



วารสาร วิชชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ปีที่ 43 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2567

Vol. 43 No. 1 January - June 2024

วารสารวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN 3027-737X (Online)



WICHCHA
JOURNAL

NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY



วารสาร วิชชา WICHCHA JOURNAL มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

ปีที่ 43 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2567 Vol. 43 No. 1 January – June 2024

เจ้าของ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ที่ปรึกษา ดร.สมปอง รักษาธรรม รักษาการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
บรรณาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ
ผู้ช่วยบรรณาธิการ ดร.สาวิตรี ฤทธิ์ช่วย

นโยบาย

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

ขอบเขตงาน

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

วัตถุประสงค์

- เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการและงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- เพื่อเป็นสื่อส่งเสริมการสร้างความรู้และองค์ความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- เพื่อเป็นเวทีนำเสนอผลงานทางวิชาการของบุคลากรในมหาวิทยาลัยและบุคคลทั่วไป

ประเภทบทความ

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

กระบวนการพิจารณาบทความ

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

ค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ไม่เก็บค่าธรรมเนียมในการตีพิมพ์

เกี่ยวกับวารสาร

ชื่อวารสาร : วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ISSN ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ : 3027-737X
เว็บไซต์วารสาร : <https://www.tci-thaijo.org/index.php/wichcha/index>

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

จัดพิมพ์โดย : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

เลขที่ 1 หมู่ที่ 4 ตำบลท่าจั่ว อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ ประกอบด้วย

ดร.สมปอง รักษาธรรม	รักษาราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ	รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

กองบรรณาธิการภายนอกมหาวิทยาลัย ประกอบด้วย

ศาสตราจารย์ ดร.การุณ ทองประจุแก้ว	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศาสตราจารย์ ดร.สุวัจน์ ธัญรส	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
รองศาสตราจารย์ ดร.พญศักดิ์ อินตะวิชา	คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา
รองศาสตราจารย์ ดร.สรรพสิทธิ์ กล่อมเกล้า	คณะอุตสาหกรรมเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยทักษิณ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ โอทอง	มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ ดร.สมักร แก้วสุกแสง	คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุปัญญา จิตตพันธ์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริโรตม์ เกตุแก้ว	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรศักดิ์ สวัสดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สงรักษ์

ดร.ปิยรัชฎ์ ปริญญาพงษ์ เจริญทรัพย์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.)

กองบรรณาธิการภายในมหาวิทยาลัย ประกอบด้วย

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนาภรณ์ เมืองมุงคุณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ศุภพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งนภา พิมเสน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระยุทธ สุดสมบูรณ์

ดร.ศณิศา อีระขุนท์

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

คณะวิทยาการจัดการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ผู้ประเมินอิสระหรือพิชญพิจารณา (Peer review) ตรวจสอบทางวิชาการประจำฉบับ

ศาสตราจารย์ ดร.การุณ ทองประจักษ์

รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงศ์ อัครกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.ต่อลาภ คำโย

รองศาสตราจารย์ ดร.พจมาลย์ สุรนิลพงศ์

รองศาสตราจารย์ ดร.พัชราวดี ศรีบุญเรือง

รองศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี รามสูตร

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ รมแก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลลธร จูเจริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงจุฬา สุวรรณประเสริฐ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นเรศ ช้วนยุค

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประดินันท์ เอี่ยมสะอาด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญ หล่อพิทยากร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ นพรัตน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัทวัฒน์ สีขาว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ ตั้งสมบัติวิจิตร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒนรงค์ มากพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา เหลียวตระกูล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงวนศักดิ์ ธนาพรพูนพงษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ สอนสารี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนงนาฏ ไพนพงค์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุไรวรรณ วีระพันธ์

ดร.กุรอชัยะห์ ยามิรุเต็ง

ดร.ขวัญเดือน รัตนา

ดร.ธีรพร กิตติศาสตร์

ดร.นรินทร์ จำวงษ์

ดร.เนาวรัตน์ กองคำ

ดร.ลลิตา ศิริพัฒนานนท์

ดร.สมพร แม่ลิ้ม

ดร.สาวิตรี ฤทธิ์ช่วย

ผู้ตรวจทานภาษาต่างประเทศประจำฉบับ

นางสาวนฤกร อธิประเสริฐ

นางสาวธนสินี ไชยมงคล

ฝ่ายอำนวยการ ประกอบด้วย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุรีภรณ์ นวนมุสิก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ศุภพันธ์

ว่าที่ร้อยตรี ดร.จาตุรนต์ ชุติธพงษ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน/

ศูนย์ภาษาและวัฒนธรรมนานาชาติ

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน/

ศูนย์ภาษาและวัฒนธรรมนานาชาติ

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ดร.เบญจวรรณ นิลวงศ์

ผู้จัดการวารสาร

นางสาวกัญต์ฤทัย จรจรัส

รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ปก

มูฟ แอดเวอร์ไทด์ (Moof Advertise)

เลขที่ 1/13 หมู่ที่ 6 ตำบลท่าจั่ว อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

โทร. 095-7218863 / 093-6623225 e-mail: moofadvertise@gmail.com

	หน้า
บทความวิจัย	
การเจริญเติบโตของข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพีชรุ่นที่ 2 ในสภาพโรงเรือนพลาสติก ปริมาณธาตุอาหาร น้อยมุสิก สมปอง เตชะโต* และสุรรัตน์ เย็นซ้อน	1
ผลของแป้งกล้วยน้ำว่าต่อคุณลักษณะของขนมทองม้วน อดิศรา ตันตสุทธิกุล*	29
การกักเก็บคาร์บอนในป่าดิบชื้น กรณีศึกษาป่าชุมชนบ้านป่าพวง อำเภอดงระดง จังหวัดพัทลุง อานุช ศิริรัฐนิคม และสุภาวดี ศิริรัฐนิคม*	41
ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้ ขวัญตา พิมพ์พันธ์ นิพนธ์ พิสุทธิไพศาล และอภิษฎา สวัสดิ์*	54
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและความเป็นพิษระดับเซลล์ในไธน้ำเค็มและลูกน้ำยุงลายของสาร สกัดหยาบทุเรียนเทศ (<i>Annona muricata</i> L.) ณณณณณ ฟาน เบม* และอาอีเสาะ สาและ	66
การประยุกต์ใช้เศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในสูตรอาหารต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบ ทางเคมีของเนื้อปลากระพงขาว (<i>Lates calcarifer</i> Bloch, 1790) ที่เลี้ยงในน้ำจืด แจ่มจันทร์ เพชรศิริ* และทวีเดช ไชยนาพงษ์	80
การพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสด กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตไม้ผลเพื่อส่งออกแปรรูปบ้านคลองชล จังหวัดสระแก้ว ภาสุรี ฤทธิเลิศ* อัมมณา สุขลิ้ม และวิศวรรธน์ พัทธวิชัย	93
การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งโดยเทคนิคอินดักทีฟฟลูออเรสเซนซ์ ออปติคอลอิมมูโนสเปนโทเมตรี พุทธิธิดา ดวงกมล และมาริสา อินทวงศ์*	108
ผลของปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพจากฟางข้าวต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดกรีนโอ๊ค เยาวมาลย์ เขียวสอาด* สุรารัตน์ แก้วจำนง และสมรภัช รอดเจริญ	122
บทความวิชาการ	
การผลิตมะพร้าวหอมราชบุรีตามมาตรฐานสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ไทย ชฎาพร โพธิ์สุวรรณ* นภธีรา จวอรรถ และรัตติยา งามระบำ	13
คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ	133

การเจริญเติบโตของข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชรุ่นที่ 2 ในสภาพโรงเรือนพลาสติก

Growth of Sang Yod Phattalung Rice Derived from Plant Tissue Culture Regenerant 2 in Plastic House Condition

ปรมาภรณ์ น้อยมุสิก¹ สมปอง เตชะโต^{1*} และสุรรัตน์ เย็นซ้อน¹
Paramaporn Noimusik¹, Sompong Te-chato^{1*} and Sureerat Yenchon¹

บทคัดย่อ

ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีเมล็ดสีแดงเข้มและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูง จึงเป็นอาหารสุขภาพที่ต้องการสำหรับคนดูแลสุขภาพ ส่งผลให้มีความต้องการผลผลิตสูง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและการสืบพันธุ์หลังจากย้ายลงปลูกในโรงเรือนพลาสติกที่คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยนำเมล็ดข้าวดั้งเดิม และเมล็ดข้าวรุ่นแรกจากการให้สารควบคุมการเจริญเติบโต (somaclone 1 regenerant 1 seed: SC1R1 seed) มาเพาะเลี้ยงปลายยอดในอาหารเหลวสูตร oil palm culture medium (OPCM) ที่ไม่เติม และเติม 6-benzyladenine (BA) เข้มข้น 0.0 0.5 1.0 และ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกับ 1-naphthaleneacetic acid (NAA) เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร คัดเลือกต้นข้าวที่แข็งแรง (SC1R2 plant) อนุบาลออกปลูกในโรงเรือนพลาสติก หลังออกปลูกเป็นเวลา 80 และ 140 วัน บันทึกผลการเติบโตทางลำต้นและด้านการสืบพันธุ์จากแต่ละชุดการทดลองเปรียบเทียบกับกันโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) จากการศึกษาพบว่า การเติบโตทางลำต้นของต้นข้าวที่เพาะเลี้ยงจากอาหารเหลวสูตร OPCM เติม BA ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (SCV1R2+0.5BA) ให้ความยาวใบสูงสุด 68.50 เซนติเมตร ความกว้างใบสูงสุด 1.08 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสูงสุด 0.93 เซนติเมตร และความสูงต้นสูงสุด 186.50 เซนติเมตร ส่วนการเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ พบในทำนองเดียวกันว่าต้นข้าว SC1R2+0.5BA ออกดอกแรกเร็วสุด ใช้เวลา 97 วัน ออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลา 99 วัน หลังอนุบาลลงดินปลูก จำนวนช่อดอกต่อต้นสูงสุด 40 ช่อดอก น้ำหนักข้าวกล้อง 100 เมล็ดสูงสุด 1.566 กรัม จากผลการศึกษาสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงการเติบโตทางลำต้นดีขึ้น ส่งผลให้การเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์และผลผลิตสูงขึ้นเพื่อให้ประสบความสำเร็จสูงต่อไป

คำสำคัญ: ข้าวสังข์หยดพัทลุง สารควบคุมการเจริญเติบโต โรงเรือนพลาสติก

¹ ภาควิชาวนวัตกรรมเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* Corresponding author e-mail: stechato@yahoo.com

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i1.256535>

Received: 6 January 2023, Revised: 31 March 2023, Accepted: 15 May 2023

Abstract

Sang Yod Phatthalung rice has dark-red color seeds and a high antioxidant activity. The current desire of healthy food leads to the high demand of healthier rice product. Thus, investigation of PGRs on vegetative and reproductive growth after transferring to plastic house conditions at Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai campus was conducted. The original and first somaclonal seeds were obtained from fist regeneration (SC1R1 seeds) in different plant growth regulators (PGRs) containing liquid oil palm culture medium (OPCM) which were sown *in vitro*. Shoot tips were excised and cultured in liquid OPCM without and with different concentrations of 6-benzyladenine (BA) (0, 0.5, 1.0 and 1.5 milligram per liter (mg/L) alone or in combination with 0.5 mg/L 1-naphthaleneacetic acid (NAA). Complete plantlets (SC1R2 plants) were acclimatized and transferred to plastic house conditions. After acclimatizing for 80 and 140 days, vegetative and reproductive growth characteristics were recorded and statistically compared among the above treatments (different PGRs) using completely randomized design (CRD). The results revealed that plants obtained from OPCM medium supplemented with 0.5 mg/L BA containing the medium (SCV1R2+0.5BA) gave the highest vegetative growth of leaf length at 68.50 centimeter (cm), leaf width at 1.08 cm, stem diameter at 0.93 cm and plant height at 186.50 cm. For reproductive growth, the similar result was obtained. BA at concentration of 0.5 mg/L containing the medium (SC1R2+0.5BA) provided the shortest time for 1st flowering at 97 days, 50% flowering at 99 days, the highest number of panicles per plant at 40 panicles and 100 grain weight at 1.566 gram (g). From the results, the acquired knowledge can be applied to improve vegetative growth, reproductive growth, and higher productivity for further success.

Keywords: Sang Yod Phatthalung rice, Plant growth regulator, Plastic house condition

บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) อยู่ในวงศ์ Poaceae เป็นอาหารหลักและเป็นหนึ่งในพืชปลูกที่สำคัญของโลก (Yinxia and Te-chato, 2013) มีการคาดการณ์ว่าความต้องการข้าวทั่วโลกจะเพิ่มขึ้น 26 เปอร์เซ็นต์ ในอีก 25 ปีข้างหน้า และเพิ่มขึ้นเกือบ 555 ล้านตันในปี พ.ศ. 2578 (Song, 2003) ข้าวสังข์หยดพัทลุงเป็นข้าวที่ปลูกในจังหวัดพัทลุงมากกว่า 100 ปี ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์แรกในประเทศไทยที่ได้รับการแต่งตั้งให้เป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (geographical indications: GI) ลักษณะพิเศษของข้าวชนิดนี้คือข้าวกล้องมีสีแดงเข้มซึ่งมีปริมาณอะไมโลส (amylose) 14-15 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 8.60 กรัม กรดแกลลิก (gallic acid) 82.01 มิลลิกรัม และ cyanidin-3-glucoside ซึ่งให้สีกลุ่มแอนโทไซยานิน (anthocyanin) 15.14 มิลลิกรัม (Yodmanee *et al.*, 2011) ในปริมาณที่มากกว่า

ในข้าวขาว รงควัตถุของข้าวสังข์หยดพัทลุงมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงซึ่งจะช่วยลดการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด เบาหวานและมะเร็ง (Ho *et al.* 2018) อย่างไรก็ตามข้าวสังข์หยดพัทลุงให้ผลผลิตต่ำ 350 กิโลกรัมต่อไร่ (Rice Department, 2010) ไม่เพียงพอต่อการเพิ่มขึ้นของประชากรและความต้องการอาหารเพื่อสุขภาพในปัจจุบันที่มีความต้องการผลิตภัณฑ์ข้าวเพื่อสุขภาพสูงขึ้น หากมีการผลิตข้าวสังข์หยดพัทลุงออกสู่ตลาดจะเพิ่มผลกำไรให้กับเกษตรกรและเป็นการผลิตข้าวที่มีประโยชน์ทางโภชนาการต่อผู้บริโภค ดังนั้นในอนาคตจึงต้องปรับปรุงข้าวสังข์หยดพัทลุงเพื่อเพิ่มผลผลิตในเวลาอันสั้นด้วยวิธีการทางเทคโนโลยีชีวภาพ

การใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในหลอดทดลองเป็นทางเลือกหนึ่งในการขยายพันธุ์พืชที่ไม่เพียงแต่เพิ่มปริมาณให้ได้จำนวนมากในระยะเวลาอันสั้น (Kumar and Reddy, 2011) แต่ยังสามารถปรับปรุงลักษณะบางประการของพืชได้เช่นเดียวกัน เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นวิธีที่ง่ายในการชักนำการกลายพันธุ์โดยใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหรือสารก่อกลายพันธุ์บางชนิดโดยสารควบคุมการเจริญเติบโต เช่น ไซโตไคนิน (cytokinin) จะไปยับยั้งการทำงานของยีน *OsCKX2* (Yeh *et al.* 2015) พืชต้นใหม่ที่ได้จากเทคนิคนี้สามารถแสดงความแตกต่างของจีโนไทป์ (genotype) และฟีโนไทป์ (phenotype) ได้ (Orbovic *et al.*, 2008) ความแปรปรวนทางพันธุกรรมที่เกิดจากเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสามารถสร้างพันธุ์กรรมใหม่ได้ ซึ่งจะช่วยให้ผู้เพาะพันธุ์พืชสามารถปรับปรุงลักษณะพันธุ์ได้ตามต้องการ (Leva *et al.*, 2012) ผ่านการคัดเลือกสายพันธุ์ใหม่ซึ่งอาจปรับปรุงทั้งคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ผลผลิต และความต้านทานต่อโรค (Karp, 1995; Patnaik *et al.*, 1999; Mehta and Angra, 2000; Predieri, 2001; Emaldi *et al.*, 2004; Joshi and Rao, 2009) ซึ่งความแปรปรวนดังกล่าวเป็นผลมาจากการเติมชนิดและความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ต่างกันลงในอาหารเพาะเลี้ยงเพื่อชักนำพืชต้นใหม่ (Leshem *et al.*, 1994; Skirvin *et al.*, 1994; Ananiev *et al.*, 2004; Sardoei *et al.*, 2014)

ไซโตไคนินเป็นกลุ่มของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ใช้สำหรับกระตุ้นการแบ่งเซลล์และการเจริญเติบโตของตาและยอด โดย 6-benzyladenine (BA) ซึ่งอยู่ในกลุ่มไซโตไคนินเมื่อเติมลงไปในการเพาะเลี้ยงเหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นยอดใหม่ในข้าว (Chuenboonngarm *et al.*, 2001) การเติม BA ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของ *Ficus benjamina* *Schefflera arboricola* และ *Dizigotheeca elegantissima* สูงขึ้น (Sardoei *et al.*, 2014) และช่วยลดความเสี่ยงของความเสียหายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคลอโรพลาสต์ เมื่อพืชได้รับการกระตุ้นจาก BA เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) คตาเลส (catalase) แอสคอร์เบท (ascorbate) และเพอร์ออกซิเดสจะเพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยยับยั้งการสะสมของมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde) และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ส่งผลให้พืชไม่เกิดสภาวะเครียดและเพิ่มการเจริญเติบโตของยอด Wang *et al.* (2020) รายงานว่าการใช้ BA ช่วยเพิ่มผลผลิตช่อดอกของข้าวพันธุ์ Liangyou 287 ได้สูงสุด 26.40 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้การเติมไซโตไคนินร่วมกับออกซิน (auxins) ช่วยส่งเสริมการพัฒนาเป็นพืชต้นใหม่ในข้าว (Rueb *et al.*, 1994; Ho *et al.*, 2018; Noimusik *et al.*, 2018) ความสำเร็จจากเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เหมาะสมสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้การเติบโตทางลำต้นของข้าวดีขึ้นส่งผลต่อการเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์และ

ผลผลิตที่สูงขึ้น นอกจากนี้สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้มาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อให้ประสบความสำเร็จต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเติบโตทางลำต้นและการสืบพันธุ์

นำเมล็ดข้าวสังข์หยดพัสดุที่ทำการเพาะเลี้ยงครั้งที่ 1 รุ่นที่ 1 (somaclone 1 regeneration 1: SC1R1 seed) ที่ได้จากการเพิ่มจำนวนยอดในอาหารเหลวสูตร oil palm culture medium (OPCM) ไม่เติม หรือเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน (BA เข้มข้น 0.5 และ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ BA เข้มข้น 1.0 และ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ 1-naphthaleneacetic acid (NAA) เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) มาใช้ในการทดลองโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม

1.1 กลุ่มที่ 1 เมล็ดจาก SC1R1

นำเมล็ดข้าวเปลือก SC1R1 มาแกะเปลือกหุ้มเมล็ดออก เปิดน้ำไหลผ่านเป็นเวลา 20 นาที ฟอกฆ่าเชื้อที่ผิวด้วยแอลกอฮอล์เข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 นาที แช่เมล็ดในคลอริกซ์ เข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ และเติมทวิน (tween) 20 ปริมาตร 0.05-0.10 มิลลิลิตรต่อคลอริกซ์ 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 6 นาที ล้างเมล็ดด้วยน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง ในสภาพปลอดเชื้อ หลังจากนั้นนำเมล็ดข้าวกลิ้งปลอดเชื้อมาเลี้ยงบนอาหารสูตรอาหาร OPCM เพื่อผลิตยอดรวมและรากที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ภายใต้การให้แสงฟลูออเรสเซนต์ 10 ชั่วโมงต่อวัน วัดความเข้มแสงด้วยเครื่อง PAR meter ให้แสงความเข้ม 20 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ต้นข้าวที่ได้จากกลุ่มนี้เรียกว่า SC1R2 ซึ่งประกอบด้วย 5 กลุ่มย่อย

- 1) SC1R2 จากอาหารสูตร OPCM ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต (SC1R2-PGR-free)
- 2) SC1R2 จากอาหารสูตร OPCM เติม BA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (SC1R2+0.5BA)
- 3) SC1R2 จากอาหารสูตร OPCM เติม BA เข้มข้น 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (SC1R2+1.5BA)
- 4) SC1R2 จากอาหารสูตร OPCM เติม BA เข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (SC1R2+1.0BA0.5NAA)
- 5) SC1R2 จากอาหารสูตร OPCM เติม BA เข้มข้น 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (SC1R2+1.5BA0.5NAA)

นำต้นกล้าที่ได้มาล้างทำความสะอาดและแช่ในน้ำผสมเบตาดีน และอนุบาลออกปลูกในโรงเรือนพลาสติก ณ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ภายใต้แสงธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส โดยปลูกในถุงพลาสติกที่มีดินผสมและเวอร์มิคูไลท์ (vermiculite) อัตราส่วน 2:1 เพื่อให้ต้นกล้าปรับตัวก่อนที่จะลงปลูกในดินเหนียวที่มีน้ำขัง และครอบถุงเพื่อรักษาความชื้น เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นย้ายต้นกล้าไปปลูกในกระถางพลาสติกขนาด 12 นิ้ว ที่มีดินเหนียว เติมน้ำจนเต็ม หลังจากอนุบาลออกปลูกเป็นเวลา 20 วัน

ในระยะแตกกอ และ 50 วัน ในระยะตั้งท้อง ให้ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 0.1 กรัมต่อกระถาง และหลังจากออกปลูกเป็นเวลา 75 วัน ในระยะออกดอก ให้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 0.1 กรัมต่อกระถาง เติมน้ำใหม่ทุก ๆ 2 วัน ใช้เฟนไพโรกซิเมต (fenpyroximate) อิมิดาโคลพริด (imidacloprid) และเฮกซะโคนาโซล (hexaconazole) 10 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 20 ลิตร (0.05 เปอร์เซ็นต์) กำจัดไรแดง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และโรคใบจุดสีน้ำตาล เดือนละครั้ง

1.2 กลุ่มที่ 2 เมล็ดดั้งเดิม (original seed: OS)

เมล็ดดั้งเดิม หมายถึง ข้าวสังข์หยดพัสดุได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยข้าวพัสดุใช้เป็นชุดควบคุมหรือชุดเปรียบเทียบ สำหรับขั้นตอนในการเพาะเลี้ยงเพื่อเตรียมต้นกล้าปลูกเหมือนกับกลุ่มที่ 1

หลังจากออกปลูกในโรงเรือนพลาสติกเป็นเวลา 80 วัน บันทึกการเติบโตทางลำต้น ได้แก่ ความยาวใบ ความกว้างใบ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความสูงต้น สำหรับการเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ บันทึกวันออกดอกแรก วันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ จำนวนช่อดอกต่อต้น น้ำหนักข้าวกล้อง 100 เมล็ด หลังออกปลูกในช่วง 80 วัน จนถึง 140 วัน เปรียบเทียบกันระหว่างต้นข้าวที่ได้จากกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรม R เวอร์ชัน 2.14.0 แต่ละสิ่งทดลองทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 1 ต้นต่อกระถาง

ผลการวิจัย

1. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเติบโตทางลำต้นและการสืบพันธุ์

ต้นข้าวที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน มีการเจริญเติบโตทางลำต้นที่แตกต่างกัน โดยต้นข้าวจากการเพาะเลี้ยงในอาหาร OPCM เติม BA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (SC1R2+.5BA) ให้ความยาวใบสูงสุด 68.50 เซนติเมตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) แต่ให้ความกว้างใบสูงสุด 1.08 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสูงสุด 0.93 เซนติเมตร และความสูงต้นสูงสุด 186.50 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1 และภาพที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลของ BA อย่างเดียวหรือร่วมกับ NAA ในอาหารเหลวสูตร OPCM ต่อระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น หลังจากออกปลูกในโรงเรือนพลาสติกเป็นเวลา 80 วัน

สารควบคุม การเจริญเติบโต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความยาวใบ (เซนติเมตร)	ความกว้างใบ (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร)	ความสูงต้น (เซนติเมตร)
PGR-free	49.13 ^{ab}	1.03	0.78	182.25
0.5BA	68.50 ^a	1.08	0.93	186.50
1.5BA	48.75 ^{ab}	1.03	0.78	175.50
1.0BA0.5NAA	49.25 ^{ab}	1.05	0.85	182.75
1.5BA0.5NAA	37.25 ^b	0.95	0.63	167.00
OS	47.00 ^{ab}	1.00	0.65	173.00

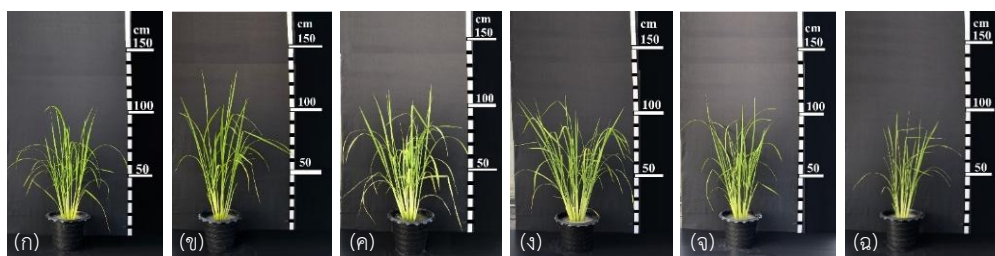
ตารางที่ 1 (ต่อ)

