์ พบว่า การเติมแป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 3.5-10.5 ผู้ทดสอบชิมให้ความชอบด้านความแน่นเนื้อและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูผสมไก่เมื่อเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ร้อยละ 2 ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำให้สุกและปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกได้ดีกว่าการใช้โซเดียมคาร์ซิเนต ร้อยละ 1 (นฤมล และคณะ, 2563) จากรายงานของ วรางคณา และคณะ (2561) พบว่าในการผลิตแพตต์จากปลาดุกบึกอยู่ เมื่อเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ร้อยละ 2 ได้รับการยอมรับสูงกว่าการเติม ร้อยละ 4 และ 6 และยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีโปรตีนสูงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ จักรินทร์ (2559) พบว่า การผลิตลูกชิ้นจากปลานิลที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 2 เป็นสารยึดเกาะจะทำให้ได้ลักษณะลูกชิ้นที่เป็นที่ยอมรับเทียบเท่าลูกชิ้นจากปลาทะเลคุณภาพดีที่มีวางขายตามท้องตลาด จะเห็นได้ว่าสารยึดเกาะมีส่วนช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและการยอมรับของผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบดได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือเพื่อศึกษาการใช้ปลาน้ำจืดเศรษฐกิจได้แก่ปลากราย ปลาช่อน ปลาดุก ปลานิล และปลาตะเพียน ในการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชัน และศึกษาการใช้แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี แป้งมันสำปะหลัง และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด เป็นสารยึดเกาะที่เหมาะสมในการผลิตไส้กรอกปลาอิมัลชัน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชัน

แล่นเนื้อปลาสด ลอกหนัง แยกก้างออกเอาเฉพาะเนื้อ ล้างทำความสะอาด นำเนื้อปลาที่แล่นได้ไปบดสับให้ละเอียด เติมน้ำเกลือและน้ำแข็งบางส่วนแล้วสับผสม 2 นาที เติมน้ำมันพืชที่เป็นของแห้งแล้วสับผสมต่อ 5 นาที เติมน้ำมันพืชและน้ำแข็งที่เหลือ ทำการสับผสมต่อเป็นเวลา 8 นาที จนเนื้อเนียนเป็นเนื้อเดียวกันไม่เกิดการแยกชั้น บรรจุลงในไส้เทียมที่ผลิตจากคอลลาเจน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.9 เซนติเมตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และต้มต่อที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้โปรตีนเกิดการฟอร์มเจล จากนั้นทำการหล่อเย็น บรรจุถุงพอลิโพรพิลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจาก วัชรวิ และอรรณพ, 2558)

2. การคัดเลือกสูตรต้นแบบผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชัน

ทำการผลิตไส้กรอกปลาตามสูตรต้นแบบ 4 สูตร คือ สูตรที่ 1 (ดัดแปลงจาก วัชรวิ และอรรณพ, 2558) สูตรที่ 2 (ดัดแปลงจาก ประดิษฐ์, 2556) สูตรที่ 3 (ดัดแปลงจาก เฉลิมขวัญ, 2544) และ สูตรที่ 4 (ดัดแปลงจาก วลัย และคณะ, 2551) ส่วนผสมดังตารางที่ 1 โดยใช้ปลากรายเป็นวัตถุดิบหลัก แล้วทำการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ให้คะแนนความชอบแบบสเกลตัวเลข 9 จุด (9-Point hedonic scale) เพื่อคัดเลือกสูตรต้นแบบที่ได้รับการยอมรับสูงสุด

3. การศึกษาชนิดปลาที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชัน

ทำการผลิตไส้กรอกปลาอิมัลชันด้วยสูตรต้นแบบที่ได้รับการยอมรับสูงสุดจากข้อ 2 โดยศึกษาการใช้ปลาน้ำจืดที่มีโปรตีนสูง 5 ชนิด คือ ปลาช่อน ปลาดุก ปลานิล และปลาตะเพียน โดยเปรียบเทียบกับปลากรายที่ใช้ในข้อที่ 2 แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ให้คะแนนความชอบแบบสเกลตัวเลข 9 จุด และทดสอบทางกายภาพ คือ ค่าสี โดยเครื่อง Colorimeter

ใช้ระบบ CIE L*, a*, b* (บริษัท Hunter color lab รุ่น Ultra vis) และค่าเนื้อสัมผัสโดยเครื่อง Texture analyzer (บริษัท Stable micro system รุ่น TA.HD plus) ใช้หัวทดสอบชนิด Blade set with guillotine (HDP/BSG) โหลดเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่า 5000 กรัม ความเร็วก่อนการวัดค่าตัวอย่าง 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วขณะทำการวัดค่าตัวอย่าง 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วหลังการวัดค่าตัวอย่าง 10.00 มิลลิเมตรต่อวินาที ค่า Strain ร้อยละ 70

4. การคัดเลือกสารยัดเกาะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชัน

ทำการผลิตไส้กรอกปลาอิมัลชันด้วยสูตรที่ได้รับการยอมรับสูงที่สุดจากข้อ 2 โดยใช้ชนิดของปลาที่ได้รับการยอมรับสูงที่สุดจากข้อ 3 ศึกษาการใช้สารยัดเกาะ 5 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ปริมาณของสารยัดเกาะเติมทดแทนปริมาณแป้งมันสำปะหลังในสูตรที่ 2 จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มา การประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ให้คะแนนความชอบแบบสเกลตัวเลข 9 จุด และทดสอบทางกายภาพ คือ ค่าสี และค่าเนื้อสัมผัส รายละเอียดเช่นเดียวกับข้อ 3 เพื่อคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับสูงสุด

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของไส้กรอกปลาอิมัลชันจำนวน 4 สูตร

ส่วนผสม	สูตร 1 (ร้อยละ)	สูตร 2 (ร้อยละ)	สูตร 3 (ร้อยละ)	สูตร 4 (ร้อยละ)
1. เนื้อปลา	60.60	53.76	61.61	74.26
2. เกลือป่น	1.82	1.61	0.62	1.49
3. น้ำตาลทราย	2.12	1.88	0.62	0.52
4. ผงชูรส	0.60	0.54	0.20	0.19
5. น้ำมันปาล์ม	6.06	5.38	-	1.86
6. น้ำมันรำข้าว	-	-	13.69	-
7. พริกไทยป่น	-	2.15	0.80	0.37
8. หอมหัวใหญ่สับละเอียด	-	4.84	-	-
9. ลูกผักชี	-	1.08	-	0.18
10. กระเทียมผง	-	3.23	0.80	1.86
11. อบเชยป่น	-	-	0.07	-
12. ลูกจันทร์ป่น	-	-	0.07	0.12
13. ไข่ขาวสด	1.82	1.61	-	-
14. แป้งมันสำปะหลัง	2.74	2.42	-	3.71
15. น้ำแข็งป่น	24.24	21.50	20.53	14.85
16. ผงเพร็ก	-	-	0.18	0.22
17. ไตรโพลีฟอสเฟต	-	-	0.34	0.37
18. รีกัลเบส	-	-	0.47	-
รวม	100	100	100	100

5. การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชัน

ทำการผลิตไส้กรอกปลาอิมัลชันตามสูตรที่ได้รับการยอมรับสูงที่สุดจากข้อ 4 แล้วทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังนี้

5.1 คุณภาพทางเคมี ทำการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ไขมัน โดยวิธี Soxhlet (AOAC, 2000) โปรตีน โดยวิธี Kjeldahl (AOAC, 2000) เกลือ (AOAC, 2000) โยวอาหาร (AOAC, 2000) คาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) กรดแลคติก (AOAC, 2000) ความเป็นกรดต่าง โดยเครื่อง pH meter (บริษัท Eutech รุ่น Ph700) และปริมาณน้ำอิสระโดยเครื่อง Water activity meter (บริษัท Aqua Lab รุ่น aqualab)

5.2 คุณภาพทางกายภาพ ทำการวิเคราะห์หาค่าสี โดยเครื่อง Colorimeter (บริษัท Hunter color lab รุ่น Ultra vis) ใช้ระบบ CIE L*, a*, b* ค่าเนื้อสัมผัส โดยเครื่อง Texture analyzer (บริษัท Stable micro system รุ่น TA.HD plus) รายละเอียดเช่นเดียวกับข้อ 3

5.3 คุณภาพทางจุลชีววิทยา ทำการวิเคราะห์หาจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000) ยีสต์ และรา (AOAC, 2000) *Staphylococcus aureus* (AOAC, 2000) *Escherichia coli* ด้วยเทคนิค Most probable number (MPN) (FDA, 2002)

5.4 ประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ให้คะแนนความชอบแบบสเกลตัวเลข 9 จุด กำหนดให้คะแนน 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด คะแนน 9 คือ ชอบมากที่สุด

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี วางแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely randomized design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ส่วนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized completely block design) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

1. การคัดเลือกสูตรต้นแบบผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชัน

ทำการผลิตไส้กรอกปลาอิมัลชันจำนวน 4 สูตร (ตารางที่ 1) โดยในการทดลองจะใช้ปลาทรายเป็นวัตถุดิบหลัก แล้วประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับสูงสุด จากตารางที่ 2 พบว่า ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชันทั้ง 4 สูตร ได้รับการยอมรับไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) มีคะแนนอยู่ในช่วง 6.80-7.27 มีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง เนื่องจากขนาด รูปร่าง และสีของผลิตภัณฑ์ในทุกสูตรมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกันเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าก่อนการทดสอบชิม คือ มีความหนา 1 เซนติเมตร มีพื้นผิวที่เรียบเนียน ไม่มีโพรงอากาศ เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านสีของไส้กรอกปลาอิมัลชันสูตรที่ 2 และ 4 พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ 1 มีคะแนนอยู่ในช่วง 7.27-7.37 (ชอบปานกลาง) ด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ไส้กรอกปลาอิมัลชันสูตรที่ 2 ได้รับการยอมรับมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ 1 โดยสูตรที่ 2 พบว่า มีคะแนนความชอบเท่ากับ 7.20 (ชอบปานกลาง) ลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันในแต่ละสูตร เนื่องจากเกลือเป็นส่วนประกอบสำคัญทำหน้าที่สกัดไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน ซึ่งเป็นโปรตีนที่สามารถละลายได้ในสารละลายเกลือ การสับผสมเนื้อปลากับเกลือทำให้ไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนถูกสกัดออกมาระหว่างการสับผสมจึงทำให้ได้เนื้อปลาที่มีลักษณะที่เป็นมวลเหนียว ช้นเหน็ด เมื่อนำไปให้ความร้อนจะได้เจลที่ยึดหยุ่น

ความแข็งแรงของเจล พบว่า มีความสัมพันธ์กับปริมาณเกลือที่ใช้เตรียมโซลเมื่อปริมาณของเกลือที่ใช้เพิ่มขึ้น พบว่า ความแข็งแรงของเจลก็จะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณเกลือที่เหมาะสมในการเตรียมเจลซูริมียังขึ้นกับปัจจัยบางประการ เช่น ชนิดของปลา และสภาวะความเป็นกรดต่างของซูริมีอีกด้วย ความเข้มข้นของเกลือที่ใช้ในการสกัดโปรตีนอยู่ในช่วง ร้อยละ 2-3 ของน้ำหนักเนื้อปลาสด (จักรี, 2544) ด้านความชอบโดยรวม พบว่า ใ้สกัดปลาอิมัลชันสูตรที่ 2 มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มีคะแนน เท่ากับ 7.80 (ชอบปานกลาง) การที่ผู้บริโภคให้การยอมรับใ้สกัดสูตรที่ 2 มากกว่าสูตรอื่น เป็นผลรวมจากความชอบด้านกลิ่น ด้านรสชาติ และเนื้อสัมผัส เป็นสำคัญ เนื่องจากสูตรที่ 2 มีส่วนผสมของชนิดและปริมาณเครื่องเทศต่าง ๆ ในสัดส่วนที่ลงตัวมากกว่าสูตรอื่นจึงทำให้เกิดกลิ่นรสที่ดี อีกทั้งสูตรที่ 2 มีปริมาณไขมันสด แป้งมันสำปะหลัง และน้ำแข็งในสัดส่วนที่พอดีทำให้ได้เนื้อสัมผัสนุ่มและยืดหยุ่น ผู้วิจัยจึงคัดเลือกสูตรที่ 2 เป็นสูตรต้นแบบเพื่อทำการทดลองในขั้นต่อไป

ตารางที่ 2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ใ้สกัดปลาอิมัลชันจำนวน 4 สูตร

สูตรต้นแบบ	คะแนนความชอบ					
	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี	กลิ่น	รส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
สูตร 1	6.80±1.12	6.53±1.07 ^b	6.13±1.19 ^c	6.07±1.63 ^b	6.27±1.63 ^b	6.50±1.35 ^b
สูตร 2	6.87±1.04	7.27±0.78 ^a	7.70±0.98 ^a	7.63±1.15 ^a	7.20±1.18 ^a	7.80±0.99 ^a
สูตร 3	7.20±1.24	7.00±1.17 ^{ab}	6.73±1.04 ^b	6.27±1.48 ^b	6.60±1.45 ^{ab}	6.83±0.98 ^b
สูตร 4	7.27±1.36	7.37±1.37 ^a	7.03±1.21 ^b	6.47±1.40 ^b	6.63±1.18 ^{ab}	6.70±1.31 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} ในแนวตั้งที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

2. การศึกษาชนิดปลาที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ใ้สกัดปลาอิมัลชัน

ทำการผลิตใ้สกัดปลาอิมัลชันตามสูตรที่ 2 พิจารณาจากการยอมรับของผู้บริโภคสูงที่สุด โดยศึกษาการใช้ปลาน้ำจืดที่มีโปรตีนสูง 5 ชนิด คือ ปลาทราย ปลาช่อน ปลาดุก ปลานิล และปลาทับทิม แล้วนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และทดสอบทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี และค่าเนื้อสัมผัส ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ใ้สกัดอิมัลชันจากปลาน้ำจืด 5 ชนิด

ชนิดของปลา	คะแนนความชอบ					
	ลักษณะปรากฏ	สี ^{ns}	กลิ่น	รส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ปลาทราย	6.53±1.61 ^b	6.73±1.33	6.47±1.30 ^b	6.03±1.75 ^b	6.07±1.78 ^b	6.13±1.73 ^b
ปลาช่อน	7.17±1.05 ^a	7.00±1.01	7.07±1.31 ^a	7.13±1.19 ^a	7.33±1.15 ^a	7.17±1.11 ^a
ปลาดุก	6.83±1.26 ^{ab}	6.83±1.42	6.93±1.37 ^{ab}	6.60±1.35 ^{ab}	6.50±1.69 ^b	6.60±1.38 ^b
ปลานิล	6.90±1.18 ^{ab}	6.97±1.24	7.03±1.37 ^a	6.53±1.33 ^{ab}	6.40±1.56 ^b	6.53±1.27 ^b
ปลาทับทิม	6.83±1.14 ^{ab}	6.80±1.14	6.80±1.33 ^{ab}	6.73±1.28 ^a	6.50±1.22 ^b	6.63±1.18 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} ในแนวตั้งที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 3) พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลาช่อนเท่ากับ 7.17 อยู่ในระดับชอบปานกลาง รองลงมาเป็นไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลานิล ปลาตุ๊ก และปลาหับทิม ซึ่งมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.83-6.90 (ชอบเล็กน้อย) โดยค่าคะแนนความชอบไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ไส้กรอกสูตรที่ผลิตจากปลากลายมีคะแนนความชอบ เท่ากับ 6.53 (ชอบเล็กน้อย) ซึ่งน้อยกว่าไส้กรอกสูตรที่ผลิตจากปลาช่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าทุกสูตรมีลักษณะคล้ายกัน คือ มีขนาดหนาประมาณ 1 เซนติเมตร รูปร่างทรงกลม มีพื้นผิวที่เรียบเนียน ไม่มีโพรงอากาศ

ด้านสี พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลา 5 ชนิด ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) มีคะแนนอยู่ในช่วง 6.73-7.00 ความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ทั้งนี้ตามธรรมชาติแล้วปลาช่อน ปลานิล และปลาหับทิม มีสีเนื้อค่อนข้างขาวกว่าปลากลาย และปลาตุ๊ก โดยปลาตุ๊กนั้นมีสีออกขาวเหลือง ส่วนปลากลายมีสีเนื้อออกขาวขุ่นเล็กน้อยแต่ไม่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

ด้านกลิ่น พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลาช่อนและปลานิลมากกว่าไส้กรอกที่ผลิตจากปลากลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยธรรมชาติแล้วปลาแต่ละชนิดจะมีกลิ่นเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป แต่อย่างไรก็ตามปลาทั้ง 5 ชนิดนี้ก็เป็นที่ยอมรับด้านกลิ่นและได้รับความนิยมในการบริโภค

ด้านรสชาติ พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลาช่อนและปลาหับทิม มากกว่าไส้กรอกที่ผลิตจากปลากลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากรสชาติตามธรรมชาติของปลาแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ส่งผลให้เมื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้สูตรการผลิตเดียวกัน รสชาติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงอาจแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย

ด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลาช่อนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีคะแนน เท่ากับ 7.33 (ชอบปานกลาง) รองลงมาเป็นไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลาหับทิม ปลาตุ๊ก ปลานิล และปลากลาย มีคะแนนอยู่ในช่วง 6.07-6.50 (ชอบเล็กน้อย) โปรตีนมีความสำคัญต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเป็นอย่างมาก สำหรับโปรตีนที่มีความสำคัญต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์คือไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน โดยเฉพาะโปรตีนแอคโตไมโอซิน ซึ่งมีคุณสมบัติในการเกิดเจลทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่ม และยืดหยุ่น (จักรี, 2544)

ด้านความชอบโดยรวม พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลาช่อนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีคะแนน เท่ากับ 7.17 (ชอบปานกลาง) รองลงมาเป็นไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลาหับทิม ปลาตุ๊ก ปลานิล และปลากลาย มีคะแนนอยู่ในช่วง 6.13-6.63 (ชอบเล็กน้อย) เห็นได้ว่าไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลาช่อนมีค่าการยอมรับคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสมากกว่าไส้กรอกสูตรที่ผลิตจากปลาอื่น ส่งผลให้ค่าความชอบโดยรวมมีค่าสูงสุด ($p \leq 0.05$) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกไส้กรอกสูตรที่ผลิตจากปลาช่อนเพื่อทำการทดลองต่อไป

ตารางที่ 4 ค่าสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชันจากปลาน้ำจืด 5 ชนิด

ลักษณะทางกายภาพ	ชนิดของปลาน้ำจืด				
	ปลากุรैया	ปลาช่อน	ปลาดุก	ปลานิล	ปลาหับทิม
สี					
L*	65.93±0.46 ^a	62.53±0.81 ^{bc}	62.03±1.91 ^c	64.29±2.38 ^{abc}	64.99±0.40 ^{ab}
a*	1.79±0.19 ^{bc}	2.52±0.39 ^a	2.10±0.15 ^{ab}	1.85±0.23 ^{bc}	1.59±0.10 ^c
b*	13.76±0.41 ^b	15.80±0.87 ^a	15.92±0.63 ^a	14.26±0.96 ^b	13.89±0.82 ^b
เนื้อสัมผัส (นิวตัน)					
ความแน่นเนื้อ	0.23±0.02 ^b	0.34±0.02 ^a	0.17±0.01 ^b	0.20±0.04 ^b	0.23±0.08 ^b
แรงเคี้ยว	1.97±0.10 ^{ab}	2.41±0.28 ^a	1.49±0.21 ^b	1.75±0.48 ^b	1.91±0.41 ^{ab}

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b, c} ในแนวนอนที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 4 พบว่า ไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลากุรैयाมีค่าความสว่าง (L*) มากกว่าไส้กรอกที่ผลิตจากปลาช่อนและปลาดุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลาทั้ง 5 ชนิด มีค่า a* เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดง และค่า b* เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลือง ไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลาช่อนมีค่าสีแดง (a*) สูงกว่าไส้กรอกที่ผลิตจากปลากุรैया ปลานิล และปลาหับทิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 2.52 ไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลาดุกและปลาช่อนมีค่าสีเหลืองสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 15.92 และ 15.80 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าสีที่วัดจากเครื่องมือ พบว่า มีความสัมพันธ์กับค่าคะแนนความชอบด้านสีจากการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านสีไม่แตกต่างกัน เนื่องจากค่าสีนั้นมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยและมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ทดสอบชิมชอบและยอมรับ

ไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลาช่อนมีความแน่นเนื้อสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 0.34 นิวตัน และมีค่าแรงเคี้ยวสูงกว่าไส้กรอกที่ผลิตจากปลาดุกและปลานิลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 2.41 นิวตัน เมื่อพิจารณาสัมพันธ์กับค่าคะแนนความชอบจากการประเมินทางประสาทสัมผัสจะเห็นว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากปลาช่อนสูงสุด ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดเนื้อสัมผัสคุณภาพและสัดส่วนโปรตีนไมโอซินและโปรตีนแอกตินมีผลต่อการเกิดเจลโปรตีน ปลาแต่ละชนิดมีปริมาณโปรตีนไมโอซินและโปรตีนแอกตินแตกต่างกัน (จักรี, 2544) แสดงให้เห็นว่าไส้กรอกที่ผลิตจากปลาช่อนเกิดเจลโปรตีนได้ดีจึงให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคชอบ

3. การคัดเลือกสารยึดเกาะที่เหมาะสมในการผลิตไส้กรอกปลาอิมัลชัน

ทำการผลิตไส้กรอกปลาอิมัลชันจากเนื้อปลาช่อน โดยศึกษาการใช้สารยึดเกาะ 5 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด แล้วนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและทดสอบทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี และค่าเนื้อสัมผัส ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 5 คุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาช่อนอิมัลชันที่มีการใช้สารยึดเกาะชนิดต่าง ๆ

ชนิดของสารยึดเกาะ	คะแนนความชอบ					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
แป้งมันสำปะหลัง	7.43±0.85 ^a	7.53±0.90 ^a	7.23±1.35 ^a	7.67±1.24 ^a	7.40±1.00 ^{ab}	7.73±0.98 ^a
แป้งข้าวโพด	7.20±0.88 ^{ab}	7.13±0.97 ^b	6.77±1.33 ^{bc}	6.80±1.15 ^c	6.77±1.25 ^c	7.07±1.14 ^b
แป้งข้าวเจ้า	7.27±1.08 ^{ab}	7.17±1.11 ^b	6.73±1.36 ^{bc}	6.97±1.18 ^{bc}	7.07±1.23 ^{bc}	7.13±1.25 ^b
แป้งข้าวสาลี	7.13±1.10 ^b	7.17±1.23 ^b	6.60±1.38 ^c	7.30±1.14 ^{ab}	7.40±1.22 ^{ab}	7.47±1.33 ^{ab}
โปรตีนถั่วเหลืองสกัด	7.23±0.89 ^{ab}	7.20±1.24 ^b	7.07±1.17 ^{ab}	7.47±0.93 ^a	7.62±0.92 ^a	7.72±0.98 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b, c} ในแนวตั้งที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 5) พบว่า ไส้กรอกปลาอิมัลชันสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏมากกว่าไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้แป้งข้าวสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มีคะแนนเท่ากับ 7.43 (ชอบปานกลาง) นอกจากนี้ยัง พบว่า ไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด มีค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านสี พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มีคะแนนเท่ากับ 7.53 (ชอบปานกลาง) ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับคุณลักษณะด้านกลิ่นของไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดมากกว่าสูตรที่ใช้แป้งข้าวสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ด้านรสชาติ พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดมากกว่าสูตรที่ใช้แป้งข้าวโพดและสูตรที่ใช้แป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของไส้กรอกปลาอิมัลชันสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดมากกว่าสูตรที่ใช้แป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มีคะแนนเท่ากับ 7.62 (ชอบปานกลาง) เนื่องจากเป็นการใช้ประโยชน์เชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลือง (Functional properties of protein) คือ เพิ่มการจับกันของเนื้อสัตว์ที่ผ่านการบดละเอียดช่วยในการจับกับน้ำ (Water binding capacity) ทำให้อิมัลชันคงตัวและทำให้เกิดเจลเป็นโครงสร้างคล้ายร่างแหที่สามารถห่อหุ้ม น้ำ ไขมัน และของแข็ง ทำให้ผลิตภัณฑ์คงตัวดีขึ้น (นิธิยา, 2551; วชิร และจันทร์เพ็ญ, 2563)

ด้านความชอบโดยรวม พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดมากกว่าสูตรที่ใช้แป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ในการทดลองนี้ผู้วิจัยสนใจที่จะคัดเลือกสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดไปทำการทดลองในตอนต่อไป เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีส่วนช่วยในการเพิ่มปริมาณโปรตีนให้แก่ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชัน นฤมล และคณะ (2563) รายงานว่า การใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดร่วมกับโซเดียมเคซีเนตช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักหลังปรุงสุกของไส้กรอกหมูผสมไก่ สอดคล้องกับ Akesson. (2008) รายงานว่า การใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัด ร้อยละ 2 ช่วยเพิ่มปริมาณความชื้นและร้อยละผลผลิต (Yield) ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำ

จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบการใช้สารยึดเกาะทั้ง 5 ชนิด พบว่า ไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ได้มีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มให้ค่าความสว่างสูงสุด ($p > 0.05$) รองลงมาคือแป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ค่าสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาช่อนอิมัลชันที่มีการใช้สารยัดเกาะแตกต่างกัน

ลักษณะทางกายภาพ	ชนิดของสารยัดเกาะ				
	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งข้าวโพด	แป้งข้าวเจ้า	แป้งข้าวสาลี	โปรตีนถั่วเหลืองสกัด
สี					
L* ^{ns}	64.86±0.66	63.00±2.33	62.57±0.69	62.92±0.58	62.33±2.82
a* ^{ns}	1.99±0.08	1.86±0.15	2.01±0.13	1.93±0.23	1.70±0.21
b* ^{ns}	14.58±0.61	14.49±0.34	14.42±0.55	14.72±1.15	13.48±0.74
เนื้อสัมผัส (นิวตัน)					
ความแน่นเนื้อ	0.35±0.03 ^{ab}	0.31±0.01 ^{ab}	0.26±0.04 ^b	0.26±0.04 ^b	0.38±0.06 ^a
แรงเคียน	3.03±0.13 ^a	2.09±0.21 ^{bc}	1.84±0.25 ^c	1.87±0.56 ^c	2.68±0.56 ^{ab}

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b, c} ในแนวนอนที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 6 พบว่า ไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีความแน่นเนื้อสูงสุด ($p > 0.05$) มีค่าเท่ากับ 0.38 นิวตัน รองลงมาเป็นไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและสูตรที่ใช้แป้งข้าวโพด มีค่าความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 0.31-0.35 นิวตัน ส่วนไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้แป้งข้าวเจ้าและสูตรที่ใช้แป้งสาลี มีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุดเท่ากับ 0.26 นิวตัน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาสัมพันธ์กับค่าคะแนนความชอบจากการประเมินทางประสาทสัมผัสจะเห็นว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดสูงสุดเช่นเดียวกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดเนื้อสัมผัส แสดงให้เห็นว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีคุณสมบัติช่วยในการเกิดเจลที่ดีกว่าไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง มีค่าแรงเคียนสูงสุด มีค่าเท่ากับ 3.03 นิวตัน รองลงมาเป็นไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัด มีค่าแรงเคียนเท่ากับ 2.68 นิวตัน ไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้แป้งข้าวเจ้ามีค่าแรงเคียนน้อยที่สุด ($p > 0.05$) เท่ากับ 1.84 นิวตัน เมื่อพิจารณาสัมพันธ์กับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัส แม้ว่าไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีค่าแรงเคียนที่น้อยกว่าไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง แต่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสูงกว่าเป็นได้ว่าค่าแรงเคียนมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยและมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ทดสอบชิมชอบและยอมรับ การใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเป็นสารยัดเกาะในไส้กรอกปลาช่อนให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของนฤมล และคณะ (2563) พบว่า การใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัด ร้อยละ 2 ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุกและปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกหมูผสมไก่ได้ดีกว่าการใช้โซเดียมคาซิเนต ร้อยละ 1 แพตตี้จากปลาตุ๋นที่ใส่โปรตีนถั่วเหลืองสกัด ร้อยละ 2 ได้คะแนนการยอมรับสูงสุดและผลิตภัณฑ์มีโปรตีนสูงกว่าสูตรที่ใช้แป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญ (วรารัศณา และคณะ, 2561) เช่นเดียวกับ จักรินทร์ (2559) พบว่าการผลิตลูกชิ้นจากเนื้อปลานิลที่ผ่านการล้างน้ำ และเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ร้อยละ 2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นที่ยอมรับเทียบเท่าลูกชิ้นจากปลาทะเลเกรด A ที่วางจำหน่ายในตลาด

ผลการศึกษาชนิดของสารยัดเกาะที่เหมาะสมในการผลิตไส้กรอกปลาอิมัลชันจากสารยัดเกาะทั้ง 5 ชนิด ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับไส้กรอกปลาสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังสูงสุด จากการวัดค่าสีด้วยเครื่องพบว่า ทุกสูตรมีค่าสีไม่แตกต่างกัน และจากการวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง พบว่า สูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีความแน่นเนื้อสูงกว่าสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง แต่มีค่าแรงเคียนน้อยกว่า จากผลการทดลองผู้วิจัยจึงคัดเลือกไส้กรอกปลาอิมัลชันสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดไปทำการทดลองในตอนต่อไป เนื่องจากเห็นว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีส่วนช่วยในการเพิ่มปริมาณโปรตีนให้แก่ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชันได้มากกว่าเพราะโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 90 โดยน้ำหนักแห้ง ในขณะที่แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี และแป้งมันสำปะหลัง มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 0.35, 0.40 และ 0.10 ตามลำดับ (สุทธิณี, 2563)

4. การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชัน

ไส้กรอกปลาช่อนที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเป็นสารยึดเกาะมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 7 เห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตได้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องไส้กรอกปลา (มผช.143/2555) คือ มีโปรตีนมากกว่า ร้อยละ 13.0 และมีไขมันน้อยกว่า ร้อยละ 10.0 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า ไส้กรอกปลามีค่าสีในระบบ CIE L*a*b* เท่ากับ 61.67, 1.68 และ 13.54 ตามลำดับ ความแน่นเนื้อและแรงเคียน เท่ากับ 0.46 และ 2.76 นิวตัน ตามลำดับ ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณกรดแลคติก ปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน เท่ากับ 6.86, 0.97 ร้อยละ 0.31 ร้อยละ 15.30 และ ร้อยละ 2.75 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณโปรตีนและไขมันในผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chuapohuk et al. (2001) พบว่า ไส้กรอกปลาดุกผสมซูริมีที่อัตราส่วน 40:60 มีปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมัน เท่ากับ ร้อยละ 13.75 และ 3.16 ตามลำดับ

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์พบว่า ที่ความเจือจาง (Dilution) ระดับ 10^{-1} ตรวจไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ รา *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ดังนั้นปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัม ยีสต์และราน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัม *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัม และ *Escherichia coli* น้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็นต่อกรัม ซึ่งให้เห็นว่าในระหว่างการผลิตได้ปฏิบัติอย่างถูกสุขลักษณะไม่มีการปนเปื้อนข้ามทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางจุลชีววิทยาเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องไส้กรอกปลา (มผช.143/2555) จากตารางที่ 8 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยผู้บริโภคมีความชอบในคุณลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบปานกลาง และให้คะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.58

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาช่อนอิมัลชัน

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	77.66
โปรตีน	15.30
ไขมัน	2.75
เถ้า	1.92
ใยอาหาร	0.60
คาร์โบไฮเดรต	1.77

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 8 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาช่อนอิมัลชันเมื่อใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเป็นสารยึดเกาะ

ผลิตภัณฑ์	คะแนนความชอบ					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ไส้กรอกปลา	7.40±0.94	7.22±1.04	6.99±1.38	7.64±0.93	7.20±1.08	7.58±0.89

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

บทสรุป

จากการศึกษาสูตรต้นแบบผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชันจำนวน 4 สูตร คัดเลือกสูตรที่ 2 พิจารณาจากการยอมรับของผู้บริโภคสูงสุดเป็นสูตรต้นแบบเพื่อศึกษาชนิดปลาน้ำจืดที่เหมาะสมจากปลาจำนวน 5 ชนิด พบว่า สูตรที่ใช้ปลาช่อนได้รับการยอมรับสูงสุด และจากการศึกษาชนิดของสารยัดเกาะที่เหมาะสมจากสารยัดเกาะจำนวน 5 ชนิด พบว่า สูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและแป้งมันสำปะหลังได้รับการยอมรับสูงสุด ผู้วิจัยคัดเลือกสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัด เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีโปรตีนสูงจะมีส่วนในการเพิ่มปริมาณโปรตีนให้แก่ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชัน ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาช่อนอิมัลชันที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเป็นสารยัดเกาะมีคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องไส้กรอกปลา (มผช.143/2555)

เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. (2563). สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ประจำปี 2561. ค้นเมื่อ 30 เมษายน 2567.
https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20210310111203_new.pdf
- จักรินทร์ ตรีอินทอง. (2559). การปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในลูกชิ้นจากปลาน้ำจืด. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จักรี ทองเรือง. (2544). ซูริมิ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- จาวรธรรม วิชัยพรหม. (2564). ไส้กรอกปลา. ค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2566.
https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20210503160448_1_file.pdf
- เฉลิมขวัญ แสงจันทร์. (2544). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาอิมัลชัน. ปัญหาพิเศษ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏเพชรบุรี.
- นฤมล จอมมาก, สวรรักษ์ จันทร์เทพธิดากุล และปัทมา ระตะนนะอาพร. (2563). ผลของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและโซเดียมเคซิเนตในการทดแทนฟอสเฟตต่อคุณลักษณะทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกหมูผสมไก่. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.กรุงเทพ. 1(2): 1-11.
- นิธยา รัตนพานนท์. (2551). เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ.
- ประชาชาติธุรกิจ. (2562). CPF-เบทาโกร ระเบิดศึกตลาดไส้กรอก 3 หมิ่นล้านเดือด. ประชาชาติธุรกิจออนไลน์.
- ประดิษฐ์ คำหนองไผ่. (2556). การผลิตไส้กรอกปลาคุณภาพดีเพื่อสุขภาพ. สำนักพิมพ์ทริบเพิ้ลกรุ๊ป: กรุงเทพฯ.
- รสจรินทร์ ปราบปรี. (2553). ผลของแป้งมันสำปะหลังและไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของไส้กรอกปลาสดและแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรางคณา สมพงษ์, จักรพงษ์ จิตรหนัก, ฤกษ์ ปิ่นเย็น และภัทธรา สุดเลิศ. (2561). การผลิตแพตตี้ปลาอิมัลชันที่อิมัลชันน้ำมันปลา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 7(6): 560-569.
- วลัย หุตะโกวิท, บุขรา สร้อยระย้า, ชญาภัทร์ สุทธิมิตร, น้อมจิตต์ สุธีบุตร, นพพร สุกุลยีนงสุข, เจตนิพัทธ์ บุญยสวัสดิ์ และธนภพ โสทรโยม. (2551). การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากปลาน้ำจืดเพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ. รายงานการวิจัย. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนคร กรุงเทพฯ.
- วัชรี้ คงรัตน์ และจันทร์เพ็ญ ชำมิน. (2563). ซูริมิและปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจลจากซูริมิ. ค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2567. https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20201019155149_1_file.pdf

- วัชรี้ คงรัตน์ และอรรธรณ คงพันธ์. (2558). การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลานวลจันทร์ทะเล. (*Chanos chanos, Forskal*): เอกสารวิชาการฉบับที่ 8/2558. กรมประมง กองวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ: กรุงเทพฯ.
- วันเพ็ญ นภาทิ้วอำนวย. (2560). ใ้กรอกปลาอิมัลชัน. ค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2566.
<https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=41048>
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2555). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ใ้กรอกปลา. เอกสาร มผช.143/2555. ค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2566. https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0143_55.pdf
- สุทธิณี สีสังข์. (2563). คุณสมบัติของแป้งที่มีผลต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ. ค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2566.
https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200722153849_1_file.pdf
- Akesowan A. (2008). Effect of soy protein isolate on quality of light pork sausages containing konjac flour. *African Journal of Biotechnology*. 7(24): 4586-4590.
- AOAC. (2000). Official Methods of analysis. 16th Edition. Association Official analytical chemists: Washington. D.C.
- Chuapoehek P., Raksakulthai N. and Worawattanamateekul W. (2001). Process development of fish sausage. *International Journal of Food Properties*. 4(3): 523–529.
- FDA. (2002). BAM chapter 4: Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform bacteria. Retrieved 10 April 2023. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria>.

Received: April 22, 2023; Revised: July 25, 2023; Accepted: May 5, 2024

การพัฒนาต้นแบบวิธีเลี้ยงอึ่งปากขวด (*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869)

ในบ่อคอนกรีตแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยม

Development of rearing method model for truncate-snouted burrowing frog

(*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) in circular

and square concrete ponds

ไกรฤกษ์ ทวีเชื้อ^{1*} วุฒิชัย ฤทธิ¹ สุमितานันท์ จันทะบุรี¹ และญาณพัฒน์ พรหมประสิทธิ์¹Krailerk Taweechue^{1*}, Wuttichai Ritti¹, Sumitahnun Chunthaburee¹and Yanaphat Promprasit¹¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี¹Faculty of Science and Technology, Rajaphat Phetchaburi University, Phetchaburi Province^{*}Corresponding Author E-mail Address: tkrailerk@yahoo.com

บทคัดย่อ

อึ่งปากขวด (*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) เป็นสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สัตว์ชนิดนี้ถูกจัดอยู่ในประเภทสัตว์เสี่ยงใกล้ถูกคุกคามโดย IUCN เนื่องจากถูกจับมาเป็นอาหารโดยคนในท้องถิ่นมากเกินไป การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตในระยะลูกอึ่งถึงอายุ 225 วัน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาเป็นสัตว์เศรษฐกิจ ทำการทดลองเลี้ยงในบ่อสภาพเลียนแบบธรรมชาติ 2 รูปแบบ ได้แก่ ในบ่อคอนกรีตแบบกลมและในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยม ผลการทดลองพบว่า การเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมให้ผลการเจริญเติบโตดีกว่าการเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบกลมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) เมื่อเทียบกันแต่ละช่วงอายุ โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยที่อายุ 45, 90, 135, 180 และ 225 วัน เท่ากับ 4.15, 10.84, 18.95, 23.66 และ 24.65 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่การเลี้ยงบ่อคอนกรีตแบบกลม มีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 0.64, 1.57, 2.70, 3.84 และ 5.04 กรัม ตามลำดับ โดยสรุป การเลี้ยงอึ่งปากขวดในบ่อคอนกรีตเลียนแบบสภาพธรรมชาติสามารถทำได้โดยใช้ปลวกเป็นอาหารหลัก โดยที่การเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมให้ผลการเจริญเติบโตที่ดีกว่า ขนาดพื้นที่ของบ่อและการจัดสภาพแวดล้อมในบ่อใกล้เคียงกับธรรมชาติมากที่สุดเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของอึ่งปากขวด

คำสำคัญ: อึ่งปากขวด การเจริญเติบโต ลูกอึ่ง การเลี้ยง บ่อคอนกรีต

Abstract

The truncate-snouted burrowing frog (*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) is an important amphibian of Thailand, especially in the North and Northeastern parts. This animal species is categorized as near-threatened species by IUCN due to over-harvesting for food by local people. This research aimed to study the growth of froglets up to 225 days of age in circular and square concrete ponds to use the obtained data for rearing under natural conditions. In addition, the data may be used as a model for the development of this species as an economic animal. When compared with each life stage, the results showed that rearing in square concrete ponds gave significantly more growth results ($p < 0.001$) than those in circular concrete ponds. The mean weights at 1, 45, 90, 135, 180 and 225 days were 0.20, 4.15, 10.84, 18.95, 23.66 and 24.65 grams, respectively. While rearing in circular concrete ponds, the mean weights were 0.20, 0.64, 1.57, 2.70, 3.84 and 5.04 g, respectively. In conclusion, the rearing truncate-snouted burrowing frog in square concrete ponds can be done easily using termites as the main diet. The pond area size and mimic the natural environment are important factors enhancing the growth of truncate-snouted burrowing frog.

Keywords: Truncate-snouted burrowing frog, Growth, Froglet, Rearing, Concrete pond

บทนำ

อึ่งปากขวด (*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) เป็นสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกที่มีลักษณะลำตัวอ้วน ผิวตัวด้านบนอาจมีสีแตกต่างกันเช่น สีดำ สีเทาอมเขียวหรือสีดอามม่วง โดยมีลายสีเดียวกันกับผิวตัวแต่สีจางกว่าพาดเป็นเส้นชัดเจน ที่ผิวตัวด้านบน (Dorsal) และขาทั้งสี่มีจุดเล็ก ๆ สีเหลืองส้มกระจายอยู่ ส่วนของขา หัว และหน้าสัน ปากไม่ยื่นออกมาเหมือนกบ เพศผู้มีสีที่เด่นชัดกว่าโดยเฉพาะจุดสีเหลืองหรือส้มที่กระจายบนผิวลำตัวและขา เพศเมียมีขนาดใหญ่กว่าและในฤดูผสมพันธุ์มีไข่ที่พร้อมผสม นอกจากนี้ ถุงเสียง (Vocal sac) เป็นอีกลักษณะที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างเพศผู้และเพศเมีย (Loajumpon et al., 2012) ถุงนี้พบได้ในเฉพาะเพศผู้เพื่อช่วยในการขยายเสียงให้ก้องเพื่อดึงดูดเพศเมียเป็นที่มาของการที่บางท้องถิ่นเรียกสัตว์ชนิดนี้ว่าอึ่งโกรกตามเสียงร้องที่คนได้ยิน อึ่งปากขวดมีการแพร่กระจายในประเทศกัมพูชา ลาว เมียนมาร์ เวียดนามและไทย (Nonsrirach and Lauprasert, 2019) ในประเทศไทยพบการแพร่กระจายทุกภาคยกเว้นภาคใต้ตอนล่าง การศึกษาของ Loajumpon et al., (2012) บ่งชี้ว่าขนาดของสัตว์ชนิดนี้ในแต่ละภาคของประเทศไทยมีความแตกต่างกัน โดยความแปรผันของขนาดนั้น ตัวอย่างของ *G. molossus* จากภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวจากปลายจมูกถึงรูกัน (Snout-vent length; SVL) พบว่า ตัวอย่างจากพื้นที่แอ่งสกลนครมีขนาดเล็กกว่าภาคอื่น ๆ การแยกตัวทางพันธุกรรม (Genetic isolation) ที่เป็นผลมาจากสิ่งขวางกั้นทางธรรมชาติ (Geographical barrier) อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้อึ่งปากขวดในพื้นที่ดังกล่าวมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่อื่น ๆ

อึ่งปากขวดสามารถนำมาทำเป็นอาหารท้องถิ่นได้หลากหลายเมนูและหารับประทานได้เฉพาะต้นฤดูฝนเท่านั้น โดยได้รับความนิยมนำมาบริโภคอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ และตามที่ถูกจับมาเพื่อจำหน่ายและบริโภคเป็นอาหารในแต่ละปีมากขึ้นไป ส่งผลให้จำนวนในธรรมชาติลดน้อยลง (ธเนศ, 2562)

องค์กร The International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species (IUCN) จัดให้อึ่งปากขวดอยู่ในกลุ่มสัตว์ที่จำนวนลดลงและเสี่ยงใกล้สูญคุกคาม (Near threatened; NT) (IUCN Red List of Threatened Species, 2023)

การเพาะอนุบาลอึ่งปากขวดในสถานที่เพาะเลี้ยงเลียนแบบธรรมชาติสามารถทำได้ตามที่มีรายงานการศึกษาของพนมเทียน (2554) และ สิริฉัตร และคณะ (2555) การวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอึ่งปากขวดสามารถนำมาเพาะเลี้ยงได้ตั้งแต่ระยะลูกอ๊อด (Tadpole) จนพัฒนาถึงระยะลูกอึ่ง (Froglet) ในการศึกษาครั้งนี้ที่วิจัยมีพรรณสนะว่าอึ่งปากขวดน่าจะสามารถนำมาเลี้ยงเพื่อพัฒนาเป็นสัตว์เศรษฐกิจสร้างรายได้ และเป็นการช่วยลดการจับจากธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนที่ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมคือการสร้างองค์ความรู้ด้านรูปแบบการเพาะเลี้ยงที่ต่อเนื่องจากระยะลูกอ๊อดและเป็นการเลี้ยงในสภาพจำลองธรรมชาติ ซึ่งยังไม่เคยมีรายงานการศึกษามาก่อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบวิธีการเพาะเลี้ยงอึ่งปากขวดตั้งแต่ระยะลูกอ๊อดจนกระทั่งถึงอายุ 225 วัน จำนวน 2 รูปแบบ โดยเป็นระบบต้นแบบที่ง่าย สามารถหาวัสดุได้ในท้องถิ่นและมีกรรมวิธีที่ไม่ซับซ้อนโดยพิจารณาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตเป็นประเด็นสำคัญทั้งนี้เพื่อพัฒนาเป็นสัตว์เศรษฐกิจต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. สถานที่ทดลองและสัตว์ทดลอง

สถานที่ทำการวิจัยคือตำบลต้อม อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา การวิจัยครั้งนี้ใช้พ่อแม่พันธุ์อึ่งปากขวดจำนวน 5 คู่ เป็นพ่อแม่พันธุ์ที่สมบูรณ์แข็งแรง (รูปที่ 1B) ได้มาจากการจับในธรรมชาติ และไม่มีการใช้สารกระตุ้นการเจริญเติบโตของระบบสืบพันธุ์ใด ๆ ก่อนการจัดให้มีการผสมพันธุ์ พ่อแม่พันธุ์ได้รับการปรับสภาพในบ่อทราย จากนั้นจัดให้มีการผสมพันธุ์ตามวิธีการที่ประยุกต์จากสิริฉัตร และคณะ (2555) การผสมพันธุ์เกิดขึ้นในบ่อคอนกรีตขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 150x250x15 เซนติเมตร ใส่น้ำสะอาดให้เกือบเต็มความจุของบ่อพร้อมกับใส่กิ่งไม้เป็นวัสดุยึดเกาะ (รูปที่ 1A) ทำการปล่อยพ่อแม่พันธุ์และเปิดเสียงร้องของอึ่งปากขวดเพื่อเลียนแบบสภาพให้คล้ายธรรมชาติ ปล่อยให้พ่อแม่พันธุ์ผสมพันธุ์กันโดยไม่รบกวนตราบใดที่พ่อแม่พันธุ์ยังแสดงพฤติกรรมหึ่งหลังเพศเมีย (Copulation) (รูปที่ 1C) ภายหลังเห็นการปล่อยไข่ของเพศเมีย จึงทำการแยกพ่อแม่พันธุ์ออกจากบ่อ



รูปที่ 1 (A) บ่อผสมพันธุ์และอนุบาล, (B) พ่อและแม่พันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง, (C) พ่อพันธุ์แสดงพฤติกรรมชี้หลังเพศเมีย

2. การเลี้ยงอิงปากขวดระยะลูกอ๊อด

ลูกอ๊อดถูกเลี้ยงในบ่อผสมพันธุ์ (รูปที่ 2A) ช่วง 3 วันแรก (รูปที่ 2B) ไม่ได้ให้อาหารใด ๆ ในวันที่ 4 เป็นต้นไปจะเริ่มให้อาหารปลาตุ๊กเล็กนำมาผสมน้ำแล้วปั่นให้พอจับกันเป็นก้อน ให้วันละ 2 ครั้ง (เวลา 08.30 น. และ 16.30 น.) ปริมาณการให้สังเกตจากการกินแล้วมีอาหารเหลือเพียงเล็กน้อยของการให้แต่ละครั้ง และเพิ่มปริมาณที่ให้ตามอายุของลูกอ๊อดที่มากขึ้น (รูปที่ 2C) ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำออก 50% ทุก ๆ 3 วัน จนกระทั่งลูกอ๊อดสามารถเจริญเป็นระยะลูกอึ่ง ทำการรวบรวมลูกอึ่งปากขวดอายุ 1 วัน (รูปที่ 2D) เพื่อเตรียมเลี้ยงทดลองในแต่ละชุดการทดลอง (ในบ่อคอนกรีตแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยม)



รูปที่ 2 (A) ลูกอ๊อดถูกเลี้ยงในบ่อผสมพันธุ์, (B) ลูกอ๊อดอายุ 1 วัน มีไข่แดงในช่องท้อง, (C) ลูกอ๊อดอายุ 15 วัน มีพัฒนาการของขาหลัง, (D) ลูกอึ่งปากขวดอายุ 1 วัน

3. การเลี้ยงและศึกษาการเจริญของอึ่งปากขวดอายุ 1-225 วัน ในบ่อคอนกรีตแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยม

การทดลองในการศึกษารังนี้เป็นการพยายามหาต้นแบบการเพาะเลี้ยงอึ่งปากขวดในสภาพจำลองธรรมชาติที่ง่ายต่อการปฏิบัติ สามารถนำส่งวิธีการที่ได้ให้กับเกษตรกรที่สนใจโดยใช้วัสดุที่หาในท้องถิ่นหรือทำการสร้างได้เองไม่ซับซ้อน บ่อคอนกรีตแบบกลมเป็นวัสดุหนึ่งที่ทำได้ง่ายซึ่งโดยปกติแล้วใช้สำหรับระบบบำบัดและถูกประยุกต์ในการปลูกต้นไม้ อย่างไรก็ตามข้อดีของประการหนึ่งของบ่อคอนกรีตแบบกลมคือมีพื้นที่จำกัด แต่ข้อดีเป็นวัสดุที่หาซื้อได้ง่าย ทนทานและมีขนาดไม่ใหญ่มากจึงง่ายต่อการจัดวาง ใช้พื้นที่เลี้ยงน้อยและการดูแลภายในบ่อทำได้สะดวกรวมถึงอึ่งปากขวดอาจจับเหยื่อได้ง่ายกว่าเพราะมีพื้นที่น้อย บ่อชนิดนี้จึงถูกเลือกเป็นหนึ่งบ่อต้นแบบในการเพาะเลี้ยงอึ่งปากขวด ในอีกรูปแบบของการเลี้ยงนั้น บ่อรูปสี่เหลี่ยมเพราะสร้างได้ง่าย บ่อคอนกรีตถูกสร้างจากอิฐบล็อกที่ใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งบ่อคอนกรีตแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยมถูกตั้งตามรูปทรงของวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นโดยไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาว่ารูปทรงที่ต่างกันนั้นจะมีผลต่อการเจริญเติบโต แต่ประการใด บ่อทั้งสองแบบมีข้อดีที่แตกต่างกัน ข้อดีประการหนึ่งของบ่อคอนกรีตแบบกลมคือมีพื้นที่จำกัดแต่ถูกสร้างมาสำเร็จรูป ใช้ต้นทุนน้อย ในขณะที่บ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมผู้เลี้ยงสามารถกำหนดความกว้างและสูงตามต้องการ ซึ่งในการศึกษารังนี้ พื้นที่ภายในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมเท่ากับ 25 ตารางเมตร ส่วนบ่อคอนกรีตแบบกลมเท่ากับ 1.13 ตารางเมตร อย่างไรก็ตาม บ่อแบบสี่เหลี่ยมนี้ไม่มีจำหน่ายสำเร็จรูป ผู้เลี้ยงต้องทำการสร้างเอง การเลี้ยงทั้งสองรูปแบบมีการควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องให้เหมือนกัน เช่น ชนิดและปริมาณอาหารที่ให้ ลูกอึ่งปากขวดได้มาจากพ่อแม่พันธุ์คู่เดียวกันและสถานที่เลี้ยง แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือพื้นที่ภายในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมมีมากกว่าและด้านบนเปิดโล่ง สภาพเลียนแบบธรรมชาติจึงมีมากกว่า ส่วนบ่อคอนกรีตแบบกลมมีพื้นที่น้อยกว่าและด้านบนบ่อปิดด้วยแผ่นกระเบื้องเพื่อกันน้ำท่วมขังในบ่อ หากผลการศึกษาบ่งชี้ว่าทั้งสองวิธีให้ผลการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกันหรือบ่อคอนกรีตแบบกลมดีกว่า การเลือกต้นแบบการเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบกลมน่าจะเป็นทางเลือกแรกเพราะมีความสะดวกหลายด้านดังที่กล่าวข้างต้น แต่หากผลการทดลองตรงกันข้ามเป็นการบ่งชี้ว่าสัตว์ชนิดนี้ต้องมีพื้นที่เพื่อดำเนินกิจกรรมทางชีววิทยาเพื่อการเจริญเติบโต การเลี้ยงในพื้นที่จำกัดเป็นสิ่งที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นหากต้องการเพาะเลี้ยง บ่อที่มีพื้นที่กว้างมีความเหมาะสมกว่า

การศึกษาแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง (Treatment) แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย 3 ซ้ำ (Replication)

ชุดการทดลองที่ 1 เป็นการเลี้ยงอึ่งปากขวดในสภาพบ่อคอนกรีตแบบกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 เซนติเมตร มีความสูงเท่ากับ 80 เซนติเมตร ใส่ดินร่วนปนทรายให้มีความหนา 30 เซนติเมตร และคลุมผิวด้วยฟางข้าวเพื่อรักษาความชื้นและปิดด้านบนด้วยแผ่นกระเบื้องเพื่อกันฝน (รูปที่ 3A)

ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการเลี้ยงอึ่งปากขวดในสภาพบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 5x5x1 เมตร (รูปที่ 3C) วัสดุเป็นอิฐบล็อก เทคานด้านล่างลงไป 30 เซนติเมตร เพื่อความแข็งแรงของบ่อและกันอึ่งปากขวดมุดหนี ด้านบนเปิดโล่งแต่มีคานรอบและปิดทับด้วยแผ่นสังกะสีให้มีส่วนยื่นเข้าไปในบ่อประมาณ 10 เซนติเมตร เพื่อกันอึ่งปากขวดปีนหนี (รูปที่ 3D) พื้นบ่อใส่ดินร่วนปนทรายให้มีความหนา 30 เซนติเมตร และคลุมผิวด้วยฟางข้าวเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 ด้านข้างของบ่อเจาะเป็นช่องเปิดเปิดสำหรับระบายน้ำ (รูปที่ 3E)

ในแต่ละซ้ำของทั้ง 2 ชุดการทดลอง เริ่มต้นจากใช้ลูกอึ่งปากขวดระยะ 1 วัน บ่อละ 300 ตัว สุ่มชั่งน้ำหนักจำนวน 50 ตัวของแต่ละซ้ำเพื่อเป็นข้อมูลน้ำหนักตัวเริ่มต้น อาหารที่ใช้คือปลวก (*Macrotermes* sp.) ดังแสดงในรูปที่ 3B จำนวน 1 รังที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (ทุบให้แตก) วันละ 1 ครั้ง เวลา 08.30 น. ร่วมกับการให้หากินเองตามธรรมชาติจากอาหารที่หาได้ในบ่อเลี้ยง เช่น กิ่งก้อ ไม้เตียน และมด เป็นต้น ทำการบันทึกภาพ สังเกตลักษณะ และสุ่มชั่งน้ำหนักจำนวน 50 ตัวจากทุกบ่อจำนวน 6 ครั้ง ได้แก่ อายุ 1, 45, 90, 135, 180 และ 225 วัน

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ยอึ่งปากขวดที่เพิ่มขึ้นภายในระบบการเลี้ยงเดียวกันที่อายุ 1, 45, 90, 135, 180 และ 225 วัน โดยใช้ One-way repeated measure ANOVA จากนั้นทดสอบความแตกต่างของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นด้วย Bonferroni

method ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 นอกจากนี้ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักระหว่างระบบการเลี้ยง (ในบ่อคอนกรีตแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยม) ในแต่ละช่วงอายุโดยใช้วิธี Independent-samples t-test



รูปที่ 3 (A) ลักษณะบ่อคอนกรีตแบบกลม, (B) อาหารที่ให้ประจำวันคือปลวก, (C) สภาพบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมด้านบนเปิดโล่ง, (D) ขอบบ่อมีคานรอบและปิดทับด้วยแผ่นสังกะสีให้มีส่วนยื่นเข้าไปในบ่อกันอึ่งปากขวดปีนหนี, (E) ด้านข้างของบ่อเจาะเป็นช่องปิดเปิดสำหรับระบายน้ำ

5. จริยธรรมการวิจัยในสัตว์

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการขอและอนุญาตให้ดำเนินการวิจัยในสัตว์ทดลอง เลขที่ใบอนุญาตใช้สัตว์ U1-10125-2565 และได้ขออนุมัติให้ดำเนินการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ID# IACUC PBRU 230166003

ผลการวิจัย

การเลี้ยงและศึกษาการเจริญของอึ่งปากขวดอายุ 1-225 วัน ในบ่อคอนกรีตแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยม

การศึกษาครั้งนี้ พบว่า สามารถจัดให้มีการผสมพันธุ์อึ่งปากขวดเลียนแบบธรรมชาติได้ ลูกอ๊อดมีพัฒนาการจนฟักออกมาเป็นลูกอ๊อดภายใน 24 ชั่วโมง หลังการผสมพันธุ์ ในวันที่ 10 หลังการฟักตัวลูกอ๊อดมีการเจริญของขาหลังและเห็นได้อย่างชัดเจนในวันที่ 15 และในวันที่ 15 ยังพบการเจริญของปุ่มขาหน้า การพัฒนาดำเนินไปโดยสามารถพัฒนาเป็นลูกอึ่งปากขวด (Froglet) ในวันที่ 27 (หลังการพัฒนาเป็นลูกอ๊อด) ลักษณะที่เด่นชัดคือส่วนหางสลายไป มีขนาดความยาวจากหัวถึงกันประมาณ 1 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 50 ตัว อยู่ระหว่าง 0.12-0.28 กรัม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 กรัม มีลักษณะคล้ายกับตัวเต็มวัยแต่มีขนาดเล็กกว่า ส่วนหัวกลมมน ลำตัวค่อนข้างอ้วนป้อม ผิวหนังสีน้ำตาลเข้มและมีลายสีน้ำตาลอ่อนพาดด้านบนของลำตัว โดยแต่ละตัวมีลายพาดนี้ มีลักษณะเฉพาะตัว (รูปที่ 4 A, B) ในระยะนี้ยังไม่สามารถระบุเพศได้ อึ่งปากขวดอายุ 45 วันเริ่มมีจุดสีเหลืองส้มกระจายด้านบนของลำตัวและขาแต่จุดสีดังกล่าวยังไม่ชัดเจน ลักษณะเด่นที่ต่างจากลูกอึ่งปากขวดระยะ 1 วัน คือขีดความสามารถในการพองตัวที่มากขึ้นทำให้ดูเหมือนอึ่งปากขวดระยะนี้มีลำตัวอ้วนกลมมากกว่าลูกอึ่งปากขวดระยะ 1 วัน นอกจากนี้ลายพาดสีน้ำตาลอ่อนที่หลังยังคงปรากฏให้เห็นโดยแยกสีเข้มจางของผิวลำตัวได้ อึ่งปากขวดอายุ 90-225 วัน มีลักษณะคล้ายกับอึ่งปากขวดอายุ 45 วัน ตามที่ได้บรรยายข้างต้น สิ่งที่แตกต่างคือขนาดตัวที่โตและสีของจุดสีเหลืองส้ม

ที่เด่นชัดขึ้น (ข้อมูลจากการเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยม) นอกจากนั้น สามารถจำแนกเพศได้อย่างชัดเจนโดยเพศผู้มีจุดสีเหลืองส้มที่เด่นชัดกว่าโดยเฉพาะที่อายุ 225 วัน สีของผิวหนังเป็นสีน้ำตาลอมเขียว ส่วนเพศเมียมีลำตัวอ้วนกลมกว่า สีของผิวหนังเป็นสีน้ำตาลอมม่วง (รูปที่ 4C) ในขณะที่ลักษณะความแตกต่างทางเพศนี้ยังไม่สามารถจำแนกได้จากการเลี้ยงบ่อคอนกรีตแบบกลม

การเลี้ยงทั้ง 2 แบบ พบว่า ลูกอึ่งปากขวดตอบสนองต่ออาหารที่ให้ โดยเห็นการรุมกินปลวกซึ่งเป็นอาหารหลักที่ให้ (รูปที่ 5) การศึกษาการเจริญเติบโตต่อเนื้อที่อายุ 1, 45, 90, 135, 180 และ 225 วัน ในการเลี้ยงบ่อคอนกรีตแบบกลมพบการเจริญเติบโต โดยดูการสู่งซึ่งน้ำหนักขี้ละ 50 ตัว ได้ผลเท่ากับ 0.20, 0.64, 1.57, 2.70, 3.84 และ 5.04 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และ รูปที่ 6-8) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของแต่ละช่วงอายุในการทดลองเดียวกันนี้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)



รูปที่ 4 อึ่งปากขวดที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยม (Square cement pond) (A, B) อายุ 1 วัน, (C) อายุ 225 วัน

หมายเหตุ: เครื่องหมายดาวสีน้ำตาลแสดงแถบสีน้ำตาลที่พาดอยู่ด้านบนของลำตัว เครื่องหมายดาวสีเหลืองแสดงจุดสีที่ลำตัว และขาซึ่งปรากฏให้เห็นทั้งสองเพศ โดยเพศผู้ (Male) มีจุดสีที่ชัดเจนกว่า

ด้วยระบบการเลี้ยงที่ควบคุมปัจจัยอาหารชนิดเดียวกัน ปริมาณให้เท่ากัน แหล่งที่มาของสัตว์ทดลองมาจากพ่อแม่พันธุ์เดียวกันและบริเวณเลี้ยงอยู่ในอาณาบริเวณเดียวกัน โดยมีความต่างกันที่จำนวนพื้นที่การเลี้ยง การเลี้ยงบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมได้น้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 0.20, 4.15, 10.84, 18.95, 23.66 และ 24.65 กรัม ตามลำดับ ที่อายุ 1, 45, 90, 135, 180 และ 225 วัน (ตารางที่ 1 และ รูปที่ 6-8) มีลักษณะกราฟแสดงการเจริญเติบโตคล้ายอักษรตัวเอส (S-shaped) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของแต่ละช่วงอายุในการทดลองเดียวกันนี้ (ในบ่อแบบสี่เหลี่ยม) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบการเลี้ยงทั้งสอง พบว่า การเลี้ยงบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าการเลี้ยงบ่อคอนกรีตแบบกลมที่อายุ 45, 90, 135, 180 และ 225 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยเมื่อเลี้ยงไปเป็นระยะเวลา 225 วัน พบตัวที่มีน้ำหนักตัวมากที่สุดของการเลี้ยงบ่อคอนกรีตแบบกลมคือ 6.99 กรัม ส่วนตัวที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดคือ 2.75 กรัม ในขณะที่การเลี้ยงบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมพบตัวที่มีน้ำหนักตัวมากที่สุดเท่ากับ 32.78 กรัม ส่วนตัวที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดคือ 16.27 กรัม



รูปที่ 5 อี้งปากขวดที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยม ลูกอี้งปากขวดตอบสนองต่ออาหารที่ให้โดยเห็นการรุมกินปลวก ซึ่งเป็นอาหารหลักที่ให้

ตารางที่ 1 น้ำหนักเฉลี่ยของอี้งปากขวดอายุ 1, 45, 90, 135, 180 และ 225 วัน จากการเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบกลม และแบบสี่เหลี่ยม

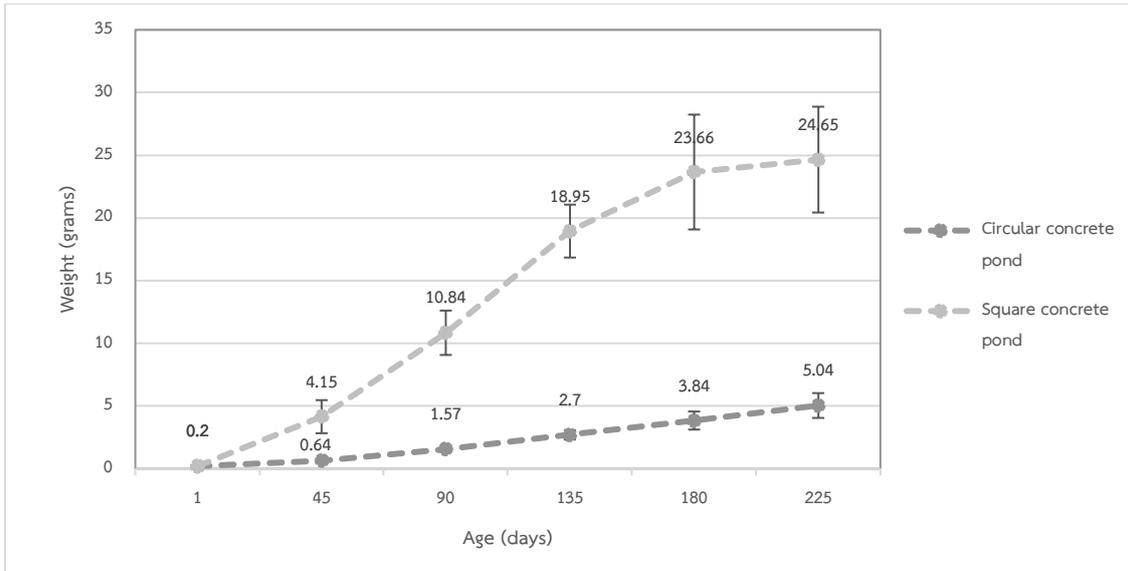
อายุลูกอี้ง	Treatment	
	บ่อคอนกรีตแบบกลม (น้ำหนักเฉลี่ย±SD)	บ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยม (น้ำหนักเฉลี่ย±SD)
อายุ 1 วัน	0.20±0.04 ^f	0.20±0.03 ^f
อายุ 45 วัน	0.64±0.16 ^e	4.15±1.33 ^e
อายุ 90 วัน	1.57±0.25 ^d	10.84±1.77 ^d
อายุ 135 วัน	2.70±0.37 ^c	18.95±2.11 ^c
อายุ 180 วัน	3.84±0.72 ^b	23.66±4.58 ^b
อายุ 225 วัน	5.04±1.00 ^a	24.65±4.22 ^a

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันบนน้ำหนักเฉลี่ยของแต่ละช่วงอายุในการเลี้ยงระบบเดียวกันแสดงถึงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$: One-way repeated measure ANOVA)

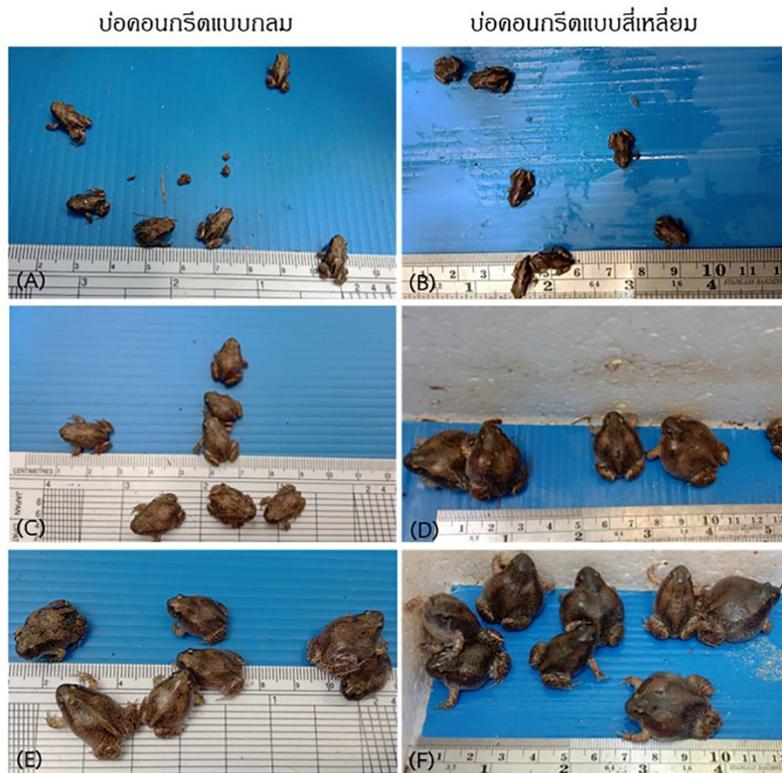
ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์ความต่างของน้ำหนักเฉลี่ยลูกอี้งปากขวดอายุ 1, 45, 90, 135, 180 และ 225 วัน ด้วยวิธี Independent-samples t-test ระหว่างการเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบกลมและบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยม

อายุลูกอี้ง	ประเภทบ่อเลี้ยง	t	p-value
อายุ 1 วัน	แบบกลม - แบบสี่เหลี่ยม	0.00	1.00
อายุ 45 วัน	แบบกลม - แบบสี่เหลี่ยม	-32.16	<0.001*
อายุ 90 วัน	แบบกลม - แบบสี่เหลี่ยม	-63.36	<0.001*
อายุ 135 วัน	แบบกลม - แบบสี่เหลี่ยม	-92.90	<0.001*
อายุ 180 วัน	แบบกลม - แบบสี่เหลี่ยม	-52.31	<0.001*
อายุ 225 วัน	แบบกลม - แบบสี่เหลี่ยม	-55.39	<0.001*

หมายเหตุ: *= แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)



รูปที่ 6 น้ำหนักเฉลี่ยของอึ่งปากขวดอายุ 1, 45, 90, 135, 180 และ 225 วัน จากการเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยม



รูปที่ 7 (A) อึ่งปากขวดที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบกลม (Circular cement pond) อายุ 1 วัน, (C) 45 วัน, (E) 90 วัน และ (B) อึ่งปากขวดที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบบ่อสี่เหลี่ยมอายุ 1 วัน, (D) 45 วัน และ (F) 90 วัน



รูปที่ 8 (A) ภาพอึ่งปากขวดที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบกลมอายุ 135 วัน, (C) 180 วัน, (E) 225 วัน,
(B) อึ่งปากขวดที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบบ่อสี่เหลี่ยมอายุ 135 วัน, (D) 180 วัน และ (F) 225 วัน

การอภิปรายผล

อึ่งปากขวดเป็นสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกที่ชีววิทยาของสัตว์ชนิดนี้มีค่อนข้างจำกัด ทั้งนี้เพราะอึ่งปากขวดใช้ชีวิตส่วนใหญ่อยู่ใต้ดิน โดยขึ้นมาเพื่อผสมพันธุ์เฉพาะต้นฤดูฝนเท่านั้น การศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับสัตว์ชนิดนี้เป็นลักษณะของการศึกษาที่สามารถสังเกตได้ง่าย อาทิเช่น พฤติกรรมการสืบพันธุ์ (Altig and Rowley, 2014) พันธุศาสตร์ (Nonsrirach and Lauprasert, 2019) และสัณฐานวิทยา (Loajumpon et al., 2012) เป็นต้น

พนมเทียน (2554) และสิรินัตร์ และคณะ (2555) ประสบผลสำเร็จในการเพาะอนุบาลอึ่งปากขวดในสถานที่เพาะเลี้ยงเลียนแบบธรรมชาติ เป็นสิ่งที่คลายความกังวลได้ระดับหนึ่งว่าการเพาะให้เจริญถึงระยะลูกอึ่งปากขวดแล้วปล่อยคืนสู่ธรรมชาติเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยป้องกันไม่ให้สัตว์ชนิดนี้สูญพันธุ์ การสร้างความรู้ให้ทราบถึงชีววิทยาการเจริญเติบโตในระยะลูกอึ่งเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อพัฒนาให้สัตว์ชนิดนี้เพาะเลี้ยงในสภาพเลียนแบบธรรมชาติได้ การศึกษาค้นคว้าวิจัยได้ติดตามการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ระยะลูกอึ่งอายุ 1 วัน จนกระทั่งเจริญเป็นอึ่งปากขวดอายุ 225 วัน โดยใช้วิธีที่ง่ายและสามารถนำไปสู่การปฏิบัติได้โดยชาวบ้าน การเลี้ยงทำในบ่อคอนกรีต (บ่อแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยม) และให้ปลวกเป็นอาหารจึงเป็นตัวเลือกที่ดีเพราะวัสดุหาซื้อง่ายในท้องถิ่นและสร้างได้ง่าย

ลูกอ๊อดที่เลี้ยงเจริญเป็นลูกอึ่งในวันที่ 27 ส่วนหางสลายไป มีพัฒนาการของขาหน้าและหลัง น้ำหนักตัวอยู่ในช่วงระหว่าง 0.12-0.28 กรัม (สุ่มซัง 50 ตัว) มีลักษณะตามที่ได้บรรยายในผลการทดลอง ผิวหนังสีน้ำตาลเข้มและมีลายสีน้ำตาลอ่อนพาด

ด้านบน (Dorsal) ของลำตัว โดยแต่ละตัวมีลายพาดนี้มีลักษณะเฉพาะตัว ผู้วิจัยมีทรรศนะว่าลักษณะเช่นนี้ทำให้กลมกลืนกับธรรมชาติและอำพรางตัวจากผู้ล่าได้ดี ด้วยขนาดตัวของลูกอึ่งภายหลัง Metamorphosis ที่สมบูรณ์ ซึ่งไม่โตมากนัก (ขนาดความยาวจากหัวถึงก้นประมาณ 1 เซนติเมตร) และยังไม่ปราดเปรียว ขนาดตัวของลูกอึ่งสามารถบ่งชี้ถึงชนิดอาหารที่ลูกอึ่งปากขวดกินในธรรมชาติว่าน่าจะเป็นสัตว์จำพวกแมลงที่ขนาดพอให้จับกินได้ง่าย ดังนั้น อาหารหลักที่ให้ประจำวันในการศึกษาครั้งนี้คือปลวก ซึ่งมีขนาดตัวที่พอเหมาะและเคลื่อนที่ช้าทำให้จับได้ง่าย สัตว์ชนิดนี้ได้รับการพิจารณาว่าเป็นแหล่งอาหารธรรมชาติที่หาได้ในท้องถิ่นในการประยุกต์มาใช้เป็นอาหารสัตว์ซึ่งเกิดจากภูมิปัญญาและองค์ความรู้ของชุมชน โดยเมฆและคณะ (2564) ได้ศึกษาชนิดของอาหารที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนต่อการเลี้ยงปลาคุยกัยักษ์ในกระชังบกกพบว่า การให้อาหารสำเร็จรูปร่วมกับปลวกมีน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุดซึ่งความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) การให้อาหารเม็ดร่วมกับมดแดงและจิ้งหรีด นอกจากนั้นปลวกยังถูกใช้เป็นแหล่งโปรตีนในการเลี้ยงนกกกระทาญี่ปุ่น (Deori et al., 2019) ตามที่ปลวกหาได้ง่ายในท้องถิ่น ดังนั้นการใช้สัตว์ชนิดนี้เป็นอาหารในการเลี้ยงอึ่งปากขวดจึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ

การเลี้ยงในสภาพกักขัง (Captive condition) สามารถทำได้และประสบผลสำเร็จในกบหลายชนิดในระยะลูกอ๊อด อาทิ เช่น *Osteopilus pulchrilineatus* (Diaz et al., 2014), *Lithobates areolatus* (Stiles et al., 2016), *Pelophylax perezii* and *P. shqipericus* (Michaels and Försäter, 2017), *Melanophryniscus klappenbachi* (Behr and Rödder, 2018), *Hyalinobatrachium valerioi* (Redbond et al., 2019) นอกจากนั้น การเลี้ยงในสภาพกักขังนี้สามารถประสบผลสำเร็จในระยะลูกกบหลายชนิดเช่นกัน เช่น *Platymantis vitianus* (Narayan et al., 2009), *Hyperolius pickersgilli* (Plessis et al., 2022) และ *Polypedates otitophus* (Galunder and Rödder, 2018) การเลี้ยงในบ่อคอนกรีตเป็นรูปแบบหนึ่งของการเลี้ยงในสภาพการเลี้ยงกักขังเลียนแบบธรรมชาติมักใช้กับการเลี้ยงสัตว์ที่เป็นสัตว์เศรษฐกิจ เช่น ปลาตุ๊ก (Oti and Nwani, 2007) ปลานิล *Tilapia niloticus* (Laghari et al., 2011) กบ (ทองยูน และคณะ 2554) ปลาไหล (นิชาภา และคณะ, 2564) ปูทะเล (นฤชล และคณะ 2562) ปูนา (กัลย์กนิต และสุวิมล, 2563) และจิ้งหรีด (วัชรินทร์ และสุนทร, 2564) แต่กรณีของอึ่งปากขวดนั้นหากทำได้จะเป็นการเพิ่มช่องทางอาชีพให้กับผู้ที่สนใจทั้งการจำหน่ายและเพาะเลี้ยงเพื่อการอนุรักษ์

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการพัฒนาการเลี้ยงอึ่งปากขวดในบ่อคอนกรีต 2 รูปแบบ กล่าวคือชุดการทดลองที่ 1 เป็นการเลี้ยงอึ่งปากขวดในสภาพบ่อคอนกรีตแบบกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 เซนติเมตร มีความสูงเท่ากับ 80 เซนติเมตร ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการเลี้ยงอึ่งปากขวดในสภาพบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมขนาดกว้างยาวสูง เท่ากับ 5x5x1 เมตร ทั้งสองระบบได้รับการออกแบบให้จ่ายต่อการนำไปใช้จริงโดยเกษตรกร มีการไถดินร่วนปนทรายลงไปให้เป็นพื้นของอึ่งปากขวด และมีฟางหรือหญ้าแห้งคลุมด้านบนเพื่อรักษาความชื้น บ่อเลี้ยงทั้ง 2 แบบมีข้อดีข้อด้อยที่ต่างกัน การเลี้ยงอึ่งปากขวดในสภาพบ่อคอนกรีตแบบกลมเป็นการประหยัดพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับเกษตรกรที่มีพื้นที่จำกัด ซึ่งข้อดีนี้ได้ถูกนำไปปรับใช้ ในกรณีของการเลี้ยงปลาไหลนาในบ่อคอนกรีตแบบกลมโดยนิชาภา และคณะ (2564) ผู้วิจัยได้ให้ความเห็นข้อดีของการเลี้ยงในบ่อคอนกรีตว่าทำให้ทราบจำนวนปลาไหลที่เพิ่มขึ้นและลดลงได้ง่าย การจัดการในบ่อคอนกรีตจัดการได้ง่ายกว่าการเลี้ยงแบบอื่น ๆ และสามารถควบคุมปัจจัยในบ่อคอนกรีตได้ การเลี้ยงรูปแบบนี้จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพาะพันธุ์ปลาไหลอย่างง่ายสำหรับผู้เริ่มต้นหัดเลี้ยง อย่างไรก็ตาม มีข้อด้อยเรื่องพื้นที่ซึ่งมีค่อนข้างจำกัด ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการเลี้ยงอึ่งปากขวดในสภาพบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมมีข้อดีคือมีสภาพใกล้เคียงกับธรรมชาติ พื้นที่มีมากกว่า แต่ข้อด้อยคือต้องมีพื้นที่ในการสร้างคอก และการป้องกันศัตรูธรรมชาติทำได้ไม่สะดวกเท่ากับระบบแบบบ่อกลม ซึ่งหากผลการศึกษานี้ได้ไม่แตกต่างกันการเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบกลมน่าจะเป็นตัวเลือกที่ดีกว่า การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งประเด็นที่การเจริญเติบโตเป็นหลัก โดยไม่ได้พิจารณาที่อัตราการรอดเนื่องจากมีข้อจำกัดการนับอัตราการรอดจากการเลี้ยงบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมซึ่งทำได้ลำบากเพราะมีพื้นที่กว้าง อย่างไรก็ตาม การประเมินคร่าว ๆ สามารถระบุได้ว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทั้ง 2 ระบบแต่ละขำมีอัตราการรอดอย่างน้อย 16.66% ทั้งนี้เพราะสามารถกู้เจอต้มมีชีวิตเพื่อนำมาชั่งน้ำหนักได้ครบ 50 ตัว (จากเริ่มต้นปล่อยเลี้ยงจำนวนขำละ 300 ตัว)

ผลจากการศึกษาให้ข้อมูลการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน น้ำหนักเฉลี่ยอึ่งปากขออายุ 45, 90, 135, 180 และ 225 วัน ในการเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมมากกว่าการเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบกลมอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับแต่ละช่วงอายุ ตัวอย่างที่แสดงให้เห็นชัดเจนคือน้ำหนักตัวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจาก 0.20 กรัม เป็น 4.15 กรัม (20.75 เท่า) ใน 45 วันแรก ในขณะที่การเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบกลมเพิ่มขึ้นจาก 0.20 กรัม เป็น 0.64 กรัมใน (3.2 เท่า) โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (อายุ 225 วัน) น้ำหนักตัวเฉลี่ยของอึ่งปากขอที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบกลมมีน้ำหนักเพียง 5.04 กรัม ในขณะที่การเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมมีน้ำหนักมากถึง 24.65 กรัม ตามที่องค์ความรู้ด้านชีววิทยาของสัตว์ชนิดนี้ยังมีน้อยส่งผลให้ขาดข้อมูลการเจริญเติบโตของอึ่งปากขอในธรรมชาติที่จะนำมาเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงในสภาพกักขังในการศึกษารังนี้ อย่างไรก็ตาม รูปแบบการเจริญเติบโตที่พบในการศึกษารังนี้โดยเฉพาะชุดการทดลองที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยม มีลักษณะคล้ายกับการเจริญเติบโตของกบชนิด *Rana dybowskii* (Tong et al., 2018) ที่พบว่า กราฟแสดงการเจริญเติบโต (Growth curve) เป็นรูปอักษรตัวเอส กล่าวคือ มีการเจริญเติบโตในช่วงแรกหลังจากนั้นการเจริญเติบโตจะชะลอตัว นอกจากนั้นลักษณะการเจริญเติบโตแบบอักษรตัวเอสนี้ถูกรายงานไว้ในการศึกษาของ Sretarugsa et al. (1997) ที่ทำการศึกษารังการเจริญเติบโตของกบ *Hoplobatrachus tigerinus* และ *Lithobates catesbeianus* โดยใช้อาหารที่มีระดับโปรตีนต่างกัน (21, 25, 29 และ 33%) โดยพบว่า ในช่วง 1-4 เดือนแรก ลูกกบมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้อาจเพราะเป็นรูปแบบทางชีววิทยาการเจริญเติบโตเพื่อความอยู่รอดในการเร่งการเติบโตให้ไวที่สุดช่วงแรกเพื่อให้ตัวเองเป็นผู้ล่าที่มีประสิทธิภาพและหนีการถูกล่า

ผลที่ได้บ่งชี้ว่าเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมเหมาะสมกว่าทั้งนี้อาจเนื่องมาจากภายในบ่อเลี้ยงซึ่งด้านบนเปิดโล่ง มีพื้นที่ภายในบ่อจำนวน 25 ตารางเมตร ความเหมือนกับสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติมีมากกว่า มากพอที่ให้แมลงอื่น ๆ เข้ามาอาศัยในบ่อเลี้ยงนี้และเป็นอาหารเสริมของอึ่งปากขอ ในขณะที่ในบ่อคอนกรีตแบบกลมแม้จะมีข้อดีด้านประหยัดพื้นที่และการปฏิบัติงานเลี้ยงทำได้ง่ายกว่า แต่ด้วยที่มีพื้นที่ภายในบ่อเพียง 1.13 ตารางเมตร และด้านบนถูกปิดเพื่อกันฝน สัตว์อื่น ๆ ที่สามารถเป็นอาหารนอกเหนือจากปลวกไม่สามารถเข้ามาได้ อาหารที่ได้รับน่าจะมีเพียงปลวกเพียงอย่างเดียวส่งผลให้การเจริญเติบโตไม่ดีเท่าการเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยม ในการเลี้ยงสภาพกักขังนั้น Mansano et al. (2017) ได้ให้ทรรศนะว่านอกจากปัจจัยเรื่องอาหารแล้วมีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกบซึ่งรวมถึงสภาพแวดล้อมในกักขัง โดยปกติแล้วสัตว์ที่สามารถเข้าถึงอาหารได้มากจะเติบโตได้เร็วและมีขนาดใหญ่ ในทางตรงกันข้ามเมื่ออาหารลดลงหรือเข้าถึงได้ยาก สัตว์ต่าง ๆ มีแนวโน้มที่จะเติบโตช้ากว่าและมีขนาดเล็กลง (Day and Rowe, 2002) ผลที่ได้ในการศึกษารังนี้แสดงให้เห็นว่าอึ่งปากขอจะมีความต้องการอาหารที่หลากหลาย การให้อาหารชนิดใดชนิดหนึ่งไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตที่ดี แม้ว่าในการศึกษารังนี้ได้ใช้ปลวกเป็นอาหารหลักก็ตาม โดยมีรายงานว่าปลวกในสกุลนี้อุดมไปด้วยสารอาหารโดยมีระดับโปรตีนมากถึง 20.40-48.80% (Serrano and Poku, 2014) มีคาร์โบไฮเดรต 32.8% (Siulapwa et al., 2012) มีแร่ธาตุหลัก (Major minerals) และแร่ธาตุรอง (Minor minerals) โดยเฉพาะมีโปแตสเซียม (K) ถึง 667.96 mg/100g (Akullo et al., 2018) นอกจากนั้นยังมีไขมันและอุดมไปด้วยวิตามินต่าง ๆ (Atowa et al., 2021) อย่างไรก็ตาม แมลงอื่น ๆ น่าจะมีส่วนสำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโต ดังนั้น การจัดสภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยงให้มีความสมบูรณ์ใกล้เคียงกับสภาพตามธรรมชาติเหมาะแก่การมาอยู่อาศัยของแมลงต่าง ๆ น่าจะเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของอึ่งปากขอที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยม

บทสรุป

การเลี้ยงอึ่งปากขอเลียนแบบในบ่อคอนกรีตสามารถทำได้โดยปลวกเป็นอาหารที่ให้ประจำ ผลการศึกษารังชี้ว่า การเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมให้ผลการเจริญเติบโตมากกว่าการเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบกลมอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับแต่ละช่วง

อายุ หากต้องการส่งเสริมการเลี้ยงควรค้ำถึงพื้นที่ในบ่อเลี้ยงต้องมีมากพอ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการมีพื้นที่ที่มากกว่านั้น เอื้ออำนวยต่อกิจกรรมทางชีววิทยา นอกจากนี้ สภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติน่าจะเป็นอีกปัจจัยเกื้อหนุน บ่อคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมซึ่งด้านบนของบ่อเปิดโล่งอำนวยให้มีสัตว์อื่นที่สามารถเป็นอาหารของอึ่งปากขวดเข้ามาอาศัยเป็น การเพิ่มโอกาสในการเจริญเติบโตดีกว่าการให้ปลวกเพียงอย่างเดียว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยนักวิจัย รวมถึงสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี สำหรับการอำนวยความสะดวก ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีในการสนับสนุนทุนดำเนินงานวิจัยและการประสานงาน และขอขอบคุณกองทุนฯ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สัญญาเลขที่ งบประมาณ-002-2565) ปีงบประมาณ 2565 สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยจนทำให้งานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- กัลย์กนิต พิสมยรมย์ และสุวิมล ผดาศรี. (2563) ผลของแคลเซียมต่อการเจริญเติบโต และการลอกคราบของปูนา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 51(1): 443-448.
- ทองย่น ทองคลองไทร, วสันต์ ป้อมเสมา, วุฒิ รัตนวิชัย และชัยสงคราม ภูกิ่งเงิน. (2554). การพัฒนารูปแบบการเลี้ยงกบ ลูกผสมในบ่อซีเมนต์ กระชังและบ่อดิน. ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2554. เรื่องการ พัฒนาอนาคตชนบทไทย: ฐานรากที่มั่นคงเพื่อการพัฒนาประเทศไทยอย่างยั่งยืน 27-29 มกราคม 2554. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. 38-43.
- ธเนศ นนท์ศรีราช (2562). ความหลากหลายทางพันธุกรรม โครงสร้างทางพันธุกรรม และความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของ อึ่ง ปากขวด (*Glyphoglossus molossus*) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- นฤชล ภัทราปัญญาวงศ์, วีรภัก จรเกตุ และ ปิยะวัฒน์ พรหมรักษา (2562). ผลของการเลี้ยงปูทะเล (*Scylla spp.*) เนื้อ โพรกในบ่อซีเมนต์ และความน่าลงทุนในการเลี้ยงปูทะเลแบบพัฒนาในกล่องแยกเลี้ยงเดี่ยว. ใน การประชุมวิชาการ ระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 1. เรื่อง Smart Research and Innovation to Thailand 4.0 27-28 มีนาคม 2562. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. นครศรีธรรมราช. 1-7.
- นิชภา ฉัตรระการ, นันทิญา มณีโชติ, ชูจิต สารระภาค และอารีย์ ไกรสุรย์. (2564). ผลของอาหารที่ต่างกัน ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของบ่อเลี้ยงและการเจริญเติบโตของปลาไหลนา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 40(4): 364-372.
- พนมเทียน นาควิจิตร (2554). การเพาะพันธุ์อึ่งเผ้า. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 36/2554: 1-27.
- เมฆ มากลัน, กฤติมา กษมาวุฒิ และสำเนา เสาวกุล. (2564). ชนิดของอาหารที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนต่อการเลี้ยงปลาตู้ ยกช่ในกระชังบก. วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี. 2(1): 37-49.
- วัชรพร เลื่อมใส และสุนทร นาดี (2564) คู่มือการเลี้ยงจิ้งหรีดฉบับประชาชน. (2564). ค้นเมื่อ 10 เมษายน 2565. <https://region6.dld.go.th/webnew/images/Z016.pdf>.

- สิริฉัตร สุนทรวิภาต, พงษ์พันธ์ สุนทรวิภาต, อภิชาติ เต็มวิชชากร และประจวบ สายบุญ. (2555). การเพาะและอนุบาลอึ่งปากขวด. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 6(2): 12-22.
- Akullo J., Agea J.G., Obaa B.B., Okwee-Acai J. and Nakimbugwe D. (2018). Nutrient composition of commonly consumed edible insects in the Lango sub-region of northern Uganda. International Food Research Journal. 25(1): 159-165.
- Altig R. and Rowley J.L.L. (2014). The breeding behavior of *Glyphoglossus molossus* and the tadpoles of *Glyphoglossus molossus* and *Calluella guttulata* (Microhylidae). Zootaxa. 3811(3): 381-386.
- Atowa C.O., Okoro B.C., Umegoc E.C., Atowa A.O., Emmanuel O., Udee V.C. and Ugboju E.A. (2021). Nutritional values of *Zonocerus variegatus*, *Macrotermes bellicosus* and *Cirina forda* insects: Mineral composition, fatty acids and amino acid profiles. Scientific African. 12: 1-10.
- Behr N. and Rödder D. (2018). Larval development stages and husbandry of the Rice Frog *Microhyla mukhlesuri* Hasan et al., 2014 (Anura: Microhylidae). Bonn zoological Bulletin. 67(2): 109-116.
- Day T. and Rowe L. (2002). Developmental thresholds and the evolution of reaction norms for age and size at life-history transitions. American Naturalist. 159(4): 338-350.
- Deori N., Saikia R. and Gogoi R. (2019). Termites as protein source for economic production of Japanese quail. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 8(6): 1886-1891.
- Diaz L.M., Inchaustegui S.J. and Marte C. (2014). Preliminary experiences with the husbandry, captive breeding, and development of the hispaniolan yellow tree frog, *Osteopilus pulchrilineatus* (Amphibia: Anura: Hylidae), with Ecological and ethological notes from the wild. Herpetological Review. 45(1): 52-59.
- Galunder K. and Rödder D. (2018). Developmental ecology and larval staging in *Polypedates otitophus* (Boulenger, 1893) (Anura: Rhacophoridae). Bonn zoological Bulletin. 67 (2): 117-128.
- IUCN Red List of Threatened Species. (2023). The IUCN red list of threatened species™. Accessed 19 Mar. 2023. <https://www.iucnredlist.org/search?query=Glyphoglossus%20molossus%20&searchType=species>.
- Laghari M.Y., Dars B.A. and Narejo N.T. (2011). Length-weight relationship of *Tilapia niloticus* in concrete pond of Habib ADM, Hub, Balochistan. Sindh University Research Journal (Science Series). 43(1): 29-32.
- Laojumpon C., Suteethorn S. and Lauprasert K. (2012). Morphological variation of truncate-snouted burrowing frog (*Glyphoglossus molossus*) of Thailand. In The 4th Science Research Conference. 12-13 March 2012. Faculty of Science, Naresuan University. Phitsanulok.
- Mansano C.F.M, Macente B.I., Khan K.U., do Nascimento T.M.T., da Silva E.P., Sakomura N.K. and Fernandes J.B.K. (2017). Morphometric growth characteristics and body composition of fish and amphibians. In: Pares-Casanova PM, ed. New Insights into Morphometry Studies. London: InTech. 7-28.
- Michaels C.J. and Försäter K. (2017). Captive breeding of *Pelophylax* water frogs under controlled conditions indoors. The Herpetological Bulletin. 142: 29-34.

- Narayan E., Christi K. and Morley C. (2009). Captive propagation of the endangered native Fijian frog *Platymantis vitiana*: Implications for ex-situ conservation and management. *Pacific Conservation Biology*. 15: 47-55.
- Nonsrirach T. and Lauprasert K. (2019). Preliminary report on the genetic structure of *Glyphoglossus molossus* (Anura: Microhylidae) from the Khorat Plateau, north-eastern Thailand. *Journal of Natural History*. 53: 849-861.
- Oti E.E. and Nwani C.D. (2007). Comparative studies on the growth and survival of African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) juveniles reared in cages suspended in concrete tank and earthen pond in Umudike, Abia State. *Bio-Research*. 5(1): 210-215.
- Plessis L.D., Armstrong A., Malepa P.L., Kanengoni A.T., Price C. and Downs C.T. (2022). Developmental life stages of the Pickersgill's reed frog (*Hyperolius pickersgilli*) in an ex-situ environment at Johannesburg Zoo's captive breeding facility, South Africa. *Zoo Biology*. 41:533-543.
- Redbond J., Lamont H., Boor F. and Tyrrell M. (2019). Captive husbandry and breeding of the reticulated glass frog, *Hyalinobatrachium valerioi* (Anura: Centrolenidae). *The Herpetological Bulletin*. 150: 14-17.
- Serrano A.E. and Poku G.J. (2014). Nutritive value of termite as fish meal supplement in the diet of freshwater prawns (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) juveniles. *ELBA Bioflux*. 6(2): 63-71.
- Siulapwa N., Mwambungu A., Lungu E. and Sichilima W. (2012). Nutritional value of four common edible insects in Zambia. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 3(6): 876-884.
- Sretarugsa P., Luangborisut P., Kruatrachue M. and Upatham S. (1997). Effects of diets with various protein concentrations on growth, survival and metamorphosis of *Rana tigerina* and *R. catesbeiana*. *Journal of the Science Society of Thailand*. 23: 209-224.
- Stiles R.M., Sieggreen M.J., Johnson R.A., Pratt K., Vassallo M., Andrus M., Perry M., Swan J.W. and Lannoo M.J. (2016). Captive-rearing state endangered crawfish frogs *Lithobates areolatus* from Indiana, USA. *Conservation Evidence*. 13: 7-11.
- Tong Q., Du X.P., Hu Z.F., Cui L.Y. and Wang H.B. (2018). Modelling the growth of the brown frog (*Rana dybowskii*). *PeerJ-Life & Environment: Zoological Science*. 1-21.

- Development of silk fiber paper from silk residues in silk production process Surin Province for use in packaging design
Yupadee Sinmak1, Bancha Chuenjit, Apinanthichai Jomsati, Kanya Yiamsawat and Saengdean Thammawat
- Evaluation of morphological traits for indigenous rice varieties in the central of the Greater Mekong Subregion (GMS)
Phakorn Phunthupan
- Line following robot for library book management system
Piyapat Panmuang1, Jaruwan Tharasup, Kitti Toontham, Surakit Apiraksakorn, Meechok Tangtrakul, Chumpol Senaphan, Jakkis Srithong, Aungsima Ngamdee, Piyapong Ritthithum, Warangkana Nueakhumuang and Phisit Mokekaow
- Effects of artificial water color (colors and concentration levels) to reduce the mortality rate due to cannibalism of blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) larvae in First crab stage
Chonlada Leearam, Rungtiwa Konsantad, Wasana Arkronrat and Vutthichai Oniam
- Effects of upper and lower water circulation system with solar energy for fish breeding in earth pond
Sataphon Nonkhukhetkhong, Vijitta Atthasan, Adithepchaikarn Pachanawan and Wanchiraporn Rodchum
- Synthesis and characterization of cesium iodide thin film, grown by RF-Magnetron sputtering
Pariwat Limthanameteekul, Phannee Saengkaew, Mati Horprathum, Tossaporn Lertvanithphol and Kittidhaj Dhanasiwawong
- Sport tourism promotion in Buriram using intelligence tourism innovation based on Thailand 4.0 policy
Wilairat Yathongchai, Chusak Yathongchai, Kamonrat Somjai, Phuangphet Ratchaprakhon, Purim Chadarattanathiti and Warinpihat Watcharapongkasem
- Effects of the herbicide 2, 4-D dimethylammonium on induction of vitellogenin synthesis in the plasma of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and field study
Namthip Cantawon, Pongpat Kiatprasert, Witchuda Prasatkaew, Patcharee Mongkolvai, Phochit Nanthanawat and Chutima Thanomsit
- Development of freshwater fish emulsion sausages
Kanya Ratchatachaiyos, Bumpen Nimkian, Supatra Klamsakul and Prakard Chomphuthong
- Development of rearing method model for truncate-snouted burrowing frog (*Glyphoglossus molossus* Günther, 1869) in circular and square concrete ponds
Krailerk Taweechue, Wuttichai Ritti, Sumitahnun Chunthaburee and Yanaphat Promprasit