

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2563

Vol.1 No.1 January - April 2020

- ผลของอัตราส่วนพลาสติกต่อค่าความเค้นอัด
ศิริศักดิ์ วงศ์สุวรรณ, คมเพชร อินลา และวุฒิชัย สิกธีรวงษ์
- พฤติกรรมการตอบสนองต่อพอลิเอไมด์
ภาณุเมศวร์ สุขศรีศิริวัชร, จิรวัฒน์ รักการ, โปเสก ภาณุรัตน์ และเรวัฒน์ เต็มกล้า
- ผลของระยะเวลาในการชงชากับคุณภาพทางกายภาพ เคมี กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพ
ทางประสาทสัมผัสของชาเขียวทุ่งหลาน
อดิศักดิ์ จูมวงษ์ และวิภาวดี เกตุดี
- องค์ประกอบทางพฤกษเคมี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดครามใหญ่ที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ และน้ำ
พัศติวรารณ์ อุดรสรรพ, พรรณนิภา เจ็กแท่งพะเนา, ดาริษา ใจเสรี, สิริภพ เรืองศรี, ภาณุชา พงศ์นรากร,
รัชฎาวรรณ อรรคนิมาตย์ และปรานี ศรีราช
- สภาวะที่เหมาะสมในการหมักไวน์ลำดวนโดยใช้กล่ำเชื้อแบบตรึงเซลล์
บุจริ์ สอนสะอาด, สุภาพร รักษ์ และวิลาวัลย์ เกษ
- ชนิดของอาหารเสริมที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลาหลด
กฤติมา เสาวกุล, ลำเนา เสาวกุล และกษมา ด้านวันดี
- วิธีการที่เหมาะสมสำหรับทดสอบอัตราส่วนเพศในสัตว์น้ำ : กรณีศึกษาในปูม้า
ธนิตฐา ทรรพนันท์ และรจิตา เฟื่องลี
- ประสิทธิภาพและการจำแนกชนิดของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการควบคุมเชื้อ *Colletotrichum capsici*
สาเหตุโรคแอนแทรคโนสในพริก
สุวิจักขณ์ สมจินต, ดุสิต อธิบุญวัฒน์ และวิลาวรรณ เชื้อบุญ
- การพัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง
เจนจิรา หวังหลี่, ชาศริต ไคจรรยา, ธรรมาภรณ์ ยวนใจ และธนกฤต รัตนสิมานนท์

ISSN 2730 - 163X

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์



คำนำ

วารสารวิจัยเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นเพื่อตีพิมพ์บทความที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการและบุคคลทั่วไป โดยมีสาขาย่อย 3 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ โดยวารสารฉบับนี้ได้เผยแพร่ผลงานที่มีเนื้อหาทางด้านวิชาการ การสร้างองค์ความรู้ การบูรณาการ และข้อมูลอันเป็นประโยชน์จากคณาจารย์ นักศึกษา และผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาต่าง ๆ เพื่อจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพชีวิต รวมทั้งก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิชาการแก่ผู้ที่สนใจทั่วไป โดยมีบทความ 9 เรื่อง ที่มีเนื้อหาหลากหลาย ได้แก่ 1) ผลของอัตราส่วนพลาสติกต่อค่าความเค้นอัด 2) พฤติกรรมการตอบสนองต่อพอลิเอไมด์ 3) ผลของระยะเวลาในการชงชากับคุณภาพทางกายภาพ เคมี กิจกรรมด้านอนุมูลอิสระและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชาเขียวกู่หลาน 4) องค์ประกอบทางพฤกษเคมี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดครามใหญ่ที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ และน้ำ 5) สภาพที่เหมาะสมในการหมักไวน์ลำดวนโดยใช้กล่ำเชื้อแบบตรึงเซลล์ 6) ชนิดของอาหารเสริมที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลาหลด 7) วิธีการที่เหมาะสมสำหรับทดสอบอัตราส่วนเพศในสัตว์น้ำ : กรณีศึกษาในปูม้า 8) ประสิทธิภาพและการจำแนกชนิดของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการควบคุมเชื้อ *Colletotrichum capsici* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสในพริก 9) การพัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง โดยบทความได้ผ่านการพิจารณาและการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

กองบรรณาธิการขอขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่ได้ส่งบทความเข้ามาขอรับการตีพิมพ์ในวารสาร และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความในวารสารฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ทางวิชาการของประเทศไทยต่อไป

กองบรรณาธิการ

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี



วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
Agriculture and Technology Journal

วัตถุประสงค์ เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านการเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมแก่สังคม

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 วข.สุรินทร์
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.วุฒิชัย	สิทธิพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
รองบรรณาธิการ	ดร.พงศ์ภัทร	เกียรติประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ผศ.ดร.กรณรัตน์	สกุลนามรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
	ดร.ปวีณา	สาสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
	อาจารย์อัญญ์ณ	ไชยวิชระกัมพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ	ศ.ดร.สนั่น	จกกลอย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.สุขสันต์	ห่อพิบูลสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
	ศ.ดร.อนันต์	พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.ธเนศ	เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.ทวนทอง	จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	ศ.ดร.ปิยะดา	ธีระกุลพิศุทธิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.อุทัยรัตน์	ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	ศ.ดร.อลงกลด	แทนอมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.สุวัจน์	ธัญรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
	ศ.ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.สิงหนาท	พวงจันทร์แดง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	พล.อ.ต.ศ.ดร.สรภฤช ศรีเกษม		โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

กองบรรณาธิการ

รศ.ดร.พันธุ์วัช	สัมพันธ์พานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ปรเมศ	บรรเทียง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ธนัชฐา	ทรรพนันท์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.อรพินท์	จินตสถาพร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.รัชพล	สันติวรกร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.กริช	สมกันธา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รศ.ดร.บุญเสถียร	บุญสูง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สุรพล	แสนสุข	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร.วิศิษฐ์พร	สุขสมบัติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.บรรจง	บุญชม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.อังคณา	บุญยัด	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.เอื้อมพร	จันทร์สองดวง	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.พัชรินทร์	อาตมียะนันท์	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ผศ.ดร.ภาณุพล	หงษ์ภักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.วีระเวทย์	อุทไธ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.อรอนงค์	ภูสีฤทธิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.สิริภัทร	เชี่ยวชาญวัฒนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.บัณฑิต	ยวงสร้อย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.รัตติกาล	เสนน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วช.บางพระ
ผศ.ดร.พัชริน	สงศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.น.สพ.สุทธิดล	ปิยะเดชสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.วิไลพร	อินสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุทธิขันธ์	นิลฤทธิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ทศพร	แจ่มใส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุริยา	อดดั่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ศุภลักษณ์	เกตุดากแดด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.รัตนจิรา	รัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ศักดิ์ชาญ	เหลื่องมณีโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ทิวากร	อำพาพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.วิภาสทธิ์	หิรัญรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.อรรณพ	สีดา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
อาจารย์ปรัชญา	บำรุงกุล	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

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีและบทความในวารสารเป็น
แนวคิดของผู้แต่งมิใช่เป็นแนวคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมีใช้เป็นความรับผิดชอบของคณะเกษตรศาสตร์และ
เทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1

ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณีต งามเสน่ห์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริธร ศิริอมรพรรณ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุชิตา มุ่งงาม	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ สุตสนธิ์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระเวทย์ อุทโซ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ภูสีฤทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพล หงษ์ภักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตติกาล เสนน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขต บางพระ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชีวาพัฒน์ แซ่จิ่ง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สนธยา กุลกลยา	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรศักดิ์ สวัสดิ์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิระพันธ์ สีหานาม	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญา มุกดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา อุ่นเรือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ ศรีชาติ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย สิทธิวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขต สุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลรัตน์ ยาทองไชย	มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาริก สุรินทร์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรเกล้า เจริญผล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

บทบรรณาธิการ



คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตสุรินทร์

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี หรือนวัตกรรมแก่สังคม ทำการเผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ฐานข้อมูลระบบออนไลน์ และรูปเล่มจำนวน 3 ฉบับต่อปี ในทุกๆ 4 เดือน โดยฉบับที่ 1 ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม และฉบับที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน-ธันวาคม เปิดรับบทความที่เกี่ยวข้อง 3 ศาสตร์ ได้แก่ เกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์-เทคโนโลยี และศาสตร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และเป็นไปตามรูปแบบของวารสาร

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เห็นความสำคัญของการพัฒนาและส่งเสริมผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่เชิงบูรณาการให้มีคุณภาพ เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง สำหรับฉบับนี้เป็นฉบับแรกที่เผยแพร่ มีบทความวิจัยด้วยกัน 9 เรื่อง ประกอบด้วย สาขาเกษตรศาสตร์ 6 เรื่อง สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 2 เรื่อง สาขาวิทยาศาสตร์-เทคโนโลยี 1 เรื่อง ทีมผู้จัดทำ กองบรรณาธิการ มุ่งหวังที่จะให้วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารที่มีคุณภาพ และมีชื่อในศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย หรือ ฐานข้อมูล TCI

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะและนำข้อมูลสำหรับในแต่บทความวิจัย ขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่าน ที่ได้กรุณาแบ่งปันข้อมูลดีๆ ที่เป็นประโยชน์เผยแพร่สู่สาธารณะเพื่อพัฒนางานวิจัยของชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย สิริวิงษ์

บรรณาธิการ

ผลของอัตราส่วนพลาสติกต่อค่าความเค้นอัด	1
Effects of Plastic Ratio on Compressive Stress	
ศิริศักดิ์ วงศ์สุวรรณ, คมเพชร อินลา และวุฒิชัย สิทธิวงษ์	
พฤติกรรมการตอบสนองต่อพอลิเอไมด์	12
Viscoplastic Behaviour of Polyamides	
ภาณุเมศวร์ สุขศรีศิริวัชร, จิรวัดน์ รักการ, โปเสก ภาณุรัตน์ และเรวัฒน์ เต็มกล้า	
ผลของระยะเวลาในการชงชากับคุณภาพทางกายภาพ เคมี กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชาเขียวภูหลวง	27
Effects of brewing time period on Physical and Chemical Quality, Antioxidant activity and Sensory quality of <i>Gynostemma pentaphyllum</i> Tea	
อดิศักดิ์ จุ่มวงษ์ และวิฑูรย์ เกตุดี	
องค์ประกอบทางพฤกษเคมี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดครามใหญ่ที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ และน้ำ	38
Phytochemical contents and antioxidant activities of ethanolic and aqueous extracts from <i>Indigofera suffruticosa</i> Mill.	
พัชต์วราภรณ์ อุดรสรรพ, พรรณนิภา แจ็กแดงพะเนา, ดารินา ใจเสรี, สิริภพ เรืองศรี, ภาณุชา พงศ์นราทร, รัชฎาวรรณ อรรคนิมาตย์ และปราณี ศรีราช	
สภาวะที่เหมาะสมในการหมักไวน์ลำดวนโดยใช้ลำเชื้อแบบตรึงเซลล์	49
The optimum conditions for fermentation of Lamduan wine using immobilized cell culture	
นุจรี สอนสะอาด, สุภาพร รักษ์ชี และวิลาวลัย เกษร	

ชนิดของอาหารเสริมที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลาหลด	62
The Appropriate Supplemented Feed for Nursing Larvae of Spot Spiny Eel (<i>Macrognathus siamensis</i>)	
กฤติมา เสาวกุล, ลำเนาวัล เสาวกุล และกษมา ดำวันดี	
วิธีการที่เหมาะสมสำหรับทดสอบอัตราส่วนเพศในสัตว์น้ำ : กรณีศึกษาในปูม้า	71
An optimum method for testing sex ratio in aquatic animals: A case study in blue swimming crab	
ธนัชฐา ทรรพนันท์ และรจิต เฟื่องลี	
ประสิทธิภาพและการจำแนกชนิดของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการควบคุมเชื้อ <i>Colletotrichum capsici</i> สาเหตุโรคแอนแทรคโนสในพริก	78
Efficacy and identification of beneficial bacteria to control <i>Colletotrichum capsici</i> caused anthracnose of chili	
สุวิจักขณ์ สมจินต, ดุสิต อธิณวัฒน์ และวิลาวรรณ์ เชื้อบุญ	
การพัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง	84
The Development of Ecotourism promotion website Trang Province	
เจนจิรา หวังหลี่, ชาคกริต โคจรนา, ธรรมาภรณ์ ยวนใจ และชนกฤต รัตนสิมานนท์	

Received: December 10, 2019; Revised: February 16, 2020; Accepted: April 20, 2020

ผลของอัตราส่วนพลาสติกต่อค่าความเค้นอัด

Effects of plastic ratio on compressive stress

ศิริศักดิ์ วงศ์สุวรรณ¹ คมเพชร อินลา¹ และวุฒิชัย สิทธีวงศ์^{1*}

Sirisak Wongsuwan¹, Kompet Inla¹ and Wuttichai Sittiwong^{1*}

¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นจากพลาสติกล้วน และพลาสติกผสมกับวัสดุที่เตรียมไว้ต่อความเค้นอัด โดยนำพลาสติก ผสมกับวัสดุที่เตรียมไว้ (ทราย และหิน) มาอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์รูปทรงตัวหนอนและรูปทรงแปดเหลี่ยม โดยใช้ความร้อนหลอมละลาย ทำการทดสอบหาความเค้นอัดโดยใช้เครื่องทดสอบแรงอัดคอนกรีต เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดตามเกณฑ์มาตรฐานสำหรับนำไปใช้งานจริงอย่างมีประสิทธิภาพ บล็อกปูพื้นที่เตรียมจากพลาสติกล้วน และส่วนผสมระหว่างพลาสติกล้วนกับหิน เท่ากับ 1:1 และ 1:2 โดยมวล และส่วนผสมระหว่างพลาสติกล้วนกับทราย อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยมวล เมื่อนำมาทดสอบค่าความเค้นอัด พบว่า บล็อกปูพื้นที่เตรียมจากพลาสติกล้วนผสมวัสดุจากทรายมีค่าความเค้นอัดสูงสุดในทุกกรณี และค่าความเค้นอัดจะเพิ่มขึ้นหากเพิ่มปริมาณทราย

คำสำคัญ: บล็อกปูพื้น ความเค้นอัด พอลิเอทิลีน พอลิโพรไพลีน

Abstract

This research was to study the compressive stress of paving blocks from the composite plastic and the mixture of plastic and prepared materials on compressive stress. The paving blocks were prepared by blending the plastic with prepared materials into a worm shape and octagon shape molds using melting heat. The concrete compression testers were used for the compressive stress in order to differentiate the best ingredients according to the benchmark for effective use. The obtained paving blocks including the block with individual plastic, plastic mixed with sand at the ratio of 1:1 and 1:2 by weight and plastic mixed with sand at the ratio of 1:1 and 1:2 by weight. According to compressive stress, paving block made from plastic mixed with sand contributed the highest compressive stress which was observed for all cases of plastic/sand. In addition, the compressive stress increased with increase the quantity of sand.

Keywords: Paving block, Compressive stress, Polyethylene, Polypropylene

บทนำ

เนื่องจากปัญหาปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในประเทศไทยสูงถึงประมาณ 64 ล้านตัน/วัน ซึ่งเป็นพลาสติกขยะพลาสติกสูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์หรือวันละ 1,000 ตัน ทำให้ภาครัฐต้องสูญเสียงบประมาณจำนวนมากกับปัญหาการจัดการ กำจัด และการแยกขยะ การนำพลาสติกที่ไม่ใช้แล้วหรือขยะพลาสติกกลับมาผ่านกระบวนการ เพื่อให้ขยะพลาสติกสามารถนำมาใช้ก่อให้เกิดประโยชน์ ทั้งการใช้โดยตรงหรือทางอ้อมได้มากที่สุด (ประทุมมา, 2554) เช่น การนำไปผลิตเป็นน้ำมัน เสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุหรือการนำพลาสติกมาผ่านกระบวนการความร้อนเพื่อหลอม ภาชนะใส่ของ หรือเครื่องใช้อื่นๆ (วิหาร และกิตติพงษ์, 2558)

ผู้วิจัยเห็นถึงความสำคัญของปัญหาขยะและมองเห็นถึงประโยชน์ของการใช้ขยะพลาสติกด้วยการใช้เพื่อทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ด้วยพลาสติก พลาสติกที่ใช้ในการทำบล็อกปูพื้นผสมมี 4 ชนิดคือ พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลท (PET) พอลิเอทิลีน ความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิโพรไพลีน (PP) (ยุวดี และธวัชชัย, 2551) และช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย โดยนำเอาพลาสติกชนิดต่างๆ มาผลิตเป็นบล็อกอัดขึ้นรูป และพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพของบล็อกพลาสติกอัดขึ้นรูปให้มีความแข็งแรง (ณัฐกานต์, 2536) โดยใช้วัสดุผสมกับพลาสติกประกอบด้วย พลาสติกผสมกับทราย พลาสติกผสมกับหิน อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยมวล และ พลาสติกล้วน เพื่อให้ได้บล็อกที่มีความแข็งแรงและความเค้นอัดที่อัตราส่วนผสมพลาสติกล้วน ทราย หิน 1:1 และ 1:2 โดยมวลมีความทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ (ศิริรัตน์, 2539) มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ สามารถหาวัตถุดิบได้ง่ายมีคุณสมบัติค่าความเค้นอัดของบล็อกที่ปูพื้นที่ผลิตเทียบกับท้องตลาดได้ (รัชณี, 2540)

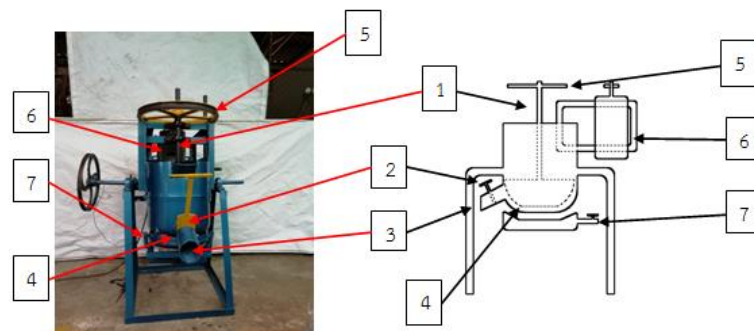
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การสร้างบล็อกปูพื้นจากพลาสติกผสมและทำการศึกษาผลของพลาสติก จากขยะพลาสติก 4 ชนิด คือ พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลท (PET) พอลิเอทิลีน ความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิโพรไพลีน (PP) ผสม

วัสดุและอุปกรณ์

ในการสร้างบล็อกปูพื้นจากพลาสติกผสมและทำการศึกษาผลของพลาสติกมีวัสดุและอุปกรณ์ ดังนี้

1. เครื่องหลอมพลาสติกผสมหินและทราย ในการศึกษาทดลองในโครงการนี้เป็นเครื่องหลอมพลาสติกโดยใช้ความร้อนในการหลอมละลายพลาสติกโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องต้นกำลังส่วนประกอบของเครื่อง อื่นๆ ประกอบด้วย 1) เพลabinแบบเกลียว 2) ตัวควบคุมการเท 3) ท่อทางออก 4) ตัววัดอุณหภูมิ 5) ชุดพู่เล่ย์ 6) มอเตอร์ 7) หัวเตาแก๊ส ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องหลอมพลาสติกผสมหินและทราย

2. พลาสติกที่ล้างทำความสะอาดแล้ว นำไปเข้าเครื่องสับเป็นชิ้นเล็กๆ
 - 2.1 พลาสติกชนิดที่ 1 PET ได้แก่ ขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำดื่ม ดังรูปที่ 2
 - 2.2 พลาสติกชนิดที่ 2 HDPE ได้แก่ ขวดนม ขวดน้ำยาสระผม ดังรูปที่ 3
 - 2.3 พลาสติกชนิดที่ 3 LDPE ได้แก่ ถุงหิ้ว ฟิล์มถนอมอาหาร ดังรูปที่ 4
 - 2.4 พลาสติกชนิดที่ 4 PP ได้แก่ แก้วน้ำ แก้วโยเกิร์ต ดังรูปที่ 5
3. ทราาย ดังรูปที่ 6
4. หินคลุก ดังรูปที่ 7
5. แบบแม่พิมพ์บล็อกอัดขึ้นรูป ดังรูปที่ 8



รูปที่ 2 ชนิดที่ 1 PET



รูปที่ 3 ชนิดที่ 2 HDPE



รูปที่ 4 ชนิดที่ 3 LDPE



รูปที่ 5 ชนิดที่ 4 PP



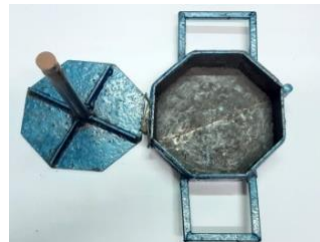
รูปที่ 6 ทราาย



รูปที่ 7 หินคลุก



(ก)



(ข)

รูปที่ 8 แบบแม่พิมพ์บล็อกอัดขึ้นรูป (ก) แม่พิมพ์บล็อกอัดตัวหนอน ขนาด 22.5x11.5x6 ซม.

(ข) แม่พิมพ์บล็อกแปดเหลี่ยม ขนาด 20x20x6 ซม.

6. เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ใช้สำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกส์ มีหน่วยเป็น kg/cm^2 ดังรูปที่ 9
7. เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต เป็นเครื่องทดสอบค่าความแข็งแรงในการรับแรงอัด หรือ Compressive Stress ของคอนกรีตแบบตั้งพื้น แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 เครื่องอัดไฮดรอลิกส์



รูปที่ 10 เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

8. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล แบบตั้งพื้น 100 kg ความละเอียด 5 g แท่นขนาด 300 x 400 mm ยี่ห้อ EXCELL รุ่น TZ1-100 หน้าจอเป็นดิจิตอลแสดงค่าเป็นจอ LCD แสดงดังรูปที่ 11
9. เครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบ 12 แชนแนล ยี่ห้อ EXTECH รุ่น TM500 เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิแบบบันทึกข้อมูลแสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล



รูปที่ 12 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลองบล็อกรูปสี่เหลี่ยมจากพลาสติกผสมและทำการศึกษาลักษณะของพลาสติกมีวัสดุและอุปกรณ์ ดังนี้

1. วัสดุที่ใช้ในการผลิตบล็อกรูปสี่เหลี่ยมโดยใช้พลาสติกผสม 4 ชนิดได้แก่ PET HDPE LDPE และ PP นำมาบดให้ละเอียดพลาสติกขนาดเล็กลงด้วยเครื่องสับพลาสติก
2. นำพลาสติกที่บดแล้วมาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนผสม พลาสติกล้วน อัตราส่วนผสมพลาสติกต่อทราย 1:1 และ 1:2 โดยมวล และอัตราส่วนผสมพลาสติกต่อหิน 1:1 และ 1:2 โดยมวล
3. นำทรายที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้
4. นำพลาสติก ทรายหรือหิน ที่ชั่งตามอัตราส่วนมาเทลงเครื่องหลอมพลาสติก ดังรูปที่ 13

6. จุดไฟที่หัวเตาแก๊ส ปรับไฟระดับกลาง เปิดสวิตช์ให้เครื่องหลอมพลาสติกทำงาน รอเวลา 36 นาที เพื่อให้พลาสติกหลอมละลายให้เข้ากัน จากนั้นปิดสวิตช์ให้เครื่องหยุดทำงานเพื่อเทพลาสติกผสมลงในแม่พิมพ์
7. นำแม่พิมพ์ที่เทพลาสติกลงแล้วมาอัดที่เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ที่แรงอัด 10 kg/cm^2 ดังรูปที่ 14
8. นำชิ้นงานที่ได้ ดังรูปที่ 15 มาทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบหาค่าความเค้นอัด แล้วบันทึกผล ดังรูปที่ 16



รูปที่ 13 เครื่องหลอมละลายทำงาน



รูปที่ 14 อัดบล็อกแม่พิมพ์พลาสติกด้วยแท่นอัดไฮดรอลิกส์



รูปที่ 15 ชิ้นงานที่ได้จากการอัด



รูปที่ 16 ทดสอบชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบ

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลของอัตราส่วนผสมของพลาสติกต่างชนิดต่อวัสดุผสม ต่อค่าความเค้นอัด และทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อค่าความเค้นอัด โดยใช้พลาสติกอยู่ 4 ชนิดคือ พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลท (PET) พอลิเอทิลีน ความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิโพรไพลีน (PP) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน ได้แก่ พลาสติกล้วน พลาสติกผสมอัตราส่วนพลาสติกต่อทราย 1:1 และ 1:2 โดยมวล และอัตราส่วนผสมพลาสติกต่อหิน 1:1 และ 1:2 โดยมวล ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งผลจากการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการทดลองหาค่าความเค้นอัดจากอิฐบล็อกปูพื้นจากท้องตลาดที่มีรูปทรงแปดเหลี่ยมและอิฐบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอน

1.1 ผลการทดลองเพื่อหาค่าความเค้นอัดของอิฐบล็อกปูพื้นจากท้องตลาดที่มีรูปทรงแปดเหลี่ยมและอิฐบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอน การทดลองหาค่าความเค้นอัดพบว่าอิฐบล็อกปูพื้นรูปทรงแปดเหลี่ยมมีค่าความเค้นอัดมากกว่าอิฐบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอนเฉลี่ยที่ 286 ksc และ 269 ksc (วุฒิชัย และคณะ, 2560) ตามลำดับ และมีลักษณะการแตกออกเป็นหลายชิ้น

1.2 ผลการทดลองการใช้แรงอัดขึ้นรูปในแม่พิมพ์บล็อกปูพื้นจากพลาสติกผสมใช้แรงอัดที่ 5 ksc ไม่ได้ เพราะผิวหน้าสัมผัสของชิ้นงานยังไม่เรียบและผิวหน้ายังเป็นหลุม บล็อกปูพื้นไม่ได้รูปทรง เมื่อใช้แรงอัดที่ 10 ksc ได้ เพราะเป็นค่าแรงอัดที่ลงตัวทำให้เนื้อพลาสติกที่หลอมไม่ดันออกตามขอบแม่พิมพ์ ได้รูปทรงที่สวยงาม ใช้แรงอัดที่ 15 ksc ไม่ได้ เพราะแรงอัดที่มากเกินไปทำให้เนื้อพลาสติกที่หลอมดันออกตามขอบแม่พิมพ์ ทำให้ชิ้นงานไม่เต็มแม่พิมพ์ จากการทดลองพบว่าใช้ค่าแรงอัดที่ 10 ksc เพราะเป็นแรงอัดที่ลงตัวทำให้ชิ้นงานออกมามีรูปทรงที่สวยงามและเต็มแม่พิมพ์

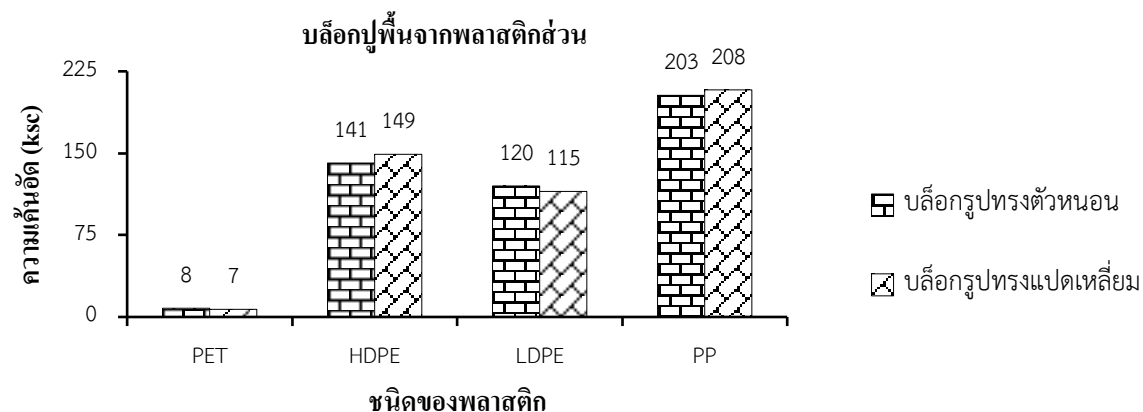
ตารางที่ 1 การทดสอบความเค้นอัดที่ใช้อัดแม่พิมพ์บล็อกปูพื้นจากพลาสติกผสม

ลักษณะของแม่พิมพ์	ค่าความเค้นแรงอัด (ksc)		
	5	10	15
บล็อกปูพื้นรูปทรงแปดเหลี่ยม	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้
บล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอน	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้

2. ผลการทดลองหาค่าความเค้นอัดจากพลาสติกล้วนแต่ละชนิดของบล็อกปูพื้นรูปทรงแปดเหลี่ยมและบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอน

จากรูปที่ 17 แสดงผลการทดลองหาค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นรูปทรงแปดเหลี่ยมพบว่าพลาสติกชนิด PP มีค่าความเค้นอัดมากกว่าชนิดอื่นๆ คือมีค่าเฉลี่ยที่ 208 ksc และ พลาสติกชนิด HDPE LDPE และ PET มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 149 ksc 110 ksc และ 7 ksc ตามลำดับและมีลักษณะการแตกออกเป็นหลายชิ้น

ผลการทดลองของแรงอัดประลัยของบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอนพบว่าพลาสติกชนิด PP มีค่าความเค้นอัดมากกว่าชนิดอื่นๆ เฉลี่ยที่ 203 ksc และ พลาสติกชนิด HDPE LDPE และ PET มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 141 ksc 120 ksc และ 8 ksc ตามลำดับและมีลักษณะการแตกออกเป็นหลายชิ้น

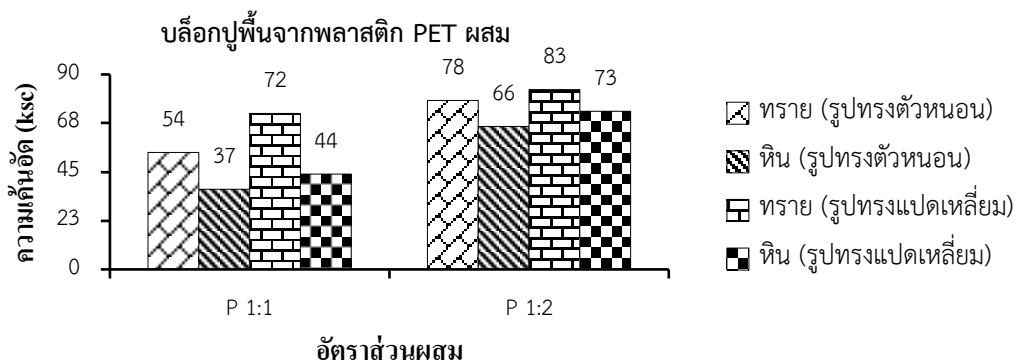


รูปที่ 17 ผลการทดลองบล็อกปูพื้นจากพลาสติกล้วนแต่ละชนิด

3. ผลการทดลองหาค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นจากพลาสติกชนิด PET ที่มีส่วนผสม พลาสติกผสมทราย 1:1 และ 1:2 และพลาสติกผสมหิน 1:1 และ 1:2 โดยมวล

จากรูปที่ 18 แสดงผลการทดลองของบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอนของพลาสติกผสมชนิด PET ที่มีส่วนผสม พลาสติกผสมทราย 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 54 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 78 ksc พลาสติกผสมหิน 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 37 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 66 ksc มีลักษณะการแตกร้าวออกเป็นหลายชั้น

ผลการทดลองของบล็อกปูพื้นรูปทรงแปดเหลี่ยมของพลาสติกผสมชนิด PET ที่มีส่วนผสม พลาสติกผสมทราย 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 72 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 83 ksc พลาสติกผสมหิน 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 44 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 73 ksc มีลักษณะการแตกร้าวออกเป็นหลายชั้น

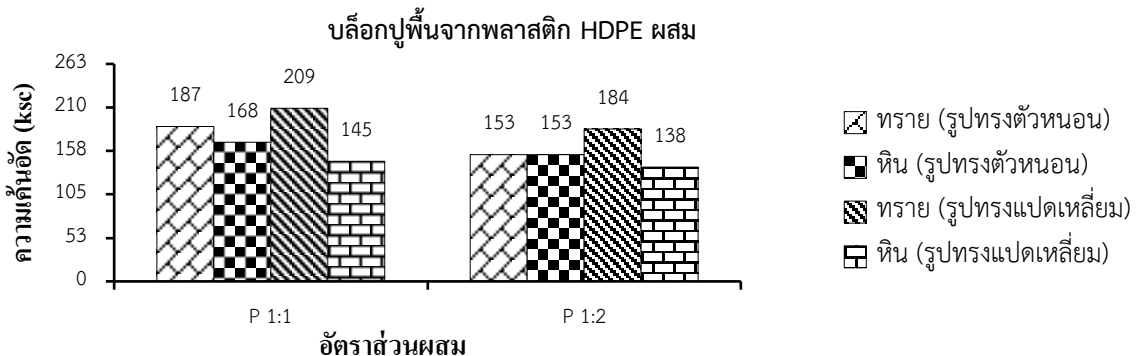


รูปที่ 18 ผลการทดลองอิฐบล็อกปูพื้นจากพลาสติกผสมชนิด PET ที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยมวล

4. ผลการทดลองหาค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นจากพลาสติกชนิด HDPE ที่มีส่วนผสม พลาสติกผสมทราย 1:1 และ 1:2 และพลาสติกผสมหิน 1:1 และ 1:2 โดยมวล

จากรูปที่ 19 แสดงผลการทดลองของบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอนของพลาสติกผสม ชนิด HDPE ที่มีส่วนผสม พลาสติกผสมทราย 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 187 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 153 ksc พลาสติกผสมหิน 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 168 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 153 ksc มีลักษณะการแตกร้าวออกเป็นหลายชั้น

ผลการทดลองของบล็อกปูพื้นรูปทรงแปดเหลี่ยมของพลาสติกผสมชนิด HDPE ที่มีส่วนผสม พลาสติกผสมทราย 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 209 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 184 ksc พลาสติกผสมหิน 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 145 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 138 ksc มีลักษณะการแตกร้าวออกเป็นหลายชั้น

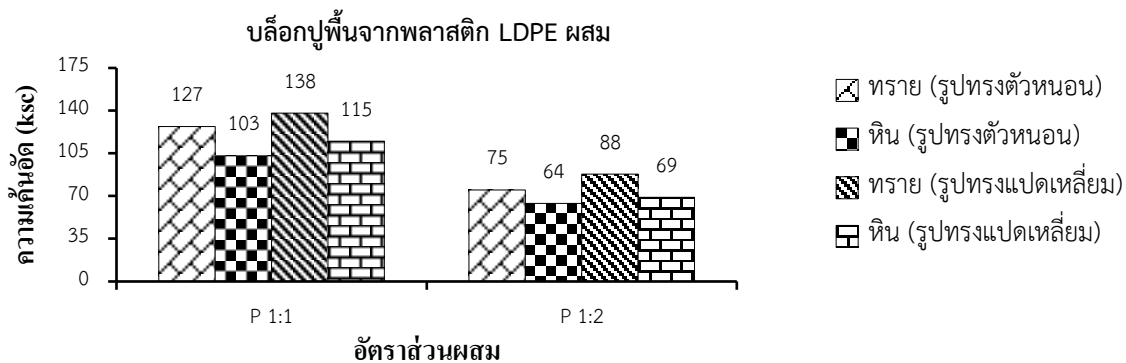


รูปที่ 19 ผลการทดลองอิฐบล็อกปูพื้นจากพลาสติกผสมชนิด HDPE ที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยมวล

5. ผลการทดลองหาค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นจากพลาสติกชนิด LDPE ที่มีส่วนผสม พลาสติกผสมทราย 1:1 และ 1:2 และพลาสติกผสมหิน 1:1 และ 1:2 โดยมวล

จากรูปที่ 20 แสดงผลการทดลองของบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอนของพลาสติกผสมชนิด LDPE ที่มีส่วนผสม พลาสติกผสมทราย 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 127 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 75 ksc พลาสติกผสมหิน 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 103 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 64 ksc มีลักษณะการแตกร้าวออกเป็นหลายชิ้น

ผลการทดลองของบล็อกปูพื้นรูปทรงแปดเหลี่ยมของพลาสติกผสมชนิด LDPE ที่มีส่วนผสม พลาสติกผสมทราย 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 138 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 88 ksc พลาสติกผสมหิน 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 115 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 69 ksc มีลักษณะการแตกร้าวออกเป็นหลายชิ้น

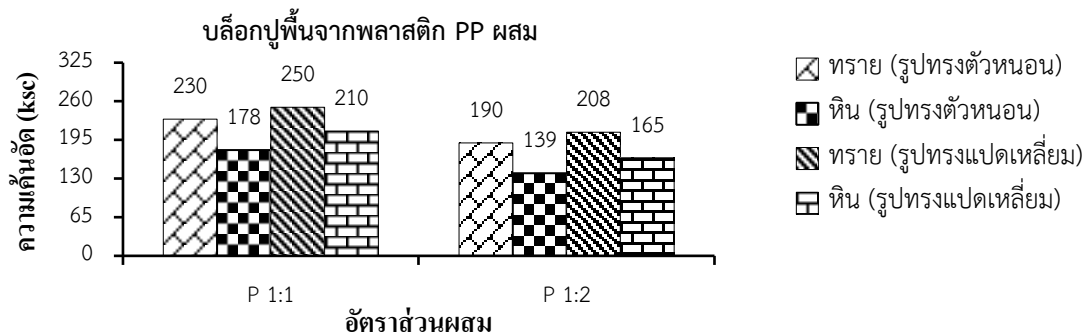


รูปที่ 20 ผลการทดลองบล็อกปูพื้นจากพลาสติกผสมชนิด LDPE ที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยมวล

6. ผลการทดลองหาค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นจากพลาสติกชนิด PP ที่มีส่วนผสม พลาสติกผสมทราย 1:1 และ 1:2 และพลาสติกผสมหิน 1:1 และ 1:2 โดยมวล

จากรูปที่ 21 แสดงผลการทดลองของบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอนของพลาสติกผสม ชนิด PP ที่มีส่วนผสม พลาสติกผสมทราย 1:1 มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 230 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 190 ksc พลาสติกผสมหิน 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 178 ksc 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 139 ksc มีลักษณะการแตกร้าวออกเป็นหลายชิ้น

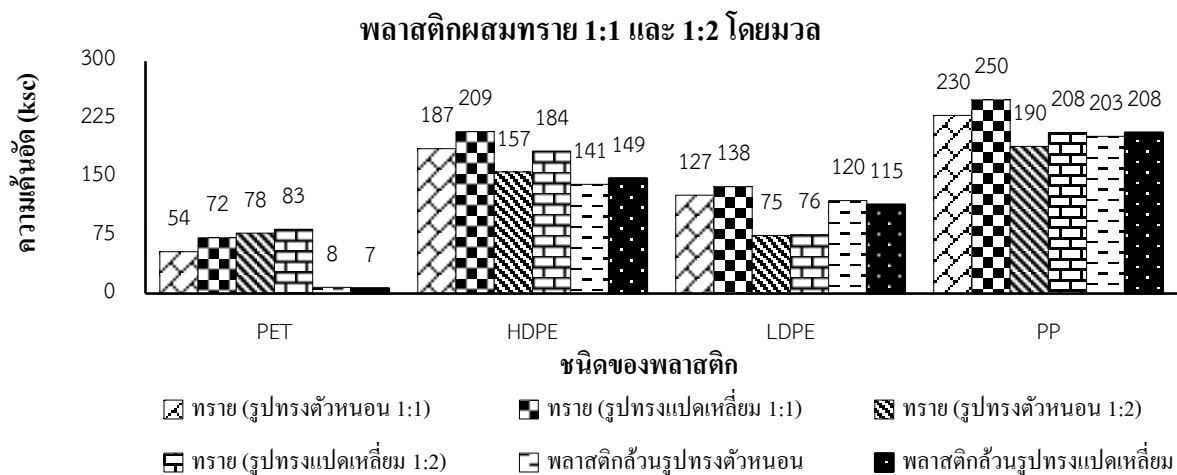
ผลการทดลองของบล็อกปูพื้นรูปทรงแปดเหลี่ยมของพลาสติกผสมชนิด PP ที่มีส่วนผสม พลาสติกผสมทราย 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 250 ksc และ 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 208 ksc และพลาสติกผสมหิน 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 210 ksc และ 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 165 ksc มีลักษณะการแตกร้าวออกเป็นหลายชิ้น



รูปที่ 21 ผลการทดลองบล็อกปูพื้นจากพลาสติกผสมชนิด PP ที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยมวล

7. ผลการทดลองหาค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นจากพลาสติกแต่ละชนิดผสมทรายในอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยมวล

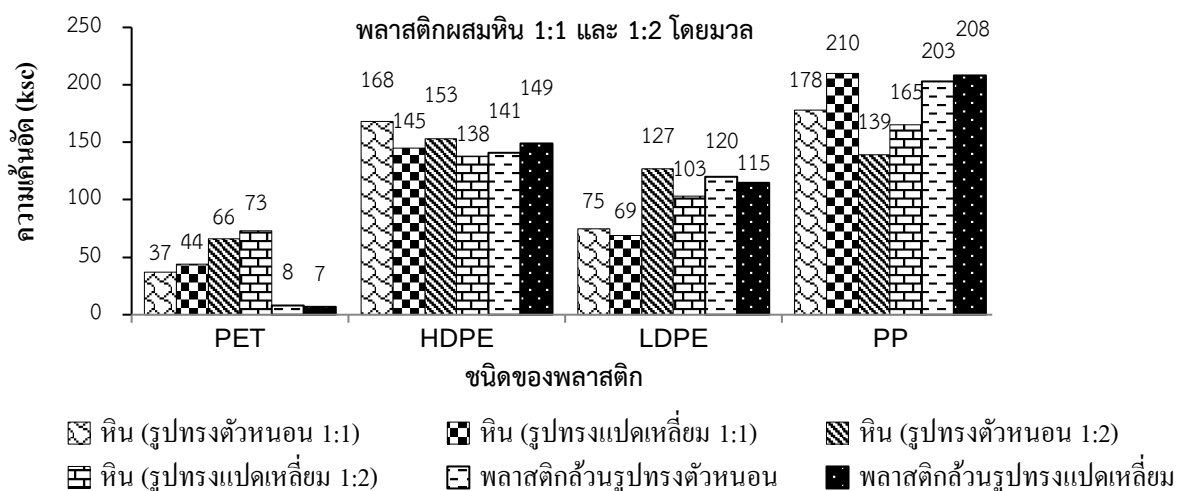
จากรูปที่ 22 แสดงผลการทดลองเพื่อหาค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้น พลาสติกผสมทราย 1:1 และ 1:2 โดยมวล ชนิด PET HDPE LDPE และ PP ผลการทดลองหาค่าความเค้นอัด พบว่าพลาสติกชนิด PP มีค่าความเค้นอัดมากกว่าชนิดอื่นๆ คือมีค่าเฉลี่ยที่ 229 ksc พลาสติกชนิด HDPE มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 184 ksc พลาสติกชนิด LDPE มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 93 ksc และ พลาสติกชนิด PET มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 71 ksc มีลักษณะการแตกร้าวออกเป็นหลายชิ้น



รูปที่ 22 พลาสติกแต่ละชนิดผสมทรายในอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยมวล

8. ผลการทดลองหาค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นจากพลาสติกแต่ละชนิดผสมหินในอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยมวล

จากรูปที่ 23 แสดงผลการทดลองเพื่อหาค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นของพลาสติกผสมหิน 1:1 และ 1:2 โดยมวล ชนิด PET, HDPE, LDPE และ PP ผลการทดลองหาค่าความเค้นอัด พบว่าพลาสติกชนิด PP มีค่าความเค้นอัดมากกว่าชนิดอื่นๆ คือมีค่าเฉลี่ยที่ 173 ksc พลาสติกชนิด HDPE มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 151 พลาสติก LDPE มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 93 ksc และรองลงมาลำดับสุดท้ายคือ PET มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 55 ksc มีลักษณะการแตกร้าวออกเป็นหลายชิ้น



รูปที่ 23 พลาสติกแต่ละชนิดผสมหินในอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยมวล

บทสรุป

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า บล็อกปูพื้นที่ผลิตจากพลาสติกทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลท (PET) พอลิเอทิลีน ความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิโพรไพลีน (PP) จากวัสดุผสม ในอัตราส่วนผสมที่ต่างกัน ได้แก่ พลาสติกล้วน พลาสติกผสมอัตราส่วนพลาสติกต่อทราย 1:1 และ 1:2 โดยมวล และอัตราส่วนผสมพลาสติกต่อหิน 1:1 และ 1:2 โดยมวล นั้น วัสดุผสมจากทรายมีค่าความเค้นอัดสูงสุดในทุกกรณี และจะเพิ่มขึ้นหากเพิ่มปริมาณทราย สาเหตุเกิดจากทรายสามารถเข้าผสมได้ดีกับพลาสติกและทำให้ค่าความหนาแน่นของบล็อกสูงขึ้นจึงทำให้การรับแรง หรือการรับความเค้นอัดประลัยสูงขึ้นด้วย

ความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นจากพลาสติกผสมทราย และหิน ที่มีอัตราส่วนผสม 1:1 และ 1:2 โดยมวล โดยดำเนินการทดลองตามแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นจากพลาสติกผสม ที่มีรูปทรงตัวหนอน และรูปทรงแปดเหลี่ยม สรุปได้ดังนี้

1. ผลการทดลองค่าความเค้นอัดของอิฐบล็อกปูพื้นรูปทรงแปดเหลี่ยมมีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 286 ksc มากกว่าอิฐบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอนที่มีค่าความเค้นอัดเฉลี่ยที่ 269 ksc

2. กรณีการทดสอบค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอนและรูปทรงแปดเหลี่ยมจากพลาสติกผสมชนิด PET โดยมีส่วนผสมของทรายและส่วนผสมของหิน พบว่าบล็อกปูพื้นทั้งสองแบบที่มีส่วนผสมของทราย 1:2 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดมากกว่าพลาสติกผสมทราย 1:1 พลาสติกผสมหิน 1:1 และ 1:2 โดยมวล แต่ยังคงมีลักษณะการแตกร้าวที่คล้ายกัน

3. กรณีการทดสอบค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอนและรูปทรงแปดเหลี่ยมจากพลาสติกผสมชนิด HDPE โดยมีส่วนผสมของทรายและส่วนผสมของหิน พบว่าบล็อกปูพื้นทั้งสองแบบที่มีส่วนผสมของทราย 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดมากกว่าพลาสติกผสมทราย 1:2 พลาสติกผสมหิน 1:1 และ 1:2 โดยมวล แต่ยังคงมีลักษณะการแตกร้าวที่คล้ายกัน

4. กรณีการทดสอบค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอนและรูปทรงแปดเหลี่ยมจากพลาสติกผสมชนิด LDPE โดยมีส่วนผสมของทรายและส่วนผสมของหิน พบว่าบล็อกปูพื้นทั้งสองแบบจากพลาสติกผสมที่มีส่วนผสมของทราย 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดมากกว่าพลาสติกผสมทราย 1:2 พลาสติกผสมหิน 1:1 และ 1:2 โดยมวล แต่ยังคงมีลักษณะการแตกร้าวที่คล้ายกัน

5. กรณีการทดสอบค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอนและรูปทรงแปดเหลี่ยมจากพลาสติกผสมชนิด PP โดยมีส่วนผสมของทรายและส่วนผสมของหิน พบว่าบล็อกปูพื้นทั้งสองแบบจากพลาสติกผสมที่มีส่วนผสมของทราย 1:1 โดยมวล มีค่าความเค้นอัดมากกว่าพลาสติกผสมทราย 1:2 โดยมวล พลาสติกผสมหิน 1:1 และ 1:2 โดยมวล แต่ยังคงมีลักษณะการแตกร้าวที่คล้ายกัน

6. กรณีการทดสอบค่าความเค้นอัดของบล็อกปูพื้นรูปทรงตัวหนอนและรูปทรงแปดเหลี่ยมจากพลาสติกผสมชนิด PET HDPE LDPE และ PP โดยมีส่วนผสมของทราย 1:1 กับ 1:2 โดยมวล และส่วนผสมของหิน 1:1 กับ 1:2 โดยมวล พบว่าบล็อกปูพื้นจากพลาสติกชนิด PP จะมีความเค้นอัดมากกว่าบล็อกปูพื้นจากพลาสติกชนิด PET, HDPE และ LDPE

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่สนับสนุนงบประมาณวิจัย ปีงบประมาณ 2562 ขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ตลอดจนถึงเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

เอกสารอ้างอิง

- ประทุมมา สุโส๊ะ. (2554). สมบัติเชิงกลของพลาสติกผสม 3 ชนิดระหว่าง พอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และพอลิโพรพิลีน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- วิหาร ดีปัญญา และกิตติพงษ์ สุวีโร. (2558). สิทธิบัตรผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางพาราผสมเศษขยะพลาสติกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม. กรมทรัพย์สินทางปัญญากระทรวงพาณิชย์: กรุงเทพฯ.
- ยุวดี หิรัญ, ธวัชชัย ตันชัยสวัสดิ์, พลยุทธ์ มุขรังสี, วิชัย บำรุงนาม และอัญชลี เพียสุร. (2552). บล็อกปูถนนคอนกรีตพูน. ใน การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 4. จังหวัดอุบลราชธานี. 13-18.
- ณัฐกานต์ จินตพยุกุล. (2536). สมบัติกายภาพของขยะพลาสติกในประเทศสำหรับศักยภาพการเวียนใช้ใหม่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริรัตน์ อภัยโส. (2539). แผ่นประกอบจากพลาสติกกับขี้เลื่อย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รัชณี เจริญวุฒิโรจน์. (2540). สมบัติเชิงกลของพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์เสริมแรงด้วยใยแก้ว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วุฒิชัย สิทธิวงษ์, จิรภัทร์ จอดนอก, ประพันธ์พงษ์ สมศิลา, ศศิธร เลิศมณีพงศ์ และเทียมมะณีย์ วีระศักดิ์. (2560). การบริหารจัดการขยะชุมชนแบบครบวงจรและการมีส่วนร่วมของชุมชน. รายงานการวิจัย. คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สุรินทร์.

Received: December 22, 2019; Revised: March 2, 2020; Accepted: April 20, 2020

พฤติกรรมการตอบสนองต่อพอลิเอไมด์ Viscoplastic behaviour of polyamides

ภาณุเมศวร์ สุขศรีศิริวัชร^{1*} จิรวัดน์ รักการ¹ โปเสก ภานุรัตน์¹ และเรวัฒน์ เต็มกล้า²
Panumet Suksrisirawat^{1*}, Jirawat Rakkan¹, Posek Bhanuratana¹ and Rewat Termkla²

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์²คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

* Corresponding Author E-mail Address: P_7722@hotmail.com

บทคัดย่อ

เทอร์โมพลาสติก เป็นพลาสติกที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวลงและเมื่อเย็นลงจะแข็ง สามารถเปลี่ยนรูปได้ ในเชิงอุตสาหกรรมเทอร์โมพลาสติกเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางสำหรับการผลิตเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ทางการบรรจุเพื่อเกิดมูลค่าและรักษาชิ้นงานรวมถึงการส่งออก อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงของวัสดุและมอดูลัสทั้งสองนี้ล้วนมีความยืดหยุ่นต่ำ รวมถึงวิธีการผลิตขึ้นรูปในเชิงอุตสาหกรรม ในงานวิจัยค้นคว้าถึงการตอบสนองพฤติกรรมทางอีลาสติก ได้แก่ การให้ความร้อนสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เกิดขึ้น ลักษณะการไหลนิวโตรเนียนและหาผลกระทบจากสมการที่แตกต่างกันในแต่ละบทความเพื่อหาสมรรถนะที่เกิดขึ้น ผลจากการศึกษา การทดลองมีทั้งหมด 2 วิธี 1) วิธีการให้ความร้อนเมื่อเวลาผ่านไปหาจุดการคืนรูปอิสระ ความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียด และ 2) วิธีการไหลเมื่อให้ความร้อนอุณหภูมิที่แตกต่างหาทิศทางในการไหล วิธีที่ 1) เมื่อให้ความร้อนช่วง 0-100 องศาเซลเซียส พลาสติกกำลังเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยที่มอดูลัสเข้าสู่กระบวนการไยแก้วซึ่งทำให้พลาสติกยืดได้เต็มตัว ในช่วง 350 องศาเซลเซียส ความเปราะบางในการเปรียบเทียบผลต่างกันอยู่ที่ 4 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเคยแบดิกทำให้วัสดุผ่นกลับ ผลในวิธีที่ 2 พฤติกรรมการไหลเข้าสู่สมประสิทธิ์ความเปราะบางที่ 0.90 เป็นต้นไป จึงบ่งบอกถึงพฤติกรรมการไหลความเป็นนิวโตรเนียนเชิงเส้น

คำสำคัญ: เทอร์โมพลาสติก ความเค้น ความเครียด นิวโตรเนียน

Abstract

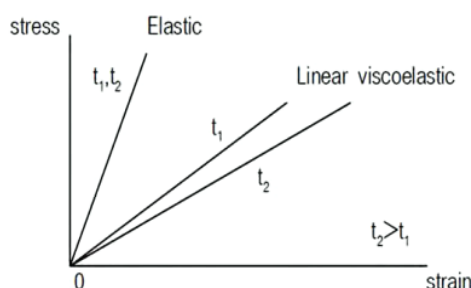
Thermoplastic is widely used. After heat exposure, the thermoplastic was melted and soft while becoming rigid when the temperature was cooling down. Thus, the thermoplastic can be transformable. For industrial usage, thermoplastic was beneficially used in molding the packaging production and product preservation for export value. However, thermoplastic performed low flexibility according to its strength and modulus value affecting on industrial re- molding production. This study aimed to investigate the

factors affecting to the viscoplastic behavior of polyamides such as heating, time exposure, Newtonian flow and determined the effect of equational difference for evaluating this material capacity. Result suggested the heat treatment process until reaching the independent re-forming point presented the correlation with the strain and stress value. The direction flow by different temperature treatment performed different profile. Heating with 0- 100 °C made thermoplastic changeable to modulus led to optic fiber stage that presented absolute flexibility, while at 350 °C treatment presented the diabatic effect that brought into material reversion through 4% difference. The viscoplastic behavior turned closely to 0.90 coefficient deviation suggested Newtonian flow exhibited in linearity.

Keywords: Thermoplastic, stress, strain, newtonian

บทนำ

สมบัติวิสโคอิลาสติก (Viscoelasticity) คือการที่วัสดุมีสมบัติทั้งเหนียวหนืด (Viscous) เหมือนของเหลวและยืดหยุ่น (Elastic) เหมือนของแข็งในเวลาเดียวกันซึ่งเป็นสมบัติที่มีอยู่ในวัสดุพอลิเมอร์ รูปที่ 1



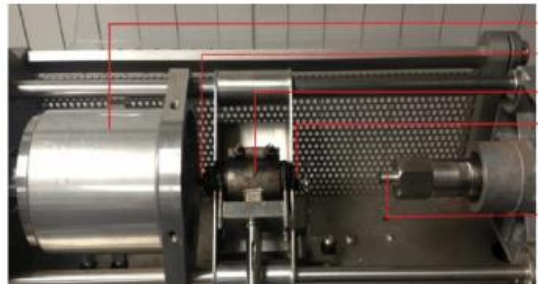
รูปที่ 1 พฤติกรรมของวิสโคอิลาสติกเชิงเส้น

ในการใช้งานส่วนมากพอลิเมอร์จะอยู่ในรูปของแข็งจึงความเป็นอิลาสติกสูงในช่วงเวลาและอุณหภูมิใช้งานเหมือนกับการใช้ฆ้อนทุบอย่างรวดเร็วอย่างไรก็ตามพอลิเมอร์ก็ยังแสดงสมบัติคล้ายของเหลวบ้าง เช่น แก้วพลาสติกนั่งนานทุกๆ วันหรือน้ำหนักคงที่เป็นเวลานานจะเกิดการไหลทำให้โก่งลงได้เช่นกัน ประโยชน์ของวิสโคอิลาสติกในพอลิเมอร์สามารถนำไปใช้ในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ เช่น การเป่าและการทำเส้นใยซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความยืดหยุ่นของพลาสติกของพอลิเมอร์หลอมเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงสมบัติแรงกลหลังการขึ้นรูป (Schapery, 1997; Chailleux and Davies, 2003)

ลักษณะการผลิต

เครื่องทดสอบการผลิตความหนาแน่นที่ต่ำที่สุดของโพลีเอทิลีนจะใช้ DSM Xplore Micro 10cc injection Molding Machine โดยมาตรฐานรองรับจาก ASTM standard D638-03 ลักษณะการผลิตเครื่องจักรจะเริ่มฉีดวัสดุผ่านหัวฉีดเข้าสู่

ตัวโมนที่ได้ทำรูปทรงไว้จากนั้นกระบอกนิวเมตริกจะเป็นตัวยืดระยะของวัสดุเพื่อสร้างความยาวและคงความหนาของวัสดุดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 DSM Xplore Micro 10cc injection Molding Machine

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ก่อนการทดสอบ

ความกว้าง	0.5
ความยาว	5
ความหนา	0.125

หลังจากฉีดวัสดุเข้าสู่ตัวโมนที่ 200 องศาเซลเซียส ลักษณะโครงวัสดุจะขึ้นรูปตามตัวโมนดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ASTM D790-07 molded material flex bar mold

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากฉีดเข้าสู่โมน

การยืดตัวออก	0.5
การยืดระยะ	2.25
ความกว้างทั้งหมด	0.75
ความยาวทั้งหมด	6.5
รัศมีที่ขอบ	3
ความหนา	0.125

จากรูปที่ 3 เมื่อวัสดุชนิดโพลีเอทิลีนเกิดการอ่อนตัวลงจนทำให้กำหนดน้ำหนักวัสดุจะอยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงรูปทรง เมื่อฉีดเข้าสู่โมนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากความหนืดที่อยู่ในวัสดุจะแปรผันตามอุณหภูมิที่เกิด 150 องศาเซลเซียส และจะคงรูปร่างเมื่อใช้ลมเป่าที่ 5-7 บาร์ ระยะเวลาในการเป่าลมอยู่ในช่วง 4-30 วินาที เป็นต้น (Leech et al., 1993)

เมื่อกล่าวถึงการเป่าลมเพื่อให้วัสดุคงรูปร่างในทางมาตรฐานสำหรับพลาสติกแบบโพลีเอทิลีน จะมีค่าหัดตัวกลับเมื่อความดันและเวลาตกอยู่ในช่วงระหว่างดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสมรรถนะ

สมรรถนะ	ช่วง	ความดัน (บาร์)	เวลา (วินาที)
ไม่สามารถขึ้นรูป	1	8	4
การขึ้นรูป	2	11	0.2
การคงตัว	3	11	30
การผันกลับ	1	5	4
	2	11	0.2
	3	11	30
จุดหดตัวน้อยที่สุด	1	5	4
	2	8	0.2
	3	8	30

จากตารางที่ 3 เมื่อเทียบกันในช่วงเวลาที่เท่ากันและทำการแยกการทดสอบเป็น 3 ช่วง จะพบจุดที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้ช่วงในการขึ้นรูป ช่วงในการคงสภาพ การผันกลับ และจุดที่หดตัวน้อยที่สุดเมื่อมีความดันและเวลามาเกี่ยวข้อง

วิธีขึ้นรูปโดยสูญญากาศ

เทคนิคการขึ้นรูปโดยใช้แรงดันสูญญากาศโดยตรง (Straight vacuum forming) เป็นเทคนิคเทอร์โมฟอร์มที่ง่ายที่สุดใช้กับการแปรรูปที่ใช้เบ้าตัวผู้ (Male mold) และเบ้าตัวเมีย (Female mold) และตัวจับแบบเฟรมคู่ (Double clamping flame) สามารถสรุปขั้นตอนของการขึ้นรูปโดยใช้แรงดันสูญญากาศโดยตรงได้ 4 ขั้นตอนดังนี้ 1) จับยึดแผ่นพลาสติกโดยใช้เฟรมจับ (Clamping flame) 2) ให้ความร้อน (Heating) และวางตำแหน่ง (Positioning) ทำโดยการให้ความร้อนจนแผ่นพลาสติกอ่อนตัวในเครื่องเทอร์โมฟอร์ม ทำการให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกซึ่งวางอยู่ด้านบนของเบ้า 3) การขึ้นรูป (Forming) ทำโดยใช้แรงดันสูญญากาศ (Vacuum) ดึงให้แผ่นพลาสติกที่อ่อนตัวยึดตัวประกบเบ้า และ 4) ถอดชิ้นงานออกจากเบ้า เทคนิคนี้นิยมใช้ในการแปรรูปพลาสติกที่มีความแข็งแรงสูง แต่มีข้อเสียคือชิ้นงานที่ได้มีความหนาไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือ มีส่วนหนา และมีส่วนมุม (Corners) บาง ลักษณะการยึดตัวของพลาสติกในขณะที่ถูกดึงโดยแรงดันสูญญากาศ ประสิทธิภาพการใช้เทคนิคการขึ้นรูปโดยใช้แรงดันสูญญากาศโดยตรงนี้ (Straight vacuum forming) เนื่องจากจะต้องมีการดึงแผ่นพลาสติกให้มีการยืดตัวสูง (Deep draw) ก่อนทำการ [4] ขึ้นรูปดังรูปที่ 4 (Heuvel et al., 1992)



รูปที่ 4 การขึ้นรูปแบบสูญญากาศ

คุณสมบัติคุณลักษณะ

องค์ประกอบพื้นฐานของผลการทดสอบเมื่อเทียบกับผลการทดสอบกับบทความต่างๆ ดังตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 คุณลักษณะที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

ลักษณะการทดลอง	การทดลอง	งานวิจัยต่างๆ
อัตราการไหล	18.66	2-2300 [10]
อุณหภูมิขึ้นรูป	287.32	264-289 [4]
สีวัสดุ	ใส	50-95 % ใส [10]
ความหนาแน่น	0.916	0.91-0.98 [10]
ความยืดต่อวัสดุแข็ง	2.6056	8.2 [10]
ความยืดต่อมอดูรัส	40.1677	16-65.01 [10]

ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ที่กระทำ

ตัวแปร	Stress = 1 Mpa		
	Spring	Maxwell	Kelvin
E_0	133.7414	158.142	116.3633
μ_0		141088.8901	174.5450
μ/E			1.500
E_1			252.8678
μ_1			3190.3005
Tau1			12.616
Chi sq.	1.4638	0.6750	1.0227

สมการในการออกแบบ

ฟังก์ชันที่แสดงถึงความแตกต่างระหว่างพฤติกรรมของผิวพลาสติกในการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

$$C.S. = a + bT + cT^2 + dT^3 + e \ln(t) \quad (-5 < T < 90, 30 < t < 1440) \quad (1)$$

เมื่อการแสดงผลพฤติกรรมจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 90 องศาเซลเซียส และลดลงถึง 30 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับเวลาที่น้อยกว่า 1,440 วินาที

สมการที่บ่งบอกผลการทดลองในมาตรฐาน ISO 1856²⁰

$$C.S. = \frac{d_o - d_r}{d_o} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ d_o ค่าความหนาเดิม

d_r ค่าความหนาที่ได้รับจากกด

และเมื่อพลาสติกเกิดการกลับรูปร่างจะมีแรงที่กระทำซ้ำ จะเกิดจุดการเปลี่ยนของค่า strain เพื่อทราบถึงกระบวนการเปลี่ยนรูปในทุกๆ 37.5 เปอร์เซ็นต์

$$C.S.(%) = a \ln(t) + (30 < t < 1440) \quad (3)$$

จากที่เกิดความสัมพันธ์ระหว่าง stress – strain จะมีพฤติกรรมโหมมิ่ง หรือการเกิดพลาสติกผุดพองในลักษณะก่อน

$$L(T) = \text{EXP} \left(\frac{-C(T-T_r)}{C_2 + (T-T_r)} \right) \quad (4)$$

เมื่อ C_1, C_2 ค่าคงที่ชนิดของวัสดุ

T_r อุณหภูมิอ้างอิงเมื่อวัสดุยืดกลับ

T อุณหภูมิเมื่อวัสดุขยายตัว

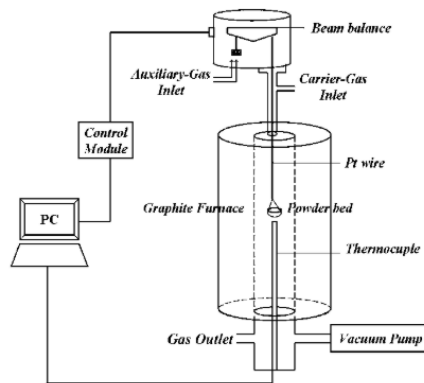
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ชุดของการทดสอบเพื่อหาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของวัสดุทั้งหมด 2 รูปแบบ ได้แก่ Thermal gravimetric analyzer ดังรูปที่ 5 โดยให้ความร้อนแก่วัสดุเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างตามช่วงอุณหภูมิที่สูงสุด 400 องศาเซลเซียส



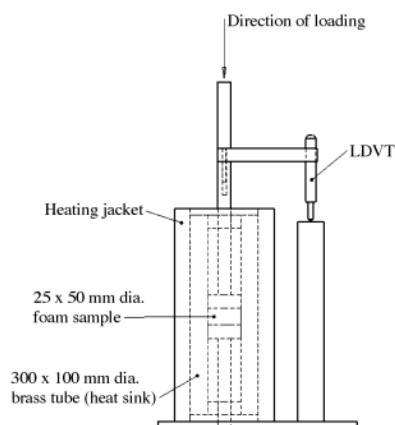
รูปที่ 5 Thermal gravimetric analyzer ทดสอบหาค่ามอดูลัสและความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียด

จากรูปที่ 5 ลักษณะการทดสอบของเครื่อง Thermal gravimetric analyzer ใช้โปรแกรม Math lab ในการควบคุมปริมาณแก๊สร้อนสมดุลเข้าสู่สภาวะคงตัวเพื่อรอการฉีดวัสดุผ่าน Carrier gas และ Auxiliary gas เข้าสู่ Thermocouple กระจายความร้อนสู่พอลิเมอร์เมื่อบันทึกค่าความร้อน มอดูรัส และความสัมพันธ์ของความดันและความเครียดในลักษณะกราฟผ่านโปรแกรม เมื่ออุณหภูมิเกิดขึ้นที่วัสดุหลอมละลายเซ็นเซอร์นำความร้อนรูปแบบ Superheat ออกทาง Gas outlet และเติม Vacuum pump เพื่อเติมสมดุลอากาศเพื่อไม่ให้อุณหภูมิเกินขีดกำหนดดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 Diagram การทดสอบ

จากรูปที่ 6 High temperature test set up การทดสอบเพื่อหาค่าความแตกต่างระหว่างพลาสติก ไนลอน และพอลิเมอร์อัลลอย โดยฉีดวัสดุแล้วหาค่า Compressive Strain ช่วง 25.0% 37.5% และ 50.0% เพื่อหา สัมประสิทธิ์บนผิวที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส เริ่มต้นการนำวัสดุชนิดทดสอบผ่าน Direct of loading อัดตัวผ่าน LDVT เพื่อเพิ่มความดันผ่านอุณหภูมิในความร้อนของแต่ละช่วง บันทึกข้อมูลโดยโปรแกรม Vishay measurements group system 5100 (Data logger) ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 High Temperature Test Set Up

ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์ที่เลือกพิจารณาบนผิวโนลอน

Compressive Strain	Coefficient				
	a	b	c	d	e
25 %	17.7925	8.2×10^{-2}	-1.04×10^{-4}	-5.7×10^{-6}	-1.1572
37.5 %	23.5808	1.1×10^{-1}	-1.5×10^{-5}	-8.9×10^{-6}	-1.2686
50 %	35.7303	4.2×10^{-2}	-2.08×10^{-3}	-1.7×10^{-5}	-1.7773

ตารางที่ 7 สัมประสิทธิ์ที่เลือกพิจารณาบนผิวพลาสติกอัลลอย

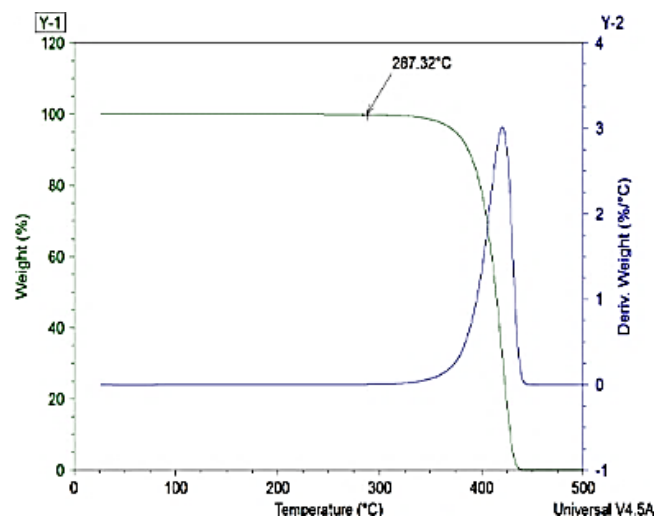
Compressive Strain	Coefficient				
	a	b	c	d	e
25 %	9.1989	1.9×10	-4.1×10^{-3}	3.03×10^{-5}	-1.0598
37.5 %	11.4089	8.3×10^{-2}	-4.2×10^{-4}	8.14×10^{-6}	-1.0745
50 %	13.5568	1.1×10	-2.05×10^{-4}	8.1×10^{-6}	-1.2642

สัมประสิทธิ์บนผิวโนลอนและอัลลอยเมื่อมีแรงกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ตัดขวางค่าที่อัดต่อวัสดุทำให้ระยะลดลงที่อุณหภูมิและระยะเวลาเดียวกันจากสมการที่ 1 เมื่อ a ระยะคงที่ของสัมประสิทธิ์ผิวไม่มีแรงกระทำ จนถึง e เมื่อมีอุณหภูมิพร้อมทั้งเวลาที่ทำให้เกิดการคืบรูปเมื่อมีแรงกระทำตั้งฉาก 25%, 37.5% และ 50% ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -5 องศาเซลเซียส ถึง 90 องศาเซลเซียส และช่วงเวลา 30 – 1440 วินาที ทำให้วัตถุที่อยู่ภายใต้แรงอัดจะต้องกระทำแรงตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของท่อนวัตถุที่กระทำนั้นความเค้นดึงจะให้เครื่องหมายแสดงเป็นลบ เช่น ความเค้นอัดที่ 25 % ค่าสัมประสิทธิ์ a ของผิวโนลอนไม่เกิดแรงกระทำตั้งฉากนั้น 17.7925 เมื่อเพิ่มแรงกระทำเกิดการเปลี่ยนระยะหรือปริมาณผิวสัมประสิทธิ์ลดลงจนถึงสภาวะ d เกิดการคืบรูปแบบอิสระทำให้แรงการทำผิวตั้งฉากเพิ่มขึ้นคือค่าสัมประสิทธิ์ e เป็นกรณีเดียวกับผิวอัลลอยทำให้วัสดุเกิดการ

ผลการวิจัย

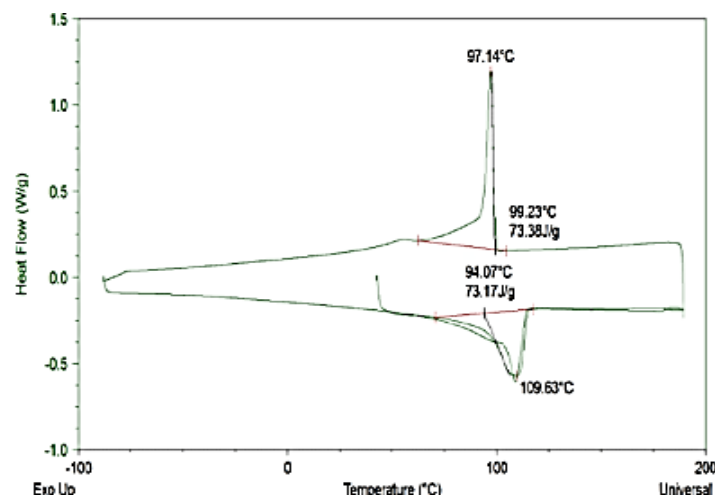
ความร้อนที่ทำให้เกิดจุดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ด้วยการใช้วิธี Thermal gravimetric analyzer (TGA) จะทำให้วัสดุเกิดความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการหยุดและขยายตัว เมื่อทดสอบให้น้ำหนักที่ 15.92 มิลลิกรัม ที่อุณหภูมิที่ 2 องศาเซลเซียสต่อนาที และให้ความร้อนจนถึง 50 องศาเซลเซียส (Leech et al., 1993)

จากข้อมูลเมื่อถึงจุดที่วัสดุค่อยๆขึ้นรูปนั้นอยู่ในช่วง 287 องศาเซลเซียส จนถึงช่วง 400 องศาเซลเซียสและเห็นลักษณะความผันกลับและเป็นไปได้ที่จะเปลี่ยนแปลงในช่วง 350 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลาที่สั้น



รูปที่ 8 พารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นของ Thermal gravimetric analyzer

จากรูปที่ 8 พบว่าอุณหภูมิเกาะตัว T_m คือปัจจัยสำคัญที่ทำให้พลาสติกเกิดรูปร่าง แต่ต้องมีอุณหภูมิคายตัวเพื่อช่วยลดจุดรั่วของชิ้นงาน T_c การที่พลาสติกขึ้นรูปเป็นที่เรียบร้อยแล้วอีกสิ่งหนึ่งคือสีของวัสดุ วิธีการทดสอบจะใช้ลมเป่าในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเมื่ออุณหภูมิกระทำต่อวัสดุ (Hoff and Jacobsson, 1981) ในการทดสอบจะใช้ น้ำของโพลีเอทิลีน 6.4 มิลลิกรัม ให้ความร้อนจนถึง 190 องศาเซลเซียส ตัดกับอุณหภูมิติดลบ 100 องศาเซลเซียส เพื่อหาผลกระทบจุดเกาะตัวและจุดคายตัวของพลาสติก

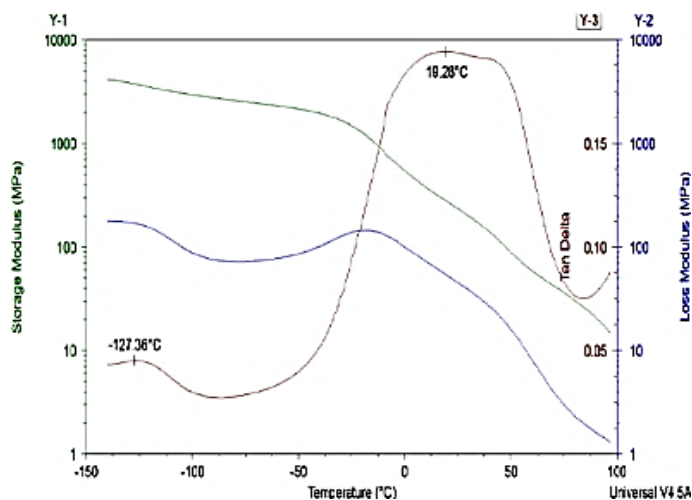


รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับลมเป่า

จากรูปที่ 9 เมื่อให้ความร้อนที่ 97.14 องศาเซลเซียส ลมที่ใช้ในการขึ้นรูปจะเพิ่มขึ้นถึง 1.1 บาร์ แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างนี้ได้รับอิทธิพลจากความเร็วของลมเช่นกัน ในช่วงอุณหภูมิที่ 109.63 องศาเซลเซียส อัตราการไหลกำลังมาติดลบเนื่องจากการคายตัวแบบอเดียเบติก

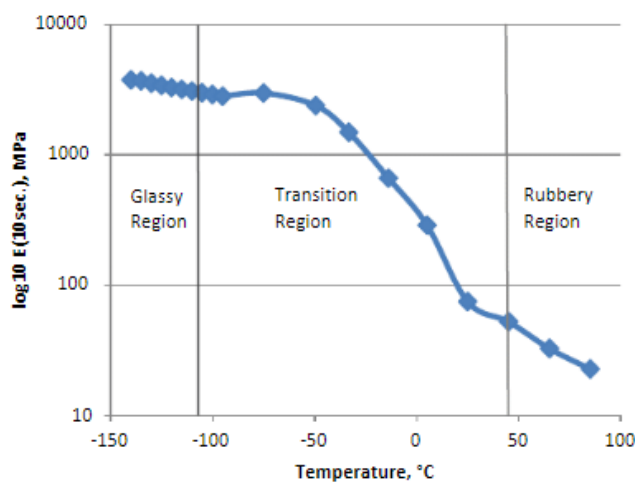
มอดูลัส คือ ค่าที่พลาสติกกักเก็บพลังงานเพื่อตอบสนองต่อความยืดและสร้างความหนาแน่นให้คงที่ต่อการเปลี่ยนรูป และยังบ่งบอกถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงเมื่อความร้อนกระทำจะทำให้เกิดจุดช่วงของการเปลี่ยนสถานะในรูปแบบใดแก้ว T_g ในการ

ทดสอบเมื่อเทียบกับกราฟมอดูลัส จุดอิสระจะบอกถึงช่วงก่อนการกลับรูปเมื่อผ่านช่วง 10 วินาที เกิดจุดสมรรถนะสูงสุดที่ 19.20 องศาเซลเซียส (Hoff and Jacobsson, 1981; Han et. al., 2007)



รูปที่ 10 มอดูลัสการสูญเสียและจุดสูงสุด

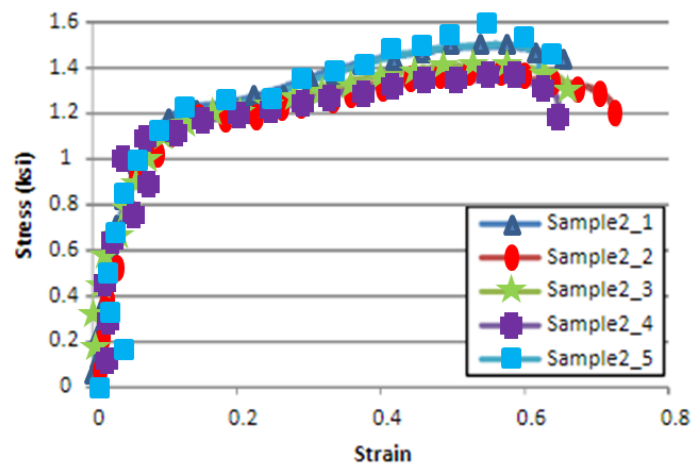
จากรูปที่ 10 เมื่อพิจารณาต่อฟังก์ชันอากาติมเทียบกับอุณหภูมิจะพบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงแบบอิสระนั้นเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาที่ยาวจนกลายมาเป็นยางสังเคราะห์ดังรูปที่ 11 (Vasile and Pascu, 2005)



รูปที่ 11 ช่วงการเปลี่ยนสถานะในมอดูลัส

จากรูปที่ 11 พบว่าช่วงการเปลี่ยนสถานะในมอดูลัสจะเริ่มตั้งแต่การที่อุณหภูมิที่ฐาน 10,000 ลักษณะจะอยู่ในรูปใยแก้วของจุดขีดกำหนดอุณหภูมิต่ำที่สุดจนขึ้นมาเป็น การเปลี่ยนแปลงที่ขีดอุณหภูมิปกติในฐานอากาติม 100-1,000 เป็นที่แน่นอน เมื่อสถานะที่ถูกความร้อนกระทำนั้นเกิดการเปลี่ยนรูปร่างที่ถาวรในช่วงการที่อุณหภูมิ 100 เท่านั้น (Heuvel et al., 1992)

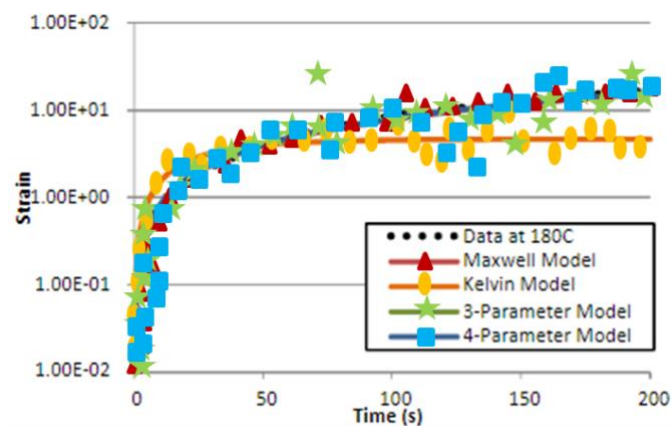
แรงดึงของวัสดุจะมีค่า Stress และ Strain อยู่ภายในเมื่อวัสดุถูกการยืด ค่าของ Stress จะเพิ่มตาม Strain เมื่อวัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปเมื่อนำโพลีเอทิลีนมาทำสอบการดึง 5 ครั้งผลที่ได้ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain

จากรูปที่ 12 ในการทดสอบแรงดึงครั้งที่ 5 จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของ Stress อยู่ในช่วงที่มากที่สุดเนื่องจากการสูญเสียความแข็งแรงในโครงสร้างที่มีค่าความล้ามากที่สุด และรูปร่างชิ้นงานจะคงสภาพได้นานที่สุด

ในการทดสอบที่ค่า Stress = 7 ค่าที่เปลี่ยนแปลงต่อการยืดตัวของพลาสติกอยู่ที่ 0.2145 ปัจจัยหลักที่ค่า Stress เพิ่มขึ้นเมื่อการทดสอบใช้รอบวัฏจักรในช่วง $1.00\text{E}-02$ ถึง $1.00\text{E}+02$ และนำผลมาเปรียบเทียบกับแต่ละบทความดังรูปที่ 13 (Lai and Bakker, 2005)

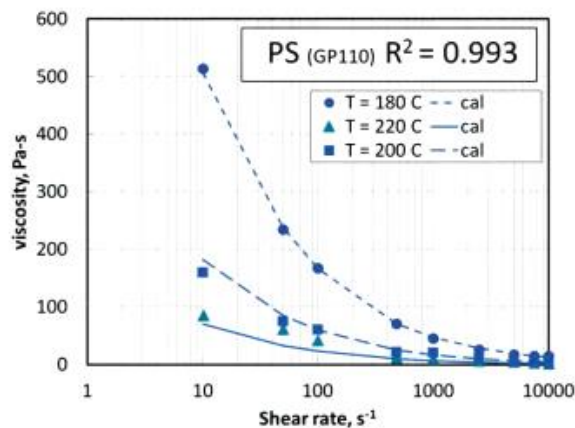


รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Strain และ Time

จากรูปที่ 13 พบว่า Max well, 3-parameter model, 4-parameter model ใช้ฟังก์ชัน $1.00\text{E}+0.1$ คือค่าที่ strain เกิดจุดสมดุลเท่ากันจนถึงระยะเวลา 200 วินาที แต่ในด้าน Kelvin model ได้ฟังก์ชันที่น้อยกว่าจนทำให้เห็นได้ชัดว่าวัฏจักรในการทดสอบซ้ำๆ จะไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงสูงสุดเมื่อพิจารณาแรงเฉือนที่ 180 องศาเซลเซียส ที่ 0.7% มีแรงต้านและยาวนานถึง 100 วินาที

พฤติกรรมกลไกของพอลิเมอร์ การฉีดเข้าแม่พิมพ์ที่ไม่สมมาตรเพื่อหาค่าความร้อนจำเพาะ ค่าความหนืด ค่าการนำความร้อน และความหนาแน่นของพลาสติกหลอมเหลว ที่เกิดขึ้นกับอุณหภูมิเพื่อนำมาสร้างสมการอธิบายความสัมพันธ์ของค่าดังกล่าว อุณหภูมิของพลาสติกหลอมเหลว ความเร็วในการฉีด และความดันในการฉีดที่คงที่แบบ Shot size ที่แตกต่างกัน

จำนวน 5 ค่าของพลาสติกและนำผลจริงมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองการไหลตามระยะทางที่พลาสติกไหลได้ในแต่ละทิศทาง และลักษณะของ Flow front ที่ระยะฉีดเท่ากัน จะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของพอลิเมอร์กับอัตราการฉีด ณ อุณหภูมิต่างๆ จะนำมาเทียบกับ Fitting curve แบบเชิงเส้นกับเส้นค่าอุณหภูมิบนโปรแกรม Math lab ดังรูปที่ 14 และจะได้ 5 ค่า สมการ Cross model คือ 1) Zero shear viscosity 2) Power law index (n) 3) Time constant (lamda) 4) Temp reference (Tr) 5) Activation energy ดังตารางที่ 5



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของพอลิเมอร์กับอัตราการฉีด ณ อุณหภูมิต่างๆ

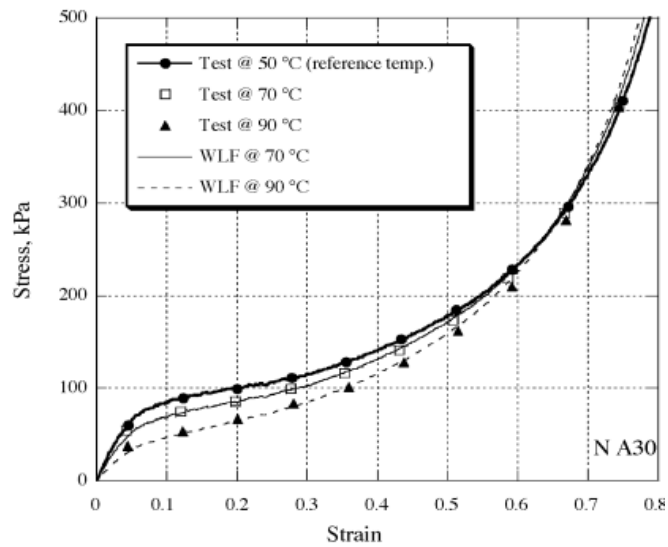
จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่ออุณหภูมิไม่เท่ากัน ลักษณะค่าความหนืดจะแตกต่างกันและค่าแรงเฉือนจะเข้าใกล้กันเมื่อเวลาผ่านไปทำให้แรงเฉือนแสดงค่า Time constant มีผลต่อการสร้างสภาวะพลาสติกเช่นกัน (Leech et al., 1993; Davies et al., 2000)

ตารางที่ 8 ตัวแปร Cross Model

R^2	Zero shear viscosity	n	lamda	Tr	Activation energy	Type
0.951	6.15×10^4	0.56	1.17	214.99	2514.95	HDPE
0.981	1.42×10^5	0.46	2.06×10^7	531.81	7356.93	PP
0.993	1.56×10^7	0.43	0.71	331.31	3978.23	PS

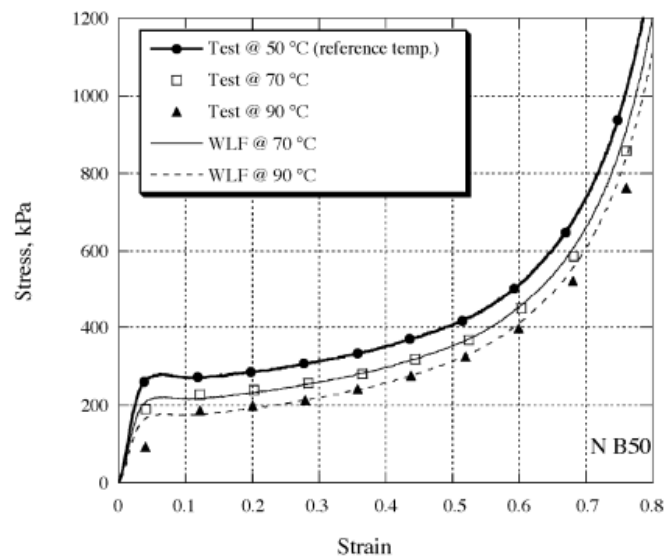
จากตารางที่ 8 กล่าวได้ว่าการทดสอบสอดคล้องกับสมการ Cross model ซึ่งแสดงให้เห็นด้วยค่าสัมประสิทธิ์การประมาณ (Coefficient of determination หรือ R^2) ที่มีค่าสูง 0.90 ทุกตัวอย่าง พอลิเมอร์ หลอมเหลวทั้งหมดมีลักษณะการไหลแบบ non-newtonian เนื่องจากค่า Power law index ไม่เท่ากับ 1 และอยู่ในช่วง 0.4-0.7

ผลของการทดสอบ High temperature test set up พลาสติกชนิดอัลลอย พฤติกรรมที่เกิดขึ้นมาจากสมการข้างต้น แต่ผลของไบนลอนแสดงให้เห็นดังรูปที่ 16 ผลของการทดสอบนี้เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบจริง Thermal gravimetric analyzer ผลของการทดสอบแสดงดังรูป 15



รูปที่ 15 Strain-stress ที่เกิดขึ้นจากการทดลองอัลลอย High temperature test set up

จากรูปที่ 15 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบจริงที่ 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส และใช้ความดันในการเฉือนพลาสติกอัลลอย ตั้งแต่ 0-500 กิโลปาสกาล พบว่าค่า strain – stress จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการฉีกจนถึงความดันที่ 345 กิโลปาสกาล ลักษณะของค่า strain – stress ทุกๆอุณหภูมิมีค่าเท่ากันแสดงให้เห็นว่าพลาสติกชนิดอัลลอยจะเกิดจุดอ่อนตัวลงในความดันค่าหนึ่งเสมอ



รูปที่ 16 Strain – stress ที่เกิดขึ้นจากการทดลองไนลอน High temperature test set up

จากรูปที่ 16 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบจริงที่ 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส และใช้ความดันในการฉีกพลาสติกไนลอน ตั้งแต่ 0-1,200 กิโลปาสกาล พบว่าค่า strain – stress ทุกๆ ช่วงอุณหภูมิและทุกๆ ช่วงของความดันในการเฉือนมีลักษณะของค่า strain – stress ทุกๆ ช่วงอุณหภูมิมีค่าเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าพลาสติกชนิดไนลอนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคงที่

การอภิปรายผล

ในการทดสอบงานวิจัยนี้เพื่อให้ได้ค่าที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างพลาสติกชนิดพอลิเมอร์ในหลายรูปแบบ เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงมากกว่าวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และการอ้าง ถึงสมการของผู้วิจัยจากการสืบค้นบทความที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากสมการแต่ละบทความนั้นมีข้อแตกต่างกันในการเลือกใช้กับงาน การพิจารณาพฤติกรรมในส่วนของการทดสอบหาพฤติกรรมที่เปลี่ยนไปนั้น เครื่องมือหรือลักษณะการทดสอบควรมีค่าความคาดเคลื่อนอยู่ที่ ± 0.2 เท่านั้น เพื่อให้สภาวะการไหลของวัสดุคงตัวที่สุด และเพื่อความเสถียรของผลการทดลองนี้ควรศึกษาขณะมีความร้อนผ่านพลาสติกเพื่อหาคุณลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนช่วงใดๆ รูปแบบใดๆ แสดงให้เห็นถึงจุดที่พลาสติกเกิดความแตกต่าง เกิดจุดร้าว หรือการคืนรูป

บทสรุป

เมื่อพิจารณาในส่วนการไหลแบบ Newtonian หรือการกำหนดค่าความหนืดคงที่ไม่เหมาะสมกับการจำลองการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวในแม่พิมพ์ เพราะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดสูงถึง 38 เปอร์เซ็นต์ การจำลองพฤติกรรมนี้สามารถออกแบบแม่พิมพ์ได้ สำหรับการไหลของพอลิเมอร์ PS มีความผิดพลาดไม่น้อยกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ HDPE และ PP จะมีความผิดพลาดมากถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเกิดการตั้งสมมุติฐานด้านการถ่ายเทความร้อนที่กำหนดให้ผนังมีอุณหภูมิที่คงที่และต่ำกว่าการลดอุณหภูมิในแม่พิมพ์

พฤติกรรมจากกระบวนการ Thermal gravimetric analyzer บ่งบอกถึงการคืนรูปตั้งแต่ช่วง 350 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป และเมื่อมีลมมากระทำจะเกิดการคงรูปที่ 109.63 องศาเซลเซียส ต่อ 1.1 บาร์ ทำให้เกิดอเดียแบติกทันที ค่า Stress และ Strain จะมีค่าเข้าใกล้กันทั้งที่สมการนำไปใช้ทดสอบแตกต่างกันความเบี่ยงเบนจะอยู่ที่ 4 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อหาผลกระทบ Stress เท่ากับ 7 จะมีลักษณะการอยู่ตัวของพลาสติกก็จะคงที่เมื่อใช้เวลาในการให้ความร้อนช่วง 100 วินาทีเป็นต้นไป แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการตอบสนองต่อการกระทำเชิงกล แล้วการเปลี่ยนแปลงนั้นจะย้อนกลับเข้าสู่สภาวะตั้งต้นได้เสมอ

เอกสารอ้างอิง

- Chailleux E. and Davies P. (2003). Modelling the non-linear viscoelastic and viscoplastic behaviour ofaramid fibre yarns. *Mechanics of Time Dependent materials*. 7: 291-303.
- Davies P., Huard G., Grosjean F and Francois M. (2000). Creep and relaxation of polyester mooring Lines. In *Proceedings of the offshore technology conference*. Paper OTC. 12176. 1-12.
- Ghoreishi S.R., Messenger T., Cartraud P. and Davies P. (2004). Assessment of cable models for synthetic synthetic mooring lines. In *Proceedings ISOPE conference*. Toulon. JSC-301.
- Han Y.C., Lee S., Ahn B.H., Oh S.W. and Kang Y.S. (2007). Preparation of anti-fogging low density polyethylene film by using irradiation. *Sensors and Actuator B: Chemical*. 126(1): 266-270.

- Heuvel H.M., Lucas L.J., van den Heuvel C.J.M. and Weijer A.P. (1992). Experimental relations between physical structure and mechanical properties of a huge number of drawn poly (ethylene terephthalate) yarns. *Journal of Applied Polymer Science*. 45: 1649-1660.
- Hoff A. and Jacobsson S. (1981). Thermo-oxidative degradation of low density polyethylene close to industrial processing conditions. *Journal of Applied Polymer Science*. 26(10): 3409-3423.
- Lai J. and Bakker A. (1995). An integral constitutive equation for nonlinear plasto-viscoelastic behaviour of high-density polyethylene. *Polymer Engineering and Science*. 35(17): 1339-1347.
- Leech C.M., Hearle J.W.S., Overington M.S. and Banfield S.J. (1993). Modelling tension and torque properties of fibre rooves and splices. In *Proceeding ISOPE conference*. Singapore. 370- 376.
- Schapery R.A. (1997). Non-linear viscoelastic and viscoplastic constitutive equations based on thermodynamics. *Mechanics of time dependent materials*. 1:209-240.
- Vasile C. and Pascu M. (2005). *Practical Guide to Polyethylene*. Rapra Technology Limited. Shawbury. UK

Received: December 12, 2019; Revised: March 10, 2020; Accepted: April 20, 2020

ผลของระยะเวลาในการชงชากับคุณภาพทางกายภาพ เคมี กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ
และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชาเจียวกู่หลาน

Effects of brewing time period on Physical and Chemical Quality, Antioxidant
activity and Sensory quality of *Gynostemma pentaphyllum* Tea

อดิศักดิ์ จูมวงษ์^{1*} และ วิทวัส เกตุดี¹

Adisak Joomwong^{1*} and Wittawat Katdee¹

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

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

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาในการชงชาต่อคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชาเจียวกู่หลานโดยใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการชงชาที่ 3, 5, 7 และ 9 นาที ผลการทดลอง พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเขียว (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณของคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของน้ำชามีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการชงชา ปริมาณกรดซิตริก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก มีค่าคงที่ กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ (IC₅₀) มีค่า 3.01 ppm เมื่อใช้ระยะเวลาในการชงชา 9 นาที การทดสอบประสาทสัมผัสของน้ำชาตามระบบ Hedonic scale 1-5 คะแนนที่ระยะเวลา 9 นาที มีค่าของสีน้ำชา รสชาติ กลิ่น และค่ายอมรับโดยรวมของน้ำชา คือ 4.00, 2.18, 4.00 และ 4.18 คะแนน ตามลำดับ

คำสำคัญ: ชาเจียวกู่หลาน ระยะเวลาในการชงชา คุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี คุณภาพทางประสาทสัมผัส

Abstract

The purpose of this research was to determine the physical qualities, chemical qualities, antioxidant activity, and sensory quality of the *Gynostemma pentaphyllum* tea different brewing time 5, 7, and 9 minutes at 90 °C. The results showed that the lightness (L*), the green color (a*), the yellow color (b*), total soluble solid (TSS), pH, total phenolic content, and total chlorophyll were increased over

the brewing time. The concentrations of citric acid, malic acid, and tartaric acid were constant throughout the 9-minute brewing. Antioxidant activity (IC_{50}) of tea brewing at 9 minutes was 3.01 ppm. The sensory evaluation scores (Hedonic scale 1-5) on color, taste, aroma, and overall acceptance of tea brewing at 9 minutes were 4.00, 2.18, 4.00, and 4.18, respectively.

Keywords: *Gynostemma pentaphyllum* tea, Brewing time of tea, Physical quality, Chemical quality, Sensory quality

บทนำ

เจียวกู่หลาน (*Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino) มีชื่อสามัญ Jiaogulan หรือ *Gynostemma* จัดอยู่ในวงศ์แตง (Cucurbitaceae) เจียวกู่หลานจัดเป็นพืชสมุนไพรของประเทศจีน (Bulmert and Lui, 2003) มีสรรพคุณในการบำรุงสุขภาพ และรักษาอาการป่วยต่าง ๆ ได้หลายอย่าง ชาวจีนจึงเรียกว่าเจียวกู่หลานว่า “ซียันเช่า” ซึ่งมีความหมายว่าสมุนไพรแห่งชีวิตอมตะ (อัญชลี, 2548) ในประเทศไทยมีการนำมาปลูกในทุกภาค มีชื่อเรียกว่า ปัญจขันธ์ หรือเบญจขันธ์ เจียวกู่หลานเป็นพืชสมุนไพรที่นิยมนำมาบริโภคในหลากหลายรูปแบบทั้งในการบริโภคใบสด หรือการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อให้สะดวกและเหมาะสมต่อความต้องการของผู้บริโภค เช่น เจียวกู่หลานบรรจุแคปซูลอัดเม็ด การทำเป็นผลิตภัณฑ์ชาตากแห้ง ชาผงบรรจุซอง หรือผสมกับพืชสมุนไพรอื่น ๆ ชาเจียวกู่หลานเป็นที่นิยมดื่มและหาซื้อได้ทั่วไปในตลาดท้องถิ่นของจีน ญี่ปุ่น เกาหลี และประเทศไทย (พนิดา, 2549) เนื่องจากชาสมุนไพรเจียวกู่หลาน หรือ ปัญจขันธ์ เป็นหนึ่งในสมุนไพรที่มีการใช้เพื่อลดระดับน้ำตาลในเลือด และกำลังเป็นที่สนใจของกลุ่มผู้ป่วย รวมถึงผู้บริโภคที่รักษาสุขภาพ (สรกนก และวริษา, 2560)

ปัจจุบันการบริโภคเจียวกู่หลานมีหลากหลายรูปแบบ เช่น การใช้ประโยชน์เป็นเครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ การบริโภคเจียวกู่หลานในรูปแบบของชา (Tea) จัดเป็นวิธีที่นิยมอีกวิธีหนึ่งเช่นกัน จึงทำให้มีการผลิตใบชาจากเจียวกู่หลาน เพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภค และรวมถึงกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการดื่มชาสมุนไพรที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกายด้วย (บุญธรรม, 2553) ปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพของน้ำชาคือ คุณภาพของใบชา อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ชง และเวลาที่ใช้ในการชงชา โดยเฉพาะอย่างยิ่งระยะเวลาในการชงที่สั้นไปหรือมากเกินไปจะมีผลต่อคุณภาพของชาโดยตรง ดังนั้นจึงสนใจที่จะศึกษาผลของระยะเวลาต่อคุณภาพทางกายภาพคุณภาพทางเคมี สารต้านอนุมูลอิสระ และการทดสอบประสาทสัมผัสของชาเจียวกู่หลาน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างน้ำชา

1.1 การเตรียมใบชา ชั่งใบชาเจียวกู่หลานแห้ง ปริมาณ 2 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่งแบ่งเป็น ชุดละ 2 ชุด ๆ ละ 3 ซ้ำ จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 60 ตัวอย่าง บรรจุถุงสุญญากาศเพื่อทำการทดลองต่อไป

1.2 การเตรียมน้ำชาตัวอย่างใช้ตัวอย่างใบชาที่เตรียมไว้ ปริมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยเติมน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้ได้ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 นาที เพื่อให้ได้น้ำชาที่ต้องการและใช้ในการทดลองต่อไป

2. การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ตามวิธีการของ Mcguire (1992) ทำการวัดสีของน้ำชา โดยใช้เครื่องวัดสี (Color reader, Model CR10, Minolta, Japan) แสดงค่าของค่าความสว่าง (Lightness, L*) ค่าสีเขียว (a*) และ ค่าสีเหลือง (b*)

3. การศึกษาคุณภาพทางเคมี ตามวิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1 ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ (Total soluble solids: TSS) (AOAC, 2000) โดยใช้ Atago, Digital refractometer, PAL 1, Measurement Range Brix: 0 – 53%, Japan ทำการตั้งค่า Blank ด้วยการหยดน้ำกลั่นลงบน Digital refractometer เพื่อปรับค่าเป็นศูนย์ จากนั้นนำน้ำชาตัวอย่าง ประมาณ 1- 2 มายดบน Digital refractometer บันทึกค่าที่ได้เป็น (% Brix)

3.2 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) (AOAC, 2000) ทำการวัดค่าความเป็นกรดต่างของน้ำชา โดยใช้เครื่องมือ pH meter (Eutech Model CyberScan PH1500) โดยจุ่มหัววัด (probe) ลงไปในน้ำชาเพื่อทำการวัดค่ากรด-ด่างของตัวอย่างทั้งหมดบันทึกผลและหาค่าเฉลี่ย

3.3 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity: TA) (AOAC, 2000) โดยการปิเตน้ำชา 2 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ (Flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร หยด Phenolphthalein 3-5 หยด ป้อน โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จากบิวเรต ลงในลงในขวดรูปชมพู่ ทำการไทเทรตจนน้ำชาเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน นั่นคือจุดยุติ ทำการทดลองตัวอย่างทั้งหมด บันทึกปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ml NaOH) ที่ใช้ไปหน่วยเป็นมิลลิลิตร หาค่าเฉลี่ยและทำการคำนวณหาปริมาณกรดซิตริก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก จากสูตร

$$\text{ร้อยละของกรด} = [(ml \text{ NaOH}) (N \text{ NaOH}) (\text{meq.wt.acid}) / (ml \text{ sample})] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ meq.wt.acid = 1 มิลลิกรัมสมมูลของน้ำหนักรดซิตริก (meq.wt.acid = 0.064)

meq.wt.acid = 1 มิลลิกรัมสมมูลของน้ำหนักรดมาลิก (meq.wt.acid = 0.067)

meq.wt.acid = 1 มิลลิกรัมสมมูลของน้ำหนักรดทาร์ทาริก (meq.wt.acid = 0.075)

3.4 ปริมาณวิตามินซีของน้ำชา วิเคราะห์โดยการไทเทรตด้วยวิธี dichlorophenolindophenol titrimetric method (AOAC, 1990) โดยปิเตน้ำชา 2 มิลลิลิตร และกรดออกซาลิก (Oxalic acid) 8 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 20 มิลลิลิตร ทำการผสมเบา ๆ ปิเตน้ำชาที่ผสมกับกรดออกซาลิกมา 2 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 25 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วย Indophenol 40 มิลลิลิตร จนกระทั่งเปลี่ยนสีเป็นสีชมพูคือจุดยุติทำการทดลองน้ำชาทุกระยะเวลาในการชงตัวอย่างทั้งหมด บันทึกปริมาตรของ Indophenol และหาค่าเฉลี่ย

คำนวณหาปริมาณวิตามินซีเทียบกับสารละลายกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) โดยการนำสารละลายกรด ascorbic 2 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรด oxalic 5 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตด้วย Indophenol ทำการทดลองตัวอย่างทั้งหมด นำค่าที่ได้มาเทียบหาค่าปริมาณวิตามินซีในน้ำชา

3.5 การวิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด วิเคราะห์โดยใช้ Folin-Ciocalteu method ตามวิธีของ Chidambara et al. (2002) สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลาย Gallic acid โดยปิเตสารละลาย Gallic acid ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นทดลอง 10 % Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งพักไว้ 5 นาที จากนั้นเติม 7.5 % โซเดียมคาร์บอเนต ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร พักไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที นำสารที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Shimadzu UV-2401PC) สร้างกราฟมาตรฐาน

การดูดกลืนแสงของสารละลาย Gallic acid ที่รู้ความเข้มข้นแล้ววิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัด โดยนำตัวอย่างสารสกัดปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ทำการทดลองเช่นเดียวกับการสารละลาย Gallic acid มาตรฐาน ทำการทดสอบ ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเฉลี่ยในรูปมิลลิกรัมของ Gallic acid equivalents (GAE) ต่อสารสกัด 1 ลิตร

3.6 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ วิเคราะห์โดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging assay (DPPH method) ดัดแปลงจากวิธีการของ Lee and Shibamoto (2002) โดยปิเปตน้ำชา 10 มิลลิลิตรนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากันจากนั้นปิเปตน้ำชาที่ปรับปริมาตรเรียบร้อยแล้ว 50 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตรทำการเจือจางเป็นลำดับส่วน 50 : 50 ต่อไปอีก 4 ความเข้มข้นโดยความเข้มข้นแรกคือ Blank ปิเปตน้ำชาแต่ละความเข้มข้นยกเว้น Blank 1 มิลลิลิตร ทำการทดลองความเข้มข้นละ 10 ซ้ำเติมสาร DPPH ตั้งทิ้งไว้ 20 นาทีในที่มืดวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรนำค่าที่ได้คำนวณจากสูตร

$$\% \text{Inhibition} = [(OD_{517} \text{ control} - OD_{517} \text{ sample}) / OD_{517} \text{ control}] \times 100 \quad (2)$$

นำความเข้มข้นและเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระไปเขียนกราฟเพื่อทำ Linear regression จะได้สมการและคำนวณค่า IC_{50} (ความเข้มข้นที่สามารถขจัดอนุมูลอิสระได้ 50 %) จากกราฟเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาเขียวกุหลาบกับ Butylatedhydroxyanisole (BHA) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน

3.7 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) (AOAC, 2000) โดยการชั่งใบชา 2 กรัม เติมเอทานอล (Ethanol) 5 มิลลิลิตรตั้งไว้ในที่มืด 24 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร บันทึกค่าทำการทดลองตัวอย่างทั้งหมด คำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์จากสูตร

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ} = [12.7 (OD_{663}) - 2.69 (OD_{645})] \times V / (1000 \times w) \quad (3)$$

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์บี} = [22.9 (OD_{645}) - 4.68 (OD_{663})] \times V / (1000 \times w) \quad (4)$$

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด} = [20.2(OD)_{645}] + [8.02(OD)_{663}] \times V / (1000 \times w) \quad (5)$$

4. ทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำชา ดัดแปลงตามวิธีของไพโรจน์ (2535) นำน้ำชาที่เตรียมไว้ตามระยะเวลาต่าง ๆ มาอุ่นให้มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เสิร์ฟให้ผู้ทดสอบการชิมจำนวน 16 คนประกอบด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกมาแล้ว (Trained panel testing) จำนวน 6 คน และผู้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory panels) จำนวน 10 คน เพื่อทำการทดสอบและให้คะแนนตามระบบ Hedonic scale 1- 5 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- 4.1 สีนํ้าชา ให้สังเกตสีของน้ำชาแล้วทำการให้คะแนนระหว่าง 1 (สีเขียวอ่อน) ถึง 5 (สีเขียวเข้ม)
- 4.2 กลิ่น ตมกลิ่นของน้ำชาแล้วทำการให้คะแนนดังนี้
 - 4.2.1 ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม (1) ถึงมีกลิ่นแปลกปลอมมาก (5)
 - 4.2.2 มีกลิ่นหอมน้อย (1) ถึงกลิ่นหอมมาก (5)
- 4.3 ชิมรสชาติของน้ำชาและทำการให้คะแนนดังนี้

4.4 รสหวาน โดยให้คะแนน คือ ไม่มีรสหวาน (1) ถึงรสหวานมาก (5)

4.5 รสขม โดยการให้คะแนน คือ ไม่มีรสขม (1) ถึงรสขมมาก (5)

4.6 รสฝาด โดยการให้คะแนน คือ ไม่ฝาด (1) ถึงฝาดมาก (5)

4.7 การยอมรับโดยรวมซึ่งพิจารณาจากลักษณะต่างๆ ของ ข้อ 4.1 - 4.6 โดยให้คะแนนเฉลี่ยรวม จาก (1) ถึง (5) บันทึกผลของการทดสอบลงตารางทำการเฉลี่ยคะแนนและสรุปผลจากการทดสอบ

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 21.0 มาวิเคราะห์หาความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) (Steel et al., 1997)

ผลการวิจัย

1. การประเมินคุณภาพทางกายภาพ

การประเมินคุณภาพทางกายภาพ ด้านสีของน้ำชาเขียวกู่หลาน โดยใช้เครื่องวัดสี (Color reader) พบว่า สีของน้ำชาเขียวกู่หลานมีค่าความสว่าง (Lightness, L^*) เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการชงชาที่เพิ่มขึ้น คือ ระยะเวลา 3 5 7 และ 9 นาที คือ 38.88, 41.91, 41.96 และ 42.01 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำชาที่มีสีเข้มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

ค่าสีเขียว-แดง (a^*) ของน้ำชาเขียวกู่หลาน พบว่า ช่วงระยะเวลา 3 – 5 นาทีของการชงชาจะมีสีเขียวอ่อน สอดคล้องกับค่า a^* ที่ติดลบ (-) ที่แสดงว่ามีสีเขียว คือ -0.03 และ -0.14 ตามลำดับ ส่วนช่วงระยะเวลา 7- 9 นาทีของการชงชา น้ำชาจะมีแดงเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับค่า a^* ที่มีค่าเป็นบวก (+) ที่แสดงว่ามีสีแดง คือ 0.02 และ 0.08 ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำชาเขียวกู่หลานมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการชงชา คือ ระยะเวลา 3 5 7 และ 9 นาที คือ 1.84 1.87 1.87 และ 2.03 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาการชงชาเพิ่มขึ้น น้ำชาเขียวกู่หลานจะมีสีเหลืองเข้มขึ้น (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สีของน้ำชาเขียวกู่หลาน

ระยะเวลาในการชงชา (นาที)	ความสว่าง (L^*)	สีเขียว-แดง (a^*) (ns)	สีเหลือง (b^*)	ความเข้มสี (Chroma) (ns)	องศาสี (Hue)
3	38.88 ^b ±0.58	-0.03 ^a ±0.38	1.87 ^b ±0.22	1.89 ^a ±0.24	217.91 ^b ±176.25
5	41.91 ^a ±0.34	-0.14 ^a ±0.10	1.87 ^b ±0.27	1.85 ^a ±0.11	250.15 ^a ±167.44
7	42.01 ^a ±0.28	0.02 ^a ±0.14	1.84 ^b ±0.24	1.91 ^a ±0.13	247.34 ^a ±167.27
9	41.96 ^a ±0.30	0.08 ^a ±0.15	2.03 ^a ±0.25	2.05 ^a ±0.17	181.14 ^c ±182.38

หมายเหตุ: ^{a,b} ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$); ns = not significant

2. การประเมินคุณภาพทางเคมี

การประเมินคุณภาพทางเคมีในด้านปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ ความเป็นกรด-เบส ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ในรูปของกรดซิตริก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก ปริมาณวิตามินซี ปริมาณโพลีฟีนอล คลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และการต้านทานอนุมูลอิสระ มีดังนี้

ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของน้ำชาเขียวกู่หลานมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการชงชา และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) ค่าความเป็นกรด-เบส พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำชาเขียวกู่หลานมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการชงชา แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ในรูปของกรดซิตริก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก พบว่า มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการชงชาที่เพิ่มขึ้น และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ส่วนปริมาณวิตามินในน้ำชาเขียวกู่หลานจากการทดลอง พบว่า ไม่สามารถหาจุดยุติและปริมาตรของอินดิเคเตอร์ได้ในน้ำชาทุกระยะเวลาที่ใช้ชงชา

ตารางที่ 2 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ กรด-เบส กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก ของน้ำชาเขียวกู่หลาน

ระยะเวลาในการชงชา (นาที)	ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้(%Brix)	กรด-เบส(pH) (ns)	กรดซิตริก (mg/100g) (ns)	กรดมาลิก (mg/100g) (ns)	กรดทาร์ทาริก (mg/100g) (ns)
3	0.55 ^b ±0.07	6.056 ^a ±0.10	0.0320 ^a ±0.00	0.0335 ^a ±0.00	0.0375 ^a ±0.00
5	0.60 ^b ±0.01	6.093 ^a ±0.06	0.0320 ^a ±0.00	0.0335 ^a ±0.00	0.0375 ^a ±0.00
7	0.76 ^a ±0.05	6.071 ^a ±0.07	0.0320 ^a ±0.00	0.0335 ^a ±0.00	0.0375 ^a ±0.00
9	0.77 ^a ±0.10	6.126 ^a ±0.04	0.0320 ^a ±0.00	0.0335 ^a ±0.00	0.0375 ^a ±0.00

หมายเหตุ: ^{a,b} ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีความต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ; ns = not significant

ปริมาณของฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า ปริมาณของฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการชงชาที่เพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เอ และ คลอโรฟิลล์ บี พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการชงชาที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) การต้านทานอนุมูลอิสระของน้ำชาเขียวกู่หลานที่ระยะเวลาการชงชา 3, 5 และ 7 นาที ไม่สามารถวัดค่ากิจกรรมการต้านทานอนุมูลอิสระได้ ส่วนระยะเวลาการชงชาที่ 9 นาที พบว่า มีกิจกรรมการต้านทานอนุมูลอิสระ คือ 3.01 ppm (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 โพลีฟีนอล คลอโรฟิลล์ และการต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาเจียวกู่หลาน

ระยะเวลาในการชงชา (นาที)	ฟีนอลิกทั้งหมด (mg/100g)	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/100g) (ns)	คลอโรฟิลล์ เอ (mg/100g) (ns)	คลอโรฟิลล์ บี(mg/100g) (ns)	การต้านอนุมูลอิสระ (IC ₅₀ of DDPH, ppm)
3	24.678 ^c ±0.02	0.0570 ^a ±0.00	0.0124 ^a ±0.01	0.0194 ^a ±0.00	nd
5	30.428 ^b ±0.02	0.0598 ^a ±0.02	0.0129 ^a ±0.00	0.0251 ^a ±0.01	nd
7	32.536 ^b ±0.03	0.0601 ^a ±0.02	0.0136 ^a ±0.01	0.0237 ^a ±0.00	nd
9	45.671 ^a ±0.12	0.0716 ^a ±0.01	0.0150 ^a ±0.00	0.0228 ^a ±0.00	3.01

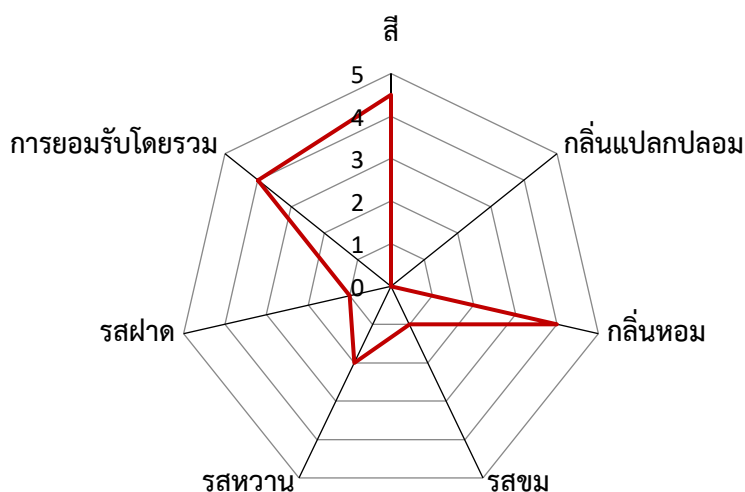
หมายเหตุ: ^{a,b} ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05);

ns = not significant and nd = not detected

3. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบประสาทสัมผัส ตามระบบ Hedonic score 1-5 โดยการชิมน้ำชาเจียวกู่หลานที่ระยะเวลาการชงชา 9 นาทีจากผู้ชิมที่ผ่านการฝึกทดสอบการชิม จำนวน 16 ราย มีผลดังนี้ คือ (รูปที่ 1)

- 3.1 สีของน้ำชา มีค่าคะแนน คือ 4.00 ซึ่งมีความสูง แสดงถึงการมีสีเขียวเข้มของชาเจียวกู่หลาน
- 3.2 กลิ่นแปลกปลอมของน้ำชา มีค่าคะแนน คือ 0 หมายถึง การไม่มีกลิ่นแปลกปลอมของชาเจียวกู่หลาน
- 3.3 กลิ่นหอมของน้ำชา มีค่าคะแนน คือ 4.00 แสดงถึงการมีกลิ่นหอมของน้ำชาเจียวกู่หลาน
- 3.4 รสขมของน้ำชา มีค่าคะแนน คือ 1.00 แสดงว่าน้ำชามีรสขมเล็กน้อย
- 3.5 รสหวานของน้ำชา มีค่าคะแนน คือ 2.18 แสดงว่าน้ำชามีรสหวานปานกลาง
- 3.6 รสฝาดของน้ำชา มีค่าคะแนน คือ 1.00 แสดงว่าน้ำชามีรสฝาดเล็กน้อย
- 3.7 การยอมรับโดยรวมของน้ำชา มีค่าคะแนน คือ 4.18 แสดงว่าผู้ทดสอบมีการยอมรับน้ำชาโดยรวมของชาเจียวกู่หลานในระดับมาก



รูปที่ 1 การทดสอบค่าประสาทสัมผัสโดยการชิมน้ำชาเจียวกู่หลาน

การอภิปรายผล

การที่สีของน้ำชาเขียวกุหลานมีสีเข้มขึ้นตามระยะเวลาของการชงชา เนื่องจากปัจจัยสำคัญของสีของน้ำชา นั้น นอกจากจะขึ้นกับคุณภาพของใบชาแล้ว ปัจจัยที่มีผลต่อสีและคุณภาพของน้ำชา คือ อุณหภูมิของน้ำร้อน ซึ่งอุณหภูมิที่พอเหมาะในการชงชา คือ อุณหภูมิ 85 - 90 องศาเซลเซียส และอีกปัจจัยคือ ระยะเวลาในการชงชา หากใช้ระยะเวลาสั้นหรือน้อยไป จะทำให้สี รสชาติ และกลิ่นของน้ำชาไม่ดีพอ แต่หากใช้เวลานานไป จะทำให้สีและรสชาติเข้มขึ้นเกินไป และการหายไปของกลิ่นหอมของชาด้วย ใน การทดลองจะมีค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการชงชา ทำให้ได้น้ำชาที่มีสีเหลืองเข้มมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ที่ออกมาจากการชงชามีค่าแตกต่างกันตามระยะเวลาของการชงชา คาดว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ดังกล่าว คือสารกลุ่มซาโปนิน (Saponin) หรือ เรียกว่า ไกเพ็นโนไซด์ (Gypenoside) (Piacente et al., 1995; Hu and Xie, 1997; Lui et al., 2004) ซึ่งคล้ายกับซาโปนินที่พบในโสม (Cui et al., 1999) ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำชาเขียวกุหลานมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า ประมาณ 6 แสดงถึงความเป็นกรดอ่อน

ปริมาณของกรดที่ไทเทรตได้ ทั้งในรูปของกรดซิตริก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริกมีค่าคงที่ตลอดของระยะเวลาการชง เนื่องจากการมีปริมาณของกรดซิตริก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริกในใบชาจำกัด และเมื่อน้ำร้อนแล้วมีการละลายออกมาหมด ตั้งแต่ระยะ 3 นาทีแรกของการชงชา และไม่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการชงชาเพิ่มขึ้น

ส่วนปริมาณวิตามินซีในน้ำชาเขียวกุหลานไม่สามารถตรวจวัดค่า เนื่องจากวิธีทดลองไม่เหมาะสม ทำให้ไม่สามารถหาปริมาณของอินโดฟินอลในการหาจุดยุติ และนำมาคำนวณหาปริมาณวิตามินซีได้ ซึ่งแตกต่างจากการวิจัยของศศิธร (2558) พบว่า ปริมาณวิตามินซีของใบเขียวกุหลานพันธุ์อ่างขาง พันธุ์สิบสองปันนา พันธุ์พื้นเมืองสันกำแพง และพันธุ์พื้นเมืองดอยตุง คือ 38.83, 45.89, 18.51 28.47 mg/100 g ตามลำดับ

ปริมาณของฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการชงชาเพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณของฟีนอลิกทั้งหมดมีการละลายออกมา กับน้ำร้อนได้เพิ่มตามระยะเวลาการชงชาเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณของฟีนอลิกทั้งหมดมีอิทธิพลต่อกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นจนมีปริมาณเพียงพอและสามารถตรวจวัดกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระได้ในน้ำชาเขียวกุหลานที่ชงไว้ระยะ 9 นาที โดยพบว่าการต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาเขียวกุหลาน (IC_{50}) มีค่า 3.01 ppm ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำชาตะไคร้ คือ 3.34 ppm แต่มีค่ามากกว่าในชาใบมะกรูด และชาใบเตย ที่มีค่า 0.005 และ 0.08 ppm ตามลำดับและมีค่าน้อยกว่าชาใบหม่อนที่มีค่าการต้านอนุมูลอิสระ คือ 184.44 ppm (วิหวัธ, 2559)

ปริมาณของคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เอ และ คลอโรฟิลล์ บี มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาของการชงชา เนื่องจากการมีปริมาณที่จำกัดและเมื่อได้รับความร้อนจากน้ำร้อนและละลายออกมาจึงมีค่าใกล้เคียงกัน จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของคลอโรฟิลล์ บี มีค่ามากกว่าคลอโรฟิลล์ เอ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คาดว่าอาจเกิดจากวิธีการวัดปริมาณของคลอโรฟิลล์ของการวิจัย ที่วัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 645 และ 663 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงแสงของคลอโรฟิลล์ บี ทำให้การวัดค่าดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ บี ได้ดีกว่าคลอโรฟิลล์ เอ ที่มีช่วงการดูดกลืนแสง ระหว่าง 650 - 700 นาโนเมตร

การทดสอบประสาทสัมผัสโดยการชิมรส พบว่า ค่าการยอมรับโดยรวมมีค่ามาก คือ 4.00 แสดงว่าผู้บริโภคยอมรับน้ำชาเขียวกุหลาน ซึ่งพิจารณาจาก สี รสชาติ และกลิ่นของน้ำชาเป็นหลัก สอดคล้องกับการวิจัยของ (Niramol et al., 2007) ที่รายงานว่า ลักษณะของสีน้ำชา กลิ่น และรสชาติ เป็นปัจจัยสำคัญของการยอมรับน้ำชาเขียวกุหลานของผู้บริโภค สอดคล้องกับการวิจัยของ ธนพล และคณะ (2550) ที่รายงานค่าสีเหลือง (b^*) กลิ่นของน้ำชาเขียวกุหลาน และความชอบโดยรวมของน้ำชาเขียวกุหลานมีค่าเพิ่มขึ้นกับระยะเวลาในการชงชาที่เพิ่มขึ้นจาก 1, 5 และ 10 นาที ตามลำดับ

ในการทดสอบประสาทสัมผัสโดยการชิมรสของน้ำชาเขียวกู่หลานนี้ มีความต้องการเพื่อหาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ จึงจำเป็นต้องใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนและผู้ทดสอบในห้องปฏิบัติการที่สามารถให้รายละเอียดและประเมินผลความแตกต่าง เนื่องจากระยะเวลาในการชงชาที่แตกต่างกันได้อย่างถูกต้อง จึงมีข้อจำกัดของจำนวนผู้ทดสอบชิม ซึ่งในกรณีนี้แม้ว่าจำนวนของผู้ทดสอบชิมมีจำนวนน้อย แต่เป็นผู้ทดสอบชิมที่มีความชำนาญและประสบการณ์ จึงคาดว่าจะสามารถให้ผลการทดสอบชิมที่ดีกว่าผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนมาเลยที่มีจำนวนผู้ทดสอบมากกว่า สอดคล้องกับข้อกำหนดการทดสอบประสาทสัมผัสของ Larmond (1977) ที่ระบุว่าสามารถใช้ผู้ทดสอบจำนวนต่ำสุดของผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนควรเป็น 4 - 5 คน หรือผู้ทดสอบชิมในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไปประมาณ 10 - 20 คน กับการทำการทดสอบ 3 - 4 ซ้ำต่อการทดสอบ

บทสรุป

น้ำชาเขียวกู่หลานที่ใช้ น้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาชงชา 3, 5, 7 และ 9 นาที พบว่า ความสว่าง สีเขียว สีเหลือง ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณฟีนอลิก และปริมาณของคลอโรฟิลล์ของน้ำชาเขียวกู่หลาน มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการชงชา ส่วนปริมาณกรดซิตริก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริกมีค่าคงที่ การทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านสีของน้ำชา กลิ่นหอม รสชาติ และยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคน้ำชาเขียวกู่หลานมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการชงชา โดยระยะเวลาการชงชา 9 นาทีมีค่าการยอมรับโดยรวมสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวิจัย และฝ่ายพัฒนาผลิตภัณฑ์ โครงการหลวง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในการอนุเคราะห์ตัวอย่างชาเขียวกู่หลานสำหรับใช้ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ธนพล กิจพจน์, ณัฐณา เหล่ากุลติก, บรรณนิสา ทิพย์วิชัย และนิรมล อุตมอ่าง. (2550). ผลของการชงชาต่อคุณภาพของสีและการยอมรับของผู้บริโภคของชาเขียวและชาสมุนไพรเขียวกู่หลาน. ใน การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45. สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. 30 มกราคม-2 กุมภาพันธ์ 2550. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 756-764.
- บุญธรรม บุญเลา. (2553). การวิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของชาจีนในพื้นที่สูง. รายงานการวิจัย. สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.
- พนิดา ไชยธรรม. (2549). ชาเขียวกู่หลาน (ปัญญาชน). จุลสารข้อมูลสมุนไพร. 23: 2-9.

- ไพโรจน์ วิริยจารี. (2535). การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: เชียงใหม่.
- สรณก วิมลมังคั่ง และวิชา พงศ์เรขานนท์. (2560). สมุนไพรเจียวกู่หลานกับฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือด. ภาควิชาเภสัชเวชและเภสัชศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- วิวัฒน์ เกตุดี. (2559). การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และสารต้านอนุมูลอิสระของชาใบมะกรูด ชาใบตะไคร้ ชาเจียวกู่หลาน และชาใบหม่อน. การวิจัยอิสระระดับปริญญาตรี. สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.
- ศศิธร วรปิติรังสี. (2558). การศึกษาการผลิตปญฺจขันธ์ที่มีคุณภาพ (The Study on *Gynostemma pentaphyllum* Production). รายงานการวิจัย. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- อัญชลี จุฑาพุทธิ. (2548). สมุนไพรน้ำรู้. นิตยสารหมอชาวบ้าน. ค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2562.
<https://www.doctor.or.th/article/detail/1343>
- Association of Official Analysis Chemists (AOAC). (1990). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists .15th Edited. George Banata Co., Inc. Washington D.C: USA.
- Association of Official Analysis Chemists (AOAC). (2000). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17th Edited. Inc. Arlington, Virginia: USA.
- Blumert M. and Liu J. (2003). Jiaogulan (*Gynostemma pentaphyllum*): China's immonotarity herb. 3rd Edition. Torchlight Publishing, Inc.: U.S.A.
- Chidambara M.K., Jayaprakasha G.K. and Singh R.P. (2002). Studies on Antioxidant Activity of Pomegranate (*Punica granatum*) Peel Extract Using in vivo Models. Journal of Agricultural Food Chemistry. 50(7): 4791-4795.
- Cui J.F., Eneroth P. and Bruhn J.G. (1999). *Gynostemma pentaphyllum*: identification of majors' sapogenins and differentiation from Panax species. European Journal of Pharmaceutical Science. 8: 187-191.
- Hu L.Z. and Xie Y. (1997). Dammarane-type glycosides from *Gynostemma pentaphyllum*. Phytochemistry. 44: 667-670.
- Larmond E. (1977). Laboratory Methods for Sensory Evaluation of food. Research Branch, Canada Department of Agriculture, Publication 1637, food Research Institute, Ottawa, Ontario, Canada.
- Lee K.G. and Shibamoto T. (2002). Determination of Antioxidant potential of Volatile extracts isolation from various herb and species. Journal of Agricultural Food Chemistry. 50: 4947-4954.
- Lui X., Ye W., Mo Z., Yu B., Zhao S., Wu H., Che C., Jiang R., Mark T.C.W. and Wendy W.L. (2004). Five new ocotillone-type saponins for *Gynostemma pentaphyllum*. Journal of Natural Products. 67: 1147-1151.
- McGuire R.G. (1992). Reporting of objectives color measurement. HortScience. 27: 1254-1255.
- Niramon U., Chompreeda P., Haruthaithanasan V., Lerdvuthisopon N., Suwonsichon T. and Watkins B. (2007). Optimization of Chemical properties, Sensory Descriptive and consumer acceptance of Jiaogulan tea using response surface Mmthodology (RSM). Chiang Mai University Journal. 6(1): 101-119.

Piacente S. and Pizza C. (1995). New dammarane-type glycosides from *Gynostemma pentaphyllum*. Journal of Natural Products. 58: 512-519.

Steel R.G., Torrie J.H. and Dickey D.A. (1997). Principles and Procedures of Statistics: A Biological Approach. McGraw-Hill.

Received: December 11, 2019; Revised: February 18, 2020; Accepted: April 20, 2020

องค์ประกอบทางพฤกษเคมี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดครามใหญ่
ที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ และน้ำ

Phytochemical contents and antioxidant activities of ethanolic and aqueous
extracts from *Indigofera suffruticosa* Mill.

พัทธวราภรณ์ อุดรสรรพ¹ พรรณนิภา แจ็กแดงพะเนา¹ ดาริณา ใจเสรี¹ สิริภพ เรืองศรี¹

พานิชา พงศ์นราทร¹ รัชฎาวรรณ อรรคานิมาตย์¹ และปราณี ศรีราช^{1*}

Patwarapohn Udonsan¹, Phannipha Chekdaengphanao¹, Dareena Jaiseree¹,

Siriphop Reungsri¹, Panicha Pongnarathorn¹, Ratchadawan Aukkanimart¹ and

Pranee Sriraj^{1*}

¹คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จังหวัดสกลนคร

*Corresponding Author E-mail Address : srirajp11@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางพฤกษเคมี และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของครามใหญ่ (*Indigofera suffruticosa* Mill.) ที่สกัดด้วย 95%, 50% แอลกอฮอล์ และน้ำคราม โดยศึกษาองค์ประกอบทางพฤกษเคมี ในใบคราม ได้ทำการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม และปริมาณคลอโรฟิลล์ สำหรับฤทธิ์ ในการต้านอนุมูลอิสระทำการศึกษาด้วยวิธี DPPH assay, ABTS assay และ FRAP assay จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า สารสกัดใบครามที่สกัดด้วย 95% แอลกอฮอล์ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด (30.37 ± 0.09 $\mu\text{g GAE/g DW}$ และ 0.14 ± 0.00 mg/g ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับสารสกัดใบครามที่สกัดด้วย 50% แอลกอฮอล์ และ น้ำคราม สำหรับการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay, ABTS assay และ FRAP assay พบว่า สารสกัดใบ ครามที่สกัดด้วย 95% แอลกอฮอล์ มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารสกัดใบครามที่สกัดด้วย 50% แอลกอฮอล์ และ น้ำคราม โดยวิธี DPPH assay และ ABTS assay มีค่า IC_{50} เท่ากับ 26.14 ± 0.29 $\mu\text{g/mL}$ และ 19.88 ± 0.93 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ และวิธี FRAP assay มีค่าการต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 239.73 ± 0.17 $\text{mg FeSO}_4 \text{ equivalent/g extract}$ จากการศึกษา ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางพฤกษเคมีในใบคราม และวิธีทดสอบฤทธิ์ การต้านอนุมูลอิสระ พบว่า การตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด

คำสำคัญ: องค์ประกอบทางพฤกษเคมี ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ สารสกัดคราม น้ำคราม

Abstract

The objective of this study was evaluated the phytochemical contents and the antioxidant activity of *Indigofera suffruticosa* Mill. extracted with 95%, 50% ethanol and aqueous. The chemical contents of the indigo leaves studying by measuring the amount of total phenolic content, total flavonoid content and chlorophyll content. For antioxidant activity, DPPH assay, ABTS assay and FRAP assay were studied. From this study found that indigo leaves extracts with 95% ethanol showed the highest amount of total phenolic contents and chlorophyll (30.37 ± 0.09 $\mu\text{g GAE/g DW}$ and 0.14 ± 0.00 mg/g , respectively), when compared with 50% ethanol and aqueous. For the study of antioxidant activity by DPPH assay, ABTS assay and FRAP assay, it was found that indigo leaves extracts with 95% ethanol had better antioxidant activity than indigo leaves extracts with 50% ethanol and aqueous, by DPPH assay and ABTS assay, the IC_{50} value were 26.14 ± 0.29 $\mu\text{g/mL}$ and 19.88 ± 0.93 $\mu\text{g/mL}$, respectively and the FRAP assay had an antioxidant value of 239.73 ± 0.17 mg FeSO_4 equivalent/g extract. The relationship of between phytochemical contents and antioxidant activities, it was found that the phenolic contents had the most relationship with the antioxidant activity.

Keywords: Phytochemical content, Antioxidant activity, ethanolic extracts of indigo, indigo aqueous

บทนำ

ครามเป็นพืชสกุล *Indigofera* โดยส่วนใหญ่ครามมักจะเกิดในเขตร้อนแถบแอฟริกา ตอนใต้ของทวีปเอเชีย ตะวันออกเฉียงใต้ ปัจจุบันพบอยู่ในประเทศแถบเขตร้อน (Chouisudsakunchai et al., 2010) และครามยังเป็นพืชที่พบมากในจังหวัดสกลนคร ครามที่นิยมนำมาใช้ 2 ชนิด คือ ครามเล็ก มีชื่อสามัญว่า common indigo มีชื่อพฤกษศาสตร์ว่า *Indigofera tinctoria* L. และครามใหญ่ มีชื่อสามัญว่า อะนิล (Anil) มีชื่อพฤกษศาสตร์ว่า *Indigofera suffruticosa* Mill. โดยมีสรรพคุณ คือ สรรพคุณตามตำราไทย ใบ เป็นยาขับพิษ แก้ไข้ตัวร้อน และแก้ปวดศีรษะ น้ำคั้นจากใบสดของครามช่วยบำรุงเส้นผม ป้องกันผมหงอก สารสกัดครามทั้งต้น (ยกเว้นใบ) เป็นส่วนผสมในสีที่ใช้ย้อมผม ครามเป็นสมุนไพรที่มีสารสำคัญจำนวนมาก ได้แก่ รูติน (Rutin) ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในกลุ่ม Flavonoid มีฤทธิ์ในการยับยั้งอาการภูมิแพ้ เพิ่มความแข็งแรงของเส้นเลือดฝอย นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ในการกำจัดแมลง (Moshki et al., 2017) อีพิคาเทชิน (Epicatechin) ที่ช่วยขับสารพิษในร่างกายและลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคมะเร็ง กรดแกลลิก (Gallic acid) ที่ช่วยต้านอนุมูลอิสระยับยั้งแบคทีเรียในช่องปาก (Moshki et al., 2017) และนอกจากนี้ยังพบสารในกลุ่ม Quercetin เป็นจำนวนมาก (Chen et al., 2013) สารสกัดจากเมล็ดของครามมีสารสำคัญที่มีความเป็นพิษสูง ได้แก่ สารโพลีฟีน (Coumarin และกรด Chlorogenic) และ Flavonoids (Quercetin, Rutin และ Gallic acid) อัลคาลอย เทอพีนอยด์ และคาร์โบไฮเดรต (Moshki et al., 2017) นอกจากนี้สารประกอบดังกล่าวยังพบสารอินดิโกและอินโดรูบิน (Calvo, 2007) สารสกัดใบคราม *Indigofera suffruticosa* Mill. ที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอล พบ Syringic acid, p-coumaric acid, Vanillin, Syringaldehyde, Salicylic acid, Quercetin, Isoliquiritigenin และ Formononetin (Chen et al., 2013) การศึกษาทางเภสัชวิทยา สารสกัดครามมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Singh et al., 2015) ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Vijayan et al., 2018) กำจัดหนองพยาธิ Antioxidant (Singh et al., 2015) ป้องกันการเกิดมะเร็งผิวหนัง (Vijayan et al., 2018) Hepatoprotective (Singh et al., 2015) ครามเป็นพืชที่นิยมนำมาทำให้เกิดสี สีครามนั้นได้จากการสกัดส่วนของลำต้น และใบของต้นคราม แต่ส่วนของใบครามจะให้สีที่ดีที่สุด โดยผ่าน

กระบวนการแช่น้ำและหมัก เพื่อต้องการเปลี่ยนสารไกลโคไซด์อินดิแคน (Glycoside indican) ธรรมชาติที่พบอยู่ในพืชออกมาอยู่ในรูปของสีน้ำเงินโทนฟ้า เรียกว่า อิดิโกติน (Indigotin) ซึ่งเกิดจากน้ำหมักผสมกับน้ำปูนที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง เมื่อผ่านกระบวนการดังกล่าวแล้วจะได้ออกมาในรูปแบบของเนื้อคราม มักนำมาใช้ประโยชน์ในการย้อมผ้า อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณสารสำคัญ และฤทธิ์ทางชีวภาพในน้ำคราม

โดยครามที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ คือ ครามใหญ่ มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Indigofera suffruticosa* Mill. (Ubon Ratchathani University, 2010) จากคุณสมบัติของคราม ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของครามใหญ่ (*Indigofera suffruticosa* Mill.) โดยศึกษาในส่วนของน้ำครามและสารสกัดครามที่ได้จากใบครามใหญ่

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่างสมุนไพร นำใบครามที่ได้จากต้นครามที่เก็บจากคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ตำบลแร่ อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร มาล้างให้สะอาดและผึ่งให้แห้ง
2. การเตรียมสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% และ 50% โดยทำการชั่งน้ำหนักคราม 1 กิโลกรัม นำใบครามมาสกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% และ 50% โดยนำใบครามปั่นรวมกับแอลกอฮอล์ 95% และ 50% จากนั้นเทใส่ถึงทึบแสง ปิดฝาให้มิดชิด ทำการหมักทิ้งไว้ 3 วัน โดยเขย่าสารให้เข้ากันทุกวัน เมื่อครบ 3 วันแล้วนำมารองด้วยผ้าขาวบางและกระดาษกรองสารเคมีขนาด 125 มิลลิเมตร นำมาทำการระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่อง Rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
3. การเตรียมวัตถุดิบในการเตรียมน้ำหมักคราม โดยทำชั่งน้ำหนักคราม 1 กิโลกรัม แล้วนำมาปั่นผสมกับน้ำกลั่น จากนั้นทำการชั่งมะขามเปียก 1 กิโลกรัม นำมาคั้นกับน้ำกลั่น 1 ลิตร ชั่งด่าง (ปูนขาว) 500 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร และนำส่วนผสมทั้งหมด มาผสมลงในถัง เติมน้ำกลั่นให้ครบ 10 ลิตร หมักทิ้งไว้ทั้งหมด 7 วัน โดยเขย่าสารให้เข้ากันทุกวัน เมื่อครบ 7 วันแล้วนำมารองด้วยผ้าขาวบางและกระดาษกรองสารเคมี จากนั้นเก็บไว้ในถังทึบแสงปิดฝาให้มิดชิด
4. การตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) โดยวิธี Foloin-Ciocalteu assay ดัดแปลงจากวิธีของ Nobosse et al. (2017) โดยใช้ gallic acid เป็นสารมาตรฐาน ทำการเตรียม Foloin-Ciocalteu reagent เตรียม 20% Sodium carbonate และสารสกัดที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำ Foloin-Ciocalteu reagent ปริมาณ 100 ไมโครลิตร, 20% Sodium carbonate ปริมาณ 80 ไมโครลิตร และสารสกัดปริมาณ 20 ไมโครลิตร ลงใน 96-Well plate จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate Reader ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำมาคำนวณปริมาณ Total phenolic component จากกราฟมาตรฐานของ gallic acid รายงานค่าในหน่วยของ $\mu\text{g GAE/g DW}$ (Nobosse et al., 2017)
5. การตรวจวัดปริมาณฟลาโวนอยด์รวม (Total flavonoid content) ดัดแปลงจากวิธีของ Nobosse et al. (2017) โดยเตรียมสารสกัดที่ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 5 ไมโครลิตร ผสมด้วยน้ำกลั่นปริมาณ 130 ไมโครลิตร และ 5% Sodium nitrite (NaNO_2) ปริมาณ 7.5 ไมโครลิตร บ่มทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นทำการเติม 10% Aluminium chloride (AlCl_3) ปริมาณ 7.5 ไมโครลิตร บ่มทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง 5 นาที เติมน้ำ Sodium hydroxide (NaOH) ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาณ 50 ไมโครลิตร แล้วนำไปวัดค่าที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate Reader ทำการทดลอง 3 ซ้ำ รายงานค่าในหน่วย g/100 g DM (Nobosse et al., 2017)

6. การตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll content) ดัดแปลงจากวิธีของ Kaushal et al. (2013) โดยนำสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95%, แอลกอฮอล์ 50% และน้ำคราม แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 นาโนเมตร และ 663 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate Reader ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ ดังสมการที่ 1 (Kaushal et al., 2013)

$$\text{Chlorophyll (mg/kg)} = [(20.2 \times \text{Abs}_{645}) + (8.02 \times \text{Abs}_{663}) \times V / 100 \times V] \quad (1)$$

โดย Abs₆₄₅ และ Abs₆₆₃ มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 645 และ 663 ตามลำดับ

V คือ ปริมาตรรวมของสารสกัดต่อหน่วยมิลลิลิตร

7. การหาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของครามและคุณสมบัติเบื้องต้นเทียบกับสารมาตรฐาน โดยใช้เทคนิค DPPH radical scavenging assay, ABTS radical scavenging assay และ Ferric reducing antioxidant power (FRAP)

(1) การหาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay (DPPH assay) ดัดแปลงจากวิธีของ Phansawan (2013) โดยใช้ Trolox ที่เป็นสารมาตรฐาน และใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย จากนั้นเตรียมตัวอย่างสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95%, แอลกอฮอล์ 50% และน้ำครามที่มีความเข้มข้น 1, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย หยดสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ลงในเมทานอล ใน 96-Well plate โดยหยด DPPH เป็นลำดับสุดท้าย ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืด จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate Reader นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ (% radical scavenging) โดยรายงานผลเป็นค่า IC₅₀ (Phansawan, 2013) ดังสมการที่ 2

$$\text{Radical Scavenging (\%)} = [1 - (\text{OD}_{\text{Extract}} - \text{OD}_{\text{Blank}}) / (\text{OD}_{\text{DPPH}} + \text{OD}_{\text{Blank}})] \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ OD_{Blank} คือ ค่าดูดกลืนแสง (OD) Blank (เมทานอล)

OD_{DPPH} คือ ค่าดูดกลืนแสง (OD) DPPH solution (positive control)

OD_{Extract} คือ ค่าการดูดกลืนแสง (OD) ของสารสกัดที่นำมาทดสอบ

สร้างกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ (% radical scavenging) และความเข้มข้นของสารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Trolox และสารสกัดใบครามที่สกัดด้วย แอลกอฮอล์ 95%, แอลกอฮอล์ 50% และน้ำครามที่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ 50% (IC₅₀) (Phansawan, 2013)

(2) การหาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS radical scavenging assay (ABTS assay) ดัดแปลงจากวิธีของ Phansawan (2013) โดยทำการเตรียมสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ แล้วเติมสารละลาย Potassium persulfate ที่ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 12-16 ชั่วโมง หลังจากครบ 16 ชั่วโมงแล้ว ดูดสารมา 1 มิลลิลิตร ใส่ใน tube 50 มิลลิลิตร ละลายสารด้วยน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร นำสารที่ละลายเข้ากันดีมาหยดลงใน 96-well plate จำนวน 3 หลุม นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Microplate Reader ให้ได้ค่า OD เท่ากับ 0.7±0.02 จากนั้นนำสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95%, แอลกอฮอล์ 50% และน้ำครามที่ละลายในเอทานอล

95% ที่ความเข้มข้น 1, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ 25 มิลลิโมลาร์ Trolox, blank ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ลงใน 96-well plate เติมน้ำสารละลาย ABTS ปริมาณ 100 ไมโครลิตร จากนั้นบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate Reader นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ (% radical scavenging) (Phansawan, 2013) ดังสมการที่ 3

$$\% \text{ Radical Scavenging (\%)} = [1 - (\text{OD}_{\text{Extract}} - \text{OD}_{\text{Blank}}) / (\text{OD}_{\text{ABTS}} + \text{OD}_{\text{Blank}})] \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ OD_{Blank} คือ ค่าดูดกลืนแสง (OD) Blank (เอทานอล)

OD_{ABTS} คือ ค่าดูดกลืนแสง (OD) ABTS solution (positive control)

$\text{OD}_{\text{Extract}}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสง (OD) ของสารสกัดที่นำมาทดสอบ

ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ (% Radical scavenging) และความเข้มข้นของสารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Trolox และสารสกัดใบครามด้วยแอลกอฮอล์ 95%, แอลกอฮอล์ 50% และน้ำครามที่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ 50% (IC_{50}) (Phansawan, 2013)

(3) การหาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) ดัดแปลงจากวิธีของ Phansawan (2013) โดยทำการเตรียม Acetate buffer 300 มิลลิโมลาร์ (pH 3.6) ปริมาณ 500 มิลลิลิตร จากนั้นเตรียมสารละลาย TPTZ ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ และสารละลาย FeCl_3 นำสารที่ได้มาผสมกันในอัตราส่วน 10:1:1 ทำการเตรียมสารละลาย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ จากนั้นนำสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95%, แอลกอฮอล์ 50% และน้ำครามที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อไมโครลิตร, 10 มิลลิโมลาร์ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, blank ปริมาณ 20 ไมโครลิตร ลงใน 96-well plate เติมน้ำสารละลาย FRAP ปริมาณ 80 ไมโครลิตร ทั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 4 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate Reader นำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ferrous sulfate (Phansawan, 2013)

8. การวัดค่าสีของสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95%, แอลกอฮอล์ 50% และน้ำคราม โดยนำสารสกัดมาวัดสีด้วยเครื่อง Colormeter (Hunter Lab, ColorFlex EZ) รายงานค่าในระบบ CIE L^* a^* และ b^* โดยค่า L^* คือ ค่าสว่าง (โดยไล่ระดับตั้งแต่ 1 คือ สีดำ-100 คือ สีขาว) a^* คือ ค่าสีเขียว-สีแดง (โดยค่าที่ติดลบจะให้ค่าเป็นสีเขียวและค่าที่เป็นบวกจะให้ค่าเป็นสีแดง) และ b^* คือ ค่าสีน้ำเงิน-สีเหลือง (โดยค่าที่ติดลบจะให้ค่าเป็นสีน้ำเงินและค่าที่เป็นบวกจะให้ค่าเป็นสีเหลือง) (Ratanasiriwat, 2013)

9. การวิเคราะห์ข้อมูล สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) และเปรียบเทียบแต่ละกลุ่มด้วยสถิติ One-way Anova และ Pearson Correlation

ผลการวิจัย

ผลการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม โดยวิธี Foloin-Ciocalteu assay ของสารสกัดใบคราม จากการศึกษาพบว่าสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% มีสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด โดยมีปริมาณเท่ากับ 30.37 ± 0.09 $\mu\text{g GAE/g DW}$ รองลงมาคือ สารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 50% มีปริมาณเท่ากับ 27.19 ± 0.07 $\mu\text{g GAE/g DW}$ และน้ำคราม มีปริมาณเท่ากับ 20.14 ± 0.13 $\mu\text{g GAE/g DW}$ ตามลำดับ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่า สารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% มีสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 50% และน้ำคราม ดังตารางที่ 1

ผลการตรวจวัดปริมาณฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดใบคราม จากการศึกษาพบว่าสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 50% มีปริมาณฟลาโวนอยด์รวมมากที่สุด โดยมีปริมาณเท่ากับ 831.66 ± 3.02 $\text{g}/100 \text{ g DM}$ รองลงมาคือ น้ำคราม มีปริมาณเท่ากับ 784.46 ± 1.79 $\text{g}/100 \text{ g DM}$ และสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% มีปริมาณเท่ากับ 169.40 ± 3.66 $\text{g}/100 \text{ g DM}$ ตามลำดับ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 50% มีปริมาณฟลาโวนอยด์รวมมากกว่าสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% และน้ำคราม ดังตารางที่ 1

ผลการตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลของสารสกัดใบคราม จากการศึกษาพบว่า สารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% มีปริมาณคลอโรฟิลมากที่สุด โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.14 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม รองลงมาคือ สารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% มีปริมาณเท่ากับ 0.12 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม และน้ำครามมีปริมาณเท่ากับ 0.12 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่า สกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% มีปริมาณคลอโรฟิลมากกว่าสารสกัดใบครามด้วย 50% แอลกอฮอล์ และน้ำคราม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณรวมของสารฟลาโวนอยด์และปริมาณคลอโรฟิล

Extraction solvent	Total phenolic content ($\mu\text{g GAE/g DW}$)	Total flavonoid content ($\text{g}/100 \text{ g DM}$)	Chlorophyll content (mg/g)
95% Ethanol	30.37 ± 0.09^b	169.40 ± 3.66^a	0.14 ± 0.00^b
50% Ethanol	27.19 ± 0.07^a	831.66 ± 3.02^c	0.12 ± 0.00^a
Aqueous	20.14 ± 0.13^c	784.46 ± 1.79^b	0.12 ± 0.00^a

หมายเหตุ: อักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay จากการศึกษาพบว่า สารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด โดยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 50% และน้ำคราม โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 26.14 ± 0.29 , 32.89 ± 2.81 และ 401.91 ± 0.59 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 2

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay จากการศึกษาพบว่า สารสกัดใบครามที่สกัดด้วย แอลกอฮอล์ 50% มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด โดยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% และน้ำคราม โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 18.82 ± 2.20 , 19.88 ± 0.93 และ 58.62 ± 0.55 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 2

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay จากการศึกษาพบว่า สารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด โดยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับสารสกัดใบครามที่สกัด

ด้วยแอลกอฮอล์ 50% และน้ำคราม โดยมีค่าการต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 239.73 ± 0.17 , 172.08 ± 0.10 และ 4.95 ± 2.04 mg FeSO₄ equivalent/g extract ตามลำดับ ($p < 0.05$) และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีเมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐาน ferrous sulfate ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของคราม

Extraction solvent	Antioxidant activities		
	DPPH assay (IC ₅₀ µg/mL)	ABTS assay (IC ₅₀ µg/mL)	FRAP assay (mg FeSO ₄ equivalent/g extract)
Trolox	12.38 ± 0.48^a	30.54 ± 0.37^b	-
95% Ethanol	26.14 ± 0.29^b	19.88 ± 0.93^a	239.73 ± 0.17^c
50% Ethanol	32.89 ± 2.81^c	18.82 ± 2.20^a	172.08 ± 0.10^b
Aqueous	401.91 ± 0.59^d	58.62 ± 0.55^c	4.95 ± 2.04^a

หมายเหตุ: อักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

จากการความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางพฤกษเคมีในใบคราม กับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษพบว่า การตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม มีความสัมพันธ์กับการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และ ABTS assay โดยมีค่า r เท่ากับ 0.996 และ 0.912 ตามลำดับ การตรวจวัดปริมาณรวมของสารฟลาโวนอยด์รวมมีความสัมพันธ์กับการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay โดยมีค่า r เท่ากับ 0.952 และการตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์กับการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay มากที่สุด รองลงมาคือ การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay และ ABTS assay โดยมีค่า r เท่ากับ 0.348, 0.313 และ 0.031 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในครามและวิธีทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay ABTS assay และ FRAP assay

Variables	TPC	TFC	CHL
DPPH	0.996	-0.396	0.348
ABTS	0.912	-0.673	0.031
FRAP	-0.436	0.952	0.313

หมายเหตุ: TPC คือ การตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

TFC คือ การตรวจวัดปริมาณรวมของสารฟลาโวนอยด์รวม

CHL คือ การตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์

ผลการวัดค่าสีของสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95%, 50% และน้ำคราม โดยการศึกษาคุณลักษณะด้านสีของสารสกัดครั้งนี้ได้นำสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95%, 50% และน้ำครามมาวัดสีด้วยเครื่อง Colormeter (Hunter Lab, ColorFlex EZ) จากการศึกษพบว่า สารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% และ 50% มีคุณลักษณะ

ด้านสีแสดงถึงค่าสีตำหรือสีเข้ม โดยมีสีแดงและสีเหลืองปนเล็กน้อย ส่วนน้ำครามีคุณลักษณะด้านสีแสดงถึงค่าสีขาวหรือสว่าง โดยลักษณะสีเหลืองและมีสีแดงปนเล็กน้อย ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การวัดค่าสีของสารสกัดใบครามด้วย 95% แอลกอฮอล์ 50% แอลกอฮอล์ และน้ำคราม

Extraction solvent	L*	a*	b*
95% Ethanol	2.24 ± 0.03	0.60 ± 0.01	0.84 ± 0.02
50% Ethanol	3.17 ± 0.23	10.58 ± 0.07	0.90 ± 0.05
Aqueous	28.90 ± 0.35	2.95 ± 0.28	24.04 ± 0.63

หมายเหตุ: ค่า L* คือ ค่าสว่าง (โดยไล่ระดับตั้งแต่ 1 คือ สีดำ – 100 คือ สีขาว), a* คือ ค่าสีเขียว - สีแดง (โดยค่าที่ติดลบจะให้ค่าเป็นสีเขียว และค่าที่เป็นบวกจะให้ค่าเป็นสีแดง) และ b* คือ ค่าสีน้ำเงิน - สีเหลือง (โดยค่าที่ติดลบจะให้ค่าเป็นสีน้ำเงิน และค่าที่เป็นบวกจะให้ค่าเป็นสีเหลือง)

การอภิปรายผล

จากการศึกษาการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมโดยวิธี Foloin-Ciocalteu assay ของสารสกัดใบครามจากการศึกษาพบว่า สารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% มีสารประกอบฟีนอลิกรวมมากที่สุด เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีความเป็นขี้ จึงสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีสภาพขี้ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลิกจะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพขี้สูงในตัวทำละลายจำพวกแอลกอฮอล์ได้ดี ทำให้สารประกอบฟีนอลิกสามารถละลายได้ดีในเอทานอล (ภาเกล้า และชญาณิศ, 2558)

จากการศึกษาผลการตรวจวัดปริมาณฟลาโวนอยด์รวม ของสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95%, 50% และน้ำคราม แสดงให้เห็นว่าสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 50% มีปริมาณฟลาโวนอยด์มากที่สุด โดยการศึกษาของ Nobosse et al. (2018) พบว่า การสกัดสารด้วยเอทานอลจะทำให้มีปริมาณรวมของสารฟลาโวนอยด์สกัดได้ดีที่สุดและครามเป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ Fabaceae ซึ่งมีสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เช่น Gallic acid และ Quercetin, Catechin and Cyanidin โดยปัจจุบันพบว่าสารประกอบในกลุ่มโพลีฟีนอลิก เช่น ฟลาโวนอยด์และฟีนิลโพรพานอยด์ เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ (Pupaka, 2015)

จากการศึกษาผลการตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่า สารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.14 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ($p < 0.05$) การศึกษาของ Areekul et al. (2015) พบว่า การสกัดคลอโรฟิลล์ด้วยเอทานอลมีประสิทธิภาพดีกว่าการสกัดด้วยน้ำเนื่องจากความสามารถในการละลายของคลอโรฟิลล์ในตัวทำละลายที่มีขี้ปานกลาง

จากการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบครามด้วยวิธี DPPH assay, ABTS assay และ FRAP assay พบว่า สารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี เมื่อเทียบกับสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 50% และน้ำคราม โดยจากการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และ ABTS assay พบว่า สารสกัดใบครามที่สกัดด้วย 95% แอลกอฮอล์ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 26.14 ± 0.29 และ 19.88 ± 0.93 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ และการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay มีค่าการต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 239.73 ± 0.17 mg $FeSO_4$ equivalent/g extract ซึ่งการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า สารสกัดครามมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง เนื่องจากมีสารประกอบหลัก เช่น Gallic acid, Quercetin, Epicatechin, Rutin เป็นต้น ซึ่งสารดังกล่าวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบได้ดี (Asuntha et al., 2010; Singh et al., 2015)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางพฤกษเคมีในใบครามกับวิธีทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ พบว่าการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมีความสัมพันธ์กับการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด โดยมีความสัมพันธ์กับการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า พืชที่มีสารประกอบฟีนอลิกจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี โดยการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity assay (Pourmorad et al., 2006) เนื่องจากโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่มีองค์ประกอบเป็นอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล จึงมีบทบาทสำคัญในคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (Miliauskas et al., 2004)

จากการศึกษาการวัดค่าสีของสารสกัดใบครามด้วยแอลกอฮอล์ 95%, 50% และน้ำคราม พบว่า สารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% และ 50% แสดงถึงค่าสีค่อนข้างดำและเข้ม เนื่องจากสีปกติของครามนั้นจะมีสีออกน้ำเงินเข้ม (Ubon Ratchathani University, 2010) ส่วนน้ำครามแสดงถึงค่าสีเหลือง เนื่องจากการเตรียมสีครามเป็นการทำให้ Indigo blue เปลี่ยนเป็น Indigo white Indigo blue หรือสีครามไม่ละลายน้ำแต่เมื่อถูกรีดิวซ์ไปอยู่ในรูปลิควิดหรือ Indigo white จะละลายน้ำได้ และใช้เป็นสีย้อม จากนั้น Indigo white จะถูกออกซิไดส์กลับไปเป็น Indigo blue ดังเดิม เมื่อสัมผัสกับอากาศซึ่งละลายได้ในต่าง (Sakon Nakhon Rajabhat University, 2013)

บทสรุป

จากการศึกษาองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95%, 50% และน้ำคราม พบว่า สารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 95% มีองค์ประกอบทางพฤกษเคมีมากที่สุด และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับสารสกัดใบครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 50% และน้ำคราม เนื่องจากการสกัดครามที่สกัดด้วย 95 % แอลกอฮอล์นั้นสามารถดึงสารสำคัญของครามออกมาได้ดีกว่าการสกัดครามที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 50% และน้ำ แต่การสกัดครามด้วยน้ำจะมีประโยชน์ด้านการให้สีได้ดีการสกัดครามด้วยแอลกอฮอล์ 95% และ 50% อย่างไรก็ตาม สารสำคัญในครามมีอยู่หลากหลายชนิดและเพื่อเป็นประโยชน์ต่อทางการแพทย์จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราณี ศรีราช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภานิชา พงศ์นราทร และอาจารย์รัชฎาวรรณ อรรถนิมาตย์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาแพทย์แผนไทย คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร และสาขาวิชาแพทย์แผนไทย คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร ที่ให้การสนับสนุน และให้คำปรึกษาในการดำเนินงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ภาเกล้า ภูมิใหญ่ และชญาณิสสา สุพา. (2558). ตัวทำละลายที่มีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากพืชสมุนไพร. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 2, 22 ธันวาคม 2558. มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. กำแพงเพชร. 627-635.

- Moshki M., Zamani-Alavijeh F. and Mojadam M. (2017). Efficacy of peer education for adopting preventive behaviors against head lice infestation in female elementary school students: A Randomised Controlled Trial. PLOS One. 12(9): 1-12.
- Areekul V., Saeku T., Cheuwongngam P. and Laorojpinoy T. (2015). Phenolic content, chlorophyll and antioxidant activities of black rice grass. In Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference, 3-6 Feb. 2015. Kasetsart University. Bangkok. 1145-1151.
- Asuntha G., Prasannaraju Y. and Prasad K.V.S.R.G. (2010). Effect of ethanol extract of *Indigofera tinctoria* Linn (Fabaceae) on lithium/pilocarpine-induced status epilepticus and oxidative stress in wistar rats. Tropical Journal of Pharmaceutical Research. 9(2): 149-15.
- Bakasso S., Lamien-Meda A., Lamien C.E., Kiendrebeogo M., Millogo J., Ouedraogo A.G. and Nacoulma O.G. (2008). Polyphenol contents and antioxidant activities of five *Indigofera* Species (Fabaceae) from Burkina Faso. Pakistan Journal of Biological Sciences. 11(11): 1429-1435.
- Calvo T.R. (2007). Uso sustentável de biodiversidade brasileira-prospecção químico-farmacológica em plantas superiores: *Alchornea glandulosa*, *Alchornea triplinervia* (Euphorbiaceae), *Indigofera truxillensis* e *Indigofera suffruticosa* (Fabaceae). Doctoral thesis, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Brazil.
- Chouisudsakunchai P., Phothikanith A. and Saithong A. (2010). The study of underarm bacterial inhibition properties of indigo dyed textiles. Sakon Nakhon graduate studies journal. 29: 57-66.
- Kaushal M., Sharma K.D. and Attri S. (2013). Effect of blanching on nutritional quality of dehydrated colocasia, *Colocasia esculenta* (L.) Schott leaves. Indian Journal of Natural Products and Resources. 4(2): 161-164.
- Chen T.Y., Sun H.L., Yao H.T., Lii C.K., Chen H.W., Chen P.Y., Li C.C. and Liu K.L. (2013). Suppressive effects of *Indigofera suffruticosa* Mill extracts on lipopolysaccharide-induced inflammatory responses in murine RAW 264.7 macrophages. Food and Chemical Toxicology. 55: 257-264.
- Miliauskas G., Venskutonis P.R. and Van B.T.A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. Food Chemistry. 85(2): 231-237.
- Nobosse P., Fombang E.N. and Mbofung C.M.F. (2017). The effect of steam blanching and drying method on nutrients, phytochemicals and antioxidant activity of Moringa (*Moringa oleifera* L.) leaves. American Journal of Food Science and Technology. 5(2): 53- 60.
- Nobosse P., Fombang E.N. and Mbofung C.M.F. (2018). Effects of age and extraction solvent on phytochemical content and antioxidant activity of fresh Moringa oleifera L. leaves. Food science & Nutrition. 6(8): 2188-2198.
- Phansawan B. (2013). Free radicals, Antioxidants and antioxidant activity determination. Journal of Science & Technology, Thammasat University. 21(3): 275-286.
- Pourmorad F., Hosseinimehr S.J. and Shahabimajd N. (2006). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. African Journal of Biotechnology. 5(11): 1142-1145.

- Pupaka D. (2015). The evaluation of phytochemical content, antioxidant activity and total phenolic content of the native mango in Chachoengsao province. *KKU Science Journal*. 43(2): 267-283.
- Ratanasiriwat P., Worawattanamateekul W. and Klaypradit W. (2013). Properties of encapsulated wasabi flavour and its application in canned food. *International Journal of Food Science and Technology*. 48(4): 749-757.
- Sakon Nakhon Rajabhat University. (2013). Kram. Accessed 11 Nov. 2018.
http://old.rdi.snru.ac.th/UserFiles/File/%202_7-8-56.pdf
- Singh R., Shushni M.A. and Belkheir A. (2015). Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. 8(3): 322-328.
- Singh R., Sharma S. and Sharma V. (2015). Comparative and quantitative analysis of antioxidant and scavenging potential of *Indigofera tinctoria* Linn. extracts. *Journal Integrative Medicine*. 13(4): 269-278.
- Ubon Ratchathani University. 2010. Anila. Accessed 11 Nov. 2018.
<http://www.phargarden.com/main.php?action=viewpage&pid=193>
- Vijayan R., Joseph S. and Mathew B. (2018). Anticancer, antimicrobial, antioxidant, and catalytic activities of green-synthesized silver and gold nanoparticles using *Bauhinia purpurea* leaf extract. *Bioprocess and Biosystem Engineering*. 42(2): 305-319.

Received: December 17, 2019; Revised: April 15, 2020; Accepted: April 20, 2020

สภาวะที่เหมาะสมในการหมักไวน์ลำตวนโดยใช้กล้าเชื้อแบบตรึงเซลล์

The optimum conditions for fermentation of Lamduan wine using immobilized cell culture

นุจรี สอนสะอาด^{1*}, สุภาพร รักษ์¹ และวิลาวลัย เกสร¹Nootjaree Somsaet^{1*}, Supaporn RaPhakchee¹ and Wilawan Kesorn¹¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

* Corresponding Author E-mail Address: 123Nootjaree46@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของผลลำตวนต่อน้ำ อุณหภูมิ และรูปแบบกล้าเชื้อ ที่เหมาะสมในการหมักไวน์ลำตวน ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วน 1:2 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการหมักไวน์ลำตวน มีปริมาณสูงแอลกอฮอล์ 14.97 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมัก คือ 25°C ซึ่งยีสต์สามารถหมักไวน์ได้แอลกอฮอล์ในปริมาณสูง มีจำนวนเซลล์ยีสต์ที่นับได้สูงที่สุด คือ 6.0×10^5 cfu/ml รูปแบบกล้าเชื้อแบบสด แบบแห้ง และแบบการตรึงเซลล์ที่ใช้ พบว่า กล้าเชื้อแบบตรึงเซลล์และแบบยีสต์สด พบปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดคือ 9.43 และ 9.40 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) ขณะที่ไวน์ลำตวนที่ใช้กล้าเชื้อยีสต์สด พบว่ามีฟีนอลิกและแอนโทไซยานินสูงสุด เท่ากับ 3.79 mg GAE/ml และ 24.63 mg/L ซึ่งทำให้ไวน์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด โดยวิธี DPPH (EC_{50}) มีปริมาณค่าเท่ากับ 80.05 mg/ml การประเมินทางประสาทสัมผัส ผู้บริโภคให้การยอมรับไวน์ลำตวนที่ใช้กล้าเชื้อแบบแห้งและแบบตรึงเซลล์ คะแนนความชอบโดยรวม มีคะแนน 8.17 และ 8.00 ดังนั้นประโยชน์กล้าเชื้อแบบตรึงเซลล์ คือ จะช่วยให้กระบวนการหมักเป็นไปอย่างช้าๆ ซึ่งส่งผลต่อดีต่อการปลดปล่อยสารที่หักลิ้นรส รวมถึงสารสำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระซึ่งจะทำให้ได้ ไวน์ที่มีคุณภาพดี

คำสำคัญ: ลำตวน ไวน์ ยีสต์สด ยีสต์แห้ง การตรึงเซลล์

Abstract

The objective of this study was to investigate the ratio of Lumduan to water, temperature and form of culture starter used for Lumduan wine fermentation. The results revealed that 1:2 was the suitable ratio of Lumduan to water for Lumduan wine fermentation and can produce the almost alcohol content of 14.97%. The optimal fermentation temperature was 25°C, where yeast can produce highest alcohol with the highest total yeast count of 6.0×10^5 cfu/ml. According to the culture starters used, immobilized and fresh yeast produced the highest alcohol of 9.43% and 9.40%, respectively ($p > 0.05$). Whereas Lumduan wine using

fresh yeast provided the highest phenolics and anthocyanin content of 3.76 mg GAE/ml and 24.63 mg/L, respectively, which resulted in the highest antioxidant activity of 80.05 mg/ml using DPPH (EC₅₀) method. Sensory evaluation showed that the overall acceptance scores of dried yeast and immobilized yeast were 8.17 and 8.00, respectively. Hence, the advantages of immobilized culture were that the fermentation process occurred slowly that aromatic and antioxidant substances were gradually released which gave wine good characteristics and had highest total yeast count left.

Keywords: Lumduan, Wine, Fresh yeast, Dry yeast, Immobilization

บทนำ

ไวน์เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเป็นอย่างมากเนื่องจากไวน์มีประโยชน์ต่อสุขภาพโดยไวน์จะกระตุ้นน้ำย่อยของร่างกายมีผลทำให้เกิดความอยากอาหารเพิ่มมากขึ้น บรรเทาอาการของโรคบางอย่าง เช่น ต้มเพื่อระงับอาการเจ็บปวด ช่วยขับปัสสาวะ ช่วยระงับความ ตื่นเต้น รักษาโรคความดันโลหิตต่ำ ทำให้หลอดเลือดหัวใจไม่ตีตัน เป็นต้น สำหรับไวน์แดงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดส่วนมากจะทำมาจากองุ่น จะให้สีแดงถือว่าเป็นไวน์ชนิดหนึ่งที่ผู้บริโภคนิยมซื้อไปดื่มมากที่สุด เนื่องจากสีสวย รสชาติกลมกล่อม และยังอุดมไปด้วยสารแอนตีออกซิแดนท์ในองุ่นพันธุ์สีแดงชนิดต่าง ๆ นอกจากองุ่นแดงที่นิยมนำมาทำไวน์แล้วยังพบว่าการนำผลไม้ชนิดอื่นมาใช้ในการผลิตไวน์แดงที่ได้รับการยอมรับและมีรสชาติที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเช่นกัน ลำดวนเป็นผลไม้พื้นบ้าน ผลลำดวนเป็นผลสดแบบมีเนื้อ ออกผลเป็นกลุ่ม ลักษณะของผลเป็นรูปทรงกลมรี ผลอ่อนเป็นสีเขียว เมื่อแก่แล้วจะเปลี่ยนเป็นสีแดง รับประทานได้โดยจะมีรสหวานอมเปรี้ยวและมีสารต้านอนุมูลอิสระ มีปริมาณฟีนอลิก 30.40 mg/l (Bindon et al., 2013) จึงมีความสนใจที่จะนำลำดวนมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ไวน์

การตรึงเซลล์เป็นเทคโนโลยีที่นิยมนำมาใช้ในการหมักแอลกอฮอล์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีข้อได้เปรียบทางเทคโนโลยีและเศรษฐกิจต่างๆ และยังสามารถใช้กับระบบการหมักแบบต่อเนื่องได้ดี อีกทั้งถ้าเชื้อที่ทำการตรึงเซลล์ยังสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ทำให้ลดต้นทุนได้ โดยเมื่อเทียบการใช้เซลล์แบบตรึงเซลล์กับการใช้เซลล์แบบอิสระ โดยการตรึงเซลล์จะทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเซลล์สามารถต้านทานสารยับยั้งสารการเจริญ เช่น กรด อุณหภูมิ เอทานอล สารประกอบฟีนอล และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Genisheva et al., 2011) นอกจากผลของการตรึงเซลล์ที่ดีต่อเซลล์ของจุลินทรีย์ยังมีผลต่อคุณภาพของกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมไวน์ซึ่งพบว่าการตรึงเซลล์จะทำให้ไวน์หลังการหมักยังคงมีสารให้กลิ่นรสในไวน์ปริมาณสูงเมื่อเทียบกับการใช้เซลล์แบบอิสระ และยังส่งผลต่อการลดระยะเวลาการบ่มไวน์ได้ (Lerma et al., 2018)

ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจในการนำรูปแบบก้ำเชื้อแบบตรึงเซลล์มาใช้เป็นอย่างมาก เพื่อเพิ่มการผลิตและทำให้ไวน์ลำดวนคุณภาพทางด้าน สี กลิ่นรสและสารสำคัญในลำดวน นอกจากนี้ลำดวนยังเป็นผลไม้หายาก มีราคาสูงและมีความเป็นเอกลักษณ์ และไวน์ชนิดนี้ยังไม่มีจำหน่ายในท้องตลาดจึงน่าจะเป็นทางเลือกที่ตื่นเต้นให้กับผู้บริโภค อีกทั้งการนำก้ำเชื้อแบบตรึงเซลล์มาใช้อาจสามารถนำก้ำเชื้อในรูปแบบเม็ดบีดที่ผ่านการใช้หมักไวน์แล้วนำกลับมาใช้ได้อีก ซึ่งสามารถช่วยลดขั้นตอนการเตรียมก้ำเชื้อและลดต้นทุนการผลิตไวน์ได้ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ คือ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหมักไวน์ลำดวนให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุดโดยจะศึกษาสภาวะต่างๆ ได้แก่ อัตราส่วนของลำดวนต่อน้ำ อุณหภูมิ และรูปแบบก้ำเชื้อ ที่มีผลต่อคุณภาพต่อการผลิตไวน์ลำดวน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเตรียมลำคานและการสกัดน้ำลำคาน

ตัวอย่างผลลำคานสุกจากตลาดช่องจอม อำเภอกาบเชิง จังหวัดสุรินทร์ คัดเลือกเฉพาะผลสุกมีสีดำ เนื้อไม่เละ เอาใบและก้านออก ล้างให้สะอาด ผึ่งผลลำคานที่ผ่านการล้างให้สะอาดให้แห้ง ซึ่งผลลำคาน 1,000 กรัม บรรจุเก็บในถุงพลาสติกปิดสนิท และแช่ในตู้แช่แข็ง -20°C เพื่อใช้ในการทดลอง

การเตรียมสตาร์ทเตอร์ (starter)

การเตรียมกล้าเชื้อยีสต์ผง สำหรับทดสอบการหาสภาวะการหมัก เตรียมน้ำลำคานที่อัตราส่วน 1:2 กรัมต่อลิตร ใส่ขวดปริมาตรจำนวน 90 มิลลิลิตร ฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121°C เวลา 20 นาที ทำให้เย็น ซึ่งยีสต์ผงสายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* var. *cerevisiae* จำนวน 0.2 กรัม (กล้าเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 1.0×10^6 cfu/ml) ค่อย ๆ เทยีสต์ลงในน้ำลำคานที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 90 มิลลิลิตร หมักไว้นานที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การเตรียมกล้าเชื้อยีสต์สด (ปัญญาติลก และคณะ, 2558) ทำการเพาะเลี้ยงยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* var. *cerevisiae* บนอาหารเลี้ยง Yeast malt agar (YMA) บ่มที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ขูดโคลนที่เจริญบนอาหาร YMA จำนวน 1 หลบ ใส่ขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำลำคานที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้กล้าเชื้อสดมีปริมาณเซลล์ยีสต์เริ่มต้น เท่ากับ 10^5 cfu/ml

การเตรียมกล้าเชื้อตรงเซลล์ ดัดแปลงตามวิธีของศศิธร (2550) ดังนี้ การเตรียมเชื้อยีสต์ใน peptone water โดยใช้รูปเชื้อโคลนยีสต์มา 2 โคลน ใส่ใน 0.1 % ของเปปโตนวอเตอร์ จำนวน 9 ml นำไปเทียบความเข้มข้นกับหลอด Mc farland No. 0.5 ปริมาณเซลล์ยีสต์เท่ากับ 10^5 cfu/ml จากนั้นละลาย sodium alginate ในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 2% จากนั้นผสมเชื้อยีสต์กับ sodium alginate ในอัตราส่วน 1:1 คนให้เข้ากัน และดูดส่วนผสมด้วยกระบอกไซริงค์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ปลอ่ยส่วนผสมลงบน CaCl_2 ความเข้มข้น 2% ทั้งให้เจลแข็งตัว 30 นาที นำเม็ดเงินเจลเก็บในสารละลายเก็บที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อใช้ในการทดสอบ

การศึกษาการหมักไวน์ลำคาน

การหมักไวน์ด้วยกล้าเชื้อรูปแบบต่างๆ ทำการทดสอบหาสภาวะการหมักไวน์ลำคาน ศึกษาอัตราส่วนลำคานต่อน้ำที่เหมาะสม ซึ่งมีระดับการเจือจาง 1:1 1:2 และ 1:3 กรัมต่อน้ำลำคาน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมักไวน์ ได้แก่ 25 °C, 30°C และ 35°C นำผลการทดสอบที่ได้ใช้ในการศึกษาการหมักไวน์ด้วยรูปแบบกล้าเชื้อตรงเซลล์ กล้าเชื้อสด และกล้าเชื้อแบบแห้ง การหมักไวน์ลำคานโดยใช้น้ำลำคานที่มีอัตราส่วนการเจือจางน้ำ 1: 2 (ลำคาน:น้ำสะอาด) จำนวน 1,000 ml ปรับความหวานด้วยน้ำตาล โดยให้ปริมาณของแข็งสุดท้าย เท่ากับ 20 องศาบริกซ์ ปรับค่า pH เริ่มต้นในช่วง 3.0-3.5 เติมน้ำโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (Potassium Metabisulphite, KMS) 150 ppm เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำลำคาน แบ่งน้ำลำคานใส่ใน ฟลาสก์ ขนาด 500 ml ปิดฝาด้วยจุกสำลี ตั้งทิ้งไว้หนึ่งคืน เพื่อให้ KMS สลายตัว จากนั้นเติมกล้าเชื้อ แบบสดจะใช้ 0.2 กรัม กล้าเชื้อสดที่เตรียมในน้ำลำคาน เติมน้ำ 5 ml และกล้าเชื้อแบบตรงเซลล์ใช้ 5 กรัม โดยปริมาณกล้าเชื้อที่เติมทั้งหมดต่อน้ำลำคาน 250 ml หมักไวน์ลำคาน ที่อุณหภูมิ 25°C นำตัวอย่างไวน์ที่ได้ทดสอบคุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี

การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก ด้วยวิธี AOAC (2000) นำตัวอย่างไวน์ 50 มิลลิลิตร เทพวงคาร์บอน 0.4 กรัม คนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 10 นาที กรองด้วยกระดาษกรองสาร ปิดตัวอย่างส่วนที่กรองได้มา 5 ml นำไปไทเทรตกับ

สารละลายต่างมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N คำนวณปริมาณกรด ในรูปร้อยละของน้ำหนักตัวอย่าง ปริมาณ แอลกอฮอล์ด้วย Alcohol refractometer รุ่น 511ATC และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (Total soluble solid, TSS) ด้วย Refractometer รุ่น RHW-25 ATC (0-40%) ที่อุณหภูมิ 30°C การวัดค่าความเป็นกรดต่าง เครื่องวัด pH meter รุ่น SP-2100, Suntex, Taiwan

ตรวจนับจำนวนปริมาณยีสต์ทั้งหมด

ดูดตัวอย่างไวน์ลำดวน 10 ml ใส่ลงในขวดที่มี 0.1 เปอร์เซ็นต์ Peptone water ปริมาตร 90 ml ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ (Aseptic Techniques) เขย่าให้เข้ากัน แล้วทำการเจือจางตัวอย่างโดยการปิเปต 1 มิลลิลิตร ของตัวอย่างไวน์ลำดวนลงใน 0.1เปอร์เซ็นต์ Peptone water ปริมาตร 9 ml เจือจางตัวอย่างไวน์ลำดวนที่ 10^{-2} เท่า ถึง 10^{-5} ดูดตัวอย่างไวน์ลำดวนที่ระดับ การเจือจางต่างๆจำนวน 0.1 ml ลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหารแข็ง Yeast Malt Agar ทำการเกลี่ยลงบนอาหารแข็งด้วย Sterile Spreader ปล่อยให้แห้ง แล้วนำจานเพาะเชื้อไปบ่มที่ 25°C เป็นเวลา 3-5 วัน นับจำนวนโคโลนียีสต์ทั้งหมดบน อาหารเลี้ยงเชื้อ รายงานจำนวนยีสต์ทั้งหมดที่นับได้เป็นจำนวนโคโลนีต่อมิลลิลิตรของตัวอย่างไวน์

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanidins; TAntho) ด้วยวิธี pH Differential Method ตามวิธี ของ AOAC (2005) วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolics, TP) (Karunrat et al., 2018) และวิเคราะห์ฤทธิ์ ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี วิธี Free radical scavenging antioxidant (DPPH assay) (Karunrat et al., 2018)

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

จำนวนผู้ทดสอบชิม 30 คนที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านความใส ความฝาด ความหวาน กลิ่น รสชาติและความชอบโดยรวม โดยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) วางแผนการ ทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCBD)

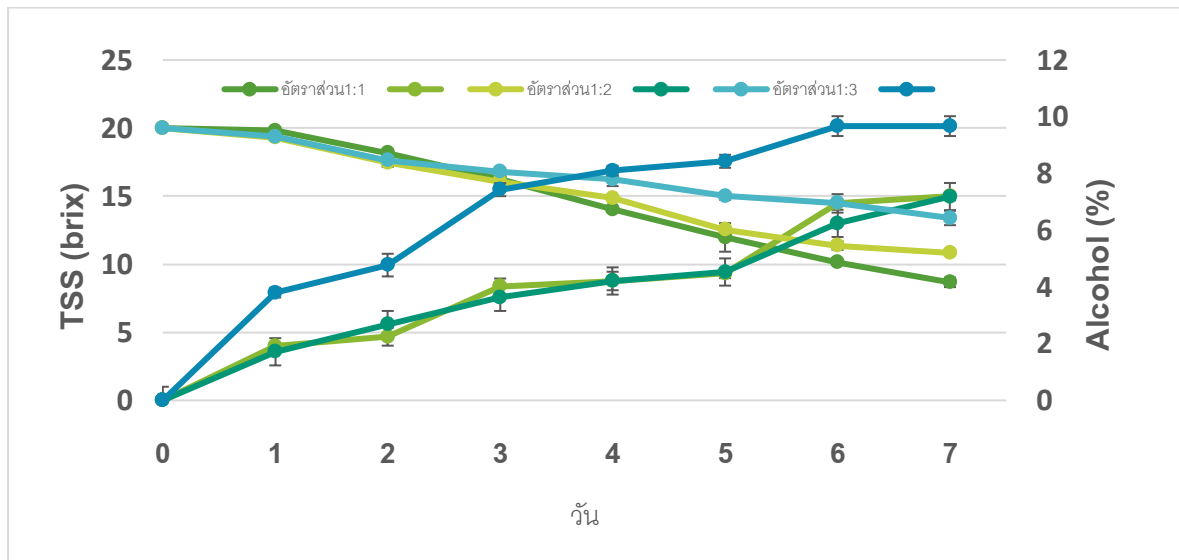
การวิเคราะห์ทางสถิติ

รายงานผลในรูปของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD) โดยใช้ค่าจากการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ (n=3) และ คำนวณความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างด้วย ANOVA (Analysis of variance) ที่ระดับความน่าเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์พิจารณาจากความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อ p<0.05

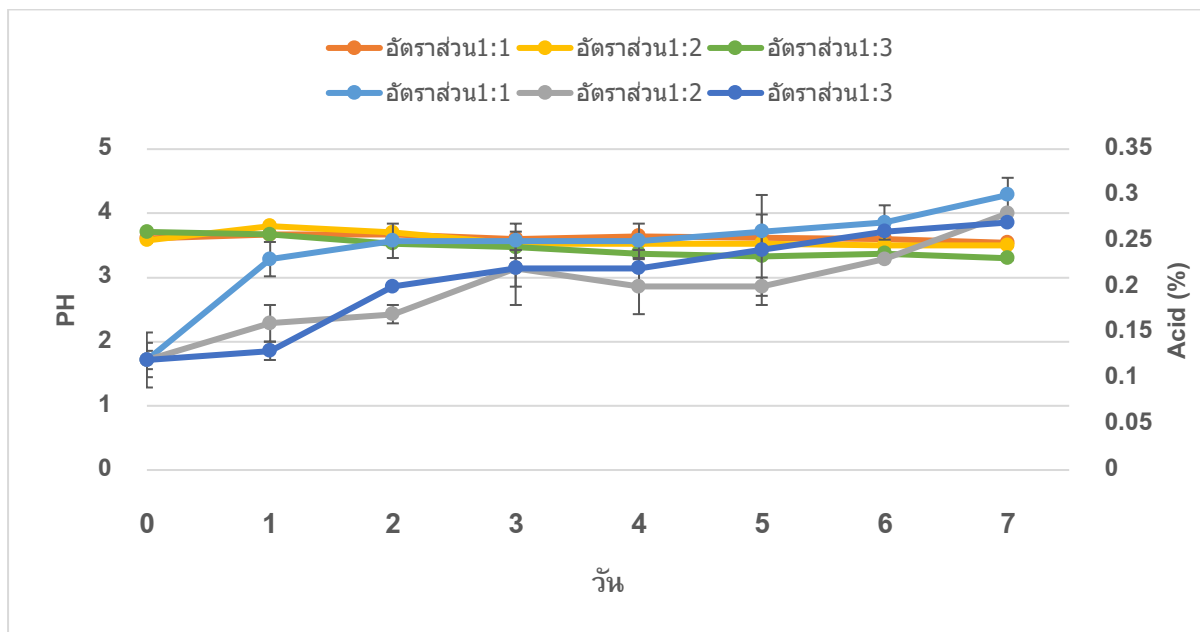
ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid, TSS) ปริมาณแอลกอฮอล์ ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณกรด และจำนวนยีสต์ ของไวน์ลำดวนในอัตราส่วนของลำดวนต่อน้ำที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการหมัก 1 สัปดาห์ จาก การทดลองพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในไวน์ลำดวนในอัตราส่วนของลำดวนต่อน้ำที่ 1:1, 1:2 และ 1:3 ที่ระยะเวลา การหมัก 1 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณของแข็งมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากยีสต์ใช้น้ำตาลเพื่อการเจริญ พบว่าปริมาณค่า TSS ในไวน์ ลำดวนที่อัตราส่วนการเจือจางต่าง ๆ มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังรูปที่ 1 ค่า TSS ในไวน์ลำดวนหลังจากหมัก 7 วัน พบว่า มีปริมาณTSS ที่ลดลงทุกอัตราส่วน และมีการลดลงอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าตัวอย่างไวน์ลำดวน ที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 มีการลดลงของค่า TSS มากที่สุด โดยลดลงจาก

บrix เริ่มต้น 20 องศาบrix (Brix) โดยมีค่าเท่ากับ 8.67 ± 0.35 และ 10.83 ± 0.15 องศาบrix ปริมาณแอลกอฮอล์ ในวันสุดท้ายของการหมักไวน์ลำดวน มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดเท่ากับ 15.00 และ 14.97% โดยปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้ พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์ทั้งสองอัตราส่วนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่า pH และปริมาณกรด ของไวน์ลำดวนมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดเวลาการหมัก 2 สัปดาห์ดังรูป 2 มีค่ากรดต่าง เท่ากับ 3.30-3.54 ส่วนปริมาณกรดในไวน์พบว่าตลอดระยะเวลาการหมักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยวันที่ 7 นั้น ปริมาณอยู่ระหว่าง 0.27-0.30% ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณแอลกอฮอล์ในไวน์ลำดวน ที่มีการเจือจางน้ำที่ระดับต่าง ๆ (ลำดวน:น้ำ)



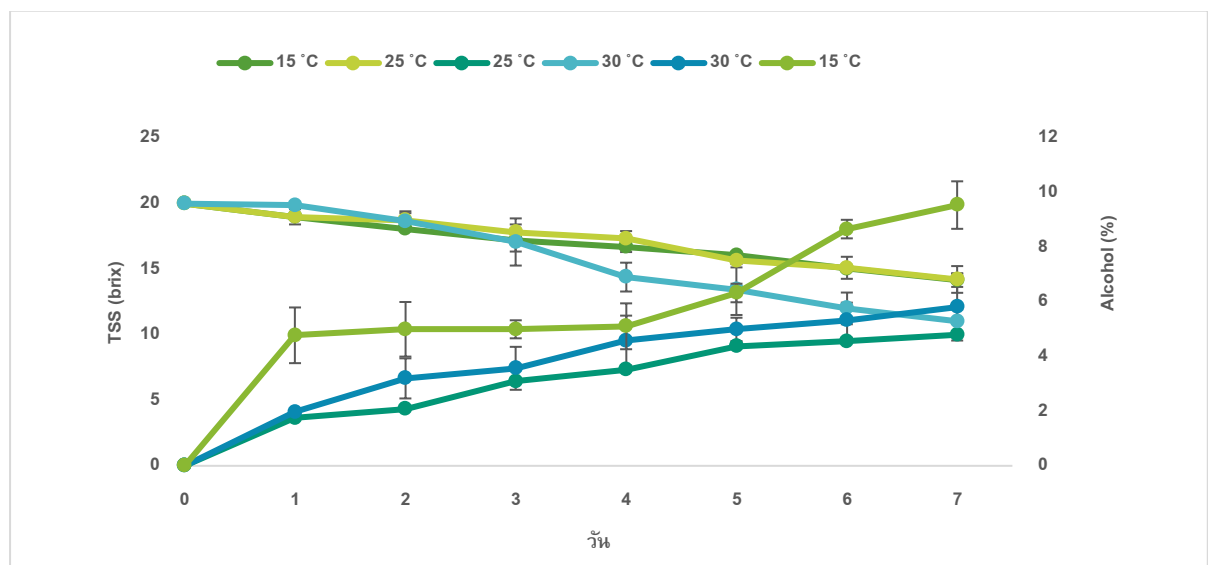
รูปที่ 2 ปริมาณกรดและค่าความเป็นกรด-ด่างในไวน์ลำดวน ที่การเจือจางน้ำที่อัตราส่วน (ลำดวน:น้ำ) ระดับต่าง ๆ หมัก 1 สัปดาห์

การนับจำนวนเซลล์ยีสต์ในการหมักไวน์ลำควน พบว่า วันที่ 1 ของการหมัก เซลล์ยีสต์มีจำนวนเพิ่มขึ้นรวดเร็วและพบมากที่สุดในวันที่มีอัตราส่วนของลำควน:น้ำ ที่ 1:2 มีจำนวนเซลล์ยีสต์ที่นับได้ เท่ากับ 1.9×10^6 cfu/ml แต่พบว่า ในวันที่ 3-5 ของการหมักไวน์ เซลล์ยีสต์เริ่มมีจำนวนคงที่เนื่องจากการเจริญคงที่ พบปริมาณจำนวนยีสต์มากที่สุดที่นับได้ ในวันที่มีอัตราส่วนการเจือจางน้ำในอัตรา 1:1 ยีสต์ที่นับได้มีค่าเท่ากับ 7.2×10^6 cfu/ml และจำนวนยีสต์จะเริ่มลดลงวันที่ 6 และ 7 พบจำนวนยีสต์ที่นับได้ในวันที่มีการเจือจางน้ำที่ อัตราส่วน 1:2 มีจำนวนเซลล์ยีสต์ที่นับได้สูงสุด เท่ากับ 4.2×10^6 cfu/ml ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนยีสต์ทั้งหมดที่นับได้ในไวน์ลำควนที่มีอัตราส่วนของผลลำควนต่อน้ำที่ระดับต่าง ๆ หมัก 1 สัปดาห์

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	จำนวนยีสต์ทั้งหมด (cfu/ml)		
	อัตราส่วน 1:1	อัตราส่วน 1: 2	อัตราส่วน 1: 3
0	4.1×10^5	4.3×10^5	4.9×10^5
1	9×10^5	1.9×10^6	1.8×10^6
3	7.1×10^6	1.3×10^6	8×10^5
5	7.2×10^6	3.8×10^6	1.7×10^6
7	3.5×10^6	4.2×10^6	1.9×10^6

ดังนั้นจะเห็นว่าการหาสภาวะของอัตราส่วนที่เหมาะสมของลำควน:น้ำ ในการหมักไวน์ลำควนมากที่สุด คืออัตราส่วนที่ 1:2 เนื่องจากให้ค่าปริมาณแอลกอฮอล์ที่สูงและยังคงเหลือปริมาณ TSS ที่สูงกว่าและมีจำนวนจุลินทรีย์ที่นับได้ปริมาณมากที่สุดซึ่งนั้นแสดงไวน์ยังคงสามารถหมักได้อีกต่อไปและนอกจากนี้ยังพบว่าการเตรียมน้ำลำควนที่อัตราส่วน 1:1 มีความเข้มข้นมากและได้ปริมาณน้ำน้อยในการผลิตไวน์จะทำให้ผลของต้นทุนสูงเนื่องจากผลลำควนสุกมีราคาแพงดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต จึงเลือกอัตราส่วนดังกล่าวเพื่อนำไปศึกษาเพื่อศึกษาสภาวะอื่นต่อไป

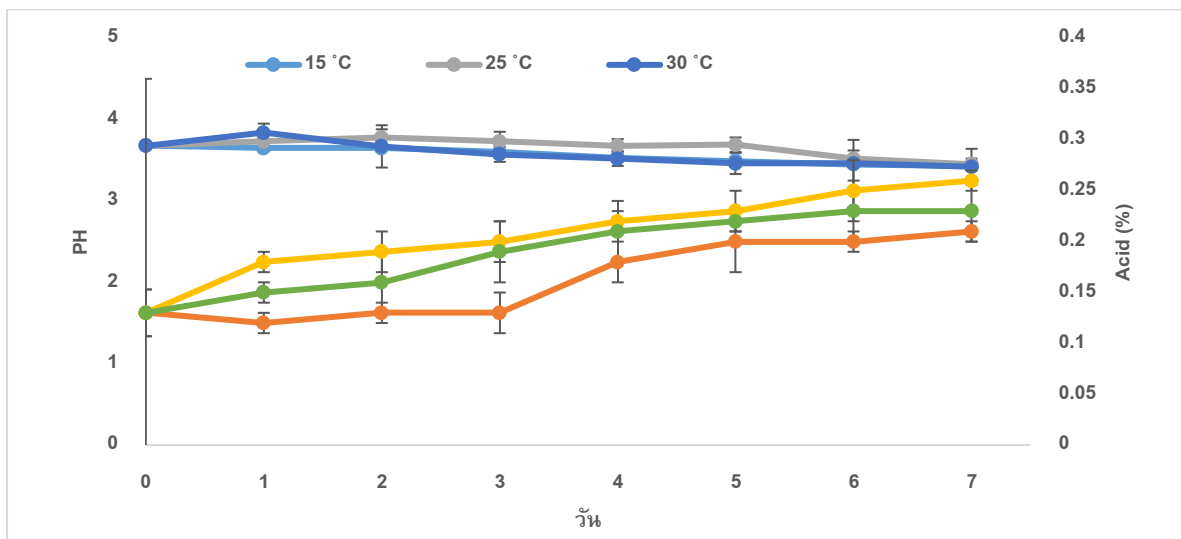


รูปที่ 3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณแอลกอฮอล์ที่ใช้อุณหภูมิในการหมักที่แตกต่างกัน หมัก 1 สัปดาห์

ผลการวิเคราะห์สภาวะของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมักไวน์ ที่อุณหภูมิ 15°C, 25°C และ 30°C โดยมีการตรวจวิเคราะห์ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณแอลกอฮอล์ ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณกรด และปริมาณจำนวนยีสต์ ที่

ระยะเวลาการหมัก 1 สัปดาห์ จากการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในไวน์ลำคาน พบว่าที่อุณหภูมิ 30°C มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยที่สุด โดยวัดค่าได้เท่ากับ 11.03 องศาบริกซ์ (Brix) ซึ่งพบว่าปริมาณของแข็งที่ลดลงในไวน์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ กับไวน์ลำคานที่หมักที่หมักที่อุณหภูมิการหมักที่ 15 และ 25°C ดังรูปที่ 3 และพบว่าปริมาณแอลกอฮอล์มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องโดยจะสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งที่ลดลง และในวันที่ 7 ของการหมักไวน์ ที่อุณหภูมิหมักไวน์ที่ 30°C มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดที่ตรวจวัดได้ คือ มีปริมาณแอลกอฮอล์ เท่ากับ 12.11%

ค่าความเป็นกรด-ด่าง ตลอดระยะเวลาการหมักนั้นมีแนวโน้มลดลงแต่พบการลดลงเพียงเล็กน้อย พบว่าวันที่ 7 ของการหมักพบค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 3.42-3.45 ($p>0.05$) เพอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4 ส่วนปริมาณกรดในไวน์ ตลอดระยะเวลาการหมักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปริมาณอยู่ระหว่าง 0.21-0.26% ($p>0.05$) ดังรูปที่ 4 ในไวน์ที่หมักเป็นเวลา 7 วัน



รูปที่ 4 ปริมาณกรดและค่าความเป็นกรด-ด่างที่ใช้อุณหภูมิในการหมักที่แตกต่างกัน หมัก 1 สัปดาห์

การตรวจนับจำนวนยีสต์ในตัวอย่างไวน์ที่หมักที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ในวันที่ 2 จำนวนยีสต์ที่นับได้ มีจำนวนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วพบมากที่สุดที่ อุณหภูมิการหมักที่ 30°C มีจำนวนทั้งหมด เท่ากับ 2.31×10^6 cfu/ml ดังตารางที่ 2 และจำนวนยีสต์เริ่มมีการเจริญคงที่และมีแนวโน้มลดลงทุกอุณหภูมิในการหมัก และในวันสุดท้ายพบว่าที่อุณหภูมิ 25°C ยังคงตรวจพบจำนวนยีสต์ได้มากที่สุด เท่ากับ 6×10^5 cfu/ml

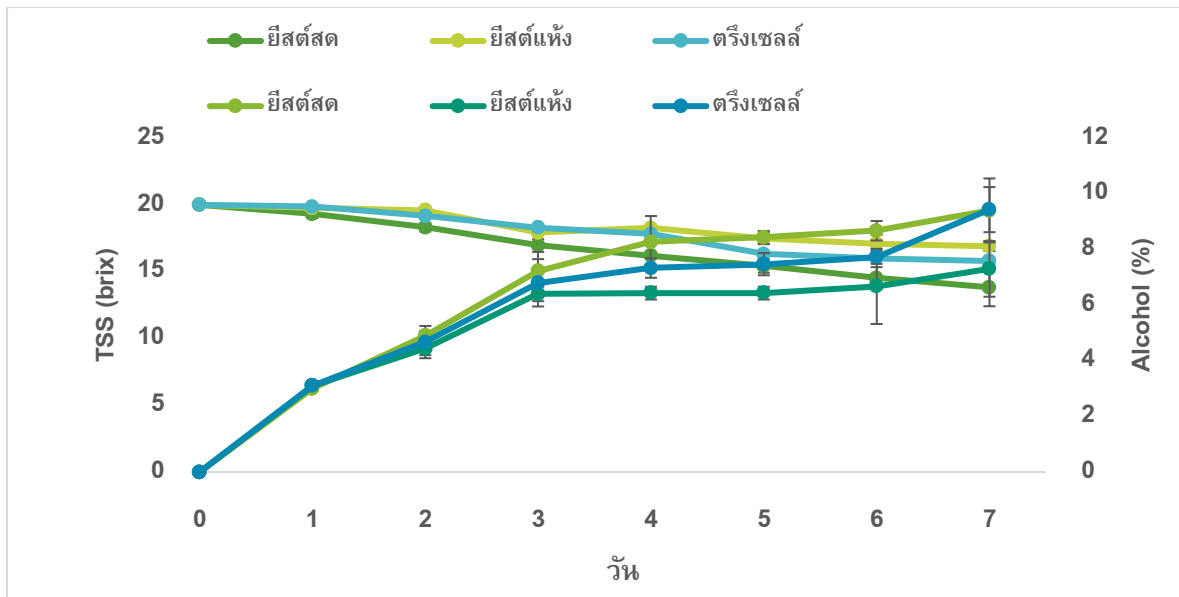
ดังนั้นจากการทดสอบอุณหภูมิที่เหมาะสม ในการหมักไวน์ลำคาน นั้นคืออุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากมียีสต์หมักได้ดีให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูง มีปริมาณค่า TSS ที่วัดได้ภายหลังการหมักยังคงสูง และนอกจากนี้ยังมีจำนวนยีสต์ในไวน์ที่ปริมาณสูง จึงเลือกสภาวะดังกล่าวเพื่อนำไปทดสอบหาสภาวะของรูปแบบของกล้าเชื้อในการหมักไวน์ลำคาน

ตารางที่ 2 จำนวนยีสต์ทั้งหมดในไวน์ลำควนที่ใช้อุณหภูมิ 15°C, 25°C และ 30°C หมัก 1 สัปดาห์

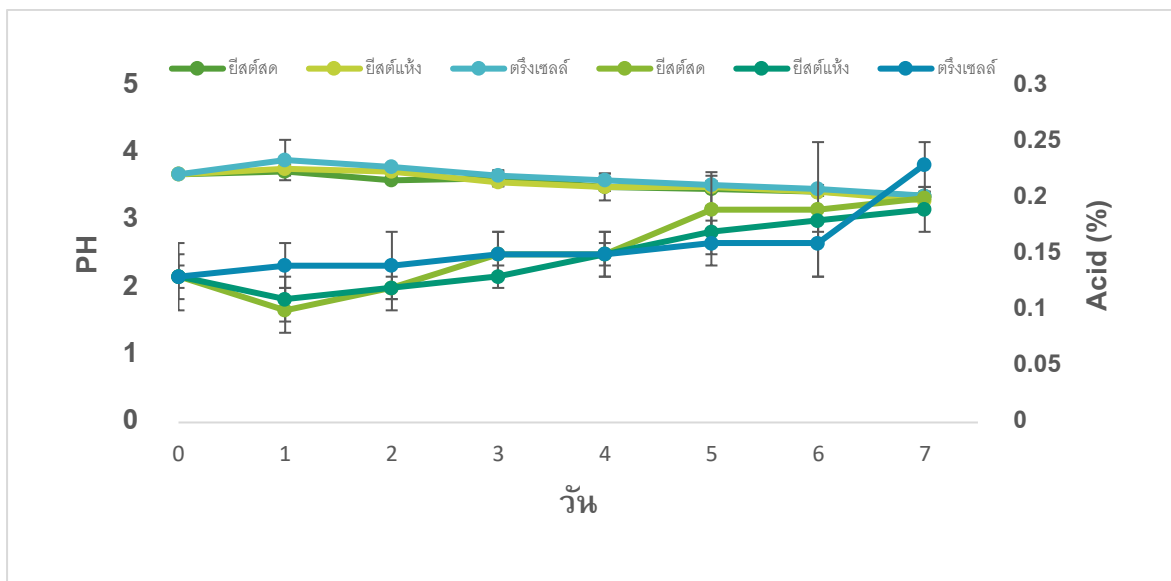
ระยะเวลาการหมัก (วัน)	จำนวนยีสต์ที่นับได้ทั้งหมด (cfu/ml)		
	15°C	25°C	30°C
0	4.3×10^5	4.7×10^5	4.5×10^5
1	2.04×10^6	1.57×10^6	1.66×10^6
2	1.19×10^6	2.23×10^6	2.31×10^6
3	1.50×10^6	2.05×10^6	1.93×10^6
4	1.55×10^6	2.12×10^6	2.15×10^6
5	1.58×10^6	1.59×10^6	1.52×10^6
6	1.02×10^6	1.50×10^6	3.5×10^5
7	3.1×10^5	6.0×10^5	7×10^4

ผลทดลองการใช้รูปแบบแบกกล้าเชื้อที่แตกต่างกัน รูปแบบกล้าเชื้อยีสต์สด ยีสต์แห้ง และแบบการตรึงเซลล์ ที่ระยะเวลาการหมัก 1 สัปดาห์ การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณแอลกอฮอล์ ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณกรดและปริมาณเซลล์ยีสต์ ของไวน์ลำควน พบว่าการใช้กล้าเชื้อทุกแบบ มีผลทำให้แนวโน้มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในไวน์ลำควนลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในวันที่ 7 ของการหมัก พบว่าการใช้กล้าเชื้อแบบยีสต์สดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่ลดลงมากที่สุด ปริมาณเท่ากับ 13.83 องศาบริกซ์ ซึ่งค่าปริมาณของแข็งที่ตรวจวัดได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของแข็งในตัวอย่างไวน์ลำควนที่ใช้กล้าเชื้อรูปแบบตรึงเซลล์และแบบแห้ง ดังภาพที่ 6 แต่เมื่อตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์นั้น พบว่า การใช้รูปแบบกล้าเชื้อทั้ง 3 แบบ มีผลทำให้เกิดการหมักและได้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้น ได้เช่นเดียวกันแต่จะพบว่า การใช้กล้าเชื้อแบบตรึงเซลล์จะมีปริมาณแอลกอฮอล์ที่วัดได้สูงที่สุด เท่ากับ 9.43% ดังรูปที่ 5

ค่าความเป็นกรด-ด่างตลอดระยะเวลาการหมักนั้นมีแนวโน้มลดลงโดยพบว่าวันสุดท้ายของการหมักพบค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 3.30-3.37 ($p > 0.05$) และปริมาณกรดตลอดระยะเวลาการหมักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยวันที่ 7 นั้น ปริมาณอยู่ระหว่าง 0.19-0.26% ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณแอลกอฮอล์ในไวน์ลำตวนที่ใช้รูปแบบกล้าเชื้อหมักที่แตกต่างกัน หมัก 1 สัปดาห์



รูปที่ 6 ปริมาณกรดและค่าความเป็นกรด-ด่างในไวน์ลำตวนที่ใช้รูปแบบกล้าเชื้อในการหมักที่แตกต่างกันที่มี หมัก 1 สัปดาห์

การวิเคราะห์จำนวนเซลล์ยีสต์ของไวน์ลำตวนที่มีการใช้รูปแบบกล้าเชื้อที่แตกต่างกันในการหมักไวน์ลำตวน พบว่าระยะเวลาการหมักเวลา 1 วัน จะพบจำนวนยีสต์สูงขึ้นและมากที่สุด โดยเฉพาะกล้าเชื้อยีสต์สด มีจำนวนเซลล์ยีสต์ที่นับได้สูงสุดเท่ากับ 7.9×10^5 cfu/ml ดังตารางที่ 3 ส่วนกล้าเชื้อแบบดริ่งเชลล์ พบจำนวนเซลล์ยีสต์จะมีการเพิ่มจำนวนแบบช้า ๆ ในช่วงแรก และเพิ่มจำนวนสูงสุดในวันที่ 4 ของการหมัก นับจำนวนยีสต์สูงสุดได้เท่ากับ 7.5×10^5 cfu/ml ขณะที่กล้าเชื้อแบบสดและแห้งจำนวนยีสต์ลดลงมากแล้ว และพบว่าเมื่อระยะเวลาการหมัก 7 วัน พบว่ากล้าเชื้อแบบการดริ่งเชลล์ในยังคงมีจำนวนเซลล์ยีสต์ที่นับได้มีปริมาณสูงมาก 4.7×10^5 cfu/ml ในขณะที่กล้าเชื้อแบบสดและแบบแห้ง จำนวนเซลล์ยีสต์ที่ตรวจได้ลดลงเหลือเท่ากับ 1.4×10^5 และ 8.0×10^4 cfu/ml ตามลำดับ

ตารางที่ 3 จำนวนยีสต์ที่นับได้ทั้งหมดในวุ้นลำคาน ที่มีการใช้รูปแบบกล้าเชื้อที่แตกต่างกัน หมัก 1 สัปดาห์

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	จำนวนยีสต์ที่นับได้ทั้งหมด (cfu/ml)		
	กล้าเชื้อยีสต์สด	กล้าเชื้อยีสต์แห้ง	กล้าเชื้อตรึงเซลล์
0	4.0×10^5	3.4×10^5	3.9×10^5
1	7.9×10^5	7.5×10^5	5.4×10^5
2	6.8×10^5	8.7×10^5	4.5×10^5
3	4.0×10^5	5.8×10^5	4.2×10^5
4	3.7×10^5	3.2×10^5	7.7×10^5
5	1.1×10^5	1.4×10^5	7.2×10^5
6	1.6×10^5	1.1×10^5	7.4×10^5
7	1.4×10^5	8.0×10^4	4.7×10^5

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ในวุ้นลำคานใช้รูปแบบกล้าเชื้อที่แตกต่างกัน ที่มีระยะเวลาการหมัก 1 สัปดาห์ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน รวมทั้งการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH ดังตารางที่ 4 พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินในวุ้นลำคานที่ใช้รูปแบบกล้าเชื้อต่างกัน 3 รูปแบบ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณแอนโทไซยานิน อยู่ช่วงระหว่าง 24.01-24.63 mg/ml แต่พบว่าปริมาณของฟีนอลิกในวุ้นลำคานที่หมักโดยใช้กล้าเชื้อสดมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 3.76 mg GAE/ml และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระพบมากที่สุดในวุ้นลำคานที่ใช้รูปแบบกล้าเชื้อยีสต์สดเช่นกัน โดยมีปริมาณค่า EC_{50} เท่ากับ 80.05 mg/ml

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการหมักวุ้นลำคาน คือ ระดับอัตราส่วน ลำคาน:น้ำ คือ 1:2 อุณหภูมิการหมักที่ 25°C และใช้รูปแบบกล้าเชื้อแบบตรึงเซลล์ ซึ่งสภาวะดังกล่าวได้นำไปทดสอบขั้นตอนการหมักวุ้นและนำวุ้นลำคานที่ได้ทดสอบการยอมรับผู้บริโภค

ตารางที่ 4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ วุ้นลำคานใช้รูปแบบกล้าเชื้อที่แตกต่างกัน ระยะการหมัก 1 สัปดาห์

รูปแบบกล้าเชื้อ	ปริมาณฟีนอลิก (mg GAE/ml)	ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg/L)	DPPH (EC_{50} , mg/ml)
ผลลำคานสด	14.04 ± 0.97^a	201.00 ± 0.10^a	60.27 ± 1.42^d
ยีสต์สด	3.76 ± 0.66^c	24.63 ± 2.02^b	80.05 ± 0.50^c
ยีสต์แห้ง	2.49 ± 0.07^c	24.05 ± 2.06^b	84.72 ± 0.29^b
การตรึงเซลล์	2.11 ± 0.32^b	24.01 ± 0.26^b	89.02 ± 0.70^a

หมายเหตุ: ค่า ^{a,b,c} ในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของไวน์ลำควน ต่อการยอมรับผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยมีการทดสอบคุณลักษณะของไวน์ลำควน ด้านความใส ความฝาด ความหวาน กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ดังตารางที่ 5 จากตารางพบว่าไวน์ที่หมักด้วยกล้าเชื้อแบบผงและกล้าเชื้อแบบตรึงเซลล์ ด้านความใส ความฝาด ความหวาน กลิ่น รสชาติ โดยเฉพาะความชอบโดยรวมพบว่าคะแนนทดสอบความชอบที่ไม่มีความแตกต่างกันละมีคะแนนความชอบมากกว่าไวน์ที่มีการหมักโดยใช้กล้าเชื้อสด โดยมีคะแนนความชอบรวมในระดับชอบมาก (8.17 และ 8.00)

ตารางที่ 5 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อการยอมรับของไวน์ลำควนที่หมักโดยใช้รูปแบบกล้าเชื้อต่าง ๆ

รูปแบบกล้าเชื้อ	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส					ความชอบโดยรวม
	ความใส	ความฝาด	ความหวาน	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ	
ยีสต์สด	7.17±1.62 ^b	5.80±2.23 ^b	6.67±2.04 ^b	6.93±1.82	7.13±1.57 ^b	7.47±1.14 ^b
ยีสต์แห้ง	7.77±0.94 ^a	6.47±1.89 ^{ab}	7.87±1.33 ^a	7.47±1.48	7.83±0.69 ^a	8.17±0.07 ^a
การตรึงเซลล์	7.40±1.07 ^{ab}	6.83±1.66 ^a	7.43±1.45 ^{ab}	7.33±1.35	7.33±1.42 ^{ab}	8.00±0.98 ^a

หมายเหตุ: ค่า ^{a,b,c} ในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} – Not-significant หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การอภิปรายผล

จากการทดลองนั้นจะเห็นได้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของทุกตัวอย่างนั้นมีแนวโน้มลดลง ซึ่งการลดลงของปริมาณของแข็งที่ลดลง นั้นจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ายีสต์สามารถเจริญได้ดีในลำควนสัมพันธ์กับจำนวนของยีสต์ที่ตรวจนับได้ มีจำนวนเพิ่มเมื่อมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการเจริญของยีสต์เกิดจากยีสต์ใช้น้ำตาลเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานและได้ผลิตภัณฑ์เป็นให้เป็นเอทานอล โดยทั่วไปประมาณ 95% ของน้ำตาลทั้งหมด ถูกนำไปผลิตเป็นเอทานอล และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่น้ำตาลที่เหลือ 5% ถูกเปลี่ยนผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น กลีเซอรอล (Tatdao et al., 2013) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างไวน์เริ่มต้นใกล้เคียงกัน (3.58-3.71) ซึ่งหลังจากการหมักเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ลดลงเล็กน้อยเป็น 3.30-3.50 การลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่สังเกตได้อาจเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นซึ่งนำไปสู่การก่อตัวของ H^+ และการก่อตัวของกรดคาร์บอนิกจากปฏิกิริยาของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (Romano et al., 1998) ซึ่งสอดคล้องกับ Bindon et al. (2013) จากรายงานพบว่าไวน์องุ่นมีปริมาณแอลกอฮอล์ 11.77-15.5% และค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.46-3.62 อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่แตกต่างกันในการศึกษาอาจเนื่องมาจากความเป็นกรดและปริมาณเอทานอลของไวน์นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการรวมถึงชนิดของผลไม้ ชนิดของยีสต์ที่ใช้ การเริ่มต้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และวิธีการผลิตไวน์

ผลของการใช้รูปแบบกล้าเชื้อแบบสด แบบแห้ง และการตรึงเซลล์มีผลต่อการหมักไวน์ ที่แตกต่างกันซึ่งจากผลการใช้กล้าเชื้อแบบสดและกล้าเชื้อแบบแห้ง ซึ่งเห็นได้ว่าการหมักของไวน์ลำควนจะเป็นไปได้เร็วกว่าการใช้กล้าเชื้อแบบตรึงเซลล์ ซึ่งเห็นได้จากปริมาณของแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และปริมาณค่าของของแข็งที่ละลายน้ำก็ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีปริมาณที่สูงสุดเท่ากับ 9.40 ± 1.15 และ 9.43 ± 0.81 เปอร์เซ็นต์ แต่ในขณะที่การใช้กล้าเชื้อแบบตรึงเซลล์พบปริมาณแอลกอฮอล์ที่น้อยกว่าซึ่งมีค่า เท่ากับ 7.30 ± 1.00 % ซึ่งผลของตรึงเซลล์พบว่าเมื่อทำให้เซลล์ถูกตรึงแบบมั่นคงแข็งแรงกับ

วัสดุ ผลทำให้การเกิดกิจกรรมกระบวนการหมักแรกที่ช้าลง และรุนแรงน้อยกว่าในช่วงแรก เมื่อเทียบกับกระบวนการที่ใช้เซลล์ยีสต์แบบอิสระ อย่างไรก็ตามเมื่อเซลล์ยีสต์สามารถปรับตัวได้ ก็จะสามารถเกิดกิจกรรม การหมักได้เร็วขึ้น อีกทั้งนี้ผลจากการหมักพบว่า มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมากขึ้น ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็อาจมีผลในการทำลายโครงสร้างของแอลจินेटซึ่งจะทำให้เซลล์ที่ถูกตรึงไว้ ถูกปลดปล่อยออกมาเป็นอิสระเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้การเกิดกิจกรรมการหมักเพิ่มขึ้นและต่อเนื่อง (Kregiel et al., 2013) ซึ่งเห็นได้ว่าการหมักโดยใช้ล้าเชื้อแบบตรึงเซลล์ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการหมักช่วงแรกเพื่อให้เกิดแอลกอฮอล์ โดย Berbegal et al. (2019) รายงานว่าการหมักไวน์โดยทั่วไปจะมีช่วงระยะเวลาการหมัก 2 ช่วงโดยช่วงแรกยีสต์ใช้น้ำตาลและเกิดแอลกอฮอล์เป็นส่วนใหญ่ และต่อจากนั้นก็เป็นการหมักในขั้นตอนที่ 2 โดยยีสต์จะย่อยและหมักองค์ประกอบในผลไม้เพื่อให้ได้กลิ่นและรสชาติซึ่งมีผลต่อคุณภาพ ซึ่งมีการใช้เซลล์ที่มีการตรึงเซลล์ มีทำให้การหมักเกิดได้ช้ากว่าการเซลล์อิสระ แต่จะผลดีต่อคุณภาพไวน์เนื่องจากยีสต์สามารถหมักและย่อยสลายสารที่เป็นสารประกอบประเภทหอมระเหย ได้แก่ เอสเทอร์ กรด แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ และ แลคโตน ซึ่งจะส่งผลให้ไวน์มีกลิ่นหอมแลรสชาติที่ดี ดังนั้น กล้าแบบตรึงเซลล์จึงไม่เหมาะสมที่ใช้หมักไวน์ลำดวนในช่วงแรกแต่มีความสำคัญและมีประโยชน์ถ้านำมาใช้กับการหมักไวน์ในช่วงที่ 2 ซึ่งจะเป็นการหมักแบบซ้ำๆ และปลดปล่อยสารให้กลิ่นรส รวมทั้งสารสำคัญที่เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ออกมาได้เต็มประสิทธิภาพและให้ไวน์ลำดวนเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค อีกทั้งยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพ

บทสรุป

การศึกษาสภาวะในการหมักไวน์ลำดวนให้ได้คุณภาพ มีปัจจัยที่ต้องควบคุมหลายปัจจัย ได้แก่ปัจจัยสารอาหารในผลลำดวน การเตรียมน้ำลำดวนให้มีสารอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญของยีสต์ อุณหภูมิที่ 25°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญของยีสต์ซึ่งจะทำให้เกิดการหมักและได้แอลกอฮอล์สูงและสามารถควบคุมให้เซลล์รอดชีวิตได้มาก การใช้อัลลาแบบดั้งเดิม คือ กล้าเชื้อผงและกล้าเชื้อแบบสด มีความเหมาะสมกว่าการใช้ล้าเชื้อที่ตรึงเซลล์ในการหมักไวน์ลำดวนเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ปริมาณสูง แต่ในขณะเดียวกันการใช้ล้าเชื้อแบบตรึงเซลล์ สามารถช่วยให้ล้าเชื้อรอดชีวิตได้จำนวนมาก และสามารถนำรูปแบบกล้าเชื้อแบบตรึงเซลล์ไปใช้หมักไวน์ดวนและนำไปใช้ในช่วงการหมักช่วงที่สองหรือเรียกว่าช่วงบ่มไวน์ลำดวน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพไวน์ได้ เนื่องจากการตรึงเซลล์สามารถป้องกันไม่เซลล์ถูกทำลายด้วยแอลกอฮอล์ที่เกิดจากหมัก ทำให้ไวน์เกิดการหมักแบบซ้ำ ๆ และ มีผลต่อคุณภาพของไวน์โดยเฉพาะกลิ่นรสของไวน์ที่ได้มีความนุ่มนวลเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้การใช้ล้าเชื้อแบบตรึงเซลล์ยังสามารถนำล้าเชื้อในรูปแบบเม็ดบีดที่ผ่านการใช้หมักไวน์แล้วกลับมาใช้ได้อีก ซึ่งสามารถทำให้ลดขั้นตอนการเตรียมกล้าเชื้อและลดต้นทุนในการผลิตไวน์ได้ จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจนำไปใช้ในการผลิตไวน์

เอกสารอ้างอิง

- พนิตตา ปัญญาติก, เรืองศักดิ์ อยู่ชา และเพ็ญธนา สมานพันธ์. (2558). คู่มือความรู้เรื่องกระบวนการหมักไวน์. ส่วนการศึกษาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า. นครนายก.
- ศศิธร คงเรือง. (2550). การตรึงเซลล์โดยการห่อหุ้มเพื่อผลิตไวน์ลำไยอบแห้ง. รายงานการวิจัย. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ.
- Association of Official Analysis Chemists (AOAC). (2000). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 18th Edited. Gaithersburg, MD: USA.

- Association of Official Analysis Chemists (AOAC). (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14th Edited. Washington, DC: USA.
- Bindon K., Varela C., Kennedy J., Holt H. and Herderich M. (2013). Relationships Between harvests time & wine composition in *Vitis vinifera* L. CV. Cabernet Sauvignon 1. grape & wine chemistry. Food Chemistry. 138: 1696–1705.
- Berbegala C., Poloa L., García-Esparzab M.J., Lizamab V., Ferrera S. and Pardo I. (2019). Immobilisation of yeasts on oak chips or cellulose powder for use in bottle fermented sparkling wine. Food Microbiology. 78: 25-37.
- Genisheva Z., Mussatto S., Oliveira M. and Teixeira A. (2011). Evaluating the potential of wine-making residues and corn cobs as support materials for cell immobilization for ethanol production. Industrial Crops and Products. 34: 979–985.
- Jacques K.A., Lyons T.P. and Kelisall D.R. (2003). The alcohol textbook. Nottingham: Nottingham University Press: UK.
- Karunrat S., Abdullah D., Aydin S.B. and Izabela K. (2018). Phytochemical composition and health enhancing properties of *Oryza sativa* L. leaf tea. Integrative Food. Nutrition and Metabolism. 5(6): 1-11.
- Kregiel D., Berlowska J. and Ambroziak W. (2013). Growth and metabolic activity of conventional and non-conventional yeasts immobilized in foamed alginate. Enzyme and Microbial Technology. 53: 229-234.
- Lerma N.L., Peinado R.A., Puig-Pujol A., Juan C. Moreno M.J. and García-Martínez T. (2018). Influence of two yeast strains in free, bio immobilized or immobilized with alginate forms on the aromatic profile of long aged sparkling wines. Food Chemistry. 250: 22-29.
- Vine R.P., Harkness E.M., Browning T. and Wagner C. (1997). Winemaking: from grape to marketplace. Chapman & Hall: NY.

Received: December 16, 2019; Revised: March 9, 2020; Accepted: April 20, 2020

ชนิดของอาหารเสริมที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลาหลด

The Appropriate Supplemented Feed for Nursing Larvae of Spot Spiny Eel
(*Macrognathus siamensis*)กฤติมา เสาวกุล^{1*} สำเนาวิ เสาวกุล¹ และกษมา ด่านวันดี¹Krittima Saowakoon^{1*}, Samnao Saowakoon¹ and Kasama danwandee¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Corresponding Author E-mail Address : Krittima2562@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาชนิดของอาหารเสริมที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลาหลดทำการศึกษาดังแต่เดือนมกราคมถึงเดือนกันยายน 2561 ใช้ลูกปลาหลดที่ได้จากการเพาะพันธุ์อายุ 3 วันมาอนุบาลเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยใช้อาหารเสริมที่แตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ให้ไรแดงเป็นอาหาร (กลุ่มควบคุม) กลุ่มที่ 2 ให้ไรแดงเสริมด้วยวิตามินซี และกลุ่มที่ 3 ให้ไรแดงเสริมด้วยกรดไขมัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ลูกปลาหลดที่ให้ไรแดงเสริมด้วยกรดไขมันเป็นอาหาร (T3) มีน้ำหนักเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ $2.57 \times 10^{-4} \pm 3.06 \times 10^{-6}$ กรัมต่อตัว แตกต่างจากลูกปลาหลดที่ใช้ไรแดงเป็นอาหาร (T1) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ $2.40 \times 10^{-4} \pm 7.00 \times 10^{-6}$ กรัมต่อตัว ส่วนลูกปลาหลดที่ให้ไรแดงเสริมด้วยวิตามินซีเป็นส่วนผสมในอาหาร (T2) มีน้ำหนักเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มการทดลองที่ 1 และ 3 โดยมีค่าเท่ากับ $2.48 \times 10^{-4} \pm 2.52 \times 10^{-6}$ กรัมต่อตัว

คำสำคัญ: อาหารเสริม การอนุบาล ลูกปลาหลด

Abstract

The study was conducted to determine the types of feed supplements which were appropriate for nursing larvae. Brood stocks of spotted spiny eel were collected from natural freshwater rivers and reservoirs in Surin and Buriram provinces, Thailand during January 2017- September 2018. There were 3 groups of 30-day larvae, feeding with different supplements supplied: group 1 only moina was given (designated as control or T1), group 2 both moina and vitamin C were given (T2), and group 3 both moina and fatty acid were given (T3). Experimental results showed that the highest average weight was found in the spiny eel

larvae given both mooina and fatty acid (T3) i.e. $2.57 \times 10^{-4} \pm 3.06 \times 10^{-6}$ g/larvae. Meanwhile the average weight of larvae of both T1 and T2 were $2.40 \times 10^{-4} \pm 7.00 \times 10^{-6}$ and $2.48 \times 10^{-4} \pm 2.52 \times 10^{-6}$ g/larvae, respectively.

Keywords: Appropriate Supplements, Nursing, Spot Spiny Eel (*Macrognathus siamensis*)

บทนำ

ปลาหลด หรือปลาหลดจุด (*Macrognathus siamensis*) เป็นปลาน้ำจืดที่อาศัยอยู่ตามแม่น้ำ ลำคลอง หนอง และบึง แพร่กระจายอยู่ทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย อินเดีย พม่า และเวียดนาม สำหรับประเทศไทยนั้น ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะพบปลาหลดที่แพร่กระจายอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีลักษณะมีจุดลายข้างตัวกับชนิดที่ไม่มีจุดลายข้างลำตัว โดยปลาหลดที่พบส่วนใหญ่จะพบชนิดที่มีจุดลายข้างลำตัว ซึ่งพบมากที่สุดถึง 80 เปอร์เซ็นต์ โดยประชาชนส่วนใหญ่รู้จักปลาหลดเป็นอย่างดีทั้งในการใช้บริโภคเป็นอาหาร และเลี้ยงเป็นปลาสวยงาม ปลาหลดเกือบทุกชนิดในวงศ์ Mastacemberidae จะมีพฤติกรรมการหาอาหารบริเวณพื้นท้องน้ำเป็นหลัก (Bottom feeder) โดยอาหารหลักของปลาหลดนี้ได้แก่ แมลงน้ำ ตัวอ่อนแมลง ไข่เดือนน้ำ กุ้ง สัตว์หน้าดินต่าง ๆ แต่บางครั้งก็สามารถล่าเหยื่อที่มีขนาดเล็กเป็นอาหารได้ แต่ในบางครั้งพบว่าองค์ประกอบอาหารที่พบในกระเพาะจะมีเศษซากพืชปะปนอยู่ รวมทั้งเศษซากอาหารต่าง ๆ ด้วย ปลาหลดเป็นปลากินเนื้อ (Carnivorous fish) มีพฤติกรรมหาอาหารทั้งกลางวันและกลางคืน เนื่องจากปลาหลดเป็นปลาที่ตื่นตกใจง่าย จึงชอบหากินอาหารเวลากลางคืน (Nocturnal Fish) ส่วนเวลากลางวันมักจะมักนอนฝังทราย หรือซ่อนตัวอยู่ตามซอกโขดหิน และพรรณไม้ต่าง ๆ เพื่อหลบซ่อนศัตรู (กฤติมา, 2561) กล่าวว่า ปลาหลดชอบกินอาหารจำพวกสิ่งมีชีวิต เช่น ไรแดง ตัวอ่อนแมลงในน้ำ หนอนแดง ไข่เดือน ลูกสัตว์น้ำวัยอ่อน และเศษซากสัตว์น้ำเปื่อย เมื่อทำการศึกษาพฤติกรรมการกินอาหารของปลาหลดโดยการเก็บตัวอย่างกระเพาะอาหารมาตรวจสอบจะพบส่วนประกอบของอาหารที่อยู่ในกระเพาะอาหารของปลาหลด ได้แก่ ลูกกุ้ง ลูกปลาเล็ก ๆ ไข่เดือนดิน ตัวหนอน ตัวอ่อนแมลง ซากสัตว์น้ำเปื่อย และซากพืชบ้างเล็กน้อย (สำเนา และหทัยรัตน์, 2551) ในสถานการณ์ปัจจุบันปลาหลดในประเทศไทยมีปริมาณลดลง และมีแนวโน้มที่จะสูญพันธุ์ไปจากแหล่งน้ำธรรมชาติ การศึกษาการอนุบาลลูกปลาหลดด้วยการใช้อาหารเสริม คือวิตามินซี สัตว์น้ำส่วนใหญ่ไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินซีได้เอง ต้องอาศัยได้รับจากอาหารเป็นหลัก โดยวิตามินซีจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและการเมตาบอลิซึมของร่างกาย ซึ่งหากสัตว์น้ำขาดวิตามินซีจะทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตช้า การสร้างกระดูกผิดปกติ กระทั่งเหงือกผิดปกติ ซีเหงือกบิดเบี้ยว ขากรรไกรผิดปกติ มีอาการตกเลือดที่ตา ปาก เพดานปาก กระดุงเหงือก ลำตัว ตับ โต ลำไส้เล็กและกล้ามเนื้อ (วันวิภา, 2555) และกรดไขมัน ซึ่งกรดไขมันกลุ่มโอเมกา 3 เป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อสัตว์น้ำแต่สัตว์น้ำไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง จึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารโดยตรง เพื่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำอาหารปลาส่วนใหญ่จึงต้องผสมน้ำมันปลาเพื่อให้ได้ปริมาณกรดไขมันที่จำเป็นในอาหารอย่างเพียงพอ (อุธร, 2550) เพื่อให้ลูกปลาหลดมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีส่งผลให้อัตรารอดตายที่สูงขึ้น และสามารถนำไปสู่การเพิ่มมูลค่าการตลาดของปลาหลดได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

1. พ่อแม่พันธุ์ปลาหลด
2. ถังพลาสติก
3. กระชอน
4. ฮอร์โมนสำหรับเพาะพันธุ์ปลาหลด
5. อุปกรณ์ให้อากาศ
6. อุปกรณ์ชั่งน้ำหนัก และวัดความยาว
7. ฟู่ฟาง
8. อาหารสำหรับอนุบาลลูกปลา
9. กรดไขมัน
10. วิตามินซี

วิธีการ

รวบรวมพ่อแม่พันธุ์ปลาหลดจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ และจังหวัดบุรีรัมย์ โดยทำการรวบรวมตั้งแต่เดือนมกราคม 2560 ถึง เดือนมิถุนายน 2561 เพื่อนำมาใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ในการเพาะพันธุ์ นำพ่อแม่พันธุ์ปลาหลดที่สมบูรณ์เพศมาคัดแยกเพศ ชั่งน้ำหนัก และวัดความยาว เตรียมถังไฟเบอร์สำหรับเพาะพันธุ์ การเพาะพันธุ์จะใช้วิธีการฉีดฮอร์โมนและปล่อยให้ปลาผสมพันธุ์กันเองด้วยวิธีเลียนแบบธรรมชาติ โดยการฉีดฮอร์โมนจำนวน 1 ครั้ง ปลาเพศเมียใช้ฮอร์โมน Suprefact ความเข้มข้น 45 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักปลาหลด 1 กิโลกรัม พร้อมทั้งฉีดปลาหลดเพศผู้ด้วยความเข้มข้นของฮอร์โมน Suprefact 20 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักปลาหลด 1 กิโลกรัม ปล่อยพ่อแม่พันธุ์ปลาหลดอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย เท่ากับ 2:1 ใส่ฟู่ฟางในถังพลาสติกเพื่อเป็นที่ยึดเกาะของไข่ และให้อากาศตลอดระยะเวลาการทดลอง

เมื่อลูกปลาฟักเป็นตัว นำลูกปลาหลดที่มีอายุ 3 วันหลังจากฟักเป็นตัวที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ $3.26 \times 10^{-5} \pm 3.32 \times 10^{-7}$ กรัมต่อตัว ความยาวเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 0.85 ± 0.05 เซนติเมตร มาอนุบาลโดยให้อาหารเสริมที่ต่างชนิดกัน โดยใช้ถังพลาสติกขนาด 40×30 ตารางเซนติเมตร ปล่อยลูกปลาหลดอัตราความหนาแน่นเท่ากับ 10 ตัวต่อลิตร (ปริมาณน้ำในถังเท่ากับ 10 ลิตรปล่อยลูกปลาหลด 100 ตัวต่อถัง) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete randomize design) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple rang test เพื่อหาชนิดของอาหารที่เหมาะสมในการอนุบาล แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้ กลุ่มการทดลองที่ 1 อนุบาลลูกปลาหลดโดยวิธีใช้ไรแดง (กลุ่มควบคุม) กลุ่มการทดลองที่ 2 อนุบาลลูกปลาหลดโดยวิธีใช้ไรแดงเสริมวิตามินซี กลุ่มการทดลองที่ 3 อนุบาลลูกปลาหลดโดยวิธีใช้ไรแดงเสริมกรดไขมัน

โดยใช้วิตามินซีชนิด Ascorbic acid ปริมาณความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมละลายในน้ำ 600 มิลลิลิตร แซ่กับไรแดงปริมาณ 100 กรัม ระยะเวลา 30 นาที แบ่งให้แต่ละซ้ำเท่า ๆ กันซ้ำละ 200 มิลลิลิตร

กรดไขมันกลุ่มโอเมกา 3 ชนิด EPA และ DHA ปริมาณความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมละลายในน้ำ 600 มิลลิลิตร แซ่กับไรแดงปริมาณ 100 กรัม ระยะเวลา 30 นาที แบ่งให้แต่ละซ้ำเท่า ๆ กันซ้ำละ 200 มิลลิลิตร

สังเกตการกินอาหารของลูกปลาหลด ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวัน โดยการดูดตะกอนและเปลี่ยนถ่ายน้ำครั้งละ 50 เปอร์เซ็นต์ ทดลองเลี้ยงเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยให้อาหารวันละ 2 มื้อ คือ มื้อเช้า เวลา 09.00 น. และมื้อเย็น เวลา 17.00 น. ทำการสุ่มตัวอย่างลูกปลาหลดมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 10 วัน เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโต เมื่อสิ้นสุดการทดลอง นับจำนวนปลาหลดที่เหลือรอดในแต่ละกลุ่มการทดลอง เพื่อคำนวณหาอัตราการรอดตาย โดยวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

1. น้ำหนักเฉลี่ยของปลา (Average weight; กรัมต่อตัว)

$$= \frac{\text{น้ำหนักรวมของปลาทดลองที่สุ่มตัวอย่าง}}{\text{จำนวนปลาทดลองที่สุ่มตัวอย่าง}}$$

2. ความยาวเฉลี่ยของปลา (Average length; เซนติเมตรต่อตัว)

$$= \text{ความยาวรวมของปลาทดลองที่สุ่มตัวอย่าง} / \text{จำนวนปลาทดลองที่สุ่มตัวอย่าง}$$
3. ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเพิ่มต่อวัน (Daily weight gain; กรัมต่อวัน)

$$= (\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}) / \text{ระยะเวลาในการทดลอง}$$
4. ค่าเฉลี่ยความยาวเพิ่มต่อวัน (Daily length gain; เซนติเมตรต่อวัน)

$$= \text{ความยาวเฉลี่ยสุดท้าย} - \text{ความยาวเฉลี่ยเริ่มต้น} / \text{ระยะเวลาในการทดลอง}$$
5. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม (Percentage weight gain; เปอร์เซ็นต์)

$$= [(\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}) \times 100] / \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}$$
6. เปอร์เซ็นต์ความยาวเพิ่ม (Percentage length gain; เปอร์เซ็นต์)

$$= [(\text{ความยาวเฉลี่ยสุดท้าย} - \text{ความยาวเฉลี่ยเริ่มต้น}) \times 100] / \text{ความยาวเฉลี่ยเริ่มต้น}$$
7. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)

$$= [(\ln \text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \ln \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}) \times 100] / \text{ระยะเวลาในการทดลอง}$$
8. อัตราการรอดตาย (Survival rate; เปอร์เซ็นต์)

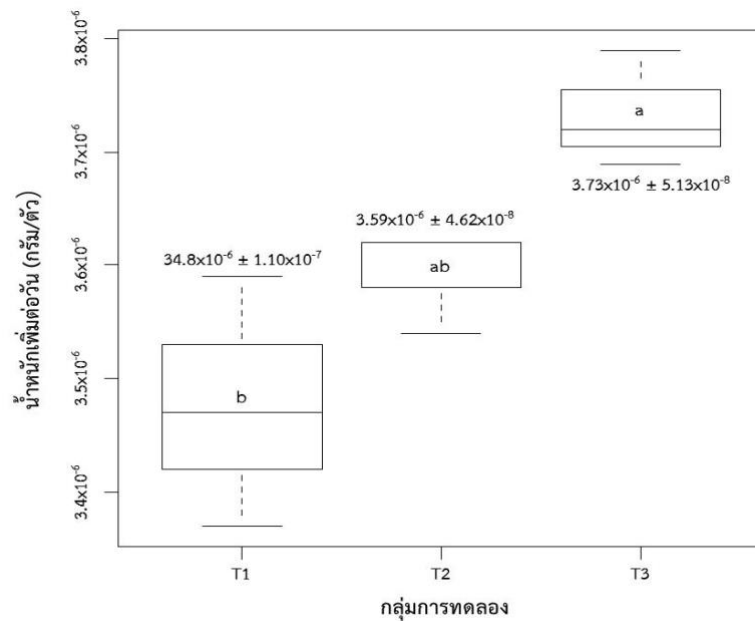
$$= (\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} / \text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}) \times 100$$

ผลการวิจัย

อัตราการเจริญเติบโต

1. น้ำหนักเพิ่มต่อวัน

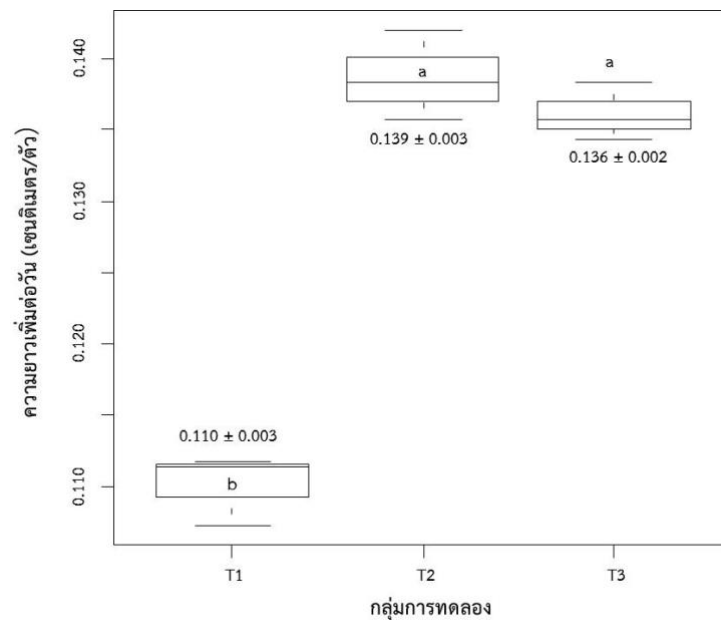
เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าลูกปลาหลอดที่อนุบาลด้วยไรแดงเสริมด้วยกรดไขมัน (T3) มีน้ำหนักเพิ่มต่อวันสูงสุดเท่ากับ $3.73 \times 10^{-6} \pm 5.13 \times 10^{-8}$ กรัมต่อวัน และลูกปลาหลอดที่อนุบาลด้วยไรแดงเพียงอย่างเดียว (T1) มีน้ำหนักเพิ่มต่อวันต่ำที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ $3.48 \times 10^{-6} \pm 1.10 \times 10^{-7}$ กรัมต่อตัว ส่วนการใช้ไรแดงเสริมด้วยวิตามินซีในการอนุบาลลูกปลาหลอด (T2) มีน้ำหนักเพิ่มต่อวันไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มการทดลองที่ 1 และ 3 โดยมีค่าเท่ากับ $3.59 \times 10^{-6} \pm 4.62 \times 10^{-8}$ กรัม (แสดงดังรูปที่ 1)



รูปที่ 1 น้ำหนักเพิ่มต่อวัน (กรัม/วัน) ของลูกปลาหอดที่ได้รับอาหารเสริมที่แตกต่างกัน

2. ความยาวเพิ่มต่อวัน

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 คือ ลูกปลาหอดที่อนุบาลด้วยไรแดงเสริมด้วยวิตามินซี (T2) และลูกปลาหอดที่อนุบาลด้วยไรแดงเสริมด้วยกรดไขมัน (T3) มีความยาวเพิ่มต่อวันสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.139 ± 0.003 และ 0.136 ± 0.002 เซนติเมตรต่อวัน ซึ่งมีความยาวเพิ่มต่อวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนลูกปลาหอดที่อนุบาลด้วยไรแดงเพียงอย่างเดียว (T1) มีความยาวเพิ่มต่อวันต่ำที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.110 ± 0.003 เซนติเมตร (แสดงดังรูปที่ 2)



รูปที่ 2 ความยาวเพิ่มต่อวัน (เซนติเมตร/วัน) ของลูกปลาหอดที่ได้รับอาหารเสริมที่แตกต่างกัน

3. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม

การอนุบาลลูกปลาหลังด้วยไรแดงเสริมกรดไขมัน (T3) มีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 688.337 ± 9.384 เปอร์เซ็นต์ และการอนุบาลลูกปลาหลังด้วยไรแดงเพียงอย่างเดียว (T1) มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 637.146 ± 21.500 เปอร์เซ็นต์ ส่วนลูกปลาหลังที่อนุบาลด้วยด้วยไรแดงเสริมด้วยวิตามินซี (T2) มีน้ำเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มการทดลองที่ 1 และ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 660.694 ± 7.300 เปอร์เซ็นต์

4. เปอร์เซ็นต์ความยาวเพิ่ม

กลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 คือ ลูกปลาหลังที่อนุบาลด้วยไรแดงเสริมด้วยวิตามินซี (T2) และลูกปลาหลังที่อนุบาลด้วยไรแดงเสริมด้วยกรดไขมัน (T3) มีเปอร์เซ็นต์ความยาวเพิ่มต่อวันสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 489.412 ± 11.223 และ 480.392 ± 7.188 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนลูกปลาหลังที่อนุบาลด้วยไรแดงเป็นอาหารเพียงอย่างเดียว (T1) มีความยาวเพิ่มต่อวันต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 388.628 ± 8.511 เปอร์เซ็นต์

5. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

การอนุบาลลูกปลาหลังด้วยไรแดงเสริมด้วยกรดไขมัน (T3) มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 3.441 ± 0.020 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน และการอนุบาลลูกปลาหลังด้วยไรแดงเพียงอย่างเดียว (T1) มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 3.329 ± 0.048 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ส่วนการอนุบาลลูกปลาหลังด้วยไรแดงเสริมด้วยวิตามินซี (T2) มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มการทดลองที่ 1 และ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 3.321 ± 0.017 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

อัตราการรอดตายในการอนุบาลลูกปลาหลัง

การอนุบาลปลาหลังด้วยไรแดงเป็นอาหารเพียงอย่างเดียว (T1) มีอัตราการรอดตายสูงสุดเท่ากับ 90.00 ± 5.28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการลูกปลาหลังที่อนุบาลด้วยไรแดงเสริมวิตามินซี (T2) ที่มีอัตราการรอดตายเท่ากับ 87.67 ± 5.29 เปอร์เซ็นต์ และลูกปลาหลังที่อนุบาลด้วยไรแดงเสริมกรดไขมันเป็นอาหาร (T3) มีอัตราการรอดตายต่ำสุดเท่ากับ 76.67 ± 2.51 เปอร์เซ็นต์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความยาวเพิ่มต่อวัน (%/วัน) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม (%) เปอร์เซ็นต์ความยาวเพิ่ม (%) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน) และอัตราการรอดตาย (%) ที่ได้รับอาหารเสริมที่แตกต่างกัน

อัตราการเจริญเติบโตและ อัตราการรอดตาย	กลุ่มทดลอง			P-value
	T1	T2	T3	
เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม (เปอร์เซ็นต์)	637.146 ± 21.500^b	660.694 ± 7.300^{ab}	688.337 ± 9.384^a	0.743
เปอร์เซ็นต์ความยาวเพิ่ม (เปอร์เซ็นต์)	388.628 ± 8.511^b	489.412 ± 11.223^a	480.392 ± 7.188^a	0.011
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์/วัน)	3.329 ± 0.048^b	3.321 ± 0.017^{ab}	3.441 ± 0.020^a	0.696
อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	90.00 ± 5.28^a	87.67 ± 5.29^a	76.67 ± 2.51^b	0.595

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอักษร a b ที่กำกับอยู่ในแนวนอนเดียวกัน ถ้าอักษรแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำระหว่างการทดลองมีค่าดังต่อไปนี้ อุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 27.5-29.5 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 5.5-8.0 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 3.5-5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเป็นต่างของน้ำอยู่ในช่วง 100-125 มิลลิกรัมต่อลิตร

การอภิปรายผล

ลูกปลาหลอดที่อนุบาลด้วยไรแดงเสริมด้วยกรดไขมันมีน้ำหนักเฉลี่ยมากที่สุด แต่พบว่า มีอัตราการรอดตายของลูกปลาหลอดต่ำที่สุด ซึ่งการที่ลูกปลามีอัตราการรอดตายที่ต่ำอาจเป็นผลทำให้ลูกปลาเจริญเติบโตดีขึ้น เนื่องจากอัตราความหนาแน่นที่ลดลงจากการตายของลูกปลาระหว่างการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอัตราความหนาแน่นในการอนุบาลลูกปลาหลอดโดยใช้ความหนาแน่นที่ระดับต่างกันคือ 2, 4, 6, 8 และ 10 ตัวต่อลิตร พบว่า อัตราความหนาแน่น 2 ตัวต่อลิตร เหมาะสมที่สุดในการอนุบาลลูกปลาหลอดที่มีขนาด 1 นิ้ว เป็น 2 นิ้ว การศึกษาของ (หทัยรัตน์ และสำเนา, 2551) ส่วนลูกปลาหลอดที่อนุบาลด้วยไรแดงเสริมด้วยวิตามินซีจะมีน้ำหนักเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันกับลูกปลาหลอดที่อนุบาลด้วยไรแดงเสริมด้วยกรดไขมัน และลูกปลาหลอดที่อนุบาลด้วยไรแดงเพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับการเสริมน้ำมันปลาในอาหารมีชีวิตไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของลูกปลา โดยการเสริมกรดไขมันไม่สามารถช่วยให้ลูกปลามีความยาวและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ภมรพรรณ และคณะ, 2551) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการอนุบาลด้วยการเสริมกรดไขมันที่จำเป็นในโรติเฟอร์และอาร์ทีเมียของลูกปลาตะกรับ พบว่า มีเจริญเติบโตด้านความยาวและความกว้างของลูกปลาไม่ได้แตกต่างกันทางสถิติ (จิระยุทธ และคณะ, 2552) และพบว่าน้ำมันปลาที่เสริมในอาร์ทีเมียเพื่อให้ปลาเสือสุมาตรากินไม่มีผลต่ออัตราการรอด และไม่ส่งผลถึงการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักของปลาเสือสุมาตราแต่อย่างใด (Abolhasani et al, 2013) อย่างไรก็ตาม สัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความต้องการและความสามารถในการใช้ประโยชน์จากกรดไขมันต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อย และการดูดซึม มีรายงานว่า สัตว์น้ำที่ไม่ได้รับกรดไขมันที่จำเป็น จะมีการเจริญเติบโตช้า และมีอาการเบื่ออาหาร (Sargent et al., 1989)

ด้านความยาว พบว่า ลูกปลาหลอดที่อนุบาลด้วยไรแดงเสริมด้วยกรดไขมัน และลูกปลาหลอดที่อนุบาลด้วยไรแดงเสริมด้วยวิตามินซี มีความยาวเฉลี่ยมากที่สุด ($P < 0.05$) อาจจะเป็นผลมาจากปลาที่ได้รับอาหารเสริมด้วยกรดไขมันและวิตามินซี ซึ่งเป็นอาหารเสริมที่ลูกปลาไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ เช่นเดียวกับการเสริมวิตามินซีในการเลี้ยงปลากดเหลือง (*Mystus nemurus*) พบว่า ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมวิตามินซีจะแสดงอาการขาดวิตามินซีหลังจากเลี้ยงไปได้ 4 สัปดาห์ ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารเสริมวิตามินซีจะไม่แสดงอาการขาดวิตามินซีแต่อย่างใด (สุภญา และวุฒิพร, 2541) ซึ่งระบบภูมิคุ้มกันเชื้อโรคของร่างกายปลาจะลดลงเมื่อได้รับวิตามินซีไม่เพียงพอ จะส่งผลทำให้ปลามีอาการเบื่ออาหาร เจริญเติบโตช้า ก้านครีบหางกร่อนบิดเบี้ยว เพราะปลามีความไวต่อการตอบสนองต่อวิตามินซีสูงมากโดยเฉพาะลูกปลาวัยอ่อน (กิตติศักดิ์ และสุภัญญา, 2557) และวิตามินซีในอาหารมีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันของปลา หากปลาได้รับวิตามินซีในอาหารร่วมด้วยจะช่วยให้ประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น (Sahoo and Mukherjee, 2003) ในระหว่างการศึกษพบว่า การอนุบาลด้วยไรแดงที่เสริมกรดไขมัน และการอนุบาลด้วยไรแดงที่เสริมด้วยวิตามินซี จะทำให้ไรแดงตายระหว่างขั้นตอนการเสริมคุณค่าทางอาหาร ขณะที่ให้อาหารไรแดงที่ตายในขั้นตอนการเพิ่มอาหารเสริมนั้นจะจมลงสู่พื้นกันถึง ส่งผลทำให้ลูกปลาหลอดที่อนุบาลสามารถจับกินอาหารได้มากยิ่งขึ้น และเมื่อลูกปลาหลอดกินอาหารไม่หมดก็จะเกิดของเสียในน้ำ

บทสรุป

อาหารเสริมที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลาหลด ได้แก่ การอนุบาลโดยการให้ไรแดงเป็นอาหารเพียงอย่างเดียว และการอนุบาลโดยการให้ไรแดงเสริมด้วยวิตามินซี ซึ่งการอนุบาลทั้งสองรูปแบบนี้ทำให้ลูกปลาหลดมีอัตราการรอดสูง แต่สำหรับการผลิตลูกปลาหลดเพื่อการค้า การอนุบาลด้วยการให้ไรแดงเป็นอาหารโดยไม่ต้องใช้อาหารเสริมจึงมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากกว่า เนื่องจากปัจจุบันปลาหลดขนาดเล็กเป็นปลาที่สามารถจำหน่ายเป็นปลาสวยงาม (จำหน่ายเป็นจำนวนตัว) มากกว่าจำหน่ายเป็นปลาเนื้อ (จำหน่ายเป็นจำนวนน้ำหนัก (กิโลกรัม)) การให้ไรแดงเป็นอาหารในการอนุบาลจึงเป็นการใช้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำ และประหยัดเวลาในการให้อาหาร แต่ให้อัตรารอดที่สูง ส่งผลให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- กฤติมา เสาวกุล. (2561). การเพาะเลี้ยงปลาหลด. พิมพ์ครั้งที่ 2. สุรินทร์. สำนักพิมพ์รุ่งชนเกียรติ. สุรินทร์.
- กิตติศักดิ์ ฝูชา และสุภัชญา ธาณี. (2557). ผลของวิตามินซีที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพในสัตว์น้ำ. วารสารการเกษตรราชภัฏ. 13(2): 63-70.
- จิระยุทธ รื่นศิริกุล, มาวิทย์ อัสวารี, เยาวินิตย์ ดนยดล และ ละออ ชูศรีรัตน์. (2552). การอนุบาลและพัฒนาการของลูกปลาตะกรับ *Scatophagus argus* Linnaeus. วารสารการประมง. 62(1): 13-22.
- พรศักดิ์ ตั้งรัตนสมบูรณ์. (2543). การเปรียบเทียบผลของวิตามินซีรูปแบบต่าง ๆ ในอาหารปลาชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภมรพรรณ ฉัตรภูมิ, วารินทร์ ธนาสมหวัง, จิรรัตน์ เกื้อแก้ว และ พรทิพย์ ทองบ่อ. (2551). ความเข้มข้นและระยะเวลาที่เสริมน้ำมันปลาใน โรติเฟอร์ (*Brachionus plicatilis*) และไรน้ำเค็ม (*Artemia salina*) สำหรับเลี้ยงปลากัดตอนอ่อน (*Amphiprion polymnus* Linnaeus). รายงานการวิจัย ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมง ชายฝั่งสมุทรสาคร กรมประมง. กรุงเทพฯ.
- วันวิภา หนูมา. (2555). ผลของวิตามินซีและอีต่อการเจริญเติบโต อัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพอาหารการรอดตาย องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา องค์ประกอบเลือดและการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อของปลาดุกลำพัน (*Clarias nieuhofii*). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- สุภา ศิริรัฐนิคม และ วุฒิพร พรหมขุนทอง. (2541). ความต้องการวิตามินละลายน้ำในปลากดเหลือง (III) การศึกษา รูปแบบของวิตามินซีที่ผสมในอาหาร. วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 20: 59-73.
- หทัยรัตน์ เสาวกุล และ สำเนา เสาวกุล. (2551). การเพาะพันธุ์และการอนุบาลปลาหลด. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 2(1): 28-36.
- สำเนา เสาวกุล และหทัยรัตน์ เสาวกุล. (2551). ชีวิตวิทยาการขยายพันธุ์บางประการของปลาหลด กรณีศึกษาในจังหวัด สุรินทร์และจังหวัดบุรีรัมย์. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 2(1): 19-27.
- อุธร ฤทธิสี. (2550). การเลี้ยงปลาเพื่อการค้า. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.
- Abolhasani, M.H., S. A. Hosseini, R. Ghorbani, M. Sudagar, and S. M. Hoseini. (2013). Efficacy of fish oil- and linseed oil-enriched *Artemia* nauplii on growth performance and stress resistance of tiger barb larvae (*Puntius tetrazona*). Journal of aquatic biology. 1: 228-232.

- Sahoo, P.K. and Mukherjee, S.C. (2003). Immunomodulation by dietary vitamin C in healthy and aflatoxin B1-induced immunocompromised rohu (*Labeorohita*). Journal of Comparative Immunology, Microbiology & Infections Diseases. 26: 65-76.
- Sargent, J.R., Henderson, R.J. and Tocher, D.R. (1989). The lipids. In: Halver, J. (Ed.), Fish Nutrition, 2nd ed. Academic Press. NY.

Received: March 11, 2020; Revised: April 2, 2020; Accepted: April 20, 2020

วิธีการที่เหมาะสมสำหรับทดสอบอัตราส่วนเพศในสัตว์น้ำ : กรณีศึกษาในปูม้า
An optimum method for testing sex ratio in aquatic animals: A case study in
blue swimming crab

ธนัชฐา ทรรพนันทน์^{1*} และรจิต เพ็งลี¹

Thanitha Darbanandana^{1*} and Rachit Penglee¹

¹ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

* Corresponding Author E-mail Address: ffistnt@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของประชากรปูม้าในน่านน้ำไทยโดยการใช้อัตราส่วนเพศ และ 2) เพื่อนำเสนอวิธีการทางสถิติในการทดสอบอัตราส่วนเพศของสัตว์น้ำ การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากผลงานทางวิชาการที่ผ่านการตีพิมพ์ ซึ่งใช้โปรแกรม R ในการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียรายปีของฝั่งทะเลอันดามันและฝั่งอ่าวไทยมีอัตราส่วนสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา ยกเว้น ชูตาภา (2549) ที่ศึกษาในบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จ. จันทบุรี นอกจากนี้การทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่ามี 5 รายงาน ที่มีการกระจายข้อมูลเป็นแบบปกติ และมี 3 รายงาน ที่มีการกระจายข้อมูลเป็นแบบไม่ปกติ จากการทดสอบขนาดอิทธิพลแสดงให้เห็นว่าการทดสอบสัดส่วน (Proportion test) เหมาะสมกับการทดสอบอัตราส่วนเพศที่มีการกระจายข้อมูลแบบปกติ แต่สำหรับการกระจายของข้อมูลที่ไม่ปกติวิธีการที่เหมาะสม คือ การทดสอบทวินาม (Binomial test)

คำสำคัญ: อัตราส่วนเพศ ปูม้า ขนาดอิทธิพล การทดสอบสัดส่วน การทดสอบทวินาม

Abstract

This research has 2 objectives namely: 1) To analyze population structure of BSC in Thai Waters by sex ratio, and 2) To propose an appropriate statistical method for sex ratio testing. This study used secondary data from the published manuscripts. The results showed that, the sex ratio of BSC both in the Andaman Sea and the Gulf of Thailand was 1:1 except the paper of Kunsook (2006) which studied in Kung Kraben Bay, Chantaburi Province. The distribution of sex ratio data was found that 5 from 3 papers were normal distribution. The result from effect size testing showed that, proportion test is the appropriate test-statistics

for sex ratio testing under the assumption of the large number of samples which normally distributed. For non-normal distribution, binomial test is the appropriate test-statistics for sex ratio testing.

Keywords: Sex ratio, Blue Swimming Crab (BSC), Effect Size, Proportion Test, Binomial Test

บทนำ

อัตราส่วนเพศ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาชีววิทยาการสืบพันธุ์ มีประโยชน์ต่อการศึกษาโครงสร้างประชากร และพฤติกรรมทางสังคม โดยเฉพาะพฤติกรรมการจับคู่ผสมพันธุ์ของสัตว์น้ำแต่ละชนิด ตามทฤษฎีของ Zar (1974) พบว่าอัตราส่วนของเพศสัตว์น้ำโดยส่วนใหญ่ เพศผู้:เพศเมีย จะเป็น 1:1 แต่ก็ไม่เสมอไป เนื่องจากสัตว์น้ำแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมเลือกคู่ที่แตกต่างกัน บางตัวมีพฤติกรรมทางสังคมแบบที่เพศหนึ่งเพศใดจะมีมากกว่าอีกเพศ คือมีจำฝูงเป็นเพศใดเพศหนึ่งหรือเกิดจากการเปลี่ยนเพศจากเพศหนึ่งไปสู่อีกเพศหนึ่ง เมื่อมีการเติบโตถึงขนาด หรือเป็นสัตว์น้ำที่มีการเปลี่ยนเพศแบบกะเทย (ธนัญญา และอมรศักดิ์, 2550) ในการทดสอบอัตราส่วนเพศของสัตว์น้ำจะมีการทดสอบสถิติแบบไคกำลังสอง (Chi-square) ซึ่งเหมาะสมสำหรับการทดสอบอัตราส่วนที่มีตัวอย่างจำนวนมาก และมีคุณลักษณะที่ต้องการทดสอบมากกว่าสองคุณลักษณะ ซึ่งอาจจะไม่เหมาะกับการวิเคราะห์อัตราส่วนเพศ ที่มีเพียงสองคุณลักษณะคือ เพศผู้กับเพศเมีย และในบางครั้งก็ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้เป็นจำนวนมากได้ (ในที่นี้หมายถึงมากกว่า 50 ตัว) นอกจากนี้การทดสอบไคกำลังสอง จะเหมาะสมกับข้อมูลที่เป็นมาตรานามบัญญัติ (Nominal scale) และไม่จำเป็นต้องทดสอบการแจกแจงของข้อมูลเนื่องจากเป็นสถิติที่ไม่อิงพารามิเตอร์ (สุวิมล, 2553) การวิจัยครั้งนี้ จึงเป็นการค้นหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบอัตราส่วนเพศในสัตว์น้ำ โดยใช้กรณีศึกษาเป็นปูม้า ซึ่งเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย และมีข้อมูลงานวิจัยด้านชีววิทยาประมงที่ต่อเนื่องมาเป็นเวลานานเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ โดยคาดหวังว่า วิธีการทดสอบอัตราส่วนเพศที่เหมาะสม จะสามารถปรับปรุงวิธีการด้านชีววิทยาประมงของไทยให้มีคุณภาพ และเป็นมาตรฐานต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ข้อมูลที่ใช้ทดสอบและโปรแกรมที่ใช้ทดสอบ

1. ใช้ข้อมูลทุติยภูมิ จากงานวิจัยและเอกสารทางวิชาการเกี่ยวกับทรัพยากรปูม้าที่ได้พิมพ์เผยแพร่ระหว่าง พ.ศ. 2545 ถึง 2559 ทั้งจากฝั่งอ่าวไทย และฝั่งทะเลอันดามัน โดยเป็นรายงานการวิจัยประเภท เอกสารทางวิชาการของกรมประมง และวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท และปริญญาเอก จากมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ของประเทศไทย

2. นำข้อมูลที่ค้นคว้าได้มาจัดเรียงเป็นตารางใน Microsoft Excel 2010 และวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดด้วยโปรแกรมอาร์เวอร์ชัน 3.4.0 (R Development Core Team, 2017) การตัดสินใจผลการวิเคราะห์ใช้ค่า p-value ที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.05

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การทดสอบการแจกแจงแบบปกติด้วย Shapiro-Wilk test (W-test)

Shapiro-Wilk test เป็นการทดสอบการแจกแจงแบบปกติที่ได้รับความนิยมมาก (สุวิมล, 2553) ซึ่งมี Source code ของโปรแกรมอาร์ดังนี้

```
Shapiro-Wilk
```

```
>name=c(M1,M2,...,Mn,F1,F2,...,Fn)
```

```
>shapiro.test(name)
```

เมื่อทดสอบการแจกแจงของข้อมูลแล้วหากพบว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จะใช้การทดสอบสัดส่วน (proportion test) และหากมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จะใช้การทดสอบไคกำลังสอง เทียบกับการทดสอบทวินาม (binomial test)

2. การทดสอบสัดส่วน

การทดสอบสัดส่วนของประชากรเดียว เป็นการทดสอบเมื่อต้องการทราบว่าสัดส่วนของประชากร เท่ากับสัดส่วนที่คาดคะเนไว้หรือไม่ โดยการศึกษาจากสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่าง source code ของโปรแกรมอาร์ที่ใช้ทดสอบคือ

Proportion test

```
>prop.test(F, n, p=0.5 , alt = c("two.sided"))
```

3. การทดสอบไคกำลังสอง และการทดสอบทวินาม

จัดเป็นการทดสอบค่าสัดส่วนของเหตุการณ์ที่สนใจ และใช้ได้กับข้อมูลทุกมาตรวัด source code ของโปรแกรมอาร์ที่ใช้ทดสอบคือ

Chi-square test

```
>name = c(M,F)
```

```
>chisq.test(name)
```

Binomial test

```
>binom.test(F, n, p=0.5 , alt=c ("two.sided"))
```

เมื่อ M= จำนวนปูม้าเพศผู้

F = จำนวนปูม้าเพศเมีย

n = จำนวนปูม้าทั้งหมด (เพศผู้และเพศเมีย)

4. การคำนวณค่าขนาดอิทธิพล (effect size)

ในการคำนวณค่าอิทธิพลของแต่ละการทดสอบ จะคำนวณโดยใช้ Microsoft Excel 2010 โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ

1. เมื่อการแจกแจงความถี่ของข้อมูลเป็นแบบปกติ จะคำนวณโดย $\frac{P\text{-value of Proportion}}{P\text{-value of Chi-square}}$

2. เมื่อการแจกแจงความถี่ของข้อมูลเป็นแบบไม่ปกติ จะคำนวณโดย $\frac{P\text{-value of Binomial}}{P\text{-value of Chi-square}}$

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล

ผลการทดสอบพบว่า ข้อมูลจำนวนตัวของปูม้ารวมทั้งหมด ในรายงานที่มีการกระจายของข้อมูลไม่เป็นแบบปกติได้แก่ รายงานของ อภิรักษ์ (2558), จินตนา (2551) และกุศล (2552) ส่วนรายงานที่ผลการกระจายเป็นแบบปกติได้แก่รายงานของ ดาวรรณ (2555), อารีรัตน์ (2550), จินตนา (2545), ชุตานา (2549; 2554) ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่า P-value จากการทดสอบการกระจายของข้อมูล ($\alpha=0.05$)

a. Non-normal distribution

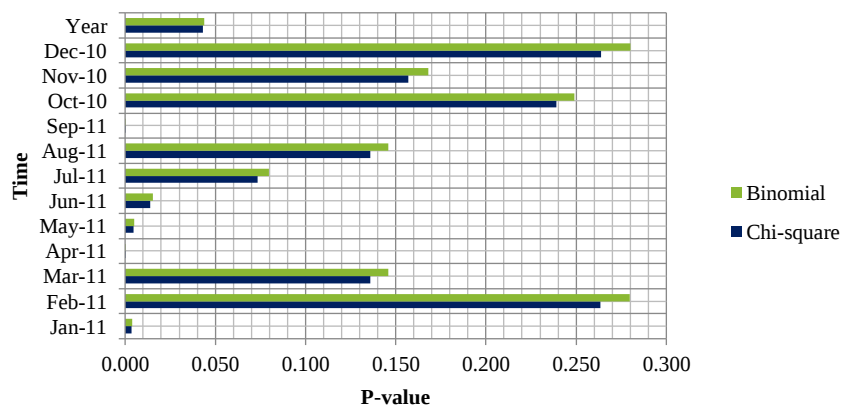
Reports	P-value
Songrak (2015)	1.43E-07
Jindalikit (2008)	0.0002
Raungprataungsuk (2009)	0.0414

b. Normal distribution

Reports	P-value
Sanlee (2012)	0.0883
Rungsirimetakul (2007)	0.3282
Jindalikit (2002)	0.6252
Kunsook (2006)	0.0570
Kunsook (2011)	0.5186

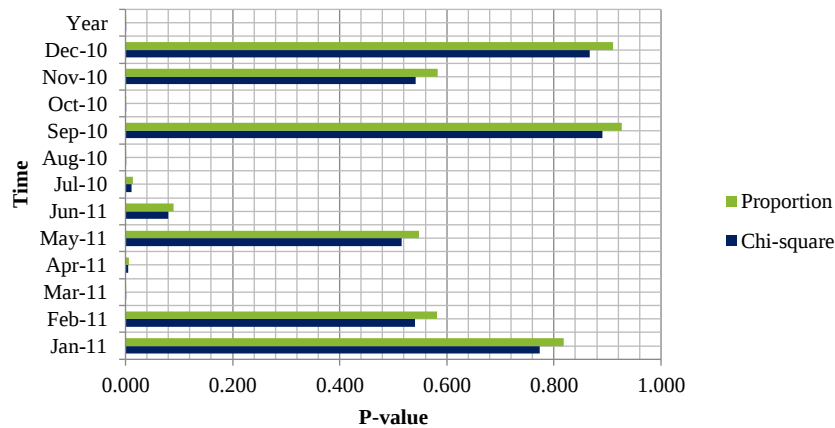
2. การตรวจสอบวิธีการที่เหมาะสม

เมื่อทดลองนำค่า p-value ของการวิเคราะห์อัตราส่วนเพศในแต่ละวิธีของรายงานมาลงจุดด้วยกัน ซึ่งในที่นี้จะยกตัวอย่างการลงจุดในกรณีที่สมารถเปรียบเทียบผลของความแตกต่างที่ชัดเจน ทั้งในการแจกแจงของข้อมูลไม่เป็นปกติ และแจกแจงเป็นปกติ ของรายงานทางฝั่งอ่าวไทย และฝั่งอันดามัน ดังนี้



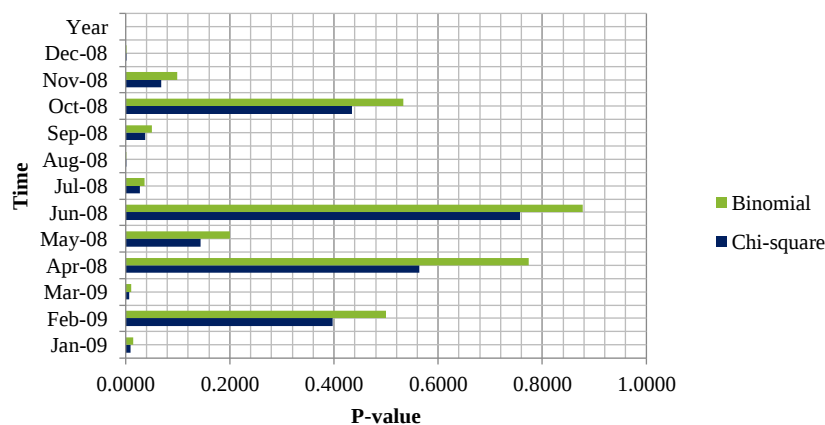
รูปที่ 1 เปรียบเทียบค่า p-value ของข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จากฝั่งอันดามัน (อริรักษ์, 2558)

กรณีที่ 1 กรณีการแจกแจงของข้อมูลไม่เป็นปกติ จากรูปจะเห็นว่า ค่า P-value ของการวิเคราะห์แบบทวินาม มีค่าสูงกว่าค่าไคกำลังสองเกือบทุกเดือนแสดงว่า มีอำนาจในการทดสอบมากกว่า ซึ่งควรจะเปลี่ยนการวิเคราะห์ข้อมูลอัตราส่วนเพศจากการทดสอบไคกำลังสอง ไปเป็นการทดสอบทวินามแทน



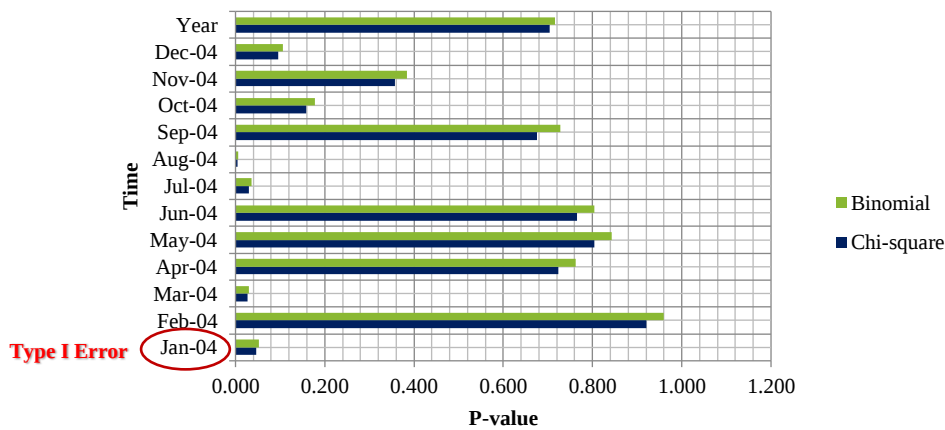
รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่า p-value ของข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ จากฝั่งอันดามัน (ดาวรรณ, 2555)

กรณีที่ 2 กรณีการแจกแจงของข้อมูลเป็นปกติ จากรูปจะเห็นได้ว่า ค่า P-value ของการวิเคราะห์แบบสัดส่วน มีค่าสูงกว่าค่าไคกำลังสองเกือบทุกเดือนแสดงว่า มีอำนาจในการทดสอบมากกว่าเช่นกัน ซึ่งควรจะเปลี่ยนการวิเคราะห์ข้อมูลอัตราส่วนเพศจากการทดสอบไคกำลังสอง ไปเป็นการทดสอบสัดส่วนแทน



รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่า p-value ของข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ และมีตัวอย่างจำนวนน้อย จากอ่าวไทย (กุศล, 2552)

กรณีที่ 3 กรณีการแจกแจงของข้อมูลไม่เป็นปกติ และมีตัวอย่างจำนวนน้อย จากรูปจะเห็นได้ว่า ค่า P-value ของการวิเคราะห์แบบทวินาม มีค่าสูงกว่าค่าไคกำลังสองทุกเดือนแสดงว่า มีอำนาจในการทดสอบมากกว่าเช่นกัน อาจกล่าวได้ว่า การทดสอบด้วยไคกำลังสอง อาจไม่เหมาะกับการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับการทดสอบทวินาม



รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่า p-value ของข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จากอ่าวไทย (จินตนา 2551)

กรณีที่ 4 เป็นกรณีการแจกแจงของข้อมูลไม่เป็นปกติ จากรูปจะเห็นได้ว่า ค่า P-value ของการวิเคราะห์แบบทวินาม มีค่าสูงกว่าค่าไคกำลังสองทุกเดือนแสดงว่ามีอำนาจในการทดสอบมากกว่าเช่นกัน แต่สิ่งที่เกิดขึ้นคือในเดือนมกราคม ผลการเปรียบเทียบค่า P-value พบว่า เดือนนี้เกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error) ขึ้น หมายถึงเกิดเหตุการณ์ที่ปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง เพราะการทดสอบไคกำลังสองได้ p-value เท่ากับ 0.046 สรุปว่าเกิดนัยสำคัญที่ α เท่ากับ 0.05 ในขณะที่การทดสอบทวินามได้ P-value เท่ากับ 0.052 ซึ่งยอมรับสมมติฐานหลักที่ α เท่ากับ 0.05 กรณีเช่นนี้จะทำให้เกิดการสรุปผลผิดพลาด ดังนั้น ตัวอย่างนี้ จึงเป็นตัวอย่างที่ดีที่ทำให้เห็นว่า กรณีของการทดสอบอัตราส่วนเพศด้วยการทดสอบไคกำลังสองนั้น อาจเกิดความผิดพลาดในการสรุปผลขึ้นได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่นักวิจัยต้องระมัดระวัง เพราะปัจจัยที่ทำให้เกิดการปฏิเสธสมมติฐานหลัก ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นจริงนั้น มีหลายประการ (Szucs and Ioannidis, 2017)

บทสรุป

จากการทดสอบอัตราส่วนเพศด้วยวิธีการทางสถิติ โดยโปรแกรมอาร์พบว่า อัตราส่วนเพศในแต่ละปีสอดคล้องกับรายงานการศึกษาในอดีต ยกเว้นรายงานของ จินตนา ในพ.ศ. 2551 ที่เกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 ขึ้น นอกจากนี้ ก่อนการวิเคราะห์อัตราส่วนเพศจะต้องทดสอบรูปแบบการแจกแจงของข้อมูลก่อน เพื่อเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมคือ ถ้าการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ ควรใช้การทดสอบสัดส่วน และถ้าการแจกแจงข้อมูลแบบไม่ปกติ ควรใช้การทดสอบทวินาม ซึ่งให้ประสิทธิภาพดีกว่าการทดสอบไคสแควร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยเอกสาร เรื่อง “การสังเคราะห์รายงานการวิจัยด้านสภาวะทรัพยากรและการทำประมงปูม้าของประเทศไทย” ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วินัย โพธิ์สุวรรณ ที่ได้แนะนำแนวทางในการดำเนินการทางสถิติในงานวิจัยชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

- กุศล เรื่องประเทืองสุข. (2552). ความสัมพันธ์ระหว่างพลวัตประชากรปูม้า *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) กับปัจจัยทางกายภาพของแหล่งหญ้าทะเล อ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จินตนา จินดาลิขิต. (2545). ชีวิตวิทยาการสืบพันธุ์ของปูม้า *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) บริเวณอ่าวไทยตอนบน. รายงานการสัมมนาวิชาการกรมประมง ประจำปี 2544. กรมประมง. กรุงเทพฯ.
- จินตนา จินดาลิขิต, จักรพันธ์ ปิ่นพุทธศิลป์, ขนิษฐา เสรีรักษ์ และสุรวัช วงษ์โท. (2551). ชีวิตวิทยา และการประมงทรัพยากรปูม้า *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) บริเวณอ่าวไทยตอนบน. รายงานวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล. กรมประมง. กรุงเทพฯ.
- ชุตานา คุณสุข. (2549). พลวัตประชากรปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชุตานา คุณสุข. (2554). การประมงประชากรและรูปแบบการเคลื่อนย้ายของปูม้า *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) เพื่อการจัดการที่ยั่งยืน: กรณีศึกษาอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดาวรรณ สันทลี. (2555). ชีวิตวิทยาประชากรปูม้า *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) ในพื้นที่แนวเขตอนุรักษ์พันธุ์สัตว์น้ำวัยอ่อนสี่หมูบ้าน จังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ณิษฐา ทรพพนนท์ ใจดี และอมรศักดิ์ สวัสดิ์. (2550). คู่มือชีวิตวิทยาประมงภาคปฏิบัติ. บริษัท มิสเตอร์ก๊อปปี้(ประเทศไทย) จำกัด. กรุงเทพฯ.
- สุวิมล ติรกานนท์. (2553). สถิตินันพาราเมตริก. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- อภิรักษ์ สงรักษ์. 2558. ชีวิตวิทยาประมงของปูม้า: กรณีศึกษาจากการประมงพื้นบ้านในจังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อารีรัตน์ รุ่งสิริเมธากุล. (2550). ชีวิตวิทยาการสืบพันธุ์ของปูม้า *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) ในระยะมีไข่นอกกระดอง บริเวณอ่าวสตึก จังหวัดชลบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- R Development Core Team. (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Accessed 25 March 2018. <http://www.R-project.org>.
- Szucs D. and Ioannidis J.P.A. (2017). When null hypothesis significance testing is unsuitable for research: A reassessment. *Frontiers in Human Neuroscience*. 11: 1-21.
- Zar J. H. (1974). *Biostatistical analysis*. Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall: USA.

Received: December 12, 2019; Revised: March 2, 2020; Accepted: April 20, 2020

ประสิทธิภาพและการจำแนกชนิดของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการควบคุมเชื้อ

Colletotrichum capsici สาเหตุโรคแอนแทรคโนสในพริกEfficacy and identification of beneficial bacteria to control *Colletotrichum capsici* caused anthracnose of chiliสุวิจักขณ์ สมจินดา¹ ดุสิต อธิณูวัฒน์¹ และวิลาวรรณ เชื้อบุญ^{1*}Suwichak Somjinda¹, Dusit Athinuwat¹ and Wilawan Chuaboon^{1*}¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี

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

บทคัดย่อ

คัดแยกแบคทีเรียที่มีประโยชน์จากผลพริก ได้ทั้งหมด 121 ไอโซเลทจากตัวอย่างพริก 20 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 7 กลุ่มตามลักษณะโคโลนีบนอาหาร nutrient glucose agar และเมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสด้วยวิธี Dual culture บนอาหาร potato dextrose agar (PDA) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ พบว่า แบคทีเรียที่มีประโยชน์ไอโซเลท TU089, TU101 และ TU121 มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเจริญของเส้นใย เท่ากับ 85.55, 78.33 และ 88.33% ตามลำดับ และให้ผลการยับยั้งดีกว่าการใช้สารเคมี เมื่อเปรียบเทียบกับสารคาร์เบนดาซิม (36.66%) โดยเมื่อจำแนกชนิดตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และชีวเคมี โดยเทียบเคียงกับตำราของ Bergey's manual of determinative Bacteriology พบว่า TU089, TU101 และ TU121 มีความคล้ายคลึงกับ *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis* และ *B. megaterium* ตามลำดับ

คำสำคัญ: แบคทีเรียที่มีประโยชน์ พริก ควบคุมโรค โรคแอนแทรคโนส

Abstract

All of the 121 isolates of beneficial bacteria were screened from 20 samples of chili. The isolates were divided into 7 groups according to the characteristics of the colonies grown on nutrient glucose agar. The efficacy of beneficial bacteria against anthracnose disease by dual culture method on potato dextrose agar (PDA) were investigated and arranged by a completely randomized design. The bacterial isolates of TU089, TU101, and TU121 were found to be effective in inhibiting the growth of *C. capsici* strain P-TU008 with 85.55, 78.33, and 88.33% inhibited, respectively, which was better than chemical reagent when compared with

agrochemical carbendazim (36.66%). The classification of all 3 isolates by morphological, physiological, and biochemical characteristics by compared with Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. The result revealed that bacteria isolate TU089, TU101, and TU121 were similar to *Bacillus subtilis*, *B. Licheniformis*, and *B. megaterium* respectively.

Keywords: Beneficial bacteria, Chili, Disease control, Anthracnose

บทนำ

โรคแอนแทรคโนส (สาเหตุจากเชื้อรา *Colletotrichum* sp.) เป็นโรคที่สำคัญและพบการระบาดในทุกพื้นที่การผลิตพริก ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายทั้งในแปลงปลูกและหลังการเก็บเกี่ยว (บุญญวดี และคณะ, 2559) เชื้อราสามารถเข้าทำลายพริกได้ในระยะที่ผลยังไม่เกิดการสุกแก่ทางสรีรวิทยา (Maturity) โดยไม่แสดงอาการ จนกว่าเมื่อผลพริกเริ่มสุกแก่ ซึ่งนับเป็นการเข้าทำลายแบบแฝง กรณีผลพริกเป็นโรคแอนแทรคโนส เมล็ดภายในผลก็เป็นโรคแอนแทรคโนสด้วย ซึ่งสามารถอยู่ข้ามฤดูและแพร่ระบาดปนเปื้อนกระจายไปตามลม ละอองน้ำ แมลง เครื่องมือการเกษตร และแสดงอาการของโรคเมื่อนำไปปลูกต่อไป วิธีการควบคุมโรคส่วนใหญ่มักใช้สารเคมีโดย ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลข้างเคียงเช่น ปัญหาราเคมีตกค้างในผลผลิตและสภาพแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันผู้บริโภคมีความใส่ใจเกี่ยวกับสุขภาพมากขึ้น วิธีการลดการใช้สารเคมี เช่น การควบคุมโรคพืชด้วยชีววิธี จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สำคัญในการนำมาใช้ป้องกันกำจัดโรคแอนแทรคโนสในพริก (ดาราวัตติ, 2558) โดยการนำเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์มาใช้ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสในพริก (มาลีสา และวิลาวรรณ, 2562) หรือการพัฒนาชีวผลิตภัณฑ์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจในระยะกล้า เช่น พริก คื่นช่าย ข้าวโพด (ปัญญาพร และวิลาวรรณ, 2562)

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การเตรียมเชื้อรา *Colletotrichum capsici* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของพริก

นำเชื้อ *C. capsici* สายพันธุ์ TU-008 สายพันธุ์รุนแรง (มาลีสา และวิลาวรรณ, 2562) จากห้องปฏิบัติการเกษตรอินทรีย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มาทดสอบความสามารถในการก่อให้เกิดโรคโดยใช้ Cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. เจาะบริเวณปลายเส้นใยของเชื้อที่มีแนวโน้มเป็นเชื้อสาเหตุนำขึ้นเชื้อที่ได้ไปคว่ำลงบนผลพริกบ่มต่อที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 3 องศาเซลเซียส) ภายในกล่องพลาสติกขึ้นจนกว่าจะแสดงอาการโรค

2. แยกเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์

แยกแบคทีเรียที่มีประโยชน์จากผลพริกพันธุ์ซูปเปอร์ฮอท ที่มีความอุดมสมบูรณ์ไม่แสดงอาการของโรคใด ๆ โดยเก็บตัวอย่างพริกจากพื้นที่ปลูกพริกจังหวัดอ่างทอง ระหว่างเดือน เมษายน-พฤษภาคม 2562 ด้วยวิธี Leaf wash technique ดัดแปลงจากวิลาวรรณ และคณะ (2558) โดยนำผลพริก 10 กรัม แช่น้ำนิ่งฆ่าเชื้อ 90 มิลลิลิตร หยอดสารลดแรงตึงผิว 1-2 หยด จากนั้นเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 160 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้แบคทีเรียออกมาอยู่ในน้ำ และใช้เป็น stock suspension เจือจางความเข้มข้นด้วยวิธี Ten-fold serial dilution ใช้ไมโครปิเปตดูดส่วนใสปริมาตร 100 ไมโครลิตร กระจายให้ทั่วผิวหน้าอาหาร nutrient glucose agar (NGA) บ่มที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 3 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง เลือกเก็บโคโลนีของแบคทีเรียที่เจริญมาแยกเชื้อให้บริสุทธิ์เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

3. ทดสอบประสิทธิภาพแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. capsici*

การทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. capsici* ด้วยวิธี Dual culture บนอาหารเลี้ยงเชื้อแบบแข็ง PDA ตามวิธีการดัดแปลงของ ชมพูนุท และคณะ (2550) วางแผนการทดลองแบบ CRD การทดลองละ 5 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ตรวจประเมินประสิทธิภาพการยับยั้งเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม เลือกแบคทีเรียที่มีประโยชน์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรคโนสเพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

4. จำแนกชนิดเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์

จำแนกชนิดของแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูง 3 อันดับแรกในการยับยั้งเชื้อ *C. capsici* (จากข้อ 3) นำมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และคุณสมบัติทางชีวเคมีบางประการ เช่น Oxygen relationship, Gelatin hydrolysis, Catalase production, Starch hydrolysis, Citrate utilization, Urease test, และ Salt tolerance (Schaad, 1988) แล้วใช้วิธีการเทียบเคียงกับตำราของ Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, 9th eds. (Holt et al., 1994)

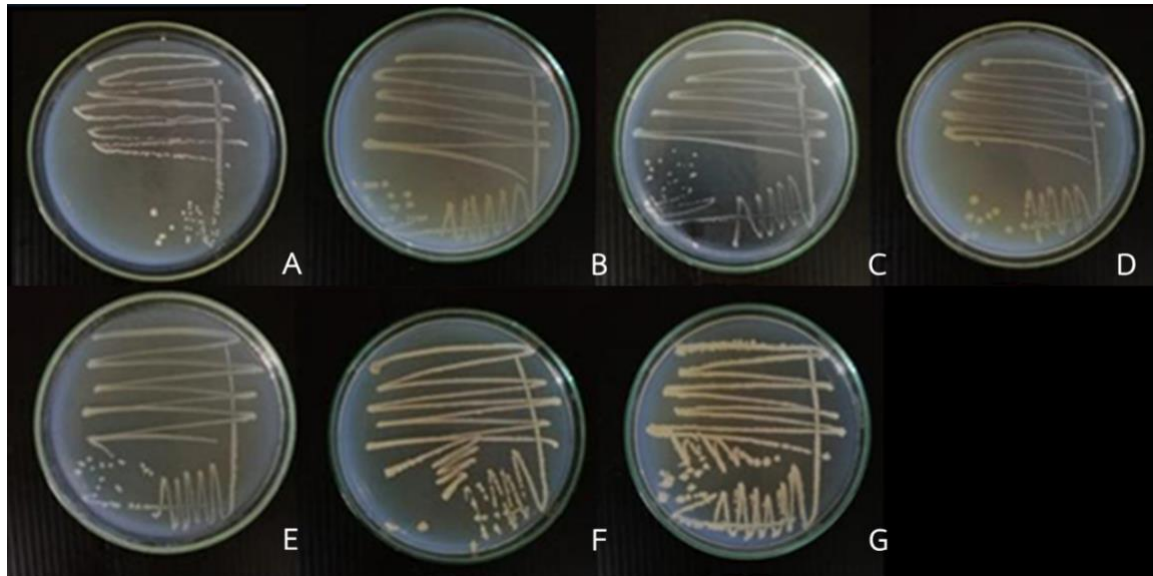
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. การเตรียมเชื้อรา *C. capsici* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของพริก

เชื้อรา *C. capsici* เมื่อทดสอบความสามารถในการก่อให้เกิดโรคบนพริก พบว่าเชื้อรา *C. capsici* สายพันธุ์ P-TU008 ยังคงมีความสามารถในการก่อให้เกิดโรคแอนแทรคโนสในพริกพันธุ์ซูปเปอร์ฮอท โดยแสดงความรุนแรงโดยการเจริญของเส้นใยคลุมทับผิวผลของพริกในบริเวณที่ปลูกเชื้อ และก่อให้เกิดอาการโรครภายใน 10 วัน หลังปลูกเชื้อ โดยมีลักษณะการแพร่กระจายตัวลุกลามอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับที่ มาลีซา และวิลาวรรณ (2562) รายงานว่าสามารถแยกเชื้อที่มีแนวโน้มเป็นเชื้อรา *C. capsici* จำนวน 12 สายพันธุ์ ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรคโนสในพริกทดสอบ โดยก่อให้เกิดเส้นใยเชื้อราคลุมทับบริเวณปลูกเชื้อโรครภายใน 3 วัน หลังปลูกเชื้อ และเชื้อสามารถแพร่กระจายตัวรุกรามอย่างรวดเร็ว และแสดงอาการโรคให้เห็นภายใน 10 วัน หลังทดสอบ

2. การแยกเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์

สามารถแยกเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์ได้ จำนวน 121 ไอโซเลท และสามารถจัดกลุ่มตามลักษณะโคโลนีได้ 7 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 มีลักษณะโคโลนีสีขาวครีม ขอบเรียบ กลมมน กลุ่มที่ 2 มีโคโลนีสีขาวด้าน ขอบเรียบ กลมมน กลุ่มที่ 3 มีโคโลนีสีขาว ขอบเรียบ กลมมน มันวาว กลุ่มที่ 4 โคโลนีสีขาวด้าน ขอบหยักแบนราบ กลุ่มที่ 5 โคโลนีสีเทาขาว กลมมน ขอบเรียบ กลุ่มที่ 6 มีโคโลนีสีขาวด้าน ขรุขระ ขอบหยัก และ กลุ่มที่ 7 มีโคโลนีสีน้ำตาลเหลือง ขรุขระ ขอบหยัก (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์ได้จัดกลุ่มตามลักษณะโคโลนีบนอาหาร NGA โดยกลุ่มที่ 1 มีลักษณะโคโลนีสีขาวครีม ขอบเรียบ กลมมน (A), กลุ่มที่ 2 โคโลนีสีขาวด้าน ขอบเรียบ กลมมน (B), กลุ่มที่ 3 โคโลนีสีขาว ขอบเรียบ กลมมน มันวาว (C), กลุ่มที่ 4 โคโลนีสีขาวด้าน ขอบหยัก แบนราบ (D), กลุ่มที่ 5 โคโลนีสีเทาขาว กลมมน ขอบเรียบ (E), กลุ่มที่ 6 โคโลนีสีขาวด้าน ขรุขระ ขอบหยัก (F) และ กลุ่มที่ 7 โคโลนีสีน้ำตาลเหลือง ขรุขระ ขอบหยัก (G)

ผลการทดลองดังกล่าว ให้ผลเช่นเดียวกับ มาลีซา และวิลารรณ (2562) โดยสามารถแยกแบคทีเรียที่มีประโยชน์จากผลพริกที่มีความอุดมสมบูรณ์ไม่แสดงอาการของโรคใด ๆ จำนวน 20 ตัวอย่าง ได้เชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์ได้ จำนวน 182 สายพันธุ์ และสามารถจัดกลุ่มตามลักษณะโคโลนีได้ 8 กลุ่ม

3. ทดสอบประสิทธิภาพแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. capsici*

ประสิทธิภาพแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. capsici* สายพันธุ์ P-TU008 พบว่า แบคทีเรียที่มีประโยชน์ไอโซเลท TU013, TU074, TU089, TU101 และ TU121 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใย เท่ากับ 83.11, 75.00, 85.55, 78.33 และ 88.33% ตามลำดับ (รูปที่2) เมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมีคาร์เบนดาซิม (36.66%) เช่นเดียวกับ Montesines et al. (1996) คัดเลือกเชื้อแบคทีเรียจากส่วนเหนือดินของพืช และรากพืชหลายชนิด พบว่ามีเพียง 7% ที่สามารถยับยั้งการงอกของโคนิเดียและการเจริญของเส้นใยของเชื้อรา *Stemphylium vesicarium* ได้ และมีเพียง 4 ไอโซเลท ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งโรคใบจุดสีน้ำตาลของพริกเมื่อทดสอบด้วยวิธีการ detached leaf ในขณะที่ Hussien et al. (2007) ทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่มีในการควบคุมโรคไหม้ที่เกิดจากเชื้อรา *S. vesicarium* บนต้นหอม พบว่า *P. fluorescens*, *B. subtilis* และ *T. harzianum* สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใย *S. vesicarium* ได้ดีที่สุด



รูปที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. capsici* สายพันธุ์ TU-008 A) ไอโซเลท TU074, B) ไอโซเลท TU089, C) ไอโซเลท TU101, D) ไอโซเลท TU121 เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับกรรมวิธีควบคุม (E)

4. จำแนกชนิดเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์

จำแนกชนิดไอโซเลท TU013, TU074, TU089, TU101 และ TU121 โดยเมื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่า ไอโซเลท TU013 มีโคโลนีสีขาวด้าน ขอบเรียบ กลมมน, TU074 โคโลนีสีขาวด้าน ขอบหยัก แบนราบ, TU089 โคโลนีสีเทาขาว กลมมน ขอบเรียบ, TU101 มีโคโลนีสีขาวด้าน ขรุขระ ขอบหยัก และ TU121 มีโคโลนีสีน้ำตาลเหลือง ขรุขระ ขอบหยัก และศึกษาคุณสมบัติทางสรีรวิทยาพบว่า TU089, TU101 และ TU121 เป็นแบคทีเรียแกรมบวก ในขณะที่ TU013 และ TU074 เป็นแบคทีเรียแกรมลบ การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะทำการจำแนกด้วยชีวเคมีโดยเลือกเฉพาะแบคทีเรียไอโซเลทที่เป็นแกรมบวกเท่านั้น เนื่องจากแบคทีเรียแกรมลบส่วนใหญ่เป็นเชื้อสาเหตุโรค พบว่า เมื่อนำแบคทีเรียไอโซเลท TU089, TU101 และ TU121 มาศึกษาคุณสมบัติทางชีวเคมีบางประการเทียบเคียงกับตำรา Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, 9th eds. (Holt et al., 1994) พบว่า TU089, TU101 และ TU121 มีความคล้ายคลึงกับเชื้อ *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis* และ *B. megaterium* ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีบางประการในการจำแนกชนิดแบคทีเรียที่มีประโยชน์ไอโซเลท TU089, TU101 และ TU121

ชีวเคมีทดสอบ	แบคทีเรียเปรียบเทียบกับ ²			แบคทีเรียที่มีประโยชน์ ¹		
	<i>B. subtilis</i>	<i>B. licheniformis</i>	<i>B. megaterium</i>	TU089	TU101	TU121
Starch hydrolysis	+	+	+	+	+	+
Catalase	+	+	-	+	+	-
production						
Oxygen	+	+	+	+	+	+
relationship						
Gelatin	+	+	+	+	+	+
hydrolysis						
Urease test	+	+	+	+	+	+
Indole test	+	+	+	+	+	+
Nitrate reduction	+	+	+	+	+	+
Salt Tolerance						
5%	-	-	+	-	-	+
7%	-	-	+	-	-	+

¹ += เกิดปฏิกิริยา - = ไม่เกิดปฏิกิริยา

² คุณสมบัติทางชีวเคมีบางประการเปรียบเทียบกับตำรา Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, 9th ed. (Holt et al., 1994)

บทสรุป

คัดแยกแบคทีเรียที่มีประโยชน์จากผลพริก ได้ทั้งหมด 121 ไอโซเลท แบ่งตามลักษณะโคโลนีได้ 7 กลุ่ม และพบว่า ไอโซเลท TU013, TU074, TU089, TU101 และ TU121 มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. capsici* TU-008 สายพันธุ์รุนแรงทั้งการทดสอบบนอาหารแข็งและอาหารเหลว โดยมีประสิทธิภาพดีเทียบเท่าสารเคมีคาร์เบนดาซิม และเมื่อจำแนกชนิดตาม

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและชีวเคมีพบว่า TU089, TU101 และ TU121 มีความคล้ายคลึงกับ *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis* และ *B. megaterium* ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

เป็นผลงานวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย ประเภททุนวิจัยทั่วไปสำหรับผู้ปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตามสัญญา เลขที่ TUGR 2/14/2562

เอกสารอ้างอิง

- ดาราวัตติ์ วงษ์ชาล. (2558). ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *Bacillus* สูตร ENCAPSULATE ในการควบคุมโรคแอนแทรก โนสของพริก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- บุญญวดี จิระวุฒ รัตนา สุทธยาคม และวีรภรณ์ เดชนาบุญชาชัย. (2559). การใช้สารกลุ่มปลอดภัยร่วมกับความร้อนในการควบคุม โรคแอนแทรกโนสของพริกหวาน. วารสารวิชาการเกษตร. 34(2): 134-149.
- ปัญญาพร อติชภาส และวิลาวรรณ เชื้อบุญ. (2562). การพัฒนาชีวผลิตภัณฑ์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจใน ระยะกล้า. ใน ประชุมวิชาการเกษตรพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ครั้งที่ 6. วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562. ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 19-24.
- มาลีษา มณีจันทร์ และ วิลาวรรณ เชื้อบุญ. (2562). ประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการควบคุมเชื้อรา *Colletotrichum* sp. สาเหตุโรคแอนแทรกโนสในพริก. ใน ประชุมวิชาการเกษตรพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ครั้งที่ 6. วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562. ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 54-58.
- วรภรณ์ สุทธิสา และปัทมชญา นามแสง. (2560). การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียจากผิวใบมะเขือเทศในการควบคุมเชื้อรา *Stemphylium* sp. สาเหตุโรคใบจุดสีเทา. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 22: 73-83.
- วิลาวรรณ เชื้อบุญ. (2551). ลักษณะและการทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ควบคุมเชื้อ *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* สาเหตุโรคเน่าเละ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Holt J.G., Krieg N.R., Sneath P.H.A., Staley J.T. and Williams S.T. (1994). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. 9th Edited. Baltimore: The Williams and Wilkins Co.: USA.
- Montesinos E., Bonaterra A., Ophir Y. and Beer S.V. (1996). Antagonism of selected bacterial strains to *Stemphylium vesicarium* and biological control of brown spot of pear under controlled environment conditions. *Biological Control*. 86(8): 856-863.
- Schaad N.W. (1988). Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria. *Bacteriology Committee of American Phytopathological Society*. 2(3): 10-16.

Received: February 18, 2020; Revised: March 13, 2020; Accepted: April 20, 2020

การพัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง

The development of ecotourism promotion website Trang Province

เจนจิรา หวังหลี่^{1*} ชาคริต โคจรรณา¹ ธรรมาภรณ์ ยวนใจ¹ และธนภุต รัตนสิมานนท์¹Janejira Wanglee^{1*}, Chakrit Kojornna¹, Thammaporn Yuanjai¹ andThanakrit Rattanasimanont¹¹ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ศูนย์การศึกษานอกที่ตั้ง จังหวัดตรัง

Corresponding Author E-mail Address: jw.janejira@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง 2) ประเมินคุณภาพของเว็บไซต์ และ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์ โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบการวิจัยและพัฒนา ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยประกอบด้วย ประชาชนทั่วไปที่สนใจเข้าชมเว็บไซต์ จำนวน 50 คน และผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและเทคโนโลยี จำนวน 5 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบประเมินคุณภาพของเว็บไซต์และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณโดยการหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งเว็บไซต์พัฒนาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Word Press ผลการวิจัยพบว่า 1) ได้เว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง ซึ่งแสดงรายละเอียดของสถานที่ท่องเที่ยวในระบบ 2 ภาษา คือภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และสามารถแสดงพิกัดแหล่งท่องเที่ยวรวมทั้งนำทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศนั้นได้ 2) ภาพรวมผลการประเมินคุณภาพของเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรังอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.08 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.77 และ 3) ภาพรวมผู้ใช้งานเว็บไซต์มีความพึงพอใจต่อเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง อยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.22 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.65

คำสำคัญ: การพัฒนา ส่งเสริม ท่องเที่ยวเชิงนิเวศ

Abstract

The objectives of this research were to 1) develop of Ecotourism promotion website Trang Province 2) evaluate the quality of website 3) evaluate the user's satisfaction of website. By using research and development research methods. The population and samples consist of 50 persons and 5 experts. The research instruments consisted of a quality assessment form and user satisfaction survey form. The statistics employed for verifying the efficiency are percentage, mean and standard deviation. The website was

developed with WordPress. The results revealed that 1) Ecotourism promotion website Trang Province which shows the details of bilingual tourist attractions, Thai and English. And able to show the coordinates of tourist attractions and guide to that ecotourism. 2) Overall, results of the quality of Ecotourism promotion website: Trang Province was at the high level. ($\bar{X}$ = 4.08, S.D. 0.77) and 3) Overall, the user satisfaction of Promote Ecotourism website Trang Province was at the highest level. ($\bar{X}$ = 4.22, S.D. 0.65).

Keywords: Development, Promote, Ecotourism

บทนำ

การท่องเที่ยวเป็นอุตสาหกรรมบริการที่มีการขยายตัวสูงและเป็นแหล่งรายได้ที่สำคัญให้แก่ประเทศไทย ก่อให้เกิดการจ้างงานและการกระจายรายได้สู่ประชาชนในชุมชน ในจังหวัดตรังสถานการณ์นักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกปี ในปี 2561 จำนวนนักท่องเที่ยวมาเที่ยวจังหวัดตรังโดยประมาณ 1.6 ล้านคน เพิ่มจากปีที่แล้วร้อยละ 10 และสร้างรายได้ให้กับจังหวัดตรังโดยประมาณ 10 ล้านบาท (สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดตรัง, 2563) แต่เนื่องจากการขยายตัวของนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดผลกระทบด้านลบต่อแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ ทำให้แหล่งท่องเที่ยวเสื่อมโทรมลง

ปัจจุบันพฤติกรรมนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่เริ่มให้ความสนใจรูปแบบการเดินทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น การท่องเที่ยวเชิงนิเวศจึงเป็นรูปแบบการท่องเที่ยวทางเลือกใหม่ที่กำลังได้รับความนิยม เนื่องจากนักท่องเที่ยวรูปแบบนี้ให้ความสำคัญต่อการดำเนินกิจกรรมที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม โดยหลีกเลี่ยงการสร้างผลกระทบด้านลบที่ก่อให้เกิดความเสียหายหรือการทำลายสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติและวัฒนธรรมของพื้นที่ท่องเที่ยว (มณีรัตน์, 2559) การท่องเที่ยวเชิงนิเวศจึงไม่ใช่การท่องเที่ยวเพื่อผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจเท่านั้น แต่มีการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและวัฒนธรรมอีกด้วย ดังนั้นการท่องเที่ยวเชิงนิเวศจึงมีส่วนสำคัญในการสนับสนุนให้การท่องเที่ยวพัฒนาไปอย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบกับจังหวัดตรังเป็นจังหวัดที่มีความหลากหลายทางวัฒนธรรม และมีแหล่งท่องเที่ยวหลากหลาย ซึ่งแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศจังหวัดตรัง ประกอบด้วย บ่อหินฟาร์มสเตย์ บ้านสิดาวเรือง และสวนพฤกษศาสตร์ภาคใต้ (ทุ่งค่าย) เป็นต้น สอดคล้องกับจังหวัดตรังได้มีการวางแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาด้านการท่องเที่ยว โดยการส่งเสริมและพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงนิเวศให้มีความเหมาะสมเพื่อสร้างรายได้ให้เติบโตอย่างต่อเนื่อง ตามแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในเขตจังหวัด พ.ศ.2561-2564 (องค์การบริหารส่วนจังหวัดตรัง, 2562) ซึ่งจากยุทธศาสตร์การสร้างเสริมคุณภาพการท่องเที่ยวเชิงนิเวศในหลายปีที่ผ่านมา พบว่าจังหวัดตรังได้มีการวางแผนการพัฒนาการตลาดและการประชาสัมพันธ์ให้แก่กลุ่มนักท่องเที่ยว เพื่ออำนวยความสะดวกในด้านการท่องเที่ยว การค้นหาข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว แต่เนื่องจากยังขาดการประชาสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องและชัดเจน ทำให้นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่เดินทางไปยังสถานที่ท่องเที่ยวโดยนิยมนั้นแทนการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ

นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่นิยมวางแผนการท่องเที่ยวโดยการสืบค้นข้อมูลผ่านทางระบบอินเทอร์เน็ต ปัจจุบันนี้จึงมีการนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้ด้านการท่องเที่ยวเพิ่มมากขึ้น โดยได้มีการพัฒนาเว็บไซต์เพื่อการท่องเที่ยวเพิ่มมากขึ้น เช่น เว็บไซต์แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศจังหวัดอุบลราชธานี เว็บไซต์เพื่อการท่องเที่ยวในชุมชนบ้านหัวทุ่ง เป็นต้น เพื่อเป็นการประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวให้คนทั่วไปรู้จัก และนักท่องเที่ยวสามารถค้นหาแหล่งท่องเที่ยวและการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวด้วยตนเองได้ จากความสำคัญดังกล่าวข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง เพื่อประชาสัมพันธ์ ส่งเสริมและเผยแพร่แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศใน

จังหวัดตรังให้เป็นที่ยอมรับมากขึ้น ให้นักท่องเที่ยวสามารถค้นหาข้อมูล รู้จักสถานที่ท่องเที่ยว ตลอดจนสนใจให้นักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศได้เดินทางเข้ามาท่องเที่ยวเชิงนิเวศมากขึ้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง พบว่า ธัชชัย และคณะ (2560) ได้พัฒนาเว็บไซต์แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศในจังหวัดอุบลราชธานี เพื่อเป็นการประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวในจังหวัดอุบลราชธานีให้คนทั่วไปรู้จัก ซึ่งเป็นการพัฒนาเว็บไซต์โดยใช้ภาษา PHP และใช้ฐานข้อมูล MySQL ผลที่ได้ คือ เว็บไซต์สามารถนำไปใช้ในการเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศในจังหวัดอุบลราชธานีได้ และสามารถอำนวยความสะดวกให้กับนักท่องเที่ยวในการสืบค้นหาแหล่งท่องเที่ยวด้วยตนเองได้ นอกจากนี้ธีรภพ (2558) ได้พัฒนาเว็บไซต์เพื่อการท่องเที่ยวในชุมชนบ้านหัวทุ่ง ตำบลเชียงดาว อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งทำให้นักท่องเที่ยวมีความสะดวกและรวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวได้ทุกที่และทุกเวลา ซึ่งเป็นการวิจัยโดยใช้หลักการวิจัยแบบมีส่วนร่วมในการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อการท่องเที่ยวในชุมชน โดยผู้นำชุมชนมีส่วนร่วมตั้งแต่กระบวนการวางแผนการออกแบบพัฒนาเว็บไซต์ การเรียบเรียงลำดับข้อมูล การประเมินคุณภาพเว็บไซต์ ตลอดจนการติดตามและประเมินผล ส่งผลให้เว็บไซต์เพื่อการท่องเที่ยวในชุมชนบ้านหัวทุ่ง มีความเหมาะสมด้านเนื้อหาสูง เนื่องจากการมีส่วนร่วมในการตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา ทำให้เว็บไซต์มีการปรับปรุงเนื้อหาให้มีความทันสมัยอยู่เสมอ รวมทั้งการจัดรูปแบบเว็บไซต์ง่ายต่อการอ่าน ทำให้ผู้ใช้บริการมีความพึงพอใจในระดับมาก

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การพัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรังเป็นการวิจัยแบบการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) มีขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ ประชาชนทั่วไปผู้ใช้งานเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง

1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ประชาชนซึ่งเป็นผู้ที่เข้าใช้งานเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง จำนวน 50 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ ได้แก่ โปรแกรมสำเร็จรูป WordPress และ Apache

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบประเมินคุณภาพของเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง โดยเป็นแบบประเมินออนไลน์แบบเลือกตอบ (Check List)

3. ขั้นตอนการพัฒนาเว็บไซต์

การพัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง มีการดำเนินงานตามขั้นตอนต่อไปนี้ (Kelo, 2017)

3.1 การวางแผน (Planning)

วิเคราะห์วัตถุประสงค์และกลุ่มเป้าหมายของเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง กำหนดขอบเขตของเนื้อหา รวมทั้งจัดเตรียมซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนา

3.2 การพัฒนา (Development)

นำขอบเขตของเนื้อหาการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรังมาจัดระบบข้อมูล โดยแบ่งเป็นหมวดหมู่เพื่อออกแบบแผนผังโครงสร้างของเว็บไซต์ (Site Structure) ระบบนำทาง (Navigation) ของหน้าเว็บ และพัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง ตามขอบเขตของเนื้อหาและการออกแบบเว็บไซต์

3.3 การทดสอบและเผยแพร่ (Testing and Launch)

การนำเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรังไปทดลองใช้งานกับกลุ่มตัวอย่าง ประเมินเว็บไซต์จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน และปรับปรุงเว็บไซต์ตามข้อเสนอแนะหรือคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ หลังจากนั้นนำเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรังที่พัฒนาเสร็จไปใช้งานจริง โดยการเผยแพร่เว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรังให้เป็นที่รู้จัก ด้วยการอัปโหลดไฟล์ของเว็บไซต์ไปยังเซิร์ฟเวอร์ (Server) เพื่อประชาสัมพันธ์เว็บไซต์เป็นระยะเวลา 90 วัน ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม – 31 พฤษภาคม 2562

3.3.1 ด้านประเมินความพึงพอใจของระบบ ให้กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งานเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง และทำแบบประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำวิเคราะห์ค่าทางสถิติเพื่อสรุปผลความพึงพอใจการใช้งานระบบในแต่ละด้าน

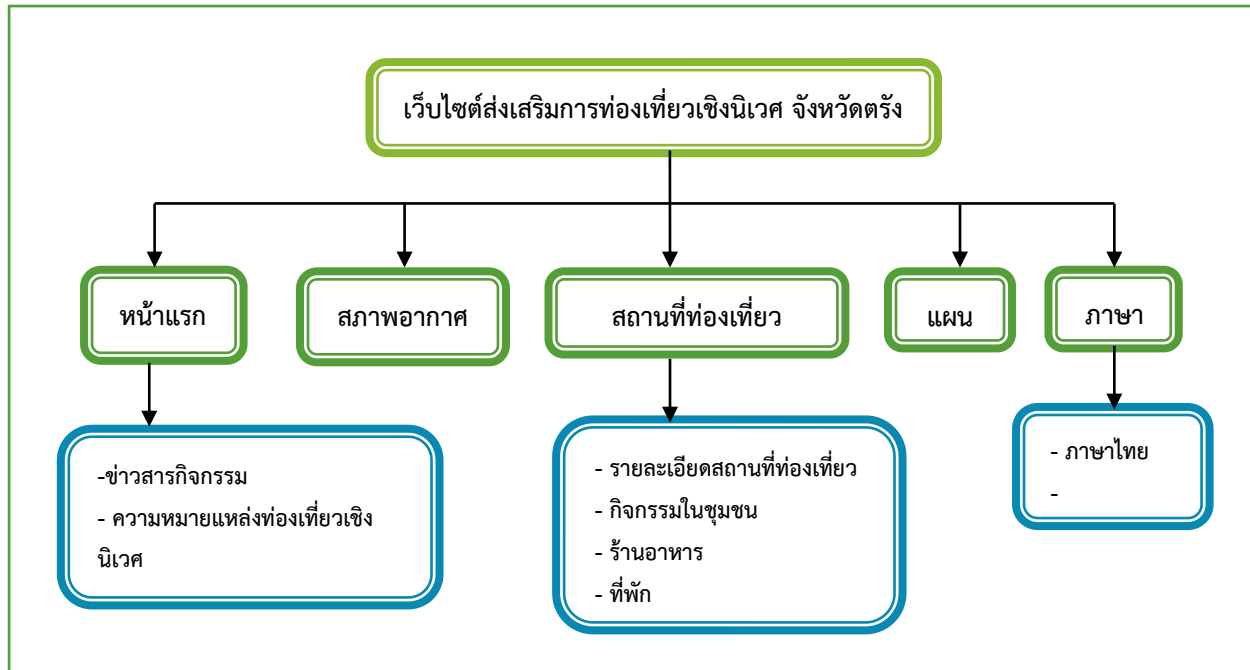
3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปและใช้สถิติเชิงพรรณนา โดยการอธิบายลักษณะทั่ว ๆ ไปของข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ในรูปของค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เครื่องมือทางสถิติที่นำมาใช้ ได้แก่ มาตรฐานส่วนประมาณค่า กำหนดค่าเป็น 5 ระดับความคิดเห็นตามแบบของลิเคิร์ต (Likert, 1967) โดยให้ผู้ตอบแบบสอบถาม (กลุ่มตัวอย่าง) เลือกตอบและให้คะแนนตามน้ำหนักของความคิดเห็นที่ตรงกับประสบการณ์จริงของผู้ตอบ ซึ่งมีหลักเกณฑ์ดังนี้

ระดับ 5	หมายถึง	มากที่สุด
ระดับ 4	หมายถึง	มาก
ระดับ 3	หมายถึง	ปานกลาง
ระดับ 2	หมายถึง	น้อย
ระดับ 1	หมายถึง	น้อยที่สุด

โดยการให้คะแนนและแปลความหมายใช้หลักเกณฑ์ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.21 – 5.00	หมายถึง	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.41 – 4.20	หมายถึง	มาก
ค่าเฉลี่ย 2.61 – 3.40	หมายถึง	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.81 – 2.60	หมายถึง	น้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.80	หมายถึง	น้อยที่สุด

ผู้วิจัยได้พัฒนาและออกแบบเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง โดยรายละเอียดโครงสร้างเว็บไซต์ดังนี้



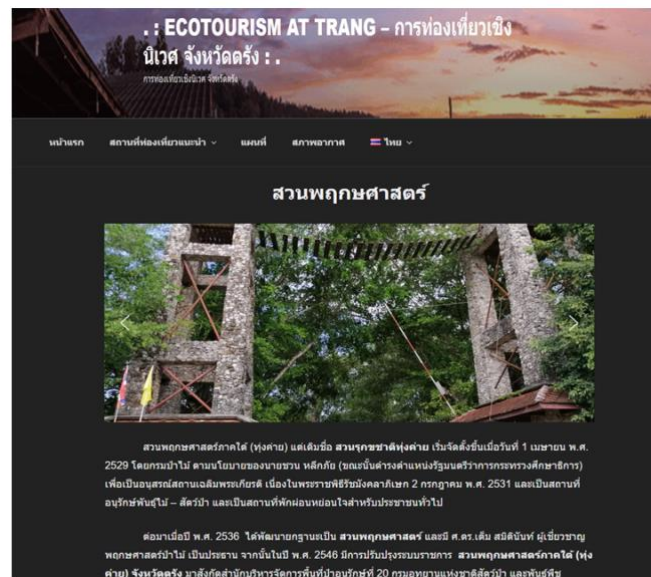
รูปที่ 1 โครงสร้างเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง

รูปที่ 1 โครงสร้างเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง ซึ่งประกอบด้วย 5 ส่วน ดังนี้

1. หน้าแรก เป็นส่วนของเนื้อหาข้อมูลข่าวสารกิจกรรม และความหมายของแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ
2. สภาพอากาศ เป็นส่วนของการแสดงลักษณะสภาพอากาศของจังหวัดตรัง และสภาพอากาศในแต่ละวัน
3. สถานที่ท่องเที่ยว เป็นส่วนของการแสดงรายละเอียดทั่วไปของสถานที่ท่องเที่ยว กิจกรรมในชุมชน ร้านอาหาร และที่พักบริเวณใกล้เคียงสถานที่ท่องเที่ยวนั้น
4. แผนที่ เป็นส่วนแสดงผลพิกัดแผนที่ Google Map ของสถานที่ท่องเที่ยวนั้น
5. ภาษา เป็นส่วนแสดงผลข้อมูลการท่องเที่ยวในระบบ 2 ภาษา คือ ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

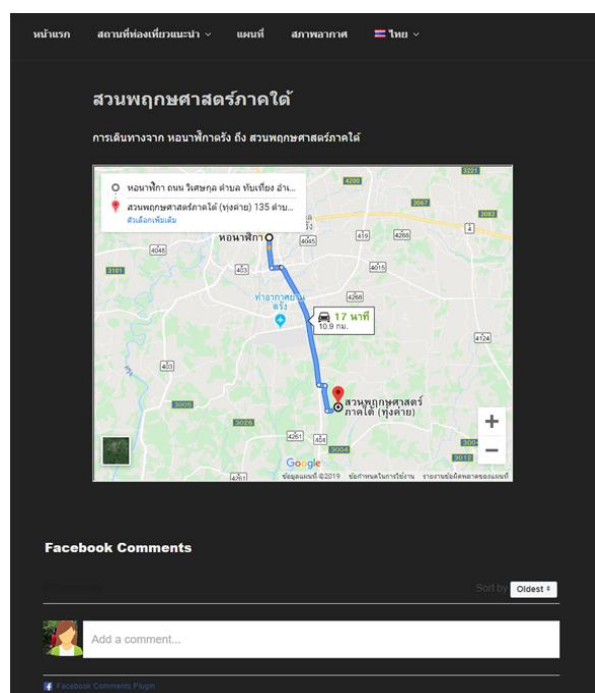
ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง สามารถแสดงรายละเอียดของแต่ละสถานที่ท่องเที่ยวเชิงนิเวศในจังหวัดตรัง เช่น ประวัติความเป็นมา กิจกรรมในชุมชน ที่พัก และร้านอาหารบริเวณใกล้เคียง รวมทั้งข้อมูลการติดต่อของแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว นักท่องเที่ยวสามารถแสดงความคิดเห็นสำหรับสถานที่ท่องเที่ยวแต่ละที่ได้ และแสดงพิกัดแผนที่ของแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว ตลอดจนนำทางไปยังสถานที่ท่องเที่ยวนั้นได้ ซึ่งเว็บไซต์แสดงผลข้อมูลในระบบ 2 ภาษา คือ ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เพื่อให้นักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศสามารถที่จะค้นหาสถานที่ท่องเที่ยวได้ด้วย แสดงดังรูปที่ 2-4



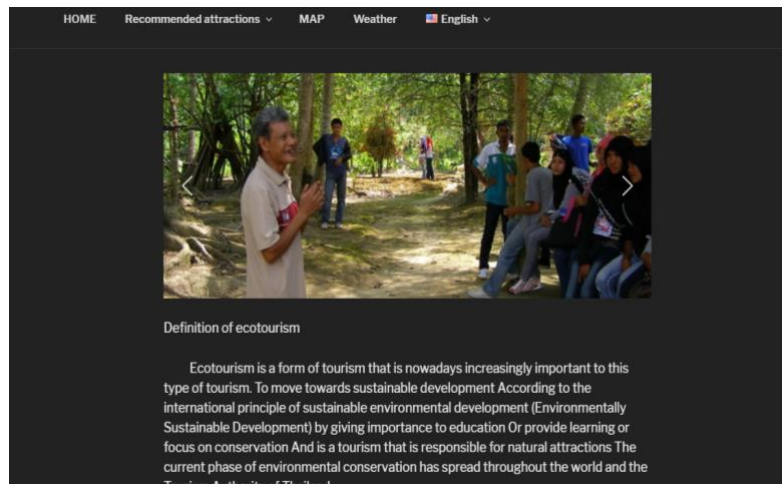
รูปที่ 2 แนะนำสถานที่ท่องเที่ยวของเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง

รูปที่ 2 เป็นส่วนของการแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวเชิงนิเวศในจังหวัดตรัง ซึ่งเป็นการอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับประวัติความเป็นมาของสวนพฤกษศาสตร์ (ทุ่งค่าย)



รูปที่ 3 การเชื่อมโยงแผนที่และการแสดงความคิดเห็นของสถานที่ท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง

รูปที่ 3 เป็นส่วนแสดงผลพิกัดแผนที่ Google Map ของสถานที่ท่องเที่ยวนั้น ตลอดจนสามารถนำทางไปสถานที่ท่องเที่ยวนั้นได้



รูปที่ 4 การแสดงผลแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง แบบภาษาอังกฤษ

รูปที่ 4 เป็นการแสดงผลในรูปแบบภาษาอังกฤษ ซึ่งจากรูปเป็นส่วนของหน้าแรก อธิบายความหมายของแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ

2. ผลการประเมินคุณภาพเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่านประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญทางด้านสื่อเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหาการท่องเที่ยว จำนวน 3 ท่าน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง

การประเมินคุณภาพ	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. ด้านเนื้อหาข้อมูล	3.80	0.75	มาก
1.1 ข้อมูลมีความชัดเจนและถูกต้อง	3.60	0.89	มาก
1.2 ข้อมูลทันสมัยและเป็นปัจจุบัน	4.00	0.71	มาก
1.3 ความเหมาะสมของการลำดับเนื้อหา	3.40	0.55	มาก
1.4 ภาพประกอบมีความน่าสนใจ	4.20	0.84	มาก
2. ด้านรูปแบบการนำเสนอ	3.94	1.02	มากที่สุด
2.1 เว็บไซต์มีความสวยงาม เหมาะสม และน่าสนใจ	3.95	1.06	มากที่สุด
2.2 ความเหมาะสมของสี รูปภาพ ตัวอักษรสามารถอ่านได้ง่ายและถูกต้อง	4.00	1.22	มากที่สุด
2.3 ความชัดเจนของข้อความที่แสดงหน้าเว็บไซต์	4.00	0.71	มากที่สุด
2.4 ความเหมาะสมของตำแหน่งการจัดวางส่วนต่างๆ ในเว็บไซต์	3.80	1.10	มากที่สุด
3. ด้านการใช้งาน	4.50	0.55	มาก
3.1 ระบบมีความสะดวกในการใช้งาน	4.40	0.55	มาก
3.2 ระบบมีความเร็วในการประมวลผล	4.60	0.55	มาก
3.3 สามารถค้นหาเส้นทางท่องเที่ยวเชิงนิเวศได้	4.40	0.55	มาก
3.4 ข้อมูลรายละเอียดสถานที่ท่องเที่ยวมีความเพียงพอต่อการใช้งาน	4.60	0.55	มาก
ค่าเฉลี่ย	4.08	0.77	มาก

ผลการประเมินคุณภาพเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง พบว่า โดยรวมมีผลการประเมินคุณภาพในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย 4.08 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.77 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการใช้งาน มีผลประเมินคุณภาพในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.50 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.55 รองลงมาคือ ด้านรูปแบบการนำเสนอ มีผลประเมินคุณภาพในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 3.94 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.02 และน้อยที่สุดคือ ด้านเนื้อหาข้อมูล มีผลประเมินคุณภาพในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 3.80 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.75

3. ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง จากกลุ่มตัวอย่าง คือ ประชาชนทั่วไป จำนวน 50 คน กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีอายุอยู่ในช่วง 21-30 ปี มีการศึกษาในระดับปริญญาตรี การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง

การประเมินคุณภาพ	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. ด้านการประชาสัมพันธ์	4.31	0.62	มากที่สุด
1.1 ข้อมูลการท่องเที่ยวเชิงนิเวศมีความน่าสนใจ	4.52	0.50	มากที่สุด
1.2 ข้อมูลการท่องเที่ยวเชิงนิเวศมีความทันสมัย เป็นปัจจุบันและถูกต้อง	4.28	0.64	มากที่สุด
1.3 กิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ ครบถ้วนและตรงตามความต้องการ	4.14	0.70	มาก
1.4 สามารถประชาสัมพันธ์สถานที่การท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง	4.28	0.64	มากที่สุด
2. ด้านการแสดงผล	4.26	0.68	มากที่สุด
2.1 เว็บไซต์มีความสวยงาม เหมาะสม และน่าสนใจ	4.26	0.60	มากที่สุด
2.2 ความเหมาะสมของสี รูปภาพ ตัวอักษรสามารถอ่านได้ง่ายและถูกต้อง	4.30	0.81	มากที่สุด
2.3 ความรวดเร็วในการเข้าถึงเว็บไซต์	4.34	0.63	มากที่สุด
2.4 สามารถค้นหาข้อมูลได้สะดวกรวดเร็ว	4.16	0.71	มาก
2.5 การจัดรูปแบบของเว็บไซต์สามารถใช้งานได้ง่าย	4.26	0.63	มากที่สุด
3. ด้านการนำไปใช้ประโยชน์	4.09	0.65	มาก
3.1 สามารถแสดงความคิดเห็นแต่ละสถานที่การท่องเที่ยวเชิงนิเวศได้	4.32	0.59	มากที่สุด
3.2 สามารถแสดงพิกัดและดูสภาพอากาศการท่องเที่ยวเชิงนิเวศได้	3.90	0.76	มาก
3.3 สามารถค้นหาเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงนิเวศได้	4.04	0.64	มาก
3.4 สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้	4.10	0.61	มาก
ค่าเฉลี่ย	4.22	0.65	มากที่สุด

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง พบว่า โดยรวมผู้ใช้งานระบบมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.22 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.65 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีความพึงพอใจสูงที่สุดคือ ด้านการประชาสัมพันธ์ มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.31 ค่าเบี่ยงเบน

มาตรฐาน 0.62 รองลงมาคือ ด้านการแสดงผล มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.26 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.68 และน้อยที่สุดคือ ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ มีความพึงพอใจในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.09 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.65

การอภิปรายผล

1. เว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรังพัฒนาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป WordPress โดยแสดงรายละเอียดของแต่ละสถานที่ท่องเที่ยวเชิงนิเวศในจังหวัดตรัง ในระบบ 2 ภาษา คือ ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ รวมทั้งข้อมูลการติดต่อที่พัก ร้านอาหาร และกิจกรรมในชุมชน นักท่องเที่ยวสามารถแสดงความคิดเห็นสำหรับสถานที่ท่องเที่ยวแต่ละที่ได้ และสามารถแสดงความคิดเห็นของแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว ตลอดจนสามารถนำไปสถานที่ท่องเที่ยวที่ตนได้

2. ผลการประเมินคุณภาพเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง พบว่า โดยรวมมีผลการประเมินคุณภาพในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีความพึงพอใจสูงสุด คือ ด้านการใช้งาน เนื่องจากการนำเสนอข้อมูลในเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรังเป็นประโยชน์ต่อนักท่องเที่ยว ทำให้นักท่องเที่ยวสามารถที่จะค้นหารายละเอียดข้อมูลการท่องเที่ยวเชิงนิเวศได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลจากขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในส่วนของการพัฒนาเว็บไซต์ของ Kelo ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การวางแผน 2) การพัฒนา 3) การทดสอบและเผยแพร่

3. ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง รวม 3 ด้าน คือ ด้านการประชาสัมพันธ์ ด้านการแสดงผล และด้านการนำไปใช้ประโยชน์ ในภาพรวมมีผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์ในระดับมากที่สุด พบว่า ด้านที่มีความพึงพอใจสูงสุด คือ ด้านการประชาสัมพันธ์ เนื่องจากจังหวัดตรังยังขาดการประชาสัมพันธ์ด้านการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ นักท่องเที่ยวเข้าถึงข้อมูลได้น้อย โดยเฉพาะนักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศ และการประชาสัมพันธ์ข้อมูลด้านการท่องเที่ยวเชิงนิเวศผ่านทางเว็บไซต์ ทำให้นักท่องเที่ยวค้นหาข้อมูลการท่องเที่ยวได้สะดวกมากขึ้น

บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป WordPress ซึ่งแสดงรายละเอียดของแต่ละสถานที่ท่องเที่ยวเชิงนิเวศในจังหวัดตรัง รวมทั้งข้อมูลการติดต่อของแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว และแสดงแผนที่ของแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว ตลอดจนสามารถนำไปสถานที่ท่องเที่ยวที่ตนได้ ซึ่งเว็บไซต์แสดงข้อมูลในระบบ 2 ภาษา คือ ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ผลการประเมินคุณภาพเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.08 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.77 ด้านที่มีความพึงพอใจสูงสุด คือ ด้านการใช้งาน และในภาพรวมระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ พบว่า โดยรวมผู้ใช้งานระบบมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.22 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.65 ด้านที่มีความพึงพอใจสูงสุด คือ ด้านการประชาสัมพันธ์

1. ข้อเสนอแนะในการนำงานวิจัยไปใช้ ควรสนับสนุนการประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรังในรูปแบบสื่อออนไลน์ให้มากขึ้น เนื่องจากปัจจุบันนี้ผู้ใช้งานส่วนใหญ่นิยมใช้สื่อออนไลน์ในการค้นหาข้อมูล เพื่อประโยชน์ในการเผยแพร่ข้อมูลการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ควรเพิ่มเติมในส่วนของระบบสนทนาออนไลน์ (Chat) ผ่านทางเว็บไซต์เพื่อตอบข้อซักถาม และอำนวยความสะดวกกับนักท่องเที่ยว และควรเพิ่มข้อมูลการท่องเที่ยวในด้านอื่นๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายสำหรับผู้ใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- รัชชัย คำแพง และคณะ. (2560). การพัฒนาเว็บไซต์แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศในจังหวัดอุบลราชธานี. ใน การประชุมวิชาการ และนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติราชธานีวิชาการ ครั้งที่ 2 “การวิจัย 4.0 เพื่อการพัฒนาประเทศสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน”. มหาวิทยาลัยราชธานี: อุบลราชธานี: 429-436.
- ธีรภพ แสงศรี. (2558). การพัฒนาเว็บไซต์เพื่อการท่องเที่ยวในชุมชนบ้านหัวทุ่ง ตำบลเชียงดาว อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่. วารสารบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ ราชชมกล้านนา. 3(1): 28-42.
- มณีนรัตน์ สุขเกษม. (2559). บทปริทัศน์หนังสือ การท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน และ การท่องเที่ยวเชิงนิเวศ: การศึกษาและมุมมองใหม่. วารสารปาริชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ. 29(2): 232-248.
- สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดตรัง. (2563). จำนวนผู้เยี่ยมชมเยือนนันทมณฑลและรายได้จากผู้เยี่ยมชมเยือนจังหวัดตรัง ปี พ.ศ. 2561. ค้นเมื่อ 30 มกราคม 2563. https://trang.mots.go.th/more_graph.php.
- องค์การบริหารส่วนจังหวัดตรัง. (2562). ยุทธศาสตร์การพัฒนาขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในเขตจังหวัด พ.ศ.2561-2564. ค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2562. [http://www.trangpao.go.th/pdf/plan\(2561-2564\).pdf](http://www.trangpao.go.th/pdf/plan(2561-2564).pdf).
- Kelo, Alina. (2017). Internal website development process. ค้นเมื่อ 15 มกราคม 2563. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/137575/Kelo_Alina.pdf?sequence=1.
- Likert, Rensis. (1967). The Method of Constructing and Attitude Scale. In Reading in Fishbein. M (Ed.), Attitude Theory and Measurement. Wiley&Son: New York. 90-95.

Vol.1 No.1 January - April 2020

- Effects of Plastic Ratio on Compressive Stress
Sirisak Wongsuwan, Kompet Inla, and Wuttichai Sittiwong
- Viscoplastic Behaviour of Polyamides
Panumet Suksrisiriwat, Jirawat Rakkan, Posek Bhanuratana, and Rewat Termkla
- Effects of brewing time period on Physical and Chemical Quality, Antioxidant activity and Sensory quality of *Gynostemma pentaphyllum* Tea
Adisak Joomwong and Wittawat Katedee
- Phytochemical contents and antioxidant activities of ethanolic and aqueous extracts from *Indigofera suffruticosa* Mill
Patwarapohn Udonsan, Phannipha Chekdaengphanao, Dareena Jaiseree, Siriphop Reungsri, Panicha Pongnarathorn, Ratchadawan Aukkanimart, and Pranee Sriraj
- The optimum conditions for fermentation of Lamduan wine using immobilized cell culture
Nootjaree Sonsaat, Supaporn RaPhakchee and Wilawan Kesorn
- The Appropriate Supplemented Feed for Nursing Larvae of Spot Spiny Eel (*Macrognathus siamensis*)
Kittima Saowakoon, Samnao Saowakoon and Kasama Danwandee
- An optimum method for testing sex ratio in aquatic animals: A case study in blue swimming crab
Thanitha Darbanandana and Rachit Penglee
- Efficacy and identification of beneficial bacteria to control *Colletotrichum capsici* caused anthracnose of chili
*Suwijak Somchinda, Dusit Athinuwat, and Wilawan Chuaboon**
- The Development of Ecotourism promotion website Trang Province
Janejira Wanglee, Chakrit Khochanna, Thammaporn Yuanjai and Thanakrit Ratanasimanont

ISSN 2730 - 163X

Faculty of Agriculture and Technology
Rajamangala University of Technology Isan