สารควบคุม การเจริญเติบโต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความยาวใบ (เซนติเมตร)	ความกว้างใบ (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร)	ความสูงต้น (เซนติเมตร)
F-test	**	ns	ns	ns
C.V. (%)	23.97	8.08	18.70	8.79

หมายเหตุ: - ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

- ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT



ภาพที่ 1 ลักษณะของต้นที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ต่างกัน ได้แก่ SCV1R2-PGR-free (ก) SCV1R2+0.5BA (ข) SCV1R2+1.0BA (ค) SCV1R2+1.0BA0.5NAA (ง) SCV1R2+1.5BA0.5NAA (จ) และ OS (ฉ) หลังจากออกปลูกในโรงเรือนพลาสติกเป็นเวลา 80 วัน

สำหรับระยะการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ พบว่าต้นข้าวจาก BA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอาหาร OPCM (SCV1R2+0.5BA) ใช้เวลาออกดอกแรกและออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ เร็วสุด 97.00 และ 99 วัน ตามลำดับ น้ำหนักข้าวกล้อง 100 เมล็ดสูงสุด 1.566 กรัม แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) กับต้นข้าวในชุดเปรียบเทียบและต้นข้าวที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามอาหารสูตรนี้ให้จำนวนช่อดอกต่อต้นสูงสุด 40 ช่อดอก ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 2 และ 3)

ตารางที่ 2 ผลของ BA อย่างเดียวหรือร่วมกับ NAA ในอาหารเหลวสูตร OPCM ต่อระยะการเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ หลังจากออกปลูกในโรงเรือนพลาสติกเป็นเวลา 140 วัน

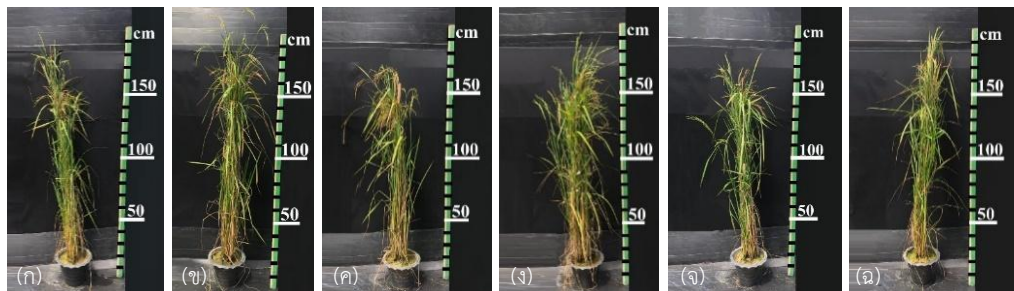
สารควบคุม การเจริญเติบโต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	วันออก ดอกแรก (วัน)	วันออก ดอก 50 เปอร์เซ็นต์ (วัน)	จำนวน ช่อดอกต่อต้น (ช่อดอก)	น้ำหนัก ข้าวกล้อง 100 เมล็ด (กรัม)
PGR-free	109.25 ^c	114.00	35.50	1.408 ^b
0.5BA	97.00 ^d	99.00	40.00	1.566 ^a
1.5BA	111.50 ^{bc}	114.00	35.40	1.397 ^b
1.0BA0.5NAA	108.00 ^c	111.00	36.25	1.445 ^b
1.5BA0.5NAA	124.00 ^a	128.00	31.75	1.301 ^c
OS	118.00 ^{ab}	119.00	32.00	1.396 ^b
F-test	**	*	ns	**
CV (%)	2.98	*	13.34	1.708

หมายเหตุ: - ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

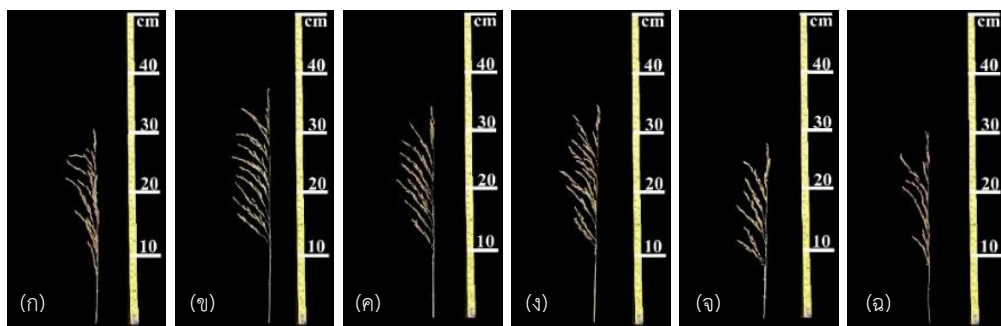
- * ไม่ได้วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ เนื่องจากเป็นค่าวันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แต่ละชุดการทดลองมีจำนวนข้อมูลเพียง 1 ค่า เท่านั้น

- ** แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.01$)

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT



ภาพที่ 2 ลักษณะของต้นข้าวที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ต่างกัน ได้แก่ SCV1R2-PGR-free (ก) SCV1R2+0.5BA (ข) SCV1 R2+ 1.5 BA (ค) SCV1 R2+ 1.0BA0.5 NAA (ง) SCV1R2+1.5BA0.5NAA (จ) และ OS (ฉ) หลังจากออกปลูกในโรงเรือนพลาสติกเป็นเวลา 140 วัน



ภาพที่ 3 ลักษณะของช่อดอกจากต้นที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ได้แก่ SCV1R2-PGR-free (ก) SCV1R2+0.5BA (ข) SCV1R2+1.5BA (ค) SCV1R2+1.0BA0.5NAA (ง) SCV1R2+1.5BA0.5NAA (จ) และ OS (ฉ) หลังจากออกปลูกในโรงเรือนพลาสติกเป็นเวลา 140 วัน

การอภิปรายผลการวิจัย

ความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันมีผลต่อการเติบโตทางลำต้นและการสืบพันธุ์ของข้าวสังข์หยดพัทลุง จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าต้นข้าวที่เจริญในสูตรอาหารเต็ม BA อย่างเดียว ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลดีกว่าการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตอื่น ๆ เนื่องจากการเติม BA อย่างเดียว ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดต่อระยะการเติบโตทางลำต้นและการสืบพันธุ์ เนื่องจาก BA เป็นฮอร์โมนในกลุ่มไซโตไคนิน มีหน้าที่สำคัญในการแบ่งเซลล์และส่งเสริมการสร้างยอดและตาข้าง (Chuenboonngarm *et al.*, 2001) พัฒนาโครงสร้างของคลอโรพลาสต์และกระตุ้นที่เกี่ยวข้องในการเจริญเติบโตของพืชในสภาพปลอดเชื้อ (Dobranszki and Mendler-Drienyovszki, 2014) ผลการศึกษานี้พบว่าการใช้ BA ช่วยเพิ่มความยาวใบ ความกว้างใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความสูงต้น สอดคล้องกับผลการให้ BA ในองุ่น (*Vitis vinifera* L.) มะเดื่อฝรั่ง (*Ficus carica*) (Mustafa and Rania, 2012) ข้าวสังข์หยดพัทลุง (*Oryza sativa* L.) (Noimusik *et al.*, 2018) ว่านหางจระเข้ (*Aloe vera*) (Hazrati *et al.*, 2011) สตรอเบอรี่ (*Fragaria x ananassa*) (Marandi *et al.*, 2011) และ ข้าวโพด (*Zea mays* L.) (Amin *et al.*, 2007)

สำหรับผลการเติบโตทางการสืบพันธุ์พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Gupta *et al.* (2003) และ Zheng *et al.* (2016) ในข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) ที่พบว่าการใช้ BA ช่วยเพิ่มน้ำหนักข้าวกล้อง การฉีดพ่นฮอร์โมนไซโตไคนินใน *Hordeum vulgare* L. ช่วยเพิ่มจำนวนเมล็ดต่อช่อดอกและน้ำหนักเมล็ด (Hosseini *et al.*, 2008) ซึ่ง Gao *et al.* (2017) รายงานใน *Zea mays* L. ว่าการเติม BA ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์แสงและผลผลิตได้อย่างรวดเร็ว และ Cioc *et al.* (2019) รายงานว่าการเติม BA ในอาหารเพาะเลี้ยง *Gerbera jamesonii* ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเพิ่มขึ้น ยับยั้งการเสื่อมทางอายุของใบซึ่งอาจเป็นตัวขัดขวางการสลายของคลอโรฟิลล์ได้ ช่วยควบคุมสัณฐานวิทยาของพืชและเร่งวัฏฏในการสังเคราะห์แสง แต่อย่างไรก็ตามการใช้ BA ความเข้มข้นสูงอาจทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดลง ดังนั้นการเติม BA ลงในอาหารมีส่วนช่วยเพิ่มการ

สังเคราะห์แสงให้พืช ส่งผลให้ต้นข้าวเจริญเติบโตได้ดีทั้งในระยะเวลาเจริญเติบโตทางลำต้นและการสืบพันธุ์

สรุปผลการวิจัย

ระยะเวลาเจริญเติบโตทางลำต้นและการสืบพันธุ์ของข้าวสังข์หยดพัทลุงให้ผลแตกต่างกันเมื่อเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ต่างกันลงในอาหารเพาะเลี้ยง ต้นข้าวที่มาจาก การเติม BA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและการสืบพันธุ์ที่สุด ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้จะนำไปประยุกต์ใช้เพื่อให้การเติบโตทางลำต้นและด้านการสืบพันธุ์ของข้าวสังข์หยดพัทลุงดีขึ้นและให้ผลผลิตสูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยส่วนหนึ่งจากสถานวิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ ระยะที่ 3 สาขาวิชานวัตกรรมและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง

เอกสารอ้างอิง

- Amin, A.A., Rashad, E.S.M., Hassanein, M.S. and Zaki, N.M. (2007). Response of some white maize hybrids to foliar spray with benzyl adenine. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3(6), 648-656.
- Ananiev, E.D., Ananieva, K., Todorov, I., Popov, M. and Bonchev, G. (2004). Effect of methyl ester of jasmonic acid, abscisic acid and benzyladenine on chlorophyll synthesis in excised cotyledons of *Cucurbita pepo* (Zucchini). *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 30(1), 51-63.
- Chuenboonngarm, N., Charoonsotea, S. and Bhamarapravatia, S. (2001). Effect of BA and 2iP on shoot proliferation and somaclonal variation of *Gardenia jasminoides* Ellis *in vitro* culture. *ScienceAsia*, 27(1), 137-141.
- Cioc, M., Kalisz, A., Zupnik, M. and Pawlowska, B. (2019). Different LED light intensities and 6-benzyladenine concentrations in relation to shoot development, leaf architecture, and photosynthetic pigments of *Gerbera jamesonii* Bolus *in vitro*. *Agronomy*, 9(7), doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy9070358>.
- Dobranszki, J. and Mendler-Drienyovszki, N. (2014). Cytokinin-induced changes in the chlorophyll content and fluorescence of *in vitro* apple leaves. *Journal of Plant Physiology*, 171(16), 1472-1478, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.015>.
- Emaldi, U., Trujillo, I. and Gracia, E.D. (2004). Comparison of characteristics of bananas (*Musa* sp.) from the somaclone CIEN BTA-03 and its parental clone Williams. *Fruit*, 59(4), 257-263, doi: <https://doi.org/10.1051/fruits:2004024>.

- Gao, Z., Liang, X.G., Zhang, L., Lin, S., Zhao, X., Zhou, L.L., Shen, S. and Zhou, S.L. (2017). Spraying exogenous 6-benzyladenine and brassinolide at tasseling increases maize yield by enhancing source and sink capacity. *Field Crops Research*, 211, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.027>.
- Gupta, N.K., Gupta, S., Shukla, D.S., Deshmukh, P.S. (2003). Differential responses of BA injection in maize temperate on yield and specific grain growth in contrasting genotypes of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(3), 201-205, doi: <https://doi.org/10.1023/A:1025023822806>.
- Hazrati, S., Sarvestani, Z.T. and Babaei, A. (2011). Enhancing yield and aloin concentration of *Aloe vera* plants by simultaneous application of N and benzyladenine. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(10), 1834-1841, doi: <https://doi.org/10.5897/JMPR11.499>.
- Ho, T.L., Te-Chato, S. and Yenchon, S. (2018). Callus induction and plantlet regeneration systems in Indica rice (*Oryza sativa* L.) cultivar Sangyod. *Walailak Journal of Science and Technology*, 15(10), 753-763, doi: <https://doi.org/10.48048/wjst.2018.3772>.
- Hosseini, S.M., Poustini, K. and Ahmadi, A. (2008). Effects of foliar application of BAP on source and sink strength in four six-rowed barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Journal of Plant Growth Regulation*, 54(3), 231-239, doi: <https://doi.org/10.1007/s10725-007-9245-4>.
- Joshi, R.K. and Rao, G.J.N. (2009). Somaclonal variation in submergence tolerant rice cultivars and induced diversity evaluation by PCR markers. *International Journal of Genetics and Molecular Biology*, 1(5), 80-88.
- Karp, A. (1995). Somaclonal variation as a tool for crop improvement. *Euphytica*, 85, 295-302, doi: <https://doi.org/10.1007/BF00023959>.
- Kumar, N. and Reddy, M.P. (2011). *In vitro* plant propagation: A review. *Journal of Forest Science*, 27(2), 61-72.
- Leshem, B., Ronen, R., Soudry, E., Lurie, S. and Gepstein, S. (1994). Cytokinin at a large range of concentrations determines rates of polypeptide metabolism in cultured melon cotyledons. *Journal of Plant Physiology*, 143(3), 330-336, doi: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81640-8](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81640-8).
- Leva, A.R., Petruccelli, R. and Rinaldi, L.M.R. (2012). Somaclonal variation in tissue culture: A case study with olive. *Recent Advances in Plant In Vitro Culture*, 1(1), 123-150, doi: <http://dx.doi.org/10.5772/50367>.

- Marandi, J., Naseri, R., Mohseniazar, L., Hajitagiloo, M. and Marhamati, M.R. (2011). Investigation on interaction effect of benzyladenine and chitosan on *in vitro* proliferation of strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. Selva). *Agricultural Biotechnology*, 10(1), 27-34.
- Mehta, Y.R. and Angra, D.C. (2000). Somaclonal variation for disease resistance in wheat and production of dihaploids through wheat 9 maize hybrids. *Genetics and Molecular Biology*, 23(3), 617-622, doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-47572000000300021>.
- Mustafa, I.S. and Taha, R.A. (2012). Influence of plant growth regulators and subculturing on *in vitro* multiplication of some fig (*Ficus carica*) cultivars. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(8), 4038-4044.
- Noimusik, P., Te-chato, S. and Yenchon, S. (2018). Effect of plant growth regulators on shoot multiplication and root induction from culturing shoot tips of Sang Yod Muang Phatthalung rice. In *the 11th IMT-GT UNINET Conference 2018- Bioscience for A Sustainable Future* (pp. 130-136). Penang: Malaysia.
- Orbovic, V., Calovic, M., Vioria, Z., Nielsen, B., Gmitter, F.G., Castle, W.S. and Grosser, J.W. (2008). Analysis of genetic variability in various tissue culture-derived lemon plant populations using RAPD and flow cytometry. *Euphytica*, 161(3), 329-335, doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9559-3>.
- Patnaik, J., Sahoo, S. and Debata, B.K. (1999). Somaclonal variation in cell suspension culture-derived regenerants of *Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats var. motia. *Plant Breeding*, 118(4), 351-354, doi: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.1999.00383.x>.
- Predieri, S. (2001). Mutation induction and tissue culture in improving fruits. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 64(2), 185-210, doi: <https://doi.org/10.1023/A:1010623203554>.
- Rice Department. (2010). *Sang Yod Phatthalung rice, first cultivar obtained geographical indications (GI) in Thailand*. Bangkok: Rice Product Development Division, Rice Department.
- Rueb, S., Leneman, M., Schilperoort, R.A. and Hensgens, L.A.M. (1994). Efficient lant regeneration through somatic embryogenesis from callus induced on mature rice embryos (*Oryza sativa* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 36(2), 259-264, doi: <https://doi.org/10.1007/BF00037729>.
- Sardoei, A.S., Rahbarian P. and Shahdadneghad, M. (2014). Evaluation chlorophyll contents assessment on three indoor ornamental plants with plant growth regulators. *European Journal of Experimental Biology*, 4(2), 306-310.

- Skirvin, R.M., McPheeters, K.D., Norton, M. and Veilleux, R. (1994). Sources and frequency of somaclonal variation. *Horticultural Science*, 29(11), 1232-1237, doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.29.11.1232>.
- Song, J. (2003). Rice science: Innovations and impact for livelihood. In *proceedings of the International Rice Research Conference* (pp. 5-7). Beijing: International Rice Research Institute, Chinese Academy of Engineering, and Chinese Academy of Agricultural Sciences.
- Wang, Y., Lu, J.W., Ren, T., Li, P.F., Liu, Q.X. and Li, X.K. (2020). Effects of exogenous cytokinin on photosynthesis, senescence and yield performance of inferior rice tillers grown under different nitrogen regimes. *Photosynthetica*, 58(1), 137-145, doi: <https://doi.org/10.32615/ps.2019.170>.
- Yeh, S.Y., Chen, H.W., Ng, C.Y., Lin, C.Y., Tseng, T.H., Li, W.H. and Ku, M.S.B. (2015). Down-regulation of cytokinin oxidase 2 expression increases tiller number and improves rice yield. *Rice*, 8(36), 2-13, doi: <https://doi.org/10.1186/s12284-015-0070-5>.
- Yinxia, Z. and Te-chato, S. (2013). Improved plantlet regeneration systems in Indica rice (*Oryza sativa* L.) landrace Hom Kra Dang Ngah. *Journal of Agricultural Technology*, 9(6), 1641-1654.
- Yodmanee, S., Karrila, T.T. and Pakdeecharuan, P. (2011). Physical, chemical and antioxidant properties of pigmented rice grown in Southern Thailand. *International Food Research Journal*, 18(3), 901-906.
- Zheng, C.F., Zhu, Y.J., Wang, C.Y. and Guo, T.C. (2016). Wheat grain yield increase in response to pre-anthesis foliar application of 6-benzylaminopurine is dependent on floret development. *Plos One*, 11(6), doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156627>.

การผลิตมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีตามมาตรฐานสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ไทย

Production of Ratchaburi Aromatic Coconuts Based on Thai Geographical Indications

ชฎาพร โพค์ยสุวรรณ^{1*} นภธีรา จวอรรณ¹ และรัตติยา งามระบำ²
Chadaporn Pokaisawan^{1*} Nopthira Jawaut¹ and Rattiya Ngarmrbum²

สาระสังเขป

มะพร้าวน้ำหอมราชบุรีเป็นมะพร้าวน้ำหอมพันธุ์เตี้ยสีเขียว เรียกว่า หมูสีเขียว มีเปลือกสีเขียวสด ก้นจีบ ตรงกลางผลป่องกลม เนื้อหนาสองชั้น น้ำมะพร้าวมีรสหวาน และกลิ่นหอมคล้ายใบเตย ซึ่งปลูกครอบคลุมพื้นที่ 7 อำเภอ ได้แก่ อำเภอดำเนินสะดวก อำเภอวัดเพลง อำเภอบ้านโป่ง อำเภอเมืองราชบุรี อำเภอบางแพ อำเภอปากท่อ และอำเภอโพธาราม ของจังหวัดราชบุรี และเพื่อให้การผลิตมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและมีอัตลักษณ์เฉพาะพื้นที่ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงจัดทำระบบควบคุมคุณภาพและมาตรฐานสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (geographical indications: GI) ของมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีเพื่อใช้สำหรับการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพของสินค้า

ระบบควบคุมคุณภาพและมาตรฐานสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ของมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีประกอบด้วย กระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ ได้แก่ 1) การเตรียมพื้นที่ปลูก 2) วิธีการปลูก 3) วิธีการคัดเลือกพันธุ์มะพร้าวน้ำหอมราชบุรีพันธุ์แท้ 4) สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ประกอบด้วย น้ำฝน และสภาพภูมิอากาศ 5) การใส่ปุ๋ย 6) การเพิ่มปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยพืชสด 7) การกำจัดวัชพืช และ 8) การเก็บเกี่ยวผลผลิต

คำสำคัญ: มะพร้าวน้ำหอมราชบุรี จังหวัดราชบุรี สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ ระบบควบคุมคุณภาพมาตรฐานสินค้า

¹ สาขาวิชาภาษาอังกฤษธุรกิจสมัยใหม่ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

² กลุ่มส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร สำนักงานเกษตรจังหวัดราชบุรี

* Corresponding author e-mail: chporn08@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichajinstru.2024.v43i1.256166>

Received: 7 September 2022, Revised: 18 March 2023, Accepted: 18 May 2023

Summary

Ratchaburi aromatic coconuts refers to aromatic coconuts from a Dwaf variety known as “Green Pig”, having greenish skin, pleating patterns on the bottom, ovoid or ellipsoid shape, two thick layers of meat, and sweet water that smells like pandan leaves. The production of Ratchaburi aromatic coconuts covers 7 districts including Damnuensaduak, Watpleng, Bangpong, Muang, Bangphae, Paktho, Photharam in Ratchaburi province. To guarantee and maintain the best quality of coconut kind based on geographical indications, the relevant government entities have established the quality and standard control of the production.

The quality and standard control of Ratchaburi aromatic coconut production based on geographical indications consisted of the following process: 1) preparation of the plantation land, 2) planting operation, 3) selection of the authentic variety for seedling, 4) plantation environment which included rain water and weather condition, 5) fertilization, 6) addition of organic fertilizers, 7) weeding, and 8) harvesting.

Keywords: Ratchaburi aromatic coconuts, Ratchaburi, Geographical indications, Product quality, Standard control system

บทนำ

บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอองค์ความรู้เกี่ยวกับการผลิตมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีตามระบบควบคุมคุณภาพและมาตรฐานสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ไทย โดยเนื้อหาประกอบด้วย 1) ประวัติความเป็นมาของมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี 2) ความสำคัญของระบบควบคุมคุณภาพและมาตรฐานสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ 3) ความสัมพันธ์ของมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีกับแหล่งภูมิศาสตร์ 4) ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี 5) วัตถุประสงค์สำหรับการผลิตมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี และ 6) กระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี คณะผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความนี้จะประโยชน์ต่อเกษตรกร ผู้ประกอบการค้า นักวิชาการ นักศึกษา และผู้ที่สนใจทั่วไป ในการนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ในการผลิตมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีที่มีคุณภาพและได้มาตรฐานสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ไทย

เนื้อความ

1. ประวัติความเป็นมาของมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี

มะพร้าวน้ำหอมราชบุรีเป็นมะพร้าวพันธุ์เตี้ยซึ่งกลายพันธุ์มาจากมะพร้าวพันธุ์เตี้ยสีเขียว หรือที่เรียกว่า “หมูสีเขียว” (Green Dwarf) ซึ่งเป็นพันธุ์พื้นเมืองดั้งเดิมที่ปลูกกันมากในอำเภอสามพรานและอำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม และมีการขยายพื้นที่ปลูกไปยังพื้นที่ใกล้เคียงคือ จังหวัดราชบุรี โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำท่าจีน จนกระทั่งกลายเป็นแหล่ง

พื้นที่ปลูกมะพร้าวน้ำหอมที่ใหญ่ที่สุดในประเทศ เนื่องจากมีสภาพน้ำและดินที่เหมาะสมแก่การปลูกมะพร้าวน้ำหอมทำให้ได้ผลผลิตมะพร้าวที่คงความหอม รสชาติหวาน และมีเนื้อสองชั้น อันเป็นลักษณะที่โดดเด่นของมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี (กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์, 2562)

2. ความสำคัญของระบบควบคุมคุณภาพและมาตรฐานสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์

ระบบควบคุมคุณภาพและมาตรฐานสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์มีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากกรมทรัพย์สินทางปัญญากำหนดไว้ว่า ตราสัญลักษณ์สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ไทยเป็นตราของกรมทรัพย์สินทางปัญญาที่ออกให้แก่ผู้ผลิตสินค้าหรือผู้ประกอบการค้าสินค้าที่ขึ้นทะเบียนเป็นสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์แล้ว และผู้ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ตราสัญลักษณ์ดังกล่าวจะต้องได้รับการตรวจสอบคุณภาพการผลิตตามระบบควบคุมคุณภาพฯ และผ่านการรับรองจากคณะกรรมการของแต่ละจังหวัด (กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์, 2563)

สำหรับมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ตั้งแต่วันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2558 ทะเบียนเลขที่ สข 60100097 (กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์, 2562) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงได้จัดทำระบบควบคุมคุณภาพและมาตรฐานสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ของมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีขึ้น เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพการผลิตของเกษตรกรหรือผู้ประกอบการค้าในการยื่นขออนุญาตใช้ตราสัญลักษณ์สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์เพื่อนำมาสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีและสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชน รวมทั้งเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการค้า ในขณะเดียวกันยังจะช่วยให้มะพร้าวน้ำหอมราชบุรีสามารถสร้างเรื่องราว (story) ที่บ่งบอกถึงความแตกต่างเกี่ยวกับประวัติความเป็นมา ชื่อสินค้า และแหล่งผลิตสินค้าที่ช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่สินค้าชุมชนและอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่น อีกทั้งยังส่งเสริมให้มะพร้าวน้ำหอมราชบุรีสามารถส่งออกและทำตลาดในระดับสากลได้อีกด้วย

3. ความสัมพันธ์ของมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีกับแหล่งภูมิศาสตร์

จังหวัดราชบุรีตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคกลางด้านทิศตะวันตก มีเทือกเขาตะนาวศรีเป็นแนวพรมแดนสันปันน้ำและมีแม่น้ำแม่กลองเป็นแม่น้ำสายหลัก สภาพภูมิประเทศแบ่งตามระดับความสูงของพื้นที่ โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ร้อยละ 60 เป็นพื้นที่ราบและราบลุ่มในบริเวณตอนกลางและด้านตะวันออกของจังหวัด (สำนักงานจังหวัดราชบุรี, 2562) ดังภาพที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกมะพร้าวน้ำหอม มีดินเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนเหนียวที่มีความอุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้น (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน, 2555) สภาพภูมิอากาศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดเอาความชื้นมาจากมหาสมุทรอินเดียและทะเลอันดามัน แต่เนื่องจากมีเทือกเขาตะนาวศรีกั้นอยู่จึงทำให้พื้นที่ติดเทือกเขาได้รับปริมาณฝนไม่มากนัก ส่วนใหญ่จะถูกพัดไปตกแถบลุ่มแม่น้ำแม่กลองและด้านตะวันออกซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี มีปริมาณฝนเฉลี่ยทั้งปีไม่น้อยกว่า 1,500 ถึง 2,000 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 35 องศาเซลเซียส และด้วยลักษณะดินและสภาพภูมิอากาศดังกล่าวจึงเหมาะแก่การปลูกมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่จังหวัดราชบุรี

ที่มา: สำนักงานจังหวัดราชบุรี ศาลากลางจังหวัดราชบุรี จังหวัดราชบุรี (2556)

4. ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมะพร้าว น้ำหอมราชบุรี

ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมะพร้าว น้ำหอมราชบุรีตามระบบควบคุมคุณภาพและมาตรฐานสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดราชบุรี, 2562) มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพ

4.1.1 ลำต้น (trunk) มีลำต้นขนาดเล็กและมีลำต้นเดียว ไม่แตกแขนง มีรอยแผล

จากการหลุดร่วงของไบตลอตลำตัน ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลำต้นมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี

ที่มา: ชภาพพร โพค์ยสุวรรณค์ (การสื่อสารส่วนบุคคล, 10 มิถุนายน 2565)

4.1.2 ใบ (frond) เป็นใบประกอบ ออกอยู่ตามส่วนของลำต้น ประกอบด้วย ก้านทาง (rachis) มีขนาดใหญ่และยาว และมีใบฝอย (leaflet) บนก้านทางประมาณ 200-250 ใบ ใบมีทางใบสั้นแผ่กระจายรอบลำต้น เมื่อมองทรงพุ่มจากภายนอกคล้ายรูปวงกลม ปลายใบโค้งเป็น คันธู ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ใบมะพร้าว น้ำหอมราชบุรี

ที่มา: สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร (2562)

4.1.3 จั่น (spadix) จะแทงออกทุกซอกใบ จั่นที่แทงออกเมื่อติดผลแล้วจะพาดอยู่ บนโคนทางที่รับน้ำหนักรส มะพร้าว น้ำหอมราชบุรีจะติดผลดกสม่ำเสมอเนื่องจากการผสมเกสร เป็นไปอย่างต่อเนื่องและเป็นการผสมตัวเอง โดยที่เกสรเพศเมียและเกสรเพศผู้จะบานในระยะใกล้เคียงกัน ใน 1 ปี สามารถออกจั่นได้ไม่ต่ำกว่า 12 ครั้ง ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 จั่นมะพร้าว น้ำหอมราชบุรี

ที่มา: ชฎาพร โพธิ์สุวรรณ (การสื่อสารส่วนบุคคล, 10 มิถุนายน 2565)

4.1.4 ทะลาย (coconut cluster) เป็นพวงสวยงาม มีผลดกสม่ำเสมอทั้งทะลาย การติดผลดีมาก คือ ใน 1 ทะลาย สามารถติดผลได้ถึงร้อยละ 70 ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ทะลายมะพร้าว น้ำหอมราชบุรี

ที่มา: ชฎาพร โพค์ยสุวรรณ (การสื่อสารส่วนบุคคล, 10 มิถุนายน 2565)

4.1.5 ดอก (inflorescence) ออกเป็นช่อชนิดพานิคิล (panicle) มีทั้งเกสรตัวผู้ และเกสรตัวเมียอยู่ในช่อเดียวกัน ดอกมีกลีบดอก 6 กลีบ สีครีมหรือสีเหลืองนวล ไม่มีก้านดอกย่อย ดอกตัวเมียมีกลีบดอกหนาและแข็งกว่ากลีบดอกตัวผู้ ดังภาพที่ 6



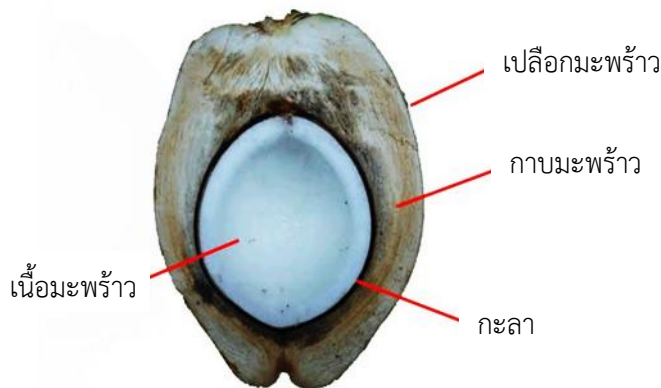
ภาพที่ 6 ช่อดอกมะพร้าว น้ำหอมราชบุรี

ที่มา: สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร (2562)

4.1.6 ผล (fruit) เป็นชนิดไฟบรัสตรูป (fibrous drupe) เรียกว่า นัท (nut) มีเปลือก 3 ชั้น คือ 1) เปลือกชั้นนอก (exocarp) เป็นเส้นใยที่เหนียวและไม่แข็งมากเมื่อเทียบกับมะพร้าวแก่จะนิ่มกว่าและเมื่อแก่อาจมีสีเขียว แดงเหลืองหรือน้ำตาล 2) เปลือกชั้นกลาง (mesocarp) มีลักษณะเป็นเส้นใย มีความหนาพอประมาณ และ 3) เปลือกชั้นใน (endocarp) มีลักษณะแข็งหรือที่เรียกว่า กะลา (shell) ดังภาพที่ 7 และ 8



ภาพที่ 7 ผลมะพร้าว น้ำหอมราชบุรี
ที่มา: สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร (2562)



ภาพที่ 8 เปลือก 3 ชั้นของผลมะพร้าว น้ำหอมราชบุรี
ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (2565)

4.1.7 รูปทรง (shape) ตรงกลางผลปล้องเกือบกลม ลักษณะคล้ายทรงสามเหลี่ยมกันเป็นจีบ 3 จีบรวมกัน มีรูปทรงสม่ำเสมอ สีเขียวสด ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 รูปทรงมะพร้าว น้ำหอมราชบุรี

ที่มา: ชฎาพร โพค์ยสุวรรณ (การสื่อสารส่วนบุคคล, 10 มิถุนายน 2565)

4.1.8 เนื้อ (coconut meat) เนื้อในกะลามะพร้าวจะเริ่มเห็นในเดือนที่ 4 เป็นต้นไป ในเดือนที่ 4-4.5 เนื้อในกะลามะพร้าวมีลักษณะเป็นวุ้น เมื่อเข้าเดือนที่ 5-5.5 เนื้อจะพัฒนาเต็ม 1 ชั้น เมื่อเข้าเดือนที่ 6 เนื้อจะเริ่มพัฒนาเป็น 1.5 ชั้น และเข้าเดือนที่ 7 เนื้อจึงพัฒนาเป็น 2 ชั้นเต็ม เป็นระยะที่มีคุณภาพการบริโภคสูงสุด ความหนาของเนื้อมะพร้าวเป็นเนื้อสองชั้น ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 เนื้อมะพร้าว น้ำหอมราชบุรี

ที่มา: ชฎาพร โพค์ยสุวรรณ (การสื่อสารส่วนบุคคล, 10 มิถุนายน 2565)

4.1.9 รสชาติ (flavor) มีความหวานอยู่ระหว่าง 7-10 องศาบริกซ์ (°Brix) ความหวานของมะพร้าวจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความแก่ของผลมะพร้าว และมีความหอมกรุ่นคล้ายใบเตย ซึ่งเกิดจากสารให้กลิ่นหอมชื่อ 2-อะเซทิล-1-ไพโรลีน (2-acetyl-1-pyrroline) เรียกย่อ ๆ ว่า 2-เอพี (2 A-P) (สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, 2562)

4.2 ลักษณะทางเคมี

มะพร้าวน้ำหอมราชบุรีตามมาตรฐานสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์มีความหวานอยู่ในช่วง 7-10 องศาบริกซ์

5. วัตถุประสงค์สำหรับการผลิตมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี

5.1 พันธุ์ ต้องเป็นพันธุ์ที่มาจากกรกลายพันธุ์ของมะพร้าวต้นเตี้ยสีเขียว เรียกว่า หมู สีเขียว ซึ่งเป็นพันธุ์พื้นเมืองดั้งเดิมที่ปลูกมากในอำเภอสามปราชญ์และอำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม เท่านั้น จึงจะเป็นไปตามมาตรฐานการผลิตสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ไทย และต้องมีคุณสมบัติตามลักษณะประจำพันธุ์ของมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี โดยมีการคัดเลือกลักษณะของต้นพันธุ์ที่เหมาะสมในการปลูก ดังนี้

- 1) คัดเลือกต้นพันธุ์ที่มีอายุการปลูก 10 ปีขึ้นไป
- 2) รูปลักษณะลูกที่เอามาเพาะพันธุ์ต้องมีสีน้ำตาล มีความหอมตั้งแต่ลำต้นจนถึงราก เมื่อเพาะพันธุ์เป็นหน่อกล้าพร้อมปลูกแล้วจะมีความหอมตั้งแต่รากถึงลำต้น ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 พันธุ์มะพร้าวน้ำหอมราชบุรี

ที่มา: ชฎาพร โพค์ยสุวรรณ (การสื่อสารส่วนบุคคล, 10 มิถุนายน 2565)

5.2 ดิน ต้องเป็นกลุ่มดินชุดดินที่ 2 3 8 และ 38 เนื่องจากเป็นกลุ่มชุดดินที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการปลูกมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี (กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551) รายละเอียดดังนี้

5.2.1 กลุ่มชุดดินที่ 2 (ชุดดินอยุธยา)

1) ลักษณะโดยทั่วไป ดินเป็นดินลิกมาก ดินบนเป็นดินเหนียวสีเทาเข้ม ราบเรียบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลาง (ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.0) ดินล่างตอนบนเป็นดินเหนียวมีสีเทา สีน้ำตาลปนเทาหรือสีเทาน้ำตาล มีจุดประสีแดง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด (ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.5) และพบจุดประสีเหลืองฟางข้าวที่ความลึก 100-150 เซนติเมตร จะพบผลึกแร่ยิปซัมและรอยไถระหว่างชั้นดินบนและดินล่าง ดินเกิดจากตะกอนลำนํ้าผสมกับตะกอนภาคพื้นสมุทรและเกิดการพัฒนาในสภาพน้ำกร่อย

2) ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดินเป็นกรดจัดทำให้พืชไม่สามารถใช้แร่ธาตุที่มีอยู่ในดินตามธรรมชาติอย่างเต็มที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัส

3) ความเหมาะสมสำหรับการปลูกพืช กลุ่มชุดดินที่ 2 มีความเหมาะสมในการทำนา ถ้าปลูกพืชผักตลอดจนผลไม้ต่าง ๆ จำเป็นต้องยกร่องให้สูงพ้นน้ำท่วม ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อให้ผลผลิตดีขึ้น

5.2.2 กลุ่มชุดดินที่ 3 (ชุดดินบางแพ)

1) ลักษณะโดยทั่วไป เป็นดินลิกมาก ดินบนเป็นดินเหนียวสีเทาเข้ม มีจุดประสีน้ำตาลเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.0-8.0) ดินบนตอนล่างเป็นดินเหนียวถึงดินเหนียวปนทรายแป้ง มีจุดประสีน้ำตาลเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นด่างปานกลาง (ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0) ดินล่างตอนล่างเป็นดินเหนียวถึงดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีดำหรือสีเทาเข้ม จุดประสีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นด่างปานกลาง (ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0) จะพบก้อนเหล็กแมงกานีสสะสมและผลึกยิปซัมในดินล่าง อาจพบเปลือกหอยหรือก้อนหินปูนสะสมในดินล่างนี้ด้วย ดินเกิดจากตะกอนน้ำทะเลพามาทับถมอยู่บนที่ลุ่มน้ำทะเลท่วมถึง สภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชัน 0-1 เปอร์เซ็นต์

2) ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดินจะมีน้ำท่วมในฤดูฝนลึก 50-100 เซนติเมตร นาน 3-4 เดือน

3) ความเหมาะสมสำหรับการปลูกพืช มีความเหมาะสมสำหรับทำนา ควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยเคมี เพื่อปรับปรุงให้ดินดีขึ้น

5.2.3 กลุ่มชุดดินที่ 8 (ชุดดินดำเนินสะดวก)

1) ลักษณะโดยทั่วไป เป็นดินลิกมาก ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลเข้ม ส่วนดินชั้นล่างเป็นดินเหนียวสีน้ำตาลปนเทาหรือเทาอมเขียวมะกอก และจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเทาอมเขียวหรือเทาอมน้ำเงิน ซึ่งเกิดขึ้นที่ความลึกระหว่าง 50-125 เซนติเมตร จากผิว ดินบนจะพบจุดสีน้ำตาลหรือน้ำตาลอมเขียวมะกอกในชั้นดินล่าง ปฏิกริยาของดินเป็นด่างปานกลาง ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 8.0-8.5 ดินเกิดจากตะกอนน้ำกร่อยพามาทับถมอยู่บนที่ลุ่มน้ำที่เคยท่วมถึง สภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชัน 0-1 เปอร์เซ็นต์

2) ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดินมีน้ำท่วมขังในฤดูฝน

3) ความเหมาะสมสำหรับการปลูกพืช มีความเหมาะสมในการทำนา ควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก เพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น

5.2.4 กลุ่มชุดดินที่ 38 (ชุดดินท่าม่วง)

1) ลักษณะดินทั่วไป เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายแบ่ง ดินร่วนเหนียวปนทรายแบ่ง ดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาล สีน้ำตาลเข้ม และสีน้ำตาลปนเทา ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.5-6.5) ดินตอนล่างมีลักษณะเนื้อดินและสีไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับตะกอนที่น้ำพามาทับถมในแต่ละปี ซึ่งอาจแตกต่างกันเห็นได้ชัดเจน เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแบ่ง ดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทรายสลับกันไปมา สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.0-7.0) อาจพบจุดประสีในดินล่างที่ความลึก 50-100 เซนติเมตร จากผิวดิน และพบเกล็ดแร่ไมกาปะปนอยู่ตลอดหน้าตัดดินดินเกิดจากตะกอนน้ำพา สภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชัน 1-5 เปอร์เซ็นต์

2) ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ที่ดิน อาจมีน้ำท่วมในบางช่วงของฤดูเพาะปลูก ทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตได้ หน้าดินค่อนข้างเป็นทราย

3) ความเหมาะสมสำหรับการปลูกพืช ปลูกพืชไร่หรือไม้ผล ควรปรับปรุงบำรุงดินโดยใช้ปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและเพิ่มแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืชทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น

5.3 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

5.3.1 น้ำฝน

ฝนควรตกกระจายสม่ำเสมอไม่น้อยกว่า 1,500-2,000 มิลลิเมตรต่อปี และไม่ควรได้รับน้ำน้อยกว่า 50 มิลลิเมตร ติดต่อกันนาน 3 เดือน หากฝนแล้งติดต่อกันนาน 3 เดือน จะส่งผลกระทบต่อทำให้ผลผลิต รวมถึงปริมาณเนื้อมะพร้าวต่อผลลดลง (สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, 2562)

5.3.2 สภาพภูมิอากาศ

อุณหภูมิเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส ปริมาณแสงแดดที่เหมาะสมวันละ 8-10 เซนติเมตร และควรมีลมพัดอ่อน ๆ

6. กระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี

กระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีตามระบบควบคุมคุณภาพและมาตรฐานสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ มีขั้นตอนการผลิตดังต่อไปนี้

6.1 การเตรียมพื้นที่ปลูก

ควรเตรียมหลุมปลูกในฤดูแล้ง ขุดหลุมขนาดความกว้าง x ความยาว x ความลึกเท่ากับ 50x50x50 เซนติเมตร เนื่องจากพื้นที่ปลูกในจังหวัดราชบุรีเป็นบริเวณพื้นที่ลุ่ม ประกอบกับลักษณะดินมีความสมบูรณ์ มีน้ำทะเลหนุนเข้ามาผสมกับน้ำจืดหรือมีระบบชลประทาน และส่วนใหญ่ปลูกมะพร้าวน้ำหอมแบบยกร่องสวน โดยแยกดินส่วนบนไว้ต่างหาก ตากหลุมอย่างน้อย 1 สัปดาห์นำดินที่ผสมปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักแล้วใส่ในหลุมจนเต็ม ทิ้งไว้จนถึงฤดูปลูกหรือตามความเหมาะสมของพื้นที่ (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดราชบุรี, 2562)

6.2 วิธีปลูก

ควรปลูกในช่วงฤดูฝน ยกร่องให้สูงประมาณไม่เกิน 1 เมตร ในคูมีน้ำหล่อเลี้ยงตลอดทั้งปีเพื่อให้มะพร้าวมีน้ำหล่อเลี้ยงเพียงพอ ทั้งยังช่วยป้องกันน้ำท่วมรากหากฝนตกชุกเป็นเวลานาน สภาพร่องไม่ควรกว้างเกิน 7 เมตร ควรอยู่ระหว่าง 6-6.5 เมตร ปลูกริมด้านนอกทั้งสองด้าน ต้องปลูกเป็นแถวตรงกัน โดยมีระยะห่าง 6-6.5 เมตร หรือตามความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ ความกว้าง 1-1.5 เมตร ความยาว 80 เซนติเมตร ความลึกของร่องน้ำ 1-1.20 เซนติเมตร หรือวิธีการปลูกสมัยใหม่มีความกว้าง 12-13 เมตร เป็นร่องคู่ โดยมีระยะห่าง 6-6.5 เมตร พื้นที่ 1 ไร่ ปลูกได้ประมาณ 40-44 ต้น (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดราชบุรี, 2562) โดยขุดดินบนหลุมปลูกที่เตรียมไว้ เอาหน่อที่คัดเลือกแล้วมาตัดรากที่หักออก ใช้ปูนขาวหรือยากันราทาตรงรอยตัด วางหน่อลงในหลุมให้หน่อเอียงไปในทิศตะวันออก เอาดินกลบอย่างน้อย 2 ใน 3 ของผลเพื่อให้พอดีมีดินมะพร้าว แต่ระวังอย่าให้ดินทับโคนหน่อเพราะจะทำให้หน่อถูกรัดต้นจะโตช้า แต่เมื่อมะพร้าวโตขึ้นก็ควรกลบดินให้สูงขึ้นเพื่อป้องกันโคนลอย ใช้ดินเลนมารองกันหลุมเมื่อเวลาเดินแห้งจะทำให้พื้นดินแข็งแรงเหยียบดินรอบโคนหน่อให้แน่น ควรทำร่มให้ในระยะแรกเพื่อลดอัตราการตายเนื่องจากถูกแดดจัดเกินไป ในบริเวณที่ปลูกถ้ามีสัตว์เลื้อยให้ทำรั้วป้องกันสัตว์มาทำลาย และในการปลูกมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีในปีแรกควรให้น้ำทุกสัปดาห์ เมื่อมะพร้าวโตขึ้นอาจให้น้ำทุก ๆ 2 สัปดาห์ เพื่อให้เกิดการพัฒนาของตาดอกอย่างต่อเนื่องและมะพร้าวผลผลิตไม่ขาดคอ ดังภาพที่ 12 และ 13



ภาพที่ 12 การให้น้ำสำหรับการปลูกมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี

ที่มา: ชฎาพร โพค์ยสุวรรณ (การสื่อสารส่วนบุคคล, 10 มิถุนายน 2565)



ภาพที่ 13 การยกร่องเพื่อปลูกมะพร้าว น้ำหอมราชบุรี
ที่มา: ชญาพร โพค์ยสุวรรณ (การสื่อสารส่วนบุคคล, 10 มิถุนายน 2565)

6.3 วิธีการคัดเลือกพันธุ์มะพร้าว น้ำหอมราชบุรีพันธุ์แท้

คัดเลือกผลมะพร้าวที่เพาะจนแทงต้นอ่อนออกมาแล้วเปลือกของผลมะพร้าวจะยุ่นเป็นริ้ว ๆ ขณะที่มะพร้าวที่กลายพันธุ์เปลือกมะพร้าวจะเรียบไม่ยุ่นหรือสังเกตที่ต้นอ่อนที่กลายพันธุ์สีของก้านใบจะออกสีแดง แต่ถ้าเป็นหน่อพันธุ์แท้จะเป็นสีเขียว อีกวิธี คือ ขยี้ปลายรากมะพร้าว และดมดูหากมีกลิ่นหอมคล้ายใบเตยเป็นพันธุ์มะพร้าว น้ำหอมราชบุรีแท้

6.4 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

1) น้ำฝน ฝนควรตกกระจายสม่ำเสมอไม่น้อยกว่า 1,500-2,000 มิลลิเมตรต่อปี และไม่ควรได้รับน้ำน้อยกว่า 50 มิลลิเมตร ติดต่อกันนาน 3 เดือน

2) สภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส ปริมาณแสงแดดที่เหมาะสมวันละ 8-10 เซนติเมตร และควรมีลมพัดอ่อน ๆ

6.5 การใส่ปุ๋ย

ผลผลิตของมะพร้าว น้ำหอมราชบุรีขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารในดินและสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยสภาพความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสมแก่การปลูกมะพร้าวควรอยู่ในช่วงระหว่าง 6-7 การใส่ปุ๋ยให้พอเหมาะแก่ความต้องการของมะพร้าวนั้นควรนำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์และใส่ปุ๋ยตามสภาพดิน เนื่องจากพบว่าในปีหนึ่ง ๆ มะพร้าวจะดูดธาตุอาหารไนโตรเจนไปใช้ 9.44-14.56 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัส 4.32-6.40 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียม 13.60-20.96 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดราชบุรี, 2562) ซึ่งในธาตุดังกล่าวมะพร้าวจะดูดโพแทสเซียมไปใช้มากที่สุด ประมาณร้อยละ 62 ของโพแทสเซียม ถูกนำไปใช้ในการเพิ่มจำนวนผลผลิตของมะพร้าว ชนิดของปุ๋ยที่ใช้ได้ผลและเพิ่มผลผลิตของมะพร้าวได้สูงสุด คือ ปุ๋ยสูตร 13-13-21 และสูตร 12-12-17 แมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate) และปูนโดโลไมท์ (dolomite) ในการใช้ปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟตหรือโดโลไมท์นั้นให้พิจารณาถึงสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดินด้วย กล่าวคือในสภาพดินที่มีแนวโน้มการเป็นกรด-ด่างสูงให้ใช้ปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟต และในสภาพดินที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำให้ใช้ปุ๋ยโดโลไมท์ ในการใช้ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ควรให้ก่อนหรือหลังใส่ปุ๋ยเคมีประมาณ 1 เดือน

เพื่อป้องกันการดูดตรึงธาตุอาหารไว้ในดินทำให้มะพร้าวไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การใส่ปุ๋ยควรใส่ให้สัมพันธ์กับอายุมะพร้าว

ฤดูที่เหมาะสมที่สุดที่จะใส่ปุ๋ยให้มะพร้าว คือ ช่วงต้นและปลายฤดูฝน เนื่องจากช่วงนี้มีความชื้นเพียงพอที่จะช่วยละลายปุ๋ย และรากของมะพร้าวกำลังเจริญเติบโตเต็มที่ที่สามารถดูดปุ๋ยไปใช้ได้ดี โดยรากมะพร้าวที่สามารถดูดปุ๋ยได้คืออยู่บริเวณติดกับลำต้นและอยู่ห่างจากลำต้นภายในรัศมี 2 เมตร ดังนั้นการใส่ปุ๋ยจึงควรโรยหรือหว่านปุ๋ยโดยรอบตั้งแต่โคนต้นไปจนถึง 2 เมตร แต่ถ้าเป็นมะพร้าวที่ยังเล็กอยู่ควรหว่านปุ๋ยใกล้โคนมะพร้าวเพราะรากยังน้อย หลังจากหว่านปุ๋ยแล้วควรพรวนดินชั้น ๆ ลึกประมาณ 10-15 เซนติเมตร เพื่อให้ปุ๋ยได้คลุกเคล้ากับดินและป้องกันการชะล้าง

6.6 การเพิ่มปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยพืชสด

ประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนทำให้ส่วนมากมีอินทรีย์วัตถุในดินน้อยและสลายตัวเร็ว เพราะมีฝนตกชุกและอุณหภูมิสูง พวกแบคทีเรียในดินจะเจริญเติบโตได้ดีและคอยย่อยทำลายพวกอินทรีย์วัตถุได้อย่างรวดเร็ว อินทรีย์วัตถุจะเป็นตัวช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์และสภาพทางฟิสิกส์ของดินดีขึ้น ทำให้ดินร่วนซุย ระบายน้ำและระบายอากาศได้ดี รากของมะพร้าวสามารถซอนไชไปหาอาหารได้อย่างกว้างขวาง การเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินสามารถกระทำได้โดยการใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยพืชสด เช่น ปอเทือง เป็นต้น แล้วทำการไถกลบ ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การใส่ปุ๋ยอินทรีย์

ที่มา: ชฎาพร โพค์ยสวรรค์ (การสื่อสารส่วนบุคคล, 10 มิถุนายน 2565)

6.7 การกำจัดวัชพืช

1) การไถพรวน ไถระหว่างแถวมะพร้าวไม่ให้ลึกเกินกว่า 20 เซนติเมตร และห่างจากต้นข้างละ 2 เมตร ในระยะที่มะพร้าวยังไม่ติดผล (มะพร้าวอายุตั้งแต่ 3 ปี) อาจกระทบต่อระบบรากมะพร้าวได้ แต่หลังจากนั้นเมื่อมะพร้าวมีอายุมากกว่า 10 ปี สามารถไถพรวนเข้าใกล้โคนต้นได้

2) การตัดหญ้าและการใช้จอบตาก การตัดหญ้าและการใช้จอบตากวัชพืชที่ขึ้นไม่หนาแน่นสามารถทำได้ 2-3 เดือนต่อครั้ง เพื่อควบคุมวัชพืชอย่างมีประสิทธิภาพควรตัดหญ้าหรือใช้จอบตากในช่วงที่วัชพืชยังไม่ออกดอกผลิตเมล็ด สามารถจะยับยั้งการขยายตัวของส่วนใต้ดินในพวกวัชพืชประเภทข้ามปีและช่วยป้องกันการสร้างเมล็ดวัชพืช

3) การปล่อยสัตว์เลี้ยง ได้แก่ โคและแพะลงแทะเล็มในสวนมะพร้าว ควรปล่อยในสวนมะพร้าวที่อยู่ในระยะติดผลแล้ว ซึ่งเป็นระยะที่ต้นมะพร้าวมีความสูง แพะและโคไม่สามารถสร้างความเสียหายกับต้นมะพร้าวได้

4) พืชคลุมดิน การปลูกพืชคลุมดินในสวนมะพร้าวเพื่อควบคุมวัชพืชและช่วยรักษาความชื้นในดิน นอกจากนั้นพืชคลุมดินยังช่วยเพิ่มธาตุอาหารและช่วยปรับปรุงดินในสวนมะพร้าว โดยเฉพาะพืชคลุมดินที่เป็นพืชตระกูลถั่วช่วยเพิ่มธาตุไนโตรเจน พืชคลุมที่นิยมปลูกกันมาก ได้แก่ ถั่วเพอราเรีย (*Pueraria Phaseoloides*) ถั่วเซนโตรซีมา (*Centrosema pubescens*) เป็นต้น

6.8 การเก็บเกี่ยวผลผลิต

มะพร้าวน้ำหอมราชบุรีเป็นไม้ผลที่ให้ผลผลิตตลอดปี โดยสามารถเก็บผลมะพร้าวได้ประมาณ 20 วันต่อครั้ง ใน 1 ปีหากมะพร้าวแทงจันทูทุกครั้งที่ออกทางใหม่จะเก็บมะพร้าวได้ทั้งสิ้น 15-20 ทะลายต่อต้นต่อปี ซึ่งทะลายใหญ่ ๆ มีผลเฉลี่ยประมาณ 10-15 ผล และในช่วงที่ผลผลิตออกมากที่สุดผลผลิตเฉลี่ยปีละ 150-270 ผลต่อต้นหรือประมาณ 5,200-7,200 ผลต่อไร่ ระยะที่เหมาะสมสำหรับเก็บมะพร้าวมากที่สุด คือ มะพร้าวเนื้อ 2 ชั้น อายุ 20 วันขึ้นไป มีเนื้อเต็มกะลา เนื้อหนาอ่อนนุ่ม ซึ่งอายุหลังจากจันทูเปิดประมาณ 200-205 วัน (7 เดือน) น้ำมีความหวานระหว่าง 7-10 องศาบริกซ์ (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดราชบุรี, 2562)

สรุป

การผลิตมะพร้าวน้ำหอมราชบุรีให้มีคุณภาพและอัตลักษณ์เฉพาะพื้นที่ ได้แก่ เนื้อหนาสองชั้น น้ำมะพร้าวมีรสหวานและกลิ่นหอมคล้ายใบเตย เกษตรกรต้องใช้พันธุ์ที่มาจากการกลายพันธุ์ของมะพร้าวต้นเตี้ยสีเขียว ที่เรียกว่า หมูสีเขียว ซึ่งเป็นพันธุ์ดั้งเดิมที่ปลูกในพื้นที่อำเภอสามพราน และอำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม และทำการปลูกในพื้นที่อำเภอดำเนินสะดวก อำเภอวัดเพลง อำเภอบ้านโป่ง อำเภอเมืองราชบุรี อำเภอบางแพ อำเภอปากท่อ และอำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี เนื่องจากมีสภาพดินที่เหมาะสมแก่การปลูกมะพร้าวน้ำหอมราชบุรี รวมทั้งทำการผลิตตามระบบควบคุมคุณภาพและมาตรฐานสินค้าสิ่งป้อนทางภูมิศาสตร์ โดยมีกระบวนการผลิตตามลำดับขั้นดังนี้ 1) การเตรียมพื้นที่ปลูก 2) วิธีการปลูก 3) วิธีการคัดเลือกพันธุ์มะพร้าวน้ำหอมราชบุรีแท้ 4) สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ประกอบด้วย น้ำฝน และสภาพภูมิอากาศ 5) การใส่ปุ๋ย 6) การเพิ่มปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยพืชสด 7) การกำจัดวัชพืช และ 8) การเก็บเกี่ยวผลผลิต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมทรัพยากรสินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ ที่สนับสนุนงบประมาณให้กับมหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงในการจัดทำโครงการจัดทำระบบควบคุมคุณภาพและมาตรฐานสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ สินค้ามะพร้าวน้ำหอมราชบุรี

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรสินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์. (2562). *สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์*. กรุงเทพฯ: บริษัท ออนป้า จำกัด.
- กรมทรัพยากรสินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์. (2563). *ประกาศกรมทรัพยากรสินทางปัญญา เรื่อง ตราสัญลักษณ์สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ไทย*. สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2565, จาก: https://www.ipthailand.go.th/images/3534/GI/2563/GI3_20200311.pdf.
- กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2551). *การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดราชบุรี*. กรุงเทพฯ: บริษัท แอดวานซ์วิชั่น เซอร์วิส จำกัด.
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. (2565). *มะพร้าวน้ำหอม*. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2565, จาก: <http://www.facebook.com/CocoKU.KPS/photo>.
- สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. (2562). *การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตมะพร้าวน้ำหอม*. นนทบุรี: การ์ตัน.
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน). (2555). *การดำเนินการด้านการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลโครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 ลุ่มน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง*. กรุงเทพฯ: บริษัท แอสตีคอนคอร์ปอเรชั่น จำกัด.
- สำนักงานจังหวัดราชบุรี ศาลากลางจังหวัดราชบุรี จังหวัดราชบุรี. (2556). *แผนที่จังหวัดราชบุรี*. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2565, จาก: <http://123.242.157.9/hdetail.php?QNo=3143&QSt=A&QGroup=0>.
- สำนักงานจังหวัดราชบุรี. (2562). *แผนพัฒนาจังหวัดราชบุรี พ.ศ. 2561-2564 (ฉบับทบทวนปี พ.ศ. 2562)*. ราชบุรี: สำนักงานจังหวัดราชบุรี.
- สำนักงานพาณิชย์จังหวัดราชบุรี. (2562). *คู่มือปฏิบัติงานสำหรับสมาชิกผู้ขอใช้สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์มะพร้าวน้ำหอมราชบุรี*. ราชบุรี: สำนักงานพาณิชย์จังหวัดราชบุรี.

ผลของแป้งกล้วยน้ำว้าต่อคุณลักษณะของขนมทองม้วน

The Effect of Nam Wa Banana Flour on the Characteristics of Thai Crispy Roll

อดิสร่า ตันตสุทธิกุล^{1*}
Adisara Tantasuttikul^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากแป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วน โดยการนำกล้วยน้ำว้าดิบไปนึ่งในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที หั่นเป็นแว่นบาง ๆ และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำไปบดจะได้แป้งกล้วยน้ำว้าดิบ มีเนื้อละเอียด สีขาวอมเหลือง และมีกลิ่นหอมของกล้วยน้ำว้า จากนั้นนำไปผสมในผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วน โดยใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 น้ำหนักต่อน้ำหนัก พบว่าอัตราส่วนของแป้งกล้วยน้ำว้าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความสว่าง (L^*) มีค่าลดลง และมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีค่าที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้แป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเม็ดแป้งบางส่วนเกิดการเจลาติไนซ์ (gelatinization) ทำให้มีส่วนที่เป็นอสัณฐานของเม็ดแป้งจำนวนมาก สามารถดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็ว จากนั้นเก็บรักษาขนมทองม้วนที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 28 วัน ในถุงออลูมิเนียมฟรอยด์ พบว่าอัตราส่วนของแป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0 และ 25 น้ำหนักต่อน้ำหนัก มีความชื้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราส่วนร้อยละ 50 75 และ 100 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนมีปริมาณน้ำอิสระต่ำ (0.60) เนื้อสัมผัสมีความแข็งไม่แตกต่างกันในแต่ละสูตร เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยน้ำว้าทำให้ขนมทองม้วนมีลักษณะขรุขระและมีรูพรุนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นลดลง มีความกรอบและเก็บรักษาได้นาน

คำสำคัญ: แป้งกล้วยน้ำว้า ขนมทองม้วน คุณลักษณะของขนมทองม้วน

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีเกษตรและอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

* Corresponding author e-mail: tan1ads@yahoo.com

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i1.257916>

Received: 13 February 2023, Revised: 1 April 2023, Accepted: 19 May 2023

Abstract

The objective of this research was to utilize banana flour, which was produced from NamWa bananas substituting rice flour in Thai Crispy Roll products. The raw bananas were steamed in boiling water for 10 minutes, then cut and dried at 50°C for 6 hours. They were ground into the powder. The banana flour is a fine texture, has yellowish white, and smells of banana. After that, the banana flour was used to develop a Thai Crispy Roll (Khanom Thong Muan). The ratios of banana flour: rice flour were 0, 25, 50, 75 and 100% weight per weight (w/w). The ratio of banana flour was increased due to the brightness (L^*) decreased, redness (a^*) increased, while the yellowness (b^*) are not different and the viscosity increased. As a result, the starch granules are gelatinized. The amorphous parts of starch granules have a large number that can absorb water quickly. Next, stored Khanom Thong Muan in aluminum foil bags at room temperature for 28 days. The results found the moisture content of ratios 0 and 25% w/w was increased, but ratios 50, 75, and 100% w/w were not different significantly ($p > 0.05$) during storage. The free water content of all products was low (0.60). The texture (hardness) was not different in each ratio. The amount of banana flour increased, which represented the product was rougher and more porous. That affect product moisture to reduced, crispy, and can be stored for a long time.

Keywords: Banana flour, Thai crispy roll (Khanom Thong Muan), Characteristics of Khanom Thong Muan

บทนำ

กล้วยน้ำว้า (*Musa ABB* cv. Kluai 'Namwa') อยู่ในวงศ์ Musaceae เป็นพืชสมุนไพรที่ให้คุณค่าทางอาหารสูง อุดมด้วยวิตามินแร่ธาตุและใยอาหารที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย และมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ในรูปของแป้งจำนวนมาก (สุปรียา และสุดใจ, 2537) สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเมื่อเกิดการสุก นอกจากนี้เป็นแหล่งของแป้งทนย่อย (resistant starch) ซึ่งสามารถทนต่อการย่อยของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) ในระบบทางเดินอาหาร (Fida *et al.*, 2019) จากการศึกษาปริมาณแป้งทนย่อยจากพืชต่าง ๆ ที่สามารถผลิตแป้งได้ พบว่าแป้งทนย่อยพบมากในกล้วย ร้อยละ 52-64 ผลิตภัณฑ์จากแป้งถั่วเขียว (glass noodle products) ร้อยละ 9-11 และในพืชตระกูลถั่ว (legume group) ร้อยละ 10-22 แป้งทนย่อยมีประโยชน์แก่สุขภาพ ช่วยในการขับถ่ายและระบบหมุนเวียนเลือด เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งทนย่อยจะไม่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก แต่จะผ่านมาถึงลำไส้ใหญ่ จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในทางเดินอาหารที่อยู่ในกลุ่มโพรไบโอติก (probiotic) สามารถหมักเป็นกรดไขมันสั้น ๆ เช่น อะซิเตท (acetate) โพรพิโอเนต (propionate) และบิวทิเรต (butyrate) ช่วยในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค โดยการเพิ่มปริมาณของเหลวและ

ปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่างในลำไส้ใหญ่ให้ต่ำลง ช่วยปรับสภาวะลำไส้ส่วนปลาย (rectum) ให้ดีขึ้น ลดการเกิดมะเร็งในลำไส้ จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้มีการใช้ประโยชน์จากกล้วยมากมาย เช่น การใช้แป้งกล้วยหอมดิบในการผลิตพาสต้า (จิรนาถ และคณะ, 2558) การใช้แป้งกล้วยไข่ดิบในการผลิตขนมทองม้วนและขนมปังหวาน (ภาสุรี และนัฐพัช, 2561; สุนทร, 2563) การใช้แป้งกล้วยน้ำว้าในการทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์บราวนี่ (วรรัชยา และคณะ, 2560) ดังนั้นการผลิตแป้งจากกล้วยสามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิตกล้วยและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้หลากหลาย นอกจากนี้สามารถใช้ในเชิงสุขภาพได้อีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมแป้งกล้วยน้ำว้า

โดยการนำกล้วยน้ำว้าดิบที่มีความสุกระยะที่ 1 จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเกิดจากดินปากอ่อ อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา นำมาตัดเป็นลูกไม่ปอกเปลือก นำไปล้างทำความสะอาด จากนั้นนำไปนึ่งในน้ำเดือด เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งการนึ่งหรือต้มจะเป็นวิธีการใช้ความร้อนเพื่อให้แป้งในกล้วยเกิดการเจลาติไนซ์ พักให้เย็น แล้วนำไปปอกเปลือก หั่นบาง ๆ เรียงบนตะแกรง และนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำแผ่นกล้วยแห้งมาบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช (mesh) สังเกตลักษณะแป้งกล้วยน้ำว้าที่ได้ บรรจุลงอะลูมิเนียมฟรอยด์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (อดิศรา, 2564) เพื่อนำไปทดลองใช้ต่อไป

2. การผลิตขนมทองม้วนจากแป้งกล้วยน้ำว้า

โดยการนำแป้งกล้วยน้ำว้าที่เตรียมได้ในขั้นตอนการเตรียมแป้งกล้วยน้ำว้า มาทดลองทำขนมทองม้วนดัดแปลงสูตรและวิธีการของ Maysylvie (2564) โดยแปรผันปริมาณแป้งกล้วยน้ำว้าเพื่อทดแทนแป้งข้าวเจ้า ที่ระดับร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 โดยน้ำหนักแป้งในสูตร แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรการผลิตขนมทองม้วนที่ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าในระดับต่าง ๆ

ส่วนผสม	สูตรที่ (ร้อยละ)				
	1 (ควบคุม)	2 (25)	3 (50)	4 (75)	5 (100)
แป้งข้าวเจ้า (กรัม)	225.00	168.75	112.50	56.25	0.00
แป้งกล้วยน้ำว้า (กรัม)	0.00	56.25	112.50	168.75	225.00
แป้งมันสำปะหลัง (กรัม)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
กะทิ (กรัม)	260.00	260.00	260.00	260.00	260.00
น้ำตาลปีบ (กรัม)	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00
ไข่ไก่ (ฟอง)	1	1	1	1	1
งาดำ (กรัม)	1	1	1	1	1

ที่มา: อดิศรา (2546)

จากสูตรตารางที่ 1 ซึ่งส่วนผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดในแต่ละสูตร จากนั้นนำกะทิ ผสมกับน้ำตาลปีบ และตั้งไฟอ่อน ๆ เพื่อให้น้ำตาลปีบละลาย ตั้งให้เย็น เติมน้ำตาลลงไปให้เข้ากัน จากนั้นเติมแป้งข้าวเจ้า แป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งมันสำปะหลัง ผสมให้ส่วนผสมเข้ากัน เติมน้ำตาล และ นำแป้งปริมาณ 2 ช้อนโต๊ะ ไปใส่ในพิมพ์และร่อนแป้งสุกประมาณ 30-40 วินาที โดยแป้งที่ได้จะ เริ่มแข็ง จากนั้นพักให้เย็น และนำขนมทองม้วนที่ได้เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟรอยด์ เพื่อเก็บรักษา และวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

3. การวิเคราะห์คุณภาพขนมทองม้วน

วิเคราะห์คุณภาพทางด้านต่าง ๆ ของขนมทองม้วนที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าที่ ระดับต่าง ๆ ด้วยการวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบอินฟราเรด ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ และลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer, TA.XT2i) ตามวิธีการของจรรยา (2559) โดยใช้หัววัด cylinder probe (P/2) ขนาด 2 มิลลิเมตร กำหนดแรงกด 5 กิโลกรัม ความเร็วหัว 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทาง 3 มิลลิเมตร โดย ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ และตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) กำลังขยาย 100 เท่า (Bi *et al.*, 2017)

4. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมทองม้วนในระหว่างการเก็บรักษา

นำขนมทองม้วนบรรจุถุงอะลูมิเนียมฟรอยด์ ปริมาณ 150 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 28 วัน สุ่มตรวจวิเคราะห์คุณภาพต่าง ๆ ทุกวันที่ 0 7 14 21 และ 28 วัน ทำการวิเคราะห์ ความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบอินฟราเรด ปริมาณน้ำอิสระด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ ลักษณะ เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer, TA.XT2i) โดยใช้หัววัด cylinder probe (P/2) ขนาด 2 มิลลิเมตร กำหนดแรงกด 5 กิโลกรัม ความเร็วหัว 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทาง 3 มิลลิเมตร โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ วัดความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดของ ของเหลว (Brookfield viscometer) และวัดโครงสร้างทางจุลภาคด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) กำลังขยาย 100 เท่า

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design: CRD) ทำการ ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความ แตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

ผลการวิจัย

1. ลักษณะของแป้งกล้วยน้ำว้า

จากการศึกษาคุณภาพทางกายภาพของกล้วยที่มีความสุกระดับที่ 1 พบว่ากล้วยระยะนี้ แป้งยังไม่เปลี่ยนเป็นน้ำตาล เนื่องจากกล้วยสุกจะมีน้ำตาลสูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่เข้มข้น ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากการกระทำของเอนไซม์ (enzymatic browning) รวมถึงปฏิกิริยา เมลลาร์ด (maillard reaction) เมื่อใช้อุณหภูมิสูง (อดิศรา, 2564) ดังนั้นกล้วยที่มีความสุกระดับที่ 1 เมื่ออบแห้งจะทำให้กล้วยไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล พบว่า แป้งกล้วยน้ำว้ามีเนื้อละเอียด สีขาวอมเหลือง

มีกลิ่นหอมของกล้วยน้ำว้า แป้งกล้วยน้ำว้าที่ได้มีความชื้นร้อยละ 9.75 ± 0.15 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ที่กำหนดความชื้นของแป้งกล้วยน้ำว้าไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ทำให้สามารถควบคุมการเจริญของเชื้อราที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของแป้งกล้วยน้ำว้าได้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2550)

2. ผลของปริมาณแป้งกล้วยน้ำว้าต่อคุณภาพของขนมทองม้วน

การใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนต่าง ๆ คือ อัตราส่วนร้อยละ 0 (สูตรควบคุม) 25 (สูตรที่ 1) 50 (สูตรที่ 2) 75 (สูตรที่ 3) และ 100 (สูตรที่ 4) น้ำหนักต่อน้ำหนักพบว่าลักษณะของน้ำแป้งที่ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าในอัตราที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ค่าสีของน้ำแป้งที่ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงของแป้งขนมทองม้วนในแต่ละอัตราส่วนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในสูตรที่มีการเติมปริมาณแป้งกล้วยน้ำว้าเพิ่มขึ้น ค่าค่าความสว่างลดลง และมีค่าความเป็นสีแดงที่เพิ่มขึ้นขณะที่ค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าสีของขนมทองม้วนที่ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าที่ระดับต่าง ๆ

อัตราส่วนแป้งกล้วยน้ำว้า (ร้อยละ)	ค่าสี		
	ความสว่าง (L*)	ความเป็นสีแดง (a*)	ความเป็นสีเหลือง (b*)
0	79.78 ± 0.08^a	2.56 ± 0.21^e	20.70 ± 0.20^{cd}
25	71.82 ± 0.09^b	3.71 ± 0.06^d	21.51 ± 0.13^{bc}
50	65.96 ± 0.04^c	4.44 ± 0.14^c	20.44 ± 0.28^d
75	60.32 ± 0.08^d	5.03 ± 0.12^b	23.01 ± 0.64^a
100	52.25 ± 0.16^e	6.85 ± 0.45^a	22.02 ± 0.68^{ab}

หมายเหตุ: - ตัวอักษร a b c d e ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

นอกจากนี้แป้งกล้วยน้ำว้าที่ทดแทนแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าอัตราส่วนในการเติมแป้งกล้วยน้ำว้าเพื่อทดแทนแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนืดของแป้งทองม้วนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ความหนืดของน้ำแป้งขนมทองม้วนที่ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าที่ระดับต่าง ๆ

อัตราส่วนแป้งกล้วยน้ำว้า (ร้อยละ)	ความหนืด (เซนติพอยส์: cP)
0	0.50 ± 0.00^e
25	1.00 ± 0.00^d
50	5.00 ± 0.00^c
75	50.00 ± 0.00^b
100	66.70 ± 0.00^a

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ตัวอย่าง ($n=3$)

- ตัวอักษร a b c d e ที่แตกต่างกันในแถวแสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. การเปลี่ยนแปลงของขนมทองม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในสูตรต่าง ๆ

ในระหว่างการเก็บรักษาขนมทองม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 น้ำหนักต่อน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 0 7 14 21 และ 28 วัน ในถุงออลูมิเนียมฟรอยด์ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ พบว่าขนมทองม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในสูตรควบคุมและอัตราส่วนร้อยละ 25 น้ำหนักต่อน้ำหนัก มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา ในขณะที่ปริมาณความชื้นของขนมทองม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนร้อยละ 50 75 และ 100 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลา 28 วัน แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณความชื้นของขนมทองม้วนที่ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าที่ระดับต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ตลอดระยะเวลา 28 วัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณความชื้นของขนมทองม้วนที่ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าอัตราส่วนร้อยละ				
	0	25	50	75	100
0	3.23±0.05 ^{bB}	4.45±0.43 ^{aBC}	3.03±0.76 ^{bA}	3.53±0.23 ^{bA}	2.00±0.61 ^{cA}
7	3.31±0.10 ^{bB}	4.97±0.55 ^{aAB}	3.37±0.50 ^{bA}	2.87±0.15 ^{bA}	2.70±0.62 ^{bA}
14	3.20±0.36 ^{abB}	4.03±0.15 ^{abC}	4.37±1.67 ^{aA}	3.33±0.60 ^{abA}	2.43±0.21 ^{bA}
21	4.43±0.21 ^{aA}	4.67±0.35 ^{aABC}	4.00±1.15 ^{aA}	3.50±0.78 ^{abA}	2.73±0.25 ^{bA}
28	4.77±0.25 ^{abA}	5.33±0.51 ^{aA}	3.70±1.14 ^{bcA}	2.90±0.10 ^{cA}	2.87±0.35 ^{cA}

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ตัวอย่าง (n=3)

- ตัวอักษร a b c ที่แตกต่างกันในแถวแสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- ตัวอักษร A B C ที่แตกต่างกันในคอลัมน์แสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องตลอดระยะเวลา 28 วัน พบว่าปริมาณน้ำอิสระในสูตรควบคุม และอัตราส่วนร้อยละ 25 น้ำหนักต่อน้ำหนัก มีปริมาณน้ำอิสระสูงกว่าอัตราส่วนร้อยละ 50 75 และ 100 น้ำหนักต่อน้ำหนัก (ตารางที่ 5) และทุกสูตรมีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณน้ำอิสระในสูตรที่มีปริมาณแป้งกล้วยน้ำว้าอัตราส่วนร้อยละ 100 น้ำหนักต่อน้ำหนัก มีปริมาณน้ำอิสระน้อยที่สุด และทุกสูตรมีปริมาณน้ำอิสระต่ำหรือน้อยกว่า 0.60 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 28 วัน

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำอิสระของขนมทองม้วนที่ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าที่ระดับต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 28 วัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณน้ำอิสระของขนมทองม้วนที่ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าอัตราส่วนร้อยละ				
	0	25	50	75	100
0	0.39±0.00 ^{aA}	0.36±0.00 ^{bB}	0.30±0.00 ^{cB}	0.33±0.03 ^{cA}	0.27±0.01 ^{dC}
7	0.32±0.01 ^{cdA}	0.44±0.03 ^{aAB}	0.36±0.01 ^{bA}	0.33±0.01 ^{bcA}	0.29±0.00 ^{dB}
14	0.44±0.04 ^{aA}	0.47±0.03 ^{aA}	0.34±0.01 ^{bcA}	0.36±0.03 ^{bA}	0.30±0.01 ^{cAB}
21	0.43±0.01 ^{aC}	0.44±0.04 ^{aAB}	0.37±0.01 ^{bA}	0.37±0.01 ^{bA}	0.32±0.01 ^{cA}
28	0.47±0.02 ^{aB}	0.47±0.02 ^{aA}	0.36±0.02 ^{bA}	0.28±0.01 ^{cB}	0.29±0.01 ^{cBC}

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ตัวอย่าง (n=3)

- ตัวอักษร a b c ที่แตกต่างกันในแถวแสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
- ตัวอักษร A B C ที่แตกต่างกันในคอลัมน์แสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของขนมทองม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนต่าง ๆ ค่าที่รายงานเป็นแรงสูงสุดในการต้านการกด (maximum force) ซึ่งบ่งบอกถึงความแข็ง (gf) ของตัวอย่าง จากการวัดค่าความแข็งของม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าเป็นส่วนผสมมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 28 วัน แสดงดังตารางที่ 6

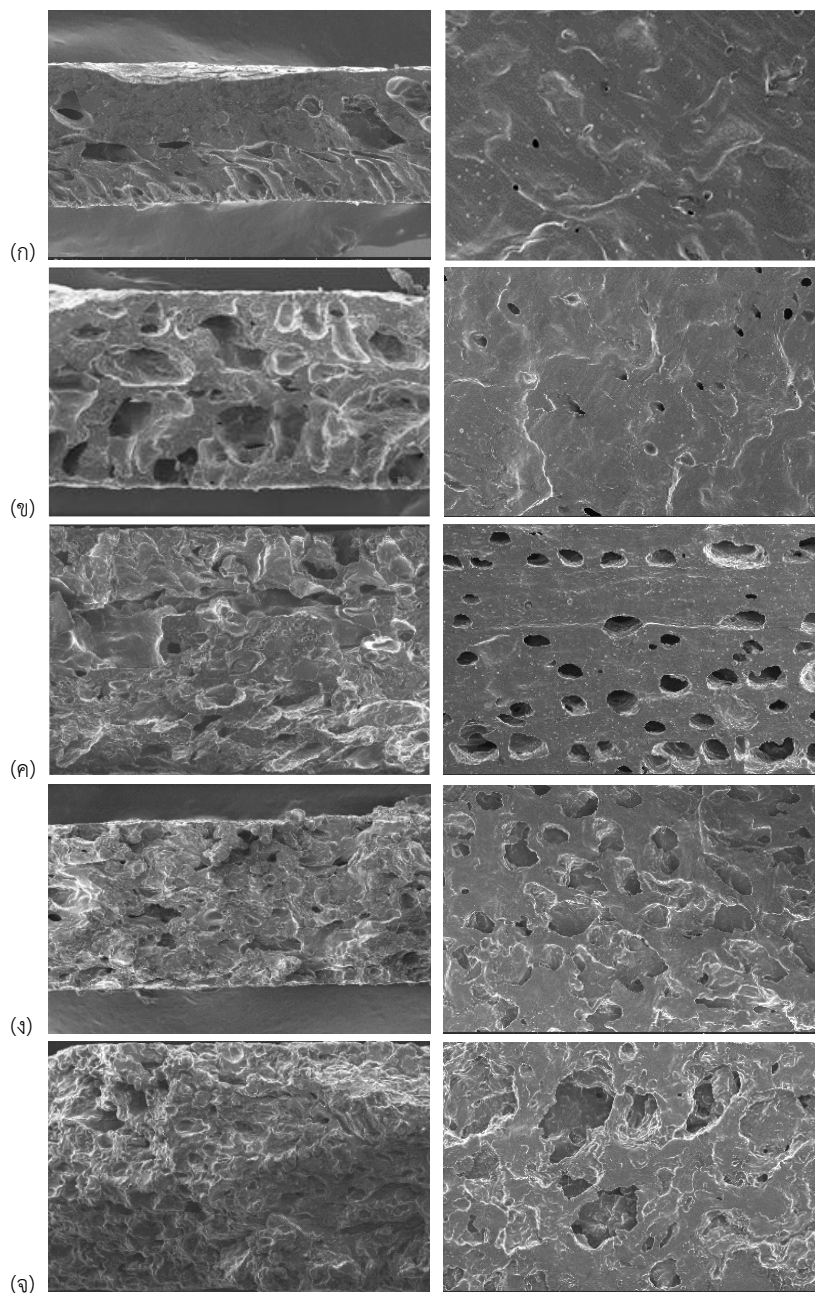
ตารางที่ 6 ค่าความแข็งของขนมทองม้วนที่ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าที่ระดับต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ตลอดระยะเวลา 28 วัน

ระยะ เวลา (วัน)	ค่าความแข็งของขนมทองม้วนที่ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าอัตราส่วนร้อยละ				
	0	25	50	75	100
0	512.46±202.71 ^{aA}	195.73±38.88 ^{bB}	592.54±178.05 ^{aA}	760.38±192.61 ^{aB}	597.64±132.38 ^{aA}
7	386.969±83.03 ^{bA}	266.97±47.45 ^{bB}	259.18±64.63 ^{bB}	253.25±45.48 ^{bC}	594.52±226.83 ^{aA}
14	500.72±85.81 ^{bA}	640.72±98.37 ^{bA}	588.99±145.68 ^{bA}	1268.25±175.82 ^{aA}	458.502±183.34 ^{bA}
21	479.00±88.54 ^{aA}	533.20±46.43 ^{aA}	625.42±169.32 ^{aA}	511.74±241.76 ^{aBC}	514.79±153.73 ^{aA}
28	482.43±127.79 ^{bA}	582.43±170.79 ^{abA}	766.24±144.06 ^{aA}	782.07±237.65 ^{aB}	584.52±100.73 ^{abA}

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ตัวอย่าง (n=3)

- ตัวอักษร a b c ที่แตกต่างกันในแถวแสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
- ตัวอักษร A B C ที่แตกต่างกันในคอลัมน์แสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

โครงสร้างทางจุลภาคของขนมทองม้วนใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยรูปด้านซ้ายเป็นรูปตัดขวางของขนมทองม้วนและรูปด้านขวาเป็นรูปพื้นผิวของขนมทองม้วน (ภาพที่ 1) เห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งกล้วยน้ำว้า ส่งผลให้ลักษณะของขนมทองม้วนมีลักษณะขรุขระเพิ่มขึ้น และมีรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้น การมีรูพรุนมากจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบมากขึ้นและปริมาณความชื้นลดลง (จีรเดช และคณะ. 2564; Fida *et al.*, 2019)



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางจุลภาคของขนมทองม้วนที่ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่ ร้อยละ 0 (ก) 25 (ข) 50 (ค) 75 (ง) และ 100 (จ) ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ซ้าย: ภาพตัดขวาง ขวา: ผิวหน้า)

การอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาคุณภาพทางกายภาพของแป้งกล้วยน้ำว้า พบว่าแป้งกล้วยน้ำว้ามีเนื้อละเอียด สีขาวอมเหลือง มีกลิ่นหอมของกล้วยน้ำว้า และมีค่าความเป็นสีแดงเล็กน้อย เนื่องจากในกล้วยน้ำว้า มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในขั้นตอนการผลิตแป้ง ซึ่ง Fida *et al.* (2019) ได้ศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกล้วยน้ำว้า พบว่ากล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ระยะแก่) มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 0.2 และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะการสุกของกล้วย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกผลกล้วยจะมีอัตราการคายน้ำเพิ่มขึ้นและเกิดการสลายตัวของแป้ง ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลในเนื้อ ปริมาณแป้งลดลง ซึ่งแป้งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลซูโครสและเปลี่ยนต่อเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตส (ปิยวรรณ, 2544) การละลายของแป้งกล้วยน้ำว้าแสดงถึงการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างส่วนอสัณฐาน (amorphous) และส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) บนสายโซ่ของเม็ดแป้ง เมื่อมีความร้อนในสภาวะที่มีปริมาณน้ำมากเกินไปจะทำให้โครงสร้างส่วนที่เป็นผลึกเกิดการคลายตัวและพันธะไฮโดรเจนในกลุ่มอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) ที่ยึดเหนี่ยวกันอ่อนแอลง ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำสามารถเข้าไปในเม็ดแป้ง เกิดการพองตัวและละลายน้ำ ทั้งนี้จะส่งผลให้สมบัติต่าง ๆ ของแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ความหนืด และการเกิดเจลาติไนซ์ เป็นต้น จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนในการเติมแป้งกล้วยน้ำว้าเพื่อทดแทนแป้งข้าวเจ้ามากขึ้น ส่งผลให้ความหนืดของแป้งทองม้วนเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความหนืดของแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งข้าวเจ้า พบว่าแป้งกล้วยน้ำว้ามีค่าความหนืดสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการคงทนต่ออุณหภูมิและการกวน สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในอาหารที่ต้องผ่านการให้ความร้อนด้วยการสเตอริไลซ์ได้ อีกทั้งพบว่าแป้งกล้วยน้ำว้ามีส่วนที่เป็นอะไมโลสสูงจะสามารถเกิดการคืนตัวได้ดีและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง (ภาสุรี และนัฐพัช, 2561) การเตรียมแป้งกล้วยน้ำว้าด้วยการนึ่งเป็นการดัดแปรแป้งทางกายภาพด้วยความร้อน ทำให้แป้งบางส่วนเกิดการสุก (pre gelatinization) โครงสร้างแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้แป้งสามารถดูดน้ำและละลายได้มากขึ้น (Naivikul and Arlai, 2022)

การเตรียมแป้งทองม้วนที่ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 น้ำหนักต่อน้ำหนัก นำมาใส่พิมพ์เพื่อให้ความร้อนประมาณ 1-2 นาที พบว่าขนมทองม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าอัตราส่วนร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ในแต่ละสูตรมีสีที่แตกต่างกัน เนื่องจากการเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยน้ำว้ามากขึ้นทำให้เกิดสีที่เข้มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของจิรนาถ และคณะ (2558) ได้ศึกษาปริมาณแป้งกล้วยหอมทองดิบในการผลิตเส้นพาสต้า พบว่าค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองจะลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทองดิบมากขึ้น ทำให้พาสต้ามีสีค่อนข้างคล้ำ (สีน้ำตาลอ่อน) ทั้งนี้สีน้ำตาลอ่อนของแป้งกล้วยหอมทองดิบอาจเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากการกระทำของเอนไซม์ (enzymatic browning) รวมถึงปฏิกิริยาเมลลาร์ดในกระบวนการเตรียมแป้ง

ในระหว่างการเก็บรักษาขนมทองม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 น้ำหนักต่อน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 0 7 14 21 และ 28 วัน ในอุณหภูมิเย็นมพรอยด์ จากนั้นนำมาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ พบว่าขนมทองม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในสูตรควบคุมและอัตราส่วนร้อยละ 25 น้ำหนักต่อน้ำหนัก มีปริมาณ

ความชื้นของขนมทองม้วนตลอดการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณความชื้นของขนมทองม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว่าทดแทนแป้งข้าวเจ้าอัตราส่วนร้อยละ 50 75 และ 100 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลา 28 วัน แสดงดังตารางที่ 4 ปริมาณแป้งกล้วยน้ำว่าในอัตราส่วนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง เช่นเดียวกับการศึกษาของจิรนาถ และคณะ (2558) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าจากแป้งกล้วยหอมดิบทดแทนเซโมลินา พบว่าเมื่อใช้ปริมาณแป้งกล้วยหอมดิบเพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง นอกจากนี้ Loza *et al.* (2017) ศึกษาการใช้ปริมาณแป้งกล้วยทดแทนแป้งสาลีในการผลิตคุกกี้ พบว่า การใช้แป้งกล้วยในสูตรเพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือน โดยมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 1.88 และเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.98 ในเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา แป้งกล้วยน้ำว่าประกอบด้วยแป้งทeny่อย ซึ่งส่งผลให้ทนต่อการย่อยในลำไส้ อีกทั้งแป้งกล้วยน้ำว่าประกอบด้วยใยอาหารในปริมาณสูง การจัดเรียงตัวของเส้นใยเป็นแบบตาข่าย ทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง ในระหว่างการให้ความร้อน (Fida *et al.*, 2019) ซึ่งความชื้นจะมีผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพด้านความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์ เมื่อศึกษาปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว่าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องตลอดระยะเวลา 28 วัน พบว่าปริมาณน้ำอิสระในสูตรควบคุมและปริมาณแป้งกล้วยน้ำว่าร้อยละ 25 มีปริมาณน้ำอิสระสูงกว่าร้อยละ 50 75 และ 100 (ตารางที่ 5) และทุกสูตรมีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา แต่ขนมทองม้วนที่มีอัตราส่วนแป้งกล้วยน้ำว่าร้อยละ 100 มีปริมาณน้ำอิสระน้อยที่สุด จากการทดลองตลอดการเก็บรักษา พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนทุกสูตรมีปริมาณน้ำอิสระต่ำหรือน้อยกว่า 0.60 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 28 วัน ดังนั้นการใช้แป้งกล้วยน้ำว่าในผลิตภัณฑ์จึงนิยมใช้ในการผลิตที่มีความชื้นต่ำ ซึ่งสามารถช่วยควบคุมการเจริญของเชื้อรา ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมทองม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว่าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยค่าที่รายงานเป็นแรงสูงสุดในการต้านการกด ซึ่งชี้บอกความแข็ง (hardness) ของตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 6 พบว่าทองม้วนที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว่าเป็นส่วนผสมมีค่าความแข็งมากกว่าชุดควบคุม ค่าความแข็งที่มากบ่งบอกถึงควมมีร่วนที่เกิดจากเส้นใยจากแป้งกล้วยน้ำว่าทำให้ทองม้วนกรอบมากขึ้น (จิรเดช และคณะ, 2564) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความแข็งของขนมทองม้วนมีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันมากตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 28 วัน จากการศึกษาของภาสุรี และนัฐพัศ (2561) พบว่าการใช้แป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลัง (สูตรควบคุม) ให้ค่าความแข็ง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ทดแทนแป้งผสมด้วยฟลาวร์ (flour) ต่อสตาร์ช (starch) จากกล้วยไข่ดิบ อัตราส่วนเท่ากับ 50:5 100:0 และ 0:100 ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของแป้งข้าวเจ้าและแป้งกล้วยน้ำว่าประกอบด้วยปริมาณอะไมโลสที่ค่อนข้างสูง ปริมาณอะไมโลสจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากขึ้น การใช้อุณหภูมิสูงในการให้ความร้อนแก่แป้ง ส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวสูงที่สุด (peak viscosity) เม็ดแป้งก็จะเกิดการแตกออก ความหนืดลดลง ทำให้แป้งสุกหรือเกิดการเจลาติไนซ์ เมื่อลดอุณหภูมิลงโดยการปล่อยแป้งสุกให้เย็นตัวลง โครงสร้างภายในเม็ดแป้งจะจัดเรียงตัวใหม่อย่างเป็นระเบียบ (recrystallization) ด้วยพันธะไฮโดรเจนที่มีความแข็งแรงกว่าเดิม

หรือการคืนตัวของแป้งเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย ทำให้แป้งเกิดลักษณะเป็นเจล (ภาสกริ และนัฐพัช, 2561)

โครงสร้างทางจุลภาคของขนมทองม้วนใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยรูปด้านซ้ายเป็นรูปตัดขวางของขนมทองม้วนและรูปด้านขวาเป็นรูปพื้นผิวของขนมทองม้วน (ภาพที่ 1) จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งกล้วยน้ำว้า ส่งผลให้ลักษณะของขนมทองม้วนมีลักษณะขรุขระเพิ่มขึ้นและมีรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้น รูพรุนส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบและความชื้นลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการพองตัวมีความสัมพันธ์กับความกรอบ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวสูงในขณะการให้ความร้อน จะทำให้โมเลกุลของแป้งที่ล้อมรอบช่องอากาศทำให้มีความหนาแน่นน้อย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แตกได้ง่ายซึ่งบ่งบอกถึงความกรอบ อัตราส่วนการพองตัวจะแปรผกผันกับความหนาแน่นรวมเนื่องจากถ้าผลิตภัณฑ์มีการพองตัวสูง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรมาก ทำให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลดลง (ธีรเดช และคณะ, 2564) การดัดแปลงสภาพแป้งกล้วยน้ำว้าด้วยการให้ความร้อนส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดรูพรุนมากขึ้น (Fida *et al.*, 2019)

สรุปผลการวิจัย

แป้งกล้วยน้ำว้ามีลักษณะเนื้อละเอียด สีขาวอมเหลือง มีกลิ่นหอมของกล้วยน้ำว้า มีความหนืดมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้น สามารถประยุกต์ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าอัตราส่วนร้อยละ 75 ในผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วน ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ทองม้วนคงความกรอบมากขึ้น ความชื้นลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งกล้วยน้ำว้า ส่งผลให้ลักษณะของขนมทองม้วนมีลักษณะขรุขระเพิ่มขึ้น รูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้น และผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสลดลงในระหว่างการเก็บรักษา

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้สนับสนุนจากสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

เอกสารอ้างอิง

- จริยา สุขจันทร์. (2559). การพัฒนาอาหารท้องถิ่นจากแป้งสาคุ: หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 21(2), 17-30.
- จิรนาถ บุญคง ทิพวรรณ บุญมี และพัชรารวรรณ เรือนแก้ว. (2558). การใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบที่มีสมบัติต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์พาสต้า. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 10(1), 19-29.
- ธีรเดช กนกเมธากุล นัฐวงศ์ เพื่องไพบูลย์ และรัชฎา ตั้งวงศ์ไชย. (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบทอดจากกล้วยน้ำว้า. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 22*. ขอนแก่น.
- ปิยวรรณ ศุภวิทพัฒนา. (2544). การผลิตแป้งกล้วย. *รายงานวิจัย*. สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม.
- ภาสกริ ฤทธิเลิศ และนัฐพัช โคตรแปร. (2561). สมบัติของฟลาร์และสตาร์ชจากเนื้อกล้วยไข่ดิบและการใช้ประโยชน์ในขนมทองม้วน. *วารสารเกษตร*, 34(3), 513-524.

- วรชยา คุ่มมี อภิญญา อัครเอกผาลิน ชิณพนงค์ ลือราช และชนาธิป รุ่งเรือง. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ บราวนี่กรอบโดยใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งสาลี. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4* (หน้า 937-946). กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2550). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง แป้งกล้วย (มผช. 1375)*. สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2564, จาก: [http://lib3.dss.go.th/fulltext/techno_file/CF64/CF64\(D4\).pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/techno_file/CF64/CF64(D4).pdf).
- สุนทร พักเฟื่อง. (2563). การประยุกต์ใช้แป้งกล้วยไข่เพื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในผลิตภัณฑ์ขนมปังหวาน. *วารสารวิจัย*, 13(2), 1-8.
- สุปรียา ยืนยงสวัสดิ์ และสุดใจ คงทอง. (2537). *การศึกษาคุณสมบัติของสารสกัดโพลีแซ็กคาไรด์จากเปลือกกล้วยไข่ กล้วยน้ำว้าและกล้วยหอม*. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อดิสร่า ตันตสุทธิกุล. (2564). คุณลักษณะของแป้งกล้วยพรีลาเจไนซ์เพื่อการใช้ประโยชน์. *การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชภัฏสุราษฎร์ธานีวิจัย ครั้งที่ 16*. สุราษฎร์ธานี.
- อดิสร่า ตันตสุทธิกุล. (2564). สภาวะการผลิตวันสวรค์จากกล้วยน้ำว้าโดย *Acetobacter* sp. TISTR 1014. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 40(2), 97-105.
- Bi, Y., Zhang, Y., Jiang, H., Hong, Y., Gu, Z., Cheng, L., Li, Z. and Li, C. (2017). Molecular structure and digestibility of banana flour and starch. *Food Hydrocolloids*, 72, 219-227, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.003>.
- Fida, R., Pramafisi, G. and Cahyaha, Y. (2019). Application of banana starch and banana flour in various food product: A review. *International Conference on Food and Bio-Industry*, 443(1), doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/443/1/012057>.
- Loza, A., Quispe, M., Villanueva, J. and Peláez, P.P. (2017). Development of functional cookies with wheat flour, banana flour (*Musa paradisiaca*), sesame seeds (*Sesamum indicum*) and storage stability. *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 315-325, doi: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.03>.
- Maysylvie (2564). *วิธีทำทองม้วนกรอบทองม้วนสด สูตรทำขายสร้างอาชีพทั้งนุ่มทั้งกรอบอร่อยจัดเต็ม*. สืบค้นเมื่อ 30 กันยายน 2565, จาก: <https://food.trueid.net/detail/zg9QWyQpabVg>.
- Naivikul, O. and Arlai, A. (2022). The effect of drying methods on the characteristics and functional properties of unripe banana (*Musa* spp.) flour: Air drying, freeze-drying and extrusion. *Interdisciplinary Research Review*, 17(2), 1-7.

การกักเก็บคาร์บอนในป่าดิบชื้น กรณีศึกษาป่าชุมชนบ้านป่าพงค์ อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง

Carbon Storages in Tropical Rain Forest, Case Study: Ban Papong Community Forest, Thamod District, Phatthalung Province

อานูช คีร์รัตนิกม¹ และสุภฎา คีร์รัตนิกม^{1*}

Anut Kiriratnikom¹ and Suphada Kiriratnikom^{1*}

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการประเมินปริมาณการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้และในดินที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร รวมทั้งประเมินศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ป่าดิบชื้น ป่าชุมชนบ้านป่าพงค์ อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง โดยการวางแผนสำรวจ ขนาด 40x50 เมตร จำนวน 6 แปลง โดยวิธีการวางแผนแบบสุ่ม (random sampling) ผลการศึกษาพบว่าป่าชุมชนบ้านป่าพงค์มีไม้ทั้งสิ้น 99 ชนิด 72 สกุล 41 วงศ์ โดยพบพรรณไม้ใหญ่ 74 ชนิด 58 สกุล 34 วงศ์ พรรณไม้หนุม 72 ชนิด 57 สกุล 31 วงศ์ และพรรณกล้าไม้ 50 ชนิด 44 สกุล 27 วงศ์ และพบว่าป่าชุมชนบ้านป่าพงค์มีปริมาณคาร์บอนสะสม 158.30 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ โดยสะสมในมวลชีวภาพ 134.36 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ และมีปริมาณคาร์บอนสะสมในพรรณไม้ใหญ่ ไม้หนุม และกล้าไม้ จำนวน 131.46 2.42 และ 0.48 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ และมีการสะสมในดิน 23.94 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ปริมาณคาร์บอนส่วนใหญ่สะสมในมวลชีวภาพคิดเป็นร้อยละ 84.87 จะเห็นว่าป่าชุมชนบ้านป่าพงค์สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศได้ 580.43 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์

คำสำคัญ: การกักเก็บคาร์บอน ป่าชุมชน ป่าดิบชื้น

¹ สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

* Corresponding author e-mail: ksuphada@yahoo.com

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i1.257076>

Received: 5 December 2022, Revised: 2 April 2023, Accepted: 24 May 2023

Abstract

The research objective was to evaluate carbon storages in tree biomass, soil (0-30 centimeter (cm) depth) and evaluate the potential for carbon dioxide adsorption in tropical rain forest, Ban Papong Community Forest, Thamod district, Phatthalung province. The random sampling for surveying of plant species was undertaken by 40x50 square meter (m^2) sample plot (6 plots). The results showed that the plants in Ban Papong Community Forest composed of 99 species, 72 genus in 41 families, which were divided into the group of trees that contain 74 tree species, 58 genus in 34 families, 72 sapling species, 57 genus in 31 families and 50 seedling species, 44 genus in 27 families. Ban Papong Community Forest had a total of carbon sequestration 158.30 tonne carbon per hectare (C/ha), in plant biomass 134.36 tonne C/ha (131.46 tonne C/ha in tree, 2.42 tonne C/ha in sapling and 0.48 tonne C/ha in seedling) and 23.94 tonne C/ha of carbon sequestration in soil. Most of the carbon stored in biomass was 84.87%. The Ban Papong Community Forest can adsorb CO_2 580.43 tonne carbon dioxide per hectare (CO_2/ha).

Keywords: Carbon storage, Community forest, Tropical rain forest

บทนำ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศมากที่สุด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศหรือภาวะโลกร้อน ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรคาร์บอนในพื้นที่ป่าไม้ นับเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ ซึ่งจะเห็นได้ว่าทรัพยากรป่าไม้มีบทบาททั้งเป็นแหล่งปลดปล่อย (source) และแหล่งกักเก็บ (sink) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งต้นไม้ยังมีบทบาทในการดักจับมลภาวะอื่น ๆ ในอากาศได้อีกด้วย (มัทนภรณ์ และเพ็ญศิริ, 2566) ซึ่งคาร์บอนในป่าส่วนใหญ่จะสะสมในมวลชีวภาพของสิ่งที่มีชีวิตและในดิน และมีปริมาณน้อยในส่วนของเศษซากพืช (Malhi *et al.*, 2009, วสันต์ และคณะ, 2563) ทั้งนี้จะสะสมมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแต่ละพื้นที่ เช่น ป่าดิบเขาในประเทศเปรู มีคาร์บอนในมวลชีวภาพประมาณร้อยละ 40 (Gibbon *et al.*, 2010) สำหรับป่าเขตร้อนในประเทศจีน และป่าเต็งรังในประเทศมาเลเซีย ปริมาณคาร์บอนจะสะสมในมวลชีวภาพมากกว่าดิน 2 เท่า (Saner *et al.*, 2012) แต่ในป่าดิบชื้นของประเทศแอฟริกาปริมาณคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพสูงกว่าดิน 3 เท่า (Djomo *et al.*, 2011) ในขณะที่ป่าทุติยภูมิในประเทศฟิลิปปินส์ ปริมาณคาร์บอนจะสะสมในมวลชีวภาพปริมาณร้อยละ 60 (Lasco *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตามความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนของป่าธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดป่า ชนิดพันธุ์ไม้ ความหนาแน่นของพรรณไม้ และปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งพบว่าป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบแล้ง จังหวัดนครราชสีมา มีปริมาณคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพและในดินรวม 63.57 84.17 และ 98.05 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (วสันต์ และคณะ, 2563) ป่าชุมชนบ้านหนองหิน ตำบลเกาะเต่า อำเภอป่าพะยอม จังหวัด

พัทลุง มีปริมาณคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพ 129.55 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ (อานูช และทิพย์ทิวา, 2556)

จากบทบาทที่สำคัญในการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของระบบนิเวศป่าไม้ จึงมีการสนับสนุนและส่งเสริมให้ชุมชนดูแลรักษาป่าเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการสะสมคาร์บอนในป่า ซึ่งในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีการจัดตั้งป่าชุมชน จำนวน 1,640 โครงการ ใน 1,399 หมู่บ้าน (กรมป่าไม้, 2564) ซึ่งป่าชุมชนบ้านป่าพงศ์ อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง เป็นป่าที่ชุมชนตะโหมดได้ดำเนินการฟื้นฟู เพื่อเป็นการอนุรักษ์พันธุ์ไม้และส่งเสริมให้เยาวชน และชุมชนได้เห็นคุณค่าของป่าไม้ เกิดจิตสำนึกในการอนุรักษ์ ฟื้นฟูป่า และลดการตัดต้นไม้ เนื่องจากปัจจุบันพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีความเกี่ยวข้องกับป่าไม้ และการอนุรักษ์ฟื้นฟูป่าจะสามารถช่วยบรรเทาปัญหาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพแวดล้อมได้ทางหนึ่ง เพื่อให้ชุมชนและองค์กรที่เกี่ยวข้องได้เห็นคุณค่าของทรัพยากรป่าไม้ต่อการกักเก็บคาร์บอน การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณการสะสมคาร์บอนในป่าชุมชนบ้านป่าพงศ์ อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุงเพื่อเผยแพร่ข้อมูลศักยภาพในกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของป่าไม้ ซึ่งจะก่อให้เกิดความตระหนัก ห่วงเห่นและร่วมกันฟื้นฟูทรัพยากรป่าไม้ในป่าชุมชนมากขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวางแผนการศึกษาและการเก็บข้อมูล

ทำการวางแผนศึกษาขนาด 40x50 ตารางเมตร จำนวน 6 แปลง โดยวิธีการ random sampling ด้วยวิธีการสุ่มกระจายตามระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล ซึ่งแต่ละแปลงแบ่งออกเป็นแปลงย่อยขนาด 10x10 ตารางเมตร รวมทั้งสิ้น 120 แปลงย่อย เพื่อศึกษาชนิดพรรณไม้ใหญ่ (tree) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูง วางแปลงขนาด 4x4 ตารางเมตร เพื่อศึกษาชนิดพรรณไม้หนุม (sapling) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูง และวางแปลงขนาด 1x1 ตารางเมตร ในแปลงศึกษาขนาด 10x10 ตารางเมตร เพื่อศึกษาชนิดพรรณกล้าไม้ (seedling) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไม้ที่ระดับขีดผิวดินโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (vernier caliper)

ทำการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละแปลงศึกษาโดยในแต่ละหลุมเก็บตัวอย่างดินที่ระดับ 0-30 เซนติเมตร เพื่อเป็นข้อมูลในการสนับสนุนการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำลายป่าในประเทศกำลังพัฒนาตาม The UN-REDD (Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics, 2009) โดยเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธี core method ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวน โครงสร้าง (undisturbed sample) เพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม (bulk density) จำนวน 6 ตัวอย่าง และตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนโครงสร้าง (disturbed sample) โดยเก็บตัวอย่างดินแบบรวม (composite sampling) ในแต่ละแปลงการศึกษา รวม 6 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของคาร์บอนในดิน

2. การประเมินปริมาณมวลชีวภาพของพรรณไม้

ประเมินหามวลชีวภาพของพรรณไม้ใหญ่ ไม้หนุม และกล้าไม้ โดยใช้สมการแอลโลเมตรี (allometry equation) ของป่าดิบชื้น ดังนี้

สมการหามวลชีวภาพของพรรณไม้ใหญ่ (ชิงชัย, 2546)

$$\begin{aligned}\text{stem (Ws)} &= 0.0396 \times (D^2H)^{0.9326} \\ \text{branch (Wb)} &= 0.006003 \times (D^2H)^{1.0270} \\ \text{leaf (WL)} &= [28.0 / (Ws + Wb) + 0.025]^{-1} \\ \text{root (Wr)} &= 0.0264 \times (D^2H)^{0.7750}\end{aligned}$$

สมการหามวลชีวภาพของพรรณไม้หนุม (อานูช และสุภฎา, 2561)

$$\begin{aligned}\text{LogWs} &= -1.114 + 0.77\text{log}D^2H \quad (R^2 = 0.922) \\ \text{LogWb} &= -1.886 + 0.871\text{log}D^2H \quad (R^2 = 0.860) \\ \text{LogWL} &= -1.658 + 0.571\text{log}D^2H \quad (R^2 = 0.712) \\ \text{LogWr} &= -1.553 + 0.708\text{log}D^2H \quad (R^2 = 0.923)\end{aligned}$$

โดยที่ Ws = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น (กิโลกรัม)

Wb = มวลชีวภาพส่วนของกิ่ง (กิโลกรัม)

WL = มวลชีวภาพส่วนของใบ (กิโลกรัม)

Wr = มวลชีวภาพส่วนของราก (กิโลกรัม)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูงของต้นไม้ถึงปลายยอด (เมตร)

สมการหามวลชีวภาพของพรรณกล้าไม้ (อานูช และสุภฎา, 2561)

$$\begin{aligned}Ws &= 13.23(D_0^2)^{1.318} \quad (R^2 = 0.848) \\ Wb &= 2.404(D_0^2)^{0.990} \quad (R^2 = 0.613) \\ WL &= 5.493(D_0^2)^{0.775} \quad (R^2 = 0.589) \\ Wr &= 8.202 (D_0^2)^{1.110} \quad (R^2 = 0.748)\end{aligned}$$

โดยที่ Ws = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น (กรัม)

Wb = มวลชีวภาพส่วนของกิ่ง (กรัม)

WL = มวลชีวภาพส่วนของใบ (กรัม)

Wr = มวลชีวภาพส่วนของราก (กรัม)

D₀ = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับขีดดิน (เซนติเมตร)

3. การประเมินปริมาณการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพ

นำข้อมูลของปริมาณมวลชีวภาพของไม้มาคำนวณหาปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บ โดยน้ำหนักคาร์บอนของมวลชีวภาพในพรรณไม้ใหญ่ค่าเป็นร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพ (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006) สำหรับพรรณไม้หนุมมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักคาร์บอนของมวลชีวภาพคิดเป็นร้อยละ 51.56 โดยน้ำหนักคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนลำต้น กิ่ง ราก และใบ มีค่าร้อยละ 56.78 53.53 49.23 และ 46.72 ของมวลชีวภาพ ตามลำดับ ในส่วนของพรรณกล้าไม้มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักคาร์บอนของมวลชีวภาพคิดเป็นร้อยละ 49.79 โดยน้ำหนักคาร์บอน

ในมวลชีวภาพส่วนลำต้น ราก กิ่ง และใบ มีคาร์บอน 51.77 50.46 49.75 และ 47.18 ของมวลชีวภาพตามลำดับ (อานูช และสุภฎา, 2558)

4. การประเมินปริมาณคาร์บอนในดิน

ทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นรวมของดิน โดยวิธี clod method (คณาจารย์ภาควิชาธรณีศาสตร์, 2546) และความเข้มข้นของคาร์บอนโดยวิธี wet oxidation ของ Walkley and Black (1947) จากนั้นทำการคำนวณปริมาณคาร์บอนในดินต่อหน่วยพื้นที่โดยการคูณกับปริมาณมวลดิน (วสันต์ และคณะ, 2553) ดังสมการ

ปริมาณคาร์บอนในดิน = ความหนาแน่นรวมของดิน x ความเข้มข้นของคาร์บอน x ความลึก

โดย ปริมาณคาร์บอนในดิน หน่วยเป็น กรัมต่อตารางเมตร

ความหนาแน่นรวมของดิน หน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ความเข้มข้นของคาร์บอน หน่วยเป็น กรัมต่อกรัมของดิน

ความลึก หน่วยเป็น เมตร

5. การคำนวณปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

นำข้อมูลปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมาเทียบเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับจากบรรยากาศโดยการคูณด้วยค่าคงที่ 3.67 ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่คิดจากน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (วิจารณ์, 2553)

$$\begin{array}{lcl} \text{ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับ} & = & \text{คาร์บอนกักเก็บ} \times (44/12) \\ \text{(ตันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์)} & & \text{(ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์)} \end{array}$$

ผลการวิจัย

1. ชนิดและความหนาแน่นของพันธุ์ไม้

จากการศึกษาพบว่าในป่าชุมชนบ้านป่าพงศ์ อำเภอดำรงวิทยะปาลัย จังหวัดพัทลุง มีไม้ทั้งสิ้น 99 ชนิด 72 สกุล 41 วงศ์ โดยพบพรรณไม้ใหญ่จำนวน 651 ต้น 74 ชนิด 58 สกุล 34 วงศ์ คิดเป็นความหนาแน่น 542.5 ต้นต่อเฮกตาร์ ส่วนใหญ่เป็นไม้ในวงศ์ Dipterocarpaceae ซึ่งพบพันธุ์ไม้จำนวน 8 ชนิด รองลงมา คือ พันธุ์ไม้ในวงศ์ Fabaceae พบพันธุ์ไม้จำนวน 7 ชนิด สำหรับพรรณไม้หนุมพบไม้ 664 ต้น 72 ชนิด 57 สกุล 31 วงศ์ คิดเป็นความหนาแน่น 3,457.94 ต้นต่อเฮกตาร์ ซึ่งพันธุ์ไม้ที่พบส่วนใหญ่เป็นไม้ในวงศ์ Dipterocarpaceae และวงศ์ Euphorbiaceae ซึ่งพบพันธุ์ไม้จำนวน 6 ชนิด รองลงมาคือไม้ในวงศ์ Fabaceae และวงศ์ Moraceae พบพันธุ์ไม้จำนวน 5 ชนิด และพบพรรณกล้าไม้จำนวน 671 ต้น 50 ชนิด 44 สกุล 27 วงศ์ คิดเป็นความหนาแน่น 55,916.69 ต้นต่อเฮกตาร์ ซึ่งพันธุ์ไม้ที่พบในส่วนของพรรณกล้าไม้ส่วนใหญ่เป็นไม้ในวงศ์ Dipterocarpaceae Fabaceae และ Moraceae พบไม้จำนวน 4 ชนิด (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 รายชื่อพันธุ์ไม้ที่อยู่ในวงศ์ที่พบมากของป่าชุมชนบ้านป่าพงค์ อำเภอดำรงวิทยะปาล์ม จังหวัดพัทลุง

วงศ์	ชนิดพันธุ์ไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	พรรณ		
			ไม้ใหญ่	ไม้หนุม	กล้าไม้
Dipterocarpaceae	กระบาก	<i>Anisoptera costata</i>	✓	✓	
	ยางนา	<i>Dipterocarpus alatus</i>	✓	✓	✓
	ตะเคียนหิน	<i>Hopea ferrea</i>	✓	✓	
	ตะเคียนทอง	<i>H. odorata</i>	✓	✓	✓
	ตะเคียนราก	<i>H. pierre</i>	✓		
	ตะเคียนสามพอน	<i>H. sangal</i>	✓		
	เคียนทราย	<i>Shorea gratissima</i>	✓	✓	✓
	ไข่เขียว	<i>Parashorea stellata</i>	✓	✓	✓
Euphorbiaceae	เหยื่อจ	<i>Balakata baccata</i>	✓		✓
	หลอ (ตองแตบ)	<i>Macaranga denticulata</i>	✓	✓	✓
	เปล้าใหญ่	<i>Croton roxburghii</i>	✓	✓	✓
	หลอขน	<i>Mallotus macrostachyus</i>	✓	✓	
	มะไฟ	<i>Baccaurea ramiflora</i>		✓	
	เปล้าเงิน	<i>C. sepalinus</i>		✓	
	ต้นหมี่	<i>Hancea subpeltata</i>		✓	
Fabaceae	เนียง (ชะเนียง)	<i>Archidendron jiringa</i>	✓		
	แฉะ	<i>Callerya atropurpurea</i>	✓	✓	✓
	ก่อหมู	<i>Castanopsis javanica</i>	✓		
	ร้อยเด	<i>Cynometra malaccensis</i>	✓	✓	✓
	ก่อ	<i>Lithocarpus cantleyanus</i>	✓	✓	
	แฉะควน	<i>Ormosia kerrii</i>	✓	✓	✓
	สะตอ	<i>Parkia speciosa</i>	✓	✓	✓
Moraceae	หาด	<i>Artocarpus lacucha</i>	✓	✓	
	แห้ว (แกแล)	<i>Maclura cochinchinensis</i>	✓	✓	✓
	ขี้แรด (ข่อยน้ำ)	<i>Streblus ilicifolius</i>	✓	✓	✓
	หนูนปาน (ขนุนปาน)	<i>A. rigidus</i>	✓		✓
	มะเดื่อ	<i>Ficus chartaceae</i>	✓		
	ขนุนป่า	<i>Artocarpus</i>		✓	✓
	ไทร	<i>F. subcordata</i>		✓	

หมายเหตุ: - ✓ หมายถึง การพบ

2. มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนสะสม

จากการศึกษาพบว่าป่าชุมชนบ้านป่าพงศ์ อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง มีปริมาณมวลชีวภาพจากไม้รวมทั้งสิ้น 285.14 ตันต่อเฮกตาร์ คิดเป็นปริมาณการสะสมคาร์บอน 134.36 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ โดยพรรณไม้ใหญ่มีปริมาณคาร์บอนสะสมมากที่สุด คิดเป็น 131.46 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ รองลงมา คือ พรรณไม้หนุ่มและกล้าไม้ มีค่าปริมาณการสะสมคาร์บอนคิดเป็น 2.42 และ 0.48 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ โดยส่วนของลำต้นจะเป็นส่วนที่มีการสะสมคาร์บอนมากที่สุด (ตารางที่ 2) และพบว่าไม้ใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 18.84 เซนติเมตร ความสูงเฉลี่ย 14.67 เมตร พรรณไม้หนุ่มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 2.22 เซนติเมตร ความสูงเฉลี่ย 3.11 เมตร พรรณกล้าไม้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับชิตดินเฉลี่ย 0.60 เซนติเมตร และเมื่อพิจารณาถึงความหนาแน่นของไม้ในพื้นที่แล้ว พบว่าพรรณไม้ใหญ่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด โดยมีความหนาแน่นเพียง 542.50 ตันต่อเฮกตาร์ มีการสะสมคาร์บอนสูงถึง 242.32 กิโลกรัมต่อตัน ส่วนพรรณไม้หนุ่มและกล้าไม้จะมีความหนาแน่นมากกว่าพรรณไม้ใหญ่ โดยพรรณไม้หนุ่มและกล้าไม้มีความหนาแน่น 3,457.94 และ 55,916.69 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ แต่มีการสะสมคาร์บอนเพียง 0.70 และ 0.01 กิโลกรัมต่อตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ดังนั้นหากมีการดูแลและจัดการให้พรรณกล้าไม้และไม้หนุ่มสามารถเจริญเติบโตเป็นพรรณไม้ใหญ่จะทำให้สามารถกักเก็บคาร์บอนได้เป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 2 มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพันธุ์ไม้

ตำแหน่ง	พรรณ					
	ไม้ใหญ่		ไม้หนุ่ม		กล้าไม้	
	มวล	ปริมาณ	มวล	ปริมาณ	มวล	ปริมาณ
	ชีวภาพ (ต้นต่อ เฮกตาร์)	คาร์บอนสะสม (ต้นคาร์บอน ต่อเฮกตาร์)	ชีวภาพ (ต้นต่อ เฮกตาร์)	คาร์บอนสะสม (ต้นคาร์บอน ต่อเฮกตาร์)	ชีวภาพ (ต้นต่อ เฮกตาร์)	คาร์บอนสะสม (ต้นคาร์บอน ต่อเฮกตาร์)
ลำต้น	176.53	82.97	2.66	1.51	0.45	0.23
กิ่ง	79.62	37.42	0.64	0.35	0.08	0.04
ใบ	3.24	1.52	0.39	0.18	0.17	0.08
ราก	20.31	9.55	0.78	0.38	0.26	0.13
รวม	279.71	131.46	4.47	2.42	0.96	0.48
รวมปริมาณคาร์บอน = 134.36 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์						

ตารางที่ 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ความสูงเฉลี่ย ความหนาแน่นของพรรณไม้และค่าเฉลี่ยการสะสมคาร์บอนของไม้แต่ละกลุ่ม

พรรณไม้	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	ความหนาแน่น (ตันต่อเฮกตาร์)	ปริมาณคาร์บอนสะสม (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์)	ค่าเฉลี่ยการสะสมคาร์บอน (กิโลกรัมต่อตัน)
ไม้ใหญ่	18.84	14.67	542.50	131,460	242.32
ไม้หนุม	2.22	3.11	3,457.94	2,420	0.70
กล้าไม้	0.60	-	55,916.69	480	0.01

3. ปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน

จากการเก็บตัวอย่างดินในระดับความลึกที่ระดับ 0-30 เซนติเมตร พบว่ามีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 1.40 ± 0.04 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และมีความเข้มข้นของคาร์บอนในดินเฉลี่ยเท่ากับ 5.70 ± 0.30 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4) เมื่อคิดเป็นปริมาณคาร์บอนในดินในระดับความลึก 30 เซนติเมตร จะพบว่าป่าชุมชนบ้านป่าพงค์ อำเภอดำรงวิทยะ จังหวัดพัทลุง จะมีการสะสมคาร์บอนในดินเท่ากับ 23.94 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์

ตารางที่ 4 ความหนาแน่นรวมและปริมาณคาร์บอนในดิน

จุดเก็บตัวอย่าง	ความหนาแน่นรวม (ตันต่อลูกบาศก์เมตร)	ความเข้มข้นของคาร์บอนในดิน (กรัมต่อกิโลกรัม)
1	1.37	5.9
2	1.37	5.4
3	1.46	5.6
4	1.42	6.2
5	1.38	5.5
6	1.40	5.6
เฉลี่ย	1.40 ± 0.04	5.70 ± 0.30

4. ปริมาณคาร์บอนที่สะสมและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับ

จากการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในป่าชุมชนบ้านป่าพงค์ อำเภอดำรงวิทยะ จังหวัดพัทลุงพบว่ามีปริมาณคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพของพรรณไม้ใหญ่ ไม้หนุมและกล้าไม้ 134.36 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ และสะสมในดิน 23.94 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ รวมทั้งสิ้น 158.30 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ หรือคิดเป็นปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 580.96 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์

การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาจะพบว่าป่าชุมชนบ้านป่าพงค์ อำเภอดงหลวง จังหวัดพัทลุง มีชนิดพรรณไม้ใหญ่มากกว่าป่าชุมชนบ้านทุ่งหลวง อำเภอดงหลวง จังหวัดตรัง ซึ่งพบพรรณไม้ใหญ่เพียง 23 ชนิด พรรณไม้หนุม 17 ชนิด และกล้วยไม้ 7 ชนิด ในพื้นที่ที่เป็นป่าดิบชื้นดั้งเดิมหรือป่าปฐมภูมิ (primary forest) สำหรับพื้นที่ที่เป็นป่ารุ่นสองหรือป่าทุติยภูมิ (secondary forest) พบพรรณไม้ใหญ่ 44 ชนิด พรรณไม้หนุม จำนวน 15 ชนิด และพรรณกล้วยไม้ 3 ชนิด (สุรงค์, 2554) และมากกว่าป่าชุมชนบ้านหนองหิน ตำบลเกาะเต่า อำเภอบางขัน จังหวัดพัทลุง ซึ่งเป็นป่าดิบชื้นที่พบพรรณไม้ใหญ่เพียง 40 ชนิด 27 วงศ์ (อนุช และทิพย์ทิวา, 2556) และพบว่าป่าชุมชนบ้านป่าพงค์ อำเภอดงหลวง จังหวัดพัทลุง มีการสะสมปริมาณคาร์บอนของพรรณไม้ใหญ่มากกว่าป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบแล้ง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพไม้ 28.06 33.67 และ 52.71 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (วสันต์ และคณะ, 2563) แต่มีการสะสมปริมาณคาร์บอนของพรรณไม้ใหญ่ใกล้เคียงกับป่าดิบชื้นในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านหนองหิน ตำบลเกาะเต่า อำเภอบางขัน จังหวัดพัทลุง (อนุช และทิพย์ทิวา, 2556) ป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี (Terakunpisut *et al.*, 2007) และป่าทุติยภูมิในประเทศสิงคโปร์ (Ngo *et al.*, 2013) ที่มีการสะสมปริมาณคาร์บอนในพรรณไม้ใหญ่จำนวน 129.55 137.73 126.80 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ แต่มีปริมาณคาร์บอนสะสมน้อยกว่าป่าปฐมภูมิในประเทศสิงคโปร์ (Ngo *et al.*, 2013) และป่าดิบชื้น ทางตอนใต้ของประเทศเอธิโอเปีย (Mewded and Lemessa, 2020) ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนสะสมสูงถึง 210.30 และ 384.44 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่าป่าชุมชนบ้านป่าพงค์ อำเภอดงหลวง จังหวัดพัทลุง มีการสะสมปริมาณคาร์บอนในดินน้อยกว่าดินในป่าปฐมภูมิและป่าทุติยภูมิของประเทศสิงคโปร์ ในระดับความลึก 20 เซนติเมตร (Ngo *et al.*, 2013) ดินในป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ จังหวัดนครศรีธรรมราช ในระดับความลึก 30 เซนติเมตร ซึ่งมีคาร์บอนในดิน 34.30 47.8 45.34 35.51 และ 50.50 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ทั้งนี้อาจมีผลมาจากลักษณะพืชพรรณที่ขึ้นอยู่และสภาพอากาศในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน และอาจสัมพันธ์กับกิจกรรมของจุลินทรีย์ตามพื้นป่า ทั้งนี้ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในแต่ละพื้นที่จะมีความแตกต่างกันตามปัจจัยทางภูมิอากาศและทางเคมี ในสภาพพื้นที่ซึ่งมีกลุ่มจุลินทรีย์ทำงานได้ดีย่อมมีอัตราการย่อยสลายของเศษซากต่าง ๆ ได้มาก (Gonzalez and Seastedt, 2001) ป่าชุมชนบ้านป่าพงค์ อำเภอดงหลวง จังหวัดพัทลุงเป็นพื้นที่ป่าที่อยู่ในเขตสภาพภูมิอากาศที่มีฝนตกชุกทำให้มีน้ำได้ดินมากกว่าป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าดิบแล้ง ซึ่งน้ำได้ดินจะเป็นตัวขัดขวางกระบวนการย่อยสลายในสภาพมีอากาศ (Ywith *et al.*, 2009, Jauhainen *et al.*, 2005) ทำให้ป่าชุมชนบ้านป่าพงค์ซึ่งมีสภาพเป็นป่าดิบชื้นมีอัตราการย่อยสลายที่ต่ำกว่าจึงส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินน้อยกว่าป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรังและป่าดิบแล้ง และเมื่อพิจารณาสัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพและในดินพบว่าป่าชุมชนบ้านป่าพงค์มีปริมาณคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพร้อยละ 84.87 ซึ่งใกล้เคียงกับป่าปฐมภูมิแต่มากกว่าป่าทุติยภูมิในประเทศสิงคโปร์ ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพร้อยละ 85.98 และ 74.24 ตามลำดับ (Ngo *et al.*, 2013)

นอกจากนี้ยังพบว่าชุมชนบ้านป่าพงค์มีการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ จังหวัดนครราชสีมา ที่รวมถึงไม้ตายและซากพืช โดยมีปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ จำนวน 383.25 240.51 และ 314.92 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ สาเหตุที่การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในการศึกษาครั้งนี้มีค่ามากกว่าการดูดซับคาร์บอนได้จากป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ เนื่องจากป่าดิบชื้นมีความหนาแน่นของไม้มากกว่า และมีความชื้นในดินสูงกว่า จึงทำให้มีอัตราการสังเคราะห์แสงและการกักเก็บคาร์บอนมากกว่า อย่างไรก็ตามการศึกษานี้พบว่ามีการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของป่าชุมชนบ้านป่าพงค์มีค่าน้อยกว่าป่าปฐมภูมิและป่าทุติยภูมิของประเทศสิงคโปร์ที่มีคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพและในดินที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร อยู่ที่ 244.6 และ 185.53 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Ngo *et al.*, 2013) หรือคิดเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับ 897.68 และ 680.89 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะโครงสร้างของสังคมพืช ความหนาแน่นของต้นไม้ จุลินทรีย์ในดิน และกระบวนการจัดการป่าไม้ตลอดจนอายุของต้นไม้ที่แตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

ป่าชุมชนบ้านป่าพงค์ อำเภอดงหลวง จังหวัดพัทลุง มีไม้ทั้งสิ้น 99 ชนิด 72 สกุล 41 วงศ์ โดยพบพรรณไม้ใหญ่ จำนวน 651 ต้น 74 ชนิด 58 สกุล 34 วงศ์ คิดเป็นความหนาแน่น 86.80 ต้นต่อไร่ พบพรรณไม้หนุม จำนวน 664 ต้น 72 ชนิด 57 สกุล 31 วงศ์ คิดเป็นความหนาแน่น 553.27 ต้นต่อไร่ และพบพรรณกล้าไม้ จำนวน 671 ต้น 50 ชนิด 44 สกุล 27 วงศ์ คิดเป็นความหนาแน่น 8,946.67 ต้นต่อไร่ และมีปริมาณคาร์บอนสะสม 158.30 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ โดยสะสมในมวลชีวภาพ จำนวน 134.36 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ โดยพรรณไม้ใหญ่มีปริมาณคาร์บอน 131.46 ตันต่อเฮกตาร์ พรรณไม้หนุม 4.42 ตันต่อเฮกตาร์ และพรรณกล้าไม้ 0.48 ตันต่อเฮกตาร์ และมีการสะสมในดิน 23.94 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ซึ่งเมื่อคิดเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พรรณไม้ดูดซับจากบรรยากาศ โดยคิดเป็น 3.67 เท่าของปริมาณการสะสมคาร์บอน (วิจารณ์, 2553) ป่าชุมชนบ้านป่าพงค์ อำเภอดงหลวง จังหวัดพัทลุง จะดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 580.96 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ จะเห็นได้ว่าป่าชุมชนบ้านป่าพงค์มีบทบาทในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเป็นอย่างมาก

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จลงได้โดยได้รับความช่วยเหลือจาก นายอัศนี นาคนุ้ย และนายสว่างพงษ์ วรรณมณี นิสิตสาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ในการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม รวมทั้งเจ้าหน้าที่ประจำคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้ความร่วมมือในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งการวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

เอกสารอ้างอิง

- กรมป่าไม้. (2564). *สรุปการจัดตั้งป่าชุมชนรายปี*. สืบค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2565, จาก: https://forestinfo.forest.go.th/fCom_Year.aspx.
- คณาจารย์ภาควิชาธรณีศาสตร์. (2546). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชิงชัย วิริยะบัญชา. (2546). *คู่มือการประมาณมวลชีวภาพของหมูไม้*. กรุงเทพฯ: ฝ่ายวนวัฒนวิจัยและพฤกษศาสตร์ กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช.
- มัทนภรณ์ ใหม่คามิ และเพ็ญศิริ ไพจิตร. (2566). ความสามารถในการดักจับฝุ่นละออง PM₁₀ ของใบพืชสกุลกะเพรา 4 ชนิด. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 42(1), 64-76, doi: <https://doi.org/10.65217/wichhajinstru.2023.v42i1.254874>.
- วสันต์ จันทร์แดง ลดาวัลย์ พวงจิตร นพพร จันเกิด และนริศร จำวงศ์. (2563). การกักเก็บคาร์บอนในสังคมป่าไม้ชนิดต่าง ๆ ณ สถานีวิจัยและฝักนิสิตวนศาสตร์วังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา. *วารสารวนศาสตร์ไทย*, 39(1), 57-70.
- วสันต์ จันทร์แดง ลดาวัลย์ พวงจิตร และสาพิศ ดิลกสัมพันธ์. (2553). การกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรังและสวนป่ายูคาลิปตัส ณ สวนป้ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น. *วารสารวนศาสตร์*, 29(3), 36-44.
- วิจารณ์ มีผล. (2553). การเก็บกักคาร์บอนของป่าชายเลน บริเวณพื้นที่สงวนชีวมณฑลระนอง. *วารสารการจัดการป่าไม้*, 4(7), 33-47.
- สุรางค์ เขียวหิรัญ. (2554). *รายงานแผนงานวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพและภูมิปัญญาท้องถิ่นในพื้นที่ป่าชุมชน*. กรุงเทพฯ: สำนักงานความหลากหลายทางชีวภาพด้านป่าไม้ กรมป่าไม้.
- อานุช ศิริรัฐนิคม และทิพย์ทิวา สัมพันธ์มิตร. (2556). ปริมาณคาร์บอนสะสมของป่าชุมชนบ้านหนองหิน ตำบลเกาะเต่า อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 16(1), 34-40.
- อานุช ศิริรัฐนิคม และสุกญา ศิริรัฐนิคม. (2558). ความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้และศักยภาพการสะสมคาร์บอนและไนโตรเจนในป่าชุมชนบ้านป่าพงศ์ อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- อานุช ศิริรัฐนิคม และสุกญา ศิริรัฐนิคม. (2561). ปริมาณไนโตรเจนสะสมในป่าชุมชนบ้านป่าพงศ์ อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง. *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 28*. สงขลา.
- Djomo, A.N., Knohl, A. and Gravenhorst, G. (2011). Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 261(8), 1448-1459, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.01.031>.
- Gibbon, A., Silman, M.R., Malhi, Y., Fisher, J.B., Meir, P., Zimmermann, M., Dargie, G.C., Farfan, W.R. and Garcia, K.C. (2010). Ecosystem carbon storage across the grassland-forest transition in the high Andes of Manu National Park, Peru. *Ecosystems*, 13(7), 1097-1111, doi: <http://doi.org/10.1007/s10021-010-9376-8>.

- Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics. (2009). *A source book of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting, GOFC-GOLD report version COP14-2. GOFC-GOLD project office*, Alberta: GOFC-GOLD Project Office.
- Gonzalez, G. and Seastedt, T.R. (2001). Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forests. *Ecology*, 82(4), 955-964.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. International Panel on Climate Change*. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies.
- Jauhainen, J., Takahashi, H., Heikkinen, J.E.P., Martilainen, P.J. and Vasanders, H. (2005). Carbon fluxes from tropical peat swamp forest floor. *Global Change Biology*, 11(10), 1788-1797, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001031.x>.
- Lasco, R.D., Guillermo, I.Q., Cruz, R.V.O., Bantayan, N.C. and Pulhin, F.B. (2004). Carbon stocks assessment of a secondary forest in Mount Makiling Forest Reserve, Philippines. *Journal of Tropical Forest Science*, 16(1), 35-45.
- Malhi, Y., Aragão, L.E.O.C., Metcalfe, D.B., Paiva, R., Quesada, C.A., Almeida, S., Anderson, L., Brando, P., Chambers, J.Q., Da Costa, A.C.L., Hutyra, L.R., Oliveira, P., Patiño, S., Pyle, E.H., Robertson, A.L. and Teixeira, L.M. (2009). Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. *Global Change Biology*, 15(5), 1255-1274, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01780.x>.
- Mewded, B. and Lemessa, D. (2020). Factors affecting woody carbon stock in Sirso moist evergreen Afromontane forest, southern Ethiopia: Implications for climate change mitigation. *Environment, Development and Sustainable*, 22(5583), 6363-6378, doi: <http://doi.org/10.1007/s10668-019-00483-5>.
- Ngo, K.M., Turner, B.L., Muller-Landau, H.C., Davies, S.J., Larjavaara, M., Nik Hassan, N.F.B. and Lum, S. (2013). Carbon stocks in primary and secondary tropical forests in Singapore. *Forest Ecology and Management*, 296, 81-89, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.02.004>.
- Saner, P., Loh, Y.Y., Ong, R.C. and Hector, A. (2012). Carbon stocks and fluxes in tropical lowland dipterocarp rainforests in Sabah, Malaysian Borneo. *Plos One*, 7(1), doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029642>.
- Terakunpisut, J., Gajasen, N. and Ruankawe, N. (2007). Carbon sequestration potential in aboveground biomass of Thong Pha Phum National forest, Thailand. *Applied Ecology and Environmental Research*, 5(2), 93-102, doi: https://doi.org/10.15666/aeer/0502_093102.

- Walkley, A. and Black, I.A. (1947). Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. *Soil Science*, 63, doi: <http://doi.org/10.4236/ojss/1947.63257>.
- Ywith, C.H., Ahmed, O.H., Majid, N.M.A. and Jalloh, M.B. (2009). Effects of converting secondary forest on tropical peat soil to oil palm plantation on carbon storage. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4(2), 123-130, doi: <https://doi.org/10.3844/.2009.123.130>.

ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้ Potential of Methane Gas Production from Food Waste and Green Waste

ขวัญตา พิมพ์พันธ์¹ นิพนธ์ พิสุทธิ์ไพศาล^{2,3} และอภิชนา สวัสดิ์^{1*}
Khwanta Pimpan¹ Nipon Pisutpaisal^{2,3} and Apichaya Sawasdee^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้ โดยขยะทั้ง 2 ชนิด ได้จากพื้นที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ตำบลบางกรวย อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบผลิตก๊าซมีเทนนำมาจากกระบบหมักแบบ upflow anaerobic sludge blanket (UASB) เติมน้ำในระบบผลิตก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ ขนาด 10 ลิตร อัตราส่วนวัตถุดิบ 1:1:1 ค่าของแข็งทั้งหมดร้อยละ 2.5 ระยะเวลาในการหมัก 288 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างของเหลวและก๊าซในระบบเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมทั้งหมด องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ และนำไปสู่การคำนวณค่าจลนศาสตร์การผลิตก๊าซมีเทน จากผลการวิจัยพบว่าศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้ พบว่าตลอดระยะเวลาการเดินระบบมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.90-7.42 ก๊าซมีเทนมีค่าสูงสุดร้อยละ 70.19 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมทั้งหมดเท่ากับ 1,731.33 มิลลิลิตร และปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดเท่ากับ 404.76 มิลลิลิตร จลนศาสตร์การผลิตก๊าซมีเทน คือ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (R_{max}) เท่ากับ 3.197 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด (H_{max}) เท่ากับ 399.596 มิลลิลิตร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการสนับสนุนการนำขยะเศษอาหารและเศษใบไม้มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ สำหรับหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน เพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ตอบโจทย์เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (sustainable development goals: SDGs) ที่ 7.2 เพิ่มสัดส่วนของพลังงานทดแทนของโลก ภายในปี พ.ศ. 2573 ได้อีกด้วย

¹ สาขาวิชาวนวัฒนกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

² ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหารและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

³ ศูนย์เทคโนโลยีไบโอเซ็นเซอร์และไบโออิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* Corresponding author e-mail: Apichaya.s@vru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i1.257299>

Received: 26 December 2022, Revised: 27 March 2023, Accepted: 29 May 2023

คำสำคัญ: การหมัก ก๊าซมีเทน ขยะเศษอาหาร เศษใบไม้

Abstract

This research objective was to study the potential of methane gas production from food waste and green waste. Both of wastes were obtained from Electricity Generating Authority of Thailand Bangkrui Nonthaburi. Microorganism for methane production system was obtained from upflow anaerobic sludge blanket (UASB) system. The operation of methane production was operated in 10 liters of completely stirred tank reactor. The material ratio was 1:1:1, a total of solid 2.5% and fermentation time was 288 hours. The sample was collected from solution and gas for investigated the related parameters were pH, cumulative total gas, component of biogas. These parameters related to calculation kinetic methane production. From the research results, it was found that pH from operation time from potential of methane gas production from food waste and green waste was 6.90 - 7.42, highest methane gas production was 70.19%, cumulative biogas was 1,731.33 milliliter (ml), and cumulative methane was 404.76 ml, respectively. For Kinetic methane production, maximum methane production rate 3.197 ml hr^{-1} , maximum methane 399.596 ml. Therefore, this research can be used as an information to support the food waste and green waste utilization as a raw material for biogas production for government and private sectors in order to achieve the sustainable development goal. Sustainable development goals (SDGs) 7.2, could increase the proportion of renewable energy in the world in 2030.

Keywords: Fermentation, Methane gas, Food waste, Green waste

บทนำ

ขยะเศษอาหาร (food waste: FW) เป็นประเภทหนึ่งของขยะมูลฝอย มีแหล่งที่มาหลากหลาย เช่น ครั้วเรือน ตลาด โรงอาหาร ร้านอาหาร และอุตสาหกรรมแปรรูปเศษอาหาร ซึ่งประเทศไทยสร้างขยะมูลฝอยมากถึง 27-28 ล้านตันต่อปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) กว่าครึ่งหนึ่งเป็นขยะที่มาจากอาหารทั้งบริโภคไม่หมดและวัสดุที่ใช้ประกอบอาหาร ดังนั้นเมื่อจัดการขยะเศษอาหารไม่ถูกต้อง สิ่งตามมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะการสะสมของเสียประเภทสารอินทรีย์ทำให้เกิดก๊าซมีเทน ที่เป็นสาเหตุให้เกิดภาวะโลกร้อน ที่มีศักยภาพทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 เท่า (Forster *et al.*, 2007) นอกจากขยะเศษอาหารที่เป็นสารอินทรีย์ยังมีเศษใบไม้ (green waste) ที่เป็นสารอินทรีย์อีกส่วนหนึ่งในพื้นที่สีเขียวของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ตำบลบางกรวย อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี ซึ่งในกรณีที่ไม่มีการจัดการอย่างถูกวิธีนั้น จะสามารถสร้างมลพิษอากาศได้เช่นเดียวกัน

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเป็นหน่วยงานที่ให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก จึงมีการหาวิธีการที่เหมาะสมในการจัดการขยะมูลฝอยประเภทต่าง ๆ ภายในหน่วยงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะเศษอาหาร เนื่องจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีพนักงานจำนวน 6,800-7,000 คน จึงทำให้ปริมาณขยะเศษอาหารมีจำนวนมาก การจัดการขยะเศษอาหารของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเป็นการเทรวมขยะเศษอาหารภายในโรงอาหารแต่ละพื้นที่ และนำไปส่งต่อเป็นอาหารสัตว์ แต่ยังมีบางส่วนที่ถูกเทกองรวมกับขยะประเภทอื่น จึงทำให้ขยะประเภทอื่นนำไปรีไซเคิลได้ยาก นอกจากนี้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยยังมีนโยบายด้านความปลอดภัย สุขภาพอนามัย และสิ่งแวดล้อม ให้มีการจัดระบบการจัดการคุณภาพ ความปลอดภัย มีสุขอนามัยที่ดี และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงนำไปสู่การหาวิธีจัดการขยะเศษอาหารในพื้นที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อย่างไรก็ตามในพื้นที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย นั้นไม่ได้มีเพียงขยะเศษอาหารที่มีปริมาณมาก ยังมีเศษใบไม้ที่ร่วงหล่นเป็นจำนวนมากในพื้นที่อีกด้วย

ในการนำขยะเศษอาหารและเศษใบไม้มาเปลี่ยนให้เป็นทรัพยากรที่เป็นประโยชน์นั้นสามารถดำเนินการได้หลายวิธี เช่น การนำไปทำปุ๋ยอินทรีย์ นำไปเป็นอาหารสัตว์ รวมถึงการเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (anaerobic digestion) โดยกลุ่มจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจน (อริศรา, 2562) ก๊าซชีวภาพนั้นถือเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก โดยสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานทดแทนก๊าซหุงต้ม เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า (Gu *et al.*, 2014) อีกทั้งในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นยังมีผลพลอยได้ (by-product) คือ ปุ๋ย ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการนำวัสดุลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) มาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยงานวิจัยของวันสพร์ศรี (2564) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมของหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเสื่อมโทรมกับมูลสุกร พบว่าหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเปรี้ยวสามารถผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด 9,280.80 มิลลิลิตร การวิจัยของวิจิตรพร และคณะ (2559) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวร่วมกับมูลสัตว์โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน ผลการวิจัยพบว่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด 57.17 ลิตรต่อวัน การวิจัยของประภา และคณะ (2566) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากกาแฟที่ผ่านการปรับสภาพร่วมกับมูลวัวโดยการหมักแบบกะและแบบกึ่งกะ พบว่ากากกาแฟซึ่งเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลส สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ นอกจากนี้จากงานวิจัยของเอนก และคณะ (2564) ที่มีการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษข้าว ยังแสดงให้เห็นว่าเศษข้าวสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่า 20 ลิตรต่อสัปดาห์ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่าวัสดุลิกโนเซลลูโลสสามารถเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงสนใจการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพโดยนำขยะเศษอาหารและเศษใบไม้มาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการหมักร่วมเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อเพิ่มทางเลือกในการจัดการขยะเศษอาหารและเศษใบไม้ให้กับหน่วยงานที่สนใจต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

1.1 ขยะเศษอาหาร

ขยะเศษอาหารได้จากโรงอาหารของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ตำบลบางกรวย อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี ประกอบด้วย ขยะเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของพนักงาน และเศษผัก เศษอาหาร เศษเนื้อสัตว์ ที่เหลือจากการประกอบอาหารของร้านค้าในโรงอาหาร (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ขยะเศษอาหารที่ใช้ในงานวิจัยที่ได้จากโรงอาหารของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

1.2 เศษใบไม้

เศษใบไม้ที่ได้จากพื้นที่ภายในการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งมีทั้งต้นไม้ใหญ่ ประกอบไปด้วยใบหูกวาง ทองกวาว ฯลฯ (ภาพที่ 2) โดยในการนำเศษใบไม้มาใช้เป็นวัตถุดิบ จะใช้ใบไม้แห้งและมีการทำให้มีขนาดเล็กกลงเพื่อให้่ายต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบ



ภาพที่ 2 เศษใบไม้

1.3 เชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (anaerobic wastewater treatment)

เป็นจุลินทรีย์ที่นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศแบบ upflow anaerobic sludge blanket (UASB) จากบริษัท เอี่ยมบุรพา จำกัด สถานที่ตั้ง เลขที่ 98 หมู่ 2 ตำบลหนองน้ำใส อำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดสุพรรณบุรี มีลักษณะเป็นแกรนูล (ภาพที่ 3) โดยในระหว่างก่อนการนำมาเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ มีการเติมสารละลายกลูโคส เพื่อเลี้ยงให้จุลินทรีย์ยังสามารถทำงานได้ และเมื่อถึงเวลาการนำจุลินทรีย์มาใช้งานจะมีการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิต (active) โดยดูจากสีของแกรนูล ในกรณีที่สีน้ำตาลอ่อนลงจะมีการคัดแกรนูลเหล่านั้นออกไป



ภาพที่ 3 จุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

2. การผลิตก๊าซชีวภาพ

การผลิตก๊าซชีวภาพ ดำเนินการในถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ขนาด 10 ลิตร working volume 8 ลิตร อัตราการกวน 95 รอบต่อนาที มีการควบคุมอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 35-37 องศาเซลเซียส เพื่อให้เหมาะสมกับจุลินทรีย์กลุ่มที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic bacteria) และมีอัตราส่วนในการเติมวัตถุดิบและเชื้อจุลินทรีย์ คือ ขยะเศษอาหาร เศษใบไม้ และเชื้อจุลินทรีย์ เท่ากับ 1:1:1 และมีปริมาณค่าของแข็งทั้งหมดร้อยละ 2.5 (ภาพที่ 4) จากนั้นดำเนินการเก็บตัวอย่างของเหลวเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนี้



ภาพที่ 4 การผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ขนาด 10 ลิตร

2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้ pH meter ยี่ห้อ Mettler Toledo ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (2017)

2.2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (biogas component)

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพวิเคราะห์โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (Shimadzu GC-2010 Gas Chromatograph, Japan) โดยฉีดก๊าซตัวอย่างที่อยู่ใน gastight syringe ขนาด 500 ไมโครลิตร ผ่าน injector อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส โดยมีก๊าซฮีเลียม (total flow 50 มิลลิตรต่อนาที) เป็นตัวพาสารเข้าสู่แพคคอลัมน์ (Shincarbon ST 50/80 mesh 2.0 m × 3.0 mm I.D., stainless steel) ที่มีอุณหภูมิคอลัมน์ 150 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการแยกชนิดของสารตัวอย่างตาม retention time ภายในคอลัมน์ (Housagul *et al.*, 2014)

2.3 ปริมาณก๊าซทั้งหมดสะสม (cumulative total gas) และปริมาณก๊าซมีเทนสะสม (cumulative methane production)

ปริมาณก๊าซทั้งหมด ใช้ gas counter นับจำนวนรอบ และนำไปคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมทั้งหมดที่เกิดขึ้น และในการคำนวณปริมาณก๊าซมีเทนสะสม ทำได้โดยสมการที่ (1)

$$\text{ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม} = \frac{\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมทั้งหมด} \times \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน}}{100} \quad (1)$$

2.4 ค่าทางจลนศาสตร์ที่ได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การคำนวณค่าทางจลนศาสตร์ของการผลิตก๊าซมีเทน คือ ระยะเวลาแล็กเฟส (λ) อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด ($R_{\max}$) และปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด ($H_{\max}$) นำข้อมูลดิบจากการทดลองก๊าซมีเทนสะสม และเวลาที่ได้จากการหมัก เข้าสมการ Modify Gompertz แสดงดังสมการที่ 2 ของโปรแกรม Sigma plot version 14.5 คำนวณพารามิเตอร์ทางจลนศาสตร์โดยการลากเส้นสมการแบบถดถอย (Regression) การคำนวณแต่ละครั้งจะได้ค่า R^2

$$H = H_{\max} \times \exp \left\{ -\exp \left[\frac{R_{\max}}{H_{\max}} e (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad (2)$$

โดยที่ H คือ ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม (มิลลิลิตร)

T คือ ระยะเวลาในการหมัก (ชั่วโมง)

$R_{\max}$ คือ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)

$H_{\max}$ คือ ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด (มิลลิลิตร)

λ คือ ระยะเวลาแล็กเฟส (ชั่วโมง)

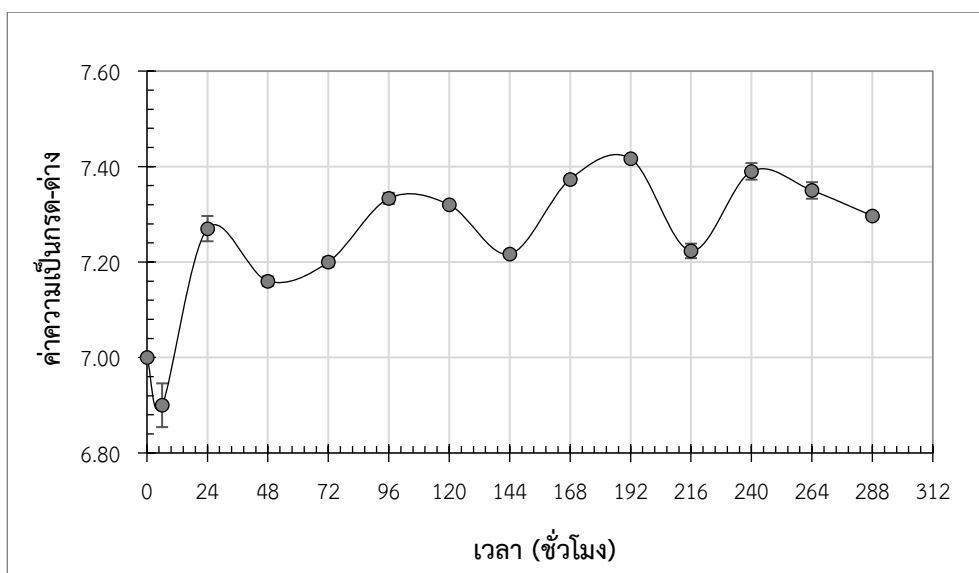
e คือ ค่าคงที่ 2.7182818

ผลการวิจัย

ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้ โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ในถังปฏิกรณ์ขนาด 10 ลิตร โดยผลการวิจัยแสดงดังนี้

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างในวันเริ่มต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้มีค่า 7.00 และเมื่อเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเหลือ 6.90 ในช่วงเวลาที่ 6 และเพิ่มขึ้นเป็น 7.27 ในช่วงเวลาที่ 24 ซึ่งเมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพมาก โดยช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ในระดับ 6.6-7.5 แต่ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำเกินไปจะมีผลต่อกิจกรรมของแบคทีเรียที่อยู่ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ แสดงให้เห็นว่าในการดำเนินการวิจัย ระบบสามารถรักษาสอดคล้องของค่าความเป็นกรด-ด่างไม่ให้ต่ำกว่า 7.00 กระทั่งเสร็จสิ้นการทดลองคือ ระบบเข้าสู่สภาวะ steady state คือ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีปริมาณคงที่ (ภาพที่ 5)

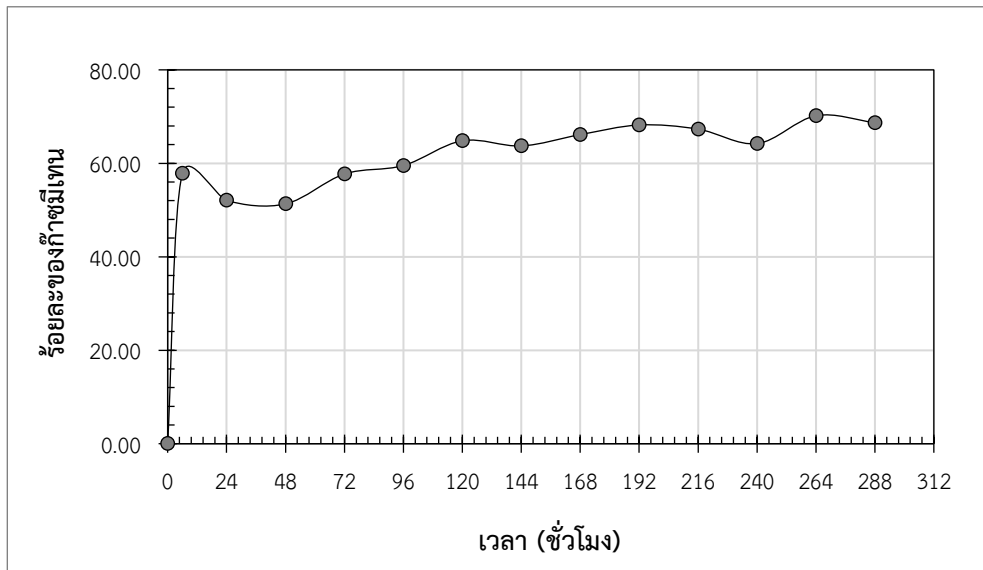


ภาพที่ 5 ค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้

2. ก๊าซชีวภาพ

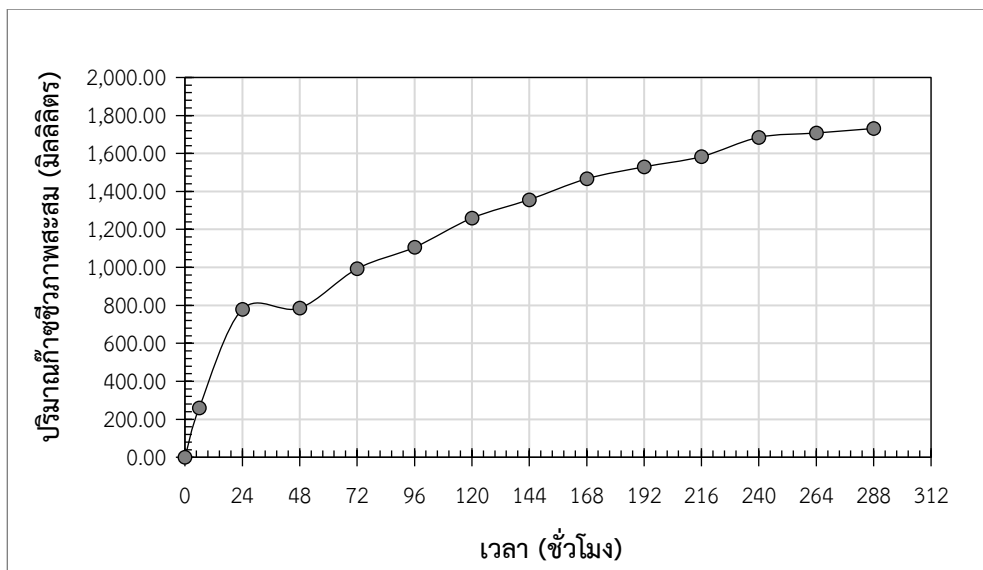
การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้ โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ พบว่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 57.85 ในช่วงเวลาที่ 6 ของการเดินระบบ และมีค่าสูงสุดร้อยละ 70.19 ในช่วงเวลาที่ 264 ดังภาพที่ 6 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการเดินระบบ เนื่องจากระบบสามารถรักษาสอดคล้องไม่ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำเกินไป จึงไม่เกิดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ภายในระบบ และค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบยังเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรด เช่น *Bacterioides Butyribacterium* และ *Propionobacterium*

เป็นต้น และจุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซมีเทน เช่น *Metanosaeta* *Metanosarcins* *Metanobacterium* และ *Metanospirillum* เป็นต้น (อริศรา, 2562)



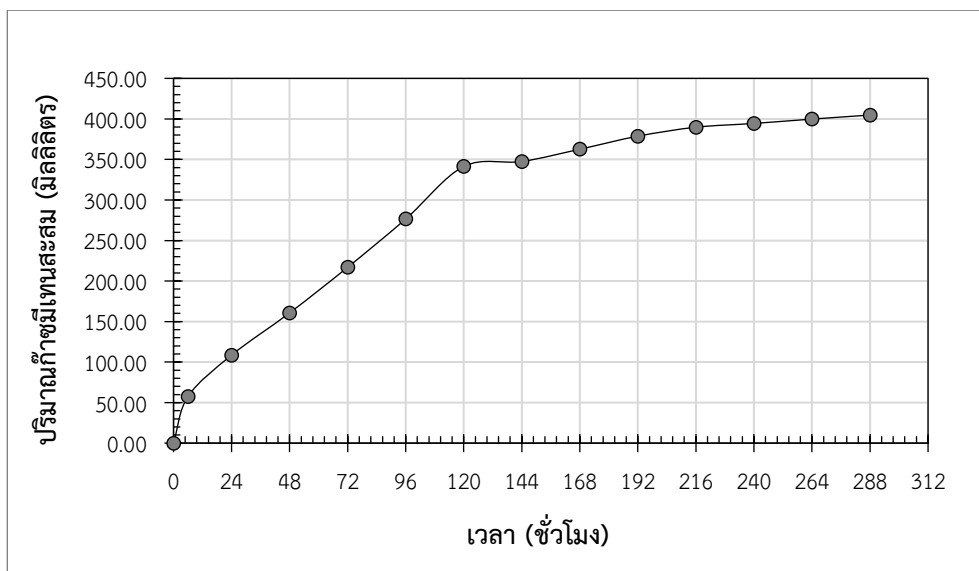
ภาพที่ 6 ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 6 มีค่า 260.33 มิลลิลิตร และเมื่อคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมตลอดระยะเวลาการเดินระบบ มีค่า 1,731.33 มิลลิลิตร ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นจากการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้

นอกจากนี้เมื่อนำค่าก๊าซมีเทนและปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมาคำนวณหาปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าในชั่วโมงที่ 6 มีปริมาณก๊าซมีเทนเท่ากับ 57.59 มิลลิลิตร และปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดเท่ากับ 404.76 มิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่าง และร้อยละของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถเกิดได้ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 6 ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมที่เกิดขึ้นจากการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้

3. ค่าทางจลนศาสตร์ที่ได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์ทางจลนศาสตร์สามารถคำนวณได้จากสมการ modified Gompertz ซึ่งจากค่าที่ได้ ดังตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาแล็กเฟส (lag phase) นั้นสั้นมาก แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในระบบสามารถเริ่มทำงานได้อย่างเต็มที่ เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพในระบบ และทำให้เกิดก๊าซชีวภาพได้ในทันที หลังจากเกิดกระบวนการย่อยสลายในระบบ ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าจุลินทรีย์ในระบบไม่จำเป็นต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้มาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศแบบ UASB

ตารางที่ 1 แสดงค่าจลนศาสตร์การผลิตก๊าซมีเทน

ปริมาณ ก๊าซมีเทนสูงสุด (H_{max}) (มิลลิลิตร)	อัตราการผลิต ก๊าซมีเทนสูงสุด (R_{max}) (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	ระยะเวลา แล็กเฟส (λ)	ค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (R^2)
399.596	3.197	4.944×10^{-8}	0.9897

นอกจากนี้ในส่วนอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด มีค่า 3.197 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด 399.596 มิลลิลิตร ซึ่งจากพารามิเตอร์ค่าจลนศาสตร์แสดงให้เห็นว่าเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์และสามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวัตถุดิบต่าง ๆ และแหล่งที่มาของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพได้

การอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้ โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี โดยสามารถเริ่มผลิตก๊าซชีวภาพได้ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 6 ซึ่งมีปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ 57.85 และมีค่าสูงสุดร้อยละ 70.19 ในชั่วโมงที่ 264 เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Hussaro *et al.* (2017) ซึ่งผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร ได้ก๊าซมีเทนร้อยละ 72.00 เมื่อนำขยะเศษอาหารและเศษใบไม้มาหมักร่วมกัน ทำให้ระบบสามารถรักษาสมดุล ไม่ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดต่ำลงมากเกินไป นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการนำวัสดุกลีโนเซลลูโลส ทำการศึกษาโดยวิจิตรพร และคณะ (2559) โดยนำฟางข้าวมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าสามารถให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงถึงร้อยละ 84.87 ซึ่งสูงกว่างานวิจัยนี้ อาจเกิดจากการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นกระบวนการผลิตแบบสองขั้นตอน ทำให้ลดการสะสมของกรดในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่งผลให้ก๊าซมีเทนที่ได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสูงกว่างานวิจัยนี้ ซึ่งสอดคล้องกับค่าจลนศาสตร์การผลิตก๊าซมีเทนซึ่งมีค่าของระยะเวลาแล็กเฟสสั้นมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน (methanogen) เจริญเติบโตได้รวดเร็วกว่าที่คาดการณ์ไว้ในสมการ modified Gompertz (สมการที่ 2) (Jijai and Siripatana, 2017) และแสดงให้เห็นถึงการปรับตัวของจุลินทรีย์ภายในระบบทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผลิตกรดและกลุ่มเมทาโนเจนสามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้รวดเร็ว

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้ โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ พบว่าตลอดระยะเวลาการเดินระบบมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.90-7.42 ปริมาณก๊าซมีเทนมีค่าสูงสุดร้อยละ 70.19 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมตลอดระยะเวลาการเดินระบบเท่ากับ 1,731.33 มิลลิลิตร และปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดเท่ากับ 404.76 มิลลิลิตร ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการสนับสนุนการนำขยะเศษอาหารและเศษใบไม้มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ สำหรับหน่วยงานการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย รวมถึงในหน่วยงานของรัฐอื่น ๆ เช่น มหาวิทยาลัย โรงเรียน เพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ตอบโจทย์เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (sustainable development goals: SDGs) ที่ 7.2 เพิ่มสัดส่วนของพลังงานทดแทนในการผสมผสานการใช้พลังงานของโลก ภายในปี พ.ศ. 2573 ได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ตำบลบางกรวย อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี ที่สนับสนุนทุนวิจัย และทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยผ่านสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) เลขที่สัญญา ววน.09/2565

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2564). รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ประภา ไช้สละม ธัญญธิตี เจริญธณัฏฐ์ และรัชพล พะวงศรีรัตน์. (2566). การผลิตแก๊สชีวภาพจากกากกาแฟผ่านการปรับสภาพร่วมกับมูลวัวโดยการหมักแบบกะและแบบกึ่งกะ. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 42(2), 1-15, doi: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i2.254904>.
- การหมักร่วมระหว่างหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเสื่อมโทรมและมูลสุกร. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)*, 20(1), 1-8.
- วิจิตรพร เจริญรัตน์ ปรีดา จันทวงษ์ จงจิตร หิรัญลาก และโจเซฟ เคตารี. (2559). การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวร่วมกับมูลสัตว์โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. *Journal of Energy and Environment Technology*, 3(1), 1-10.
- อริศรา เรืองแสง. (2562). เชื้อเพลิงชีวภาพและชีวเคมีภัณฑ์โดยจุลินทรีย์. ขอนแก่น: คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เอนก สวาทอินทร์ ฌานิกา แซ่แง ชุกกลิ่น และกัตตินาฏ สุกสวัสดิพันธ์. (2564). การพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษข้าวโดยถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (MABR). *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 40(1), 121-134.
- APHA. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. (23rd ed). Washington DC: American Public Health Association.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Bernsten, T., Betts, R., Fahey, D.W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D.C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schultz, M., and Van Dorland, R. (2007). Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, pp. 129-234. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gu, Y., Chen, X., Liu, Z.Y., Zhou, X. and Zhang, Y. (2014). Effect of inoculum sources on the anaerobic digestion of rice straw. *Bioresource Technology*, 158, 149-155, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.011>.

- Housagul, S., Sirisukpoka, U., Boonyawanich, S. and Pisutpaisal, N. (2014). Biomethane production from co-digestion of banana peel and waste glycerol. *Energy Procedia*, 61, 2219-2223, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.113>.
- Hussaro, K., Intanin, J. and Teekasap, S. (2017) Biogas production from food waste and vegetable waste for the Sakaew temple community Angthong province Thailand. *GMSARN International Journal*, 11(2), 82-89.
- Jijai, S. and Siripatana, C. (2017). Kinetic model of biogas production from co-digestion of Thai rice noodle wastewater (Khanomjeen) with chicken manure. *Energy Procedia*, 138, 386-392, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.177>.
- Macapodi, A.M.M., Bandera, A.D., Ozarraga, L.M., Macapanton, B.R., Abdullah-Pandapatan, A.A., Al-Rashid, A.R., Gubat, G.M.M. and Dimapundug, J.D. (2022). Food wastes: A review. *European Modern Studies Journal*, 6(5), 89-99.

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและความเป็นพิษระดับเซลล์ในไรน้ำเค็มและ
 ลูกน้ำยุงลายของสารสกัดหยาบทุเรียนเทศ (*Annona muricata* L.)
 Total Phenolic Compounds and Cytotoxicity in Brine Shrimp and
Aedes aegypti Larvae of Thurian-thet (*Annona muricata* L.)
 Crude Extracts

ฌอลินน์ ฟาน เบม^{1*} และอาอีเสาะ สาและ¹
 Cherlynn van Beem^{1*} and Aesoh Salaeh¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและทดสอบความเป็นพิษระดับเซลล์ในไรน้ำเค็มและลูกน้ำยุงลายของสารสกัดหยาบผลอ่อน ผลแก่ เมล็ด ใบ และเปลือกต้นของทุเรียนเทศที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน ได้แก่ เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เอทานอล และเมทานอล พบว่าสารสกัดผลแก่ด้วยเอทานอลมีสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุดที่ $2,036 \pm 5.99$ ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก การทดสอบความเป็นพิษระดับเซลล์ของสารสกัดส่วนต่าง ๆ ของทุเรียนเทศที่ความเข้มข้น 10-1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในไรน้ำเค็มและลูกน้ำยุงลาย พบว่าค่าการตายของลูกน้ำยุงลายที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (LC_{50}) ต่ำสุดที่ทดสอบในไรน้ำเค็มในสารสกัดผลแก่ด้วยเมทานอล เท่ากับ 71.95 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (24 ชั่วโมง) และค่า LC_{50} ต่ำสุดที่ทดสอบในลูกน้ำยุงลายพบในสารสกัดผลแก่ด้วยเอทานอล เท่ากับ 21.39 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (24 ชั่วโมง) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสารสกัดผลแก่ด้วยเอทานอล มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด สามารถนำไปใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ส่วนสารสกัดผลแก่ด้วยเอทานอล มีค่า LC_{50} ต่ำที่สุด เมื่อทดสอบกับลูกน้ำยุงลายแสดงว่ามีความเป็นพิษต่อลูกน้ำยุงลายค่อนข้างสูง สามารถนำไปใช้เป็นสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติในการกำจัดลูกน้ำยุงลายได้ ทั้งนี้ อาจจะต้องมีการทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดผลแก่ทุเรียนเทศในสัตว์ทดลอง เพื่อใช้เป็นอาหารหรือยารักษาโรคได้ต่อไป

คำสำคัญ: ทุเรียนเทศ สารประกอบฟีนอลิกรวม ความเป็นพิษระดับเซลล์ ไรน้ำเค็ม ลูกน้ำยุงลาย

¹ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยทักษิณ

* Corresponding author e-mail: cherlynn.vb@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i1.256645>

Received: 19 October 2022, Revised: 20 April 2023, Accepted: 7 June 2023

Abstract

This research was conducted to determine total phenolic compounds and assess cytotoxicity in brine shrimp and *Aedes aegypti* larvae of crude extracts from various parts of Thurian-thet: unripe fruit, ripe fruit, leaves, seeds and stem bark achieved by adopting different solvents which are hexane, dichloromethane, ethanol, and methane. The maximum phenolic content was found in ethanolic ripe fruit extract at $2,036 \pm 5.99$ microgram of gallic acid equivalent per milligram of extract ($\mu\text{g GAE/g ext}$). The crude extracts at concentrations of 10-1,000 microgram per milliliter ($\mu\text{g/mL}$) were tested for cytotoxicity in brine shrimp and *Aedes aegypti* larvae. It was found that the lowest lethal concentration fifty (LC_{50}) tested in brine shrimp was $71.95 \mu\text{g/mL}$ (24 h) from methanolic ripe fruit extract and in mosquito larvae was $21.39 \mu\text{g/mL}$ (24 h) from ethyl alcoholic ripe fruit extract. The results suggested that the ethanolic ripe fruit extract contained the maximal total phenolic compounds which could be used as natural antioxidants. The ethanolic ripe fruit extract could also be used as a mosquito natural repellent since after being tested with mosquito larva and found the lowest value of LC_{50} . However, the toxicity tests of Thurian-thet ripe fruit extract in laboratory animals should be determined in the future for possible applications in food and medicine.

Keywords: *Annona muricata* L., Total phenolic compounds, Cytotoxicity, Artemia, *Aedes aegypti* larvae

บทนำ

ทุเรียนเทศ (*Annona muricata* L.) จัดอยู่ในวงศ์ Annonaceae เช่นเดียวกับน้อยหน่า จำปี นมแมว และกระดังงา มีถิ่นกำเนิดอยู่ในอเมริกากลาง ลำต้นมีความสูง 3-6 เมตร มีทรงต้นและใบ คล้ายกับน้อยโหน่งและน้อยหน่า มีดอกคล้ายดอกนมแมว มีผลสีเขียวรูปกลมรี มีหนามนูนที่เปลือก ผลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-20 เซนติเมตร และยาว 15-30 เซนติเมตร น้ำหนัก 0.5-3.0 กิโลกรัม มีเนื้อสีขาวเป็นยวงติดกัน และมีเมล็ดสีดำคล้ายกับน้อยหน่า เปลือกนอกมีรสหวานอมเปรี้ยวและมีกลิ่นหอม เริ่มแพร่กระจายสู่ประเทศเขตร้อนทั่วโลกประมาณศตวรรษที่ 16 เป็นผลไม้ท้องถิ่นทางภาคใต้ที่มีสรรพคุณทางยา ชาวบ้านมักนำเมล็ดมาใช้เป็นยาแก้โรคบิด ยาสมานแผล ห้ามเลือด ทำให้อาเจียน ใช้เบื่อปลา ใช้ฆ่าแมลง นำใบมาต้มน้ำเกลือเพื่อรักษาอาการปวดฟัน หรือนำมาชยี้ผสมกับปูนใช้ทาบริเวณท้องแก่ท้องอืด หรือใช้รักษาโรคผิวหนัง แก้ไอ ปวดตามข้อ ส่วนรากนำมาตำให้ละเอียดผสมกับน้ำข้าวข้าวประคบบริเวณที่โดนครีปลาแทงซึ่งเชื่อว่าจะช่วยให้หายจากอาการเจ็บปวดได้ ส่วนผลดิบนำมารับประทานแก้โรคบิด ผลสุกรับประทานแก้โรคเลือดออกตามไรฟัน และยังเชื่อว่าการบริโภคสดจะช่วยรักษาโรคเบาหวานได้ (วิวัฒน์ และนันทสิทธิ์, 2540) ส่วนแถบประเทศบราซิลมักนำผลและคั้นน้ำดื่มต้านพยาธิ เพิ่มน้ำนมในสตรีหลังคลอด แก้อาการท้องร่วง เมล็ดนำมาบด

ใช้ถ่ายพยาธิ เปลือกต้น รากและใบ ใช้ตำนเชื่อมาลาเรีย ใบใช้รักษาโรคตับอักเสบ น้ำมันจากใบ และผลดิบผสมกับน้ำมันมะกอกใช้รักษาอาการปวด โรครูมาติก และโรคข้ออักเสบ ในประเทศจาเมกา เฮติ และหมู่เกาะอินเดียใต้ ใช้ผลและคั้นน้ำรักษาอาการท้องร่วง เปลือกและใบ ตำนพยาธิ ตำนเชื่อมาลาเรีย แก้ไอ ต้มเพื่อให้คลอดบุตรง่าย โรคหอบหืด เป็นต้น (Jaramillo *et al.*, 2000)

ข้อมูลจากงานวิจัยในต่างประเทศรายงานว่ามีการพบสารสำคัญในทุเรียนเทศครั้งแรกจาก สารสกัดใบและเปลือกในปี ค.ศ. 1976 โดย National Cancer Institute (NCI, USA) เรียกสารนี้ว่า สารประกอบอะซีโทจีนิน (acetogenins) ซึ่งพบในพืชสกุลนี้เท่านั้น สารประกอบอะซีโทจีนินสามารถ ระบุเซลล์มะเร็งได้บางชนิด เช่น มะเร็งปอด มะเร็งเต้านม และมะเร็งปากมดลูก แต่ไม่มีฤทธิ์ต่อ การระงับการเจริญเติบโตของเซลล์ปกติ (Oberlies *et al.*, 1997) ด้วยความน่าสนใจและมีแนวโน้ม ที่สามารถพัฒนาสารสกัดจากพืชท้องถิ่นเป็นยาต้านมะเร็งได้ ในปี ค.ศ. 1997 Purdue University (USA) จึงเน้นการวิจัยฤทธิ์ของสารสกัดโดยใช้เซลล์มะเร็งต่อมลูกหมาก (PC-3) ใน *in vitro* เพื่อเป็น ต้นแบบทดสอบสารออกฤทธิ์ในเซลล์ พบว่าสารประกอบอะซีโทจีนินสามารถยับยั้ง ubiquinone oxidoreductase ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญใน mitochondrial complex I ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ออกซิเดชัน ฟอสฟอริเลชัน (oxidative phosphorylation) ในไมโทคอนเดรีย (mitochondria) ได้ และสารนี้สามารถยับยั้ง ubiquinone-linked NADH ที่เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์มะเร็งอีกด้วย (ubiquinone-linked NADH ไม่พบที่เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ปกติ) ปัจจุบันพบสารใหม่ที่แยกได้จาก สารประกอบอะซีโทจีนิน คือ tucupentol (a novel mono-tetrahydrofuranic acetogenin) มีฤทธิ์ ยับยั้งการทำงานของ mitochondrial complex I เช่นกัน (Huai *et al.*, 2010) ในปี ค.ศ. 2002 นักวิจัยชาวญี่ปุ่นได้ทำการทดสอบฤทธิ์ของสาร annonacin (อนุพันธ์ของสารอะซีโทจีนิน) กับหนูเมาส์ ที่เป็นมะเร็งปอดเทียบประสิทธิภาพกับการรักษาด้วยยา adriamycin (chemotherapy drug) 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่ายา adriamycin สามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งได้ 54.6 เปอร์เซ็นต์ แต่หนูเมาส์ ตายจากพิษของยา ขณะที่การรักษาด้วย annonacin ให้ผลยับยั้ง 57.9 เปอร์เซ็นต์ และไม่พบการตาย ของหนู annonacin จึงเป็นสารที่นักวิจัยให้ความสนใจเพื่อใช้ทดสอบจริงในผู้ป่วยแทนการใช้เคมีบำบัด (Huai *et al.*, 2010) แม้ว่าอะซีโทจีนินจะเป็นสารเด่นที่พบในพืชสกุล *Annona* เท่านั้น (Liaw *et al.*, 2002) แต่ยังมีพบสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพสูง คือ ฟีนอลิก (phenolics) และอัลคาลอยด์ (alkaloids) ด้วย (Alali *et al.*, 1999) ซึ่งปัจจุบันได้แยกสารประกอบฟีนอลิกออกเป็นกรดฟีนอลิก (phenolic acids) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และแกลโลแทนนิน (gallotannins) (Hernández *et al.*, 2021) พืช ท้องถิ่นชนิดนี้จึงมีความน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตามการวิจัยสารสำคัญที่สกัดจากส่วนต่าง ๆ ของ ทุเรียนเทศที่ได้ศึกษาวิจัยจนทราบรายละเอียดถึงชนิดและโครงสร้างทางเคมีของสารที่ออกฤทธิ์ทาง ชีวภาพทั้งฟีนอลิก อัลคาลอยด์ และอะซีโทจีนิน ยังคงมีน้อย เพราะจำเป็นต้องศึกษาวิธีการสกัด ที่เหมาะสม อุณหภูมิที่สกัด ตัวทำละลายสารสำคัญ ระยะเวลาในการสกัด อายุพืช และสภาพทาง ภูมิศาสตร์ที่พืชเจริญเติบโตอยู่ เป็นต้น (Nolasco *et al.*, 2022) ประเทศไทยมีความได้เปรียบในเชิง ความหลากหลายของชนิดพืช เพราะตั้งอยู่ในแถบเส้นศูนย์สูตรที่เหมาะสม (กามีละห์, 2566) การวิจัย พืชวงศ์นี้โดยเฉพาะทุเรียนเทศ ยังขาดข้อมูลทางวิชาการสนับสนุนภูมิปัญญาอยู่มาก อีกทั้งการปลูก ทุเรียนเทศในภาคใต้ส่วนใหญ่ไม่ได้ปลูกเพื่อเป็นการค้า และนับวันยิ่งเหลือน้อยลงเนื่องจาก คนรุ่นหลังไม่คุ้นกับรสชาติ การรวบรวมพันธุ์และอนุรักษ์พันธุ์กรรมของทุเรียนเทศพันธุ์พื้นเมืองจึง มีความสำคัญมาก ยิ่งกว่านั้นหากมีข้อมูลทางวิชาการมาสนับสนุนประโยชน์ของทุเรียนเทศในแง่มุม

ต่าง ๆ กันจะเป็นหนทางหนึ่งในการส่งเสริมให้ชาวบ้านปลูกทุเรียนเทศและแปรรูปผลผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ อีกทั้ง ข้อมูลทางเภสัชวิทยาของทุเรียนเทศที่ปลูกในประเทศไทยยังมีน้อย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลของการออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสารสกัดใบ เปลือกต้น เมล็ด ผลอ่อน แยกเมล็ด และผลแก่แยกเมล็ดของทุเรียนเทศ ด้วยการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและทดสอบความเป็นพิษระดับเซลล์โรแน้เค็มและลูกน้ำยุงลาย เพื่อเป็นข้อมูลในการนำสารสกัดจากทุเรียนเทศมาใช้ประโยชน์ในอนาคตและเพิ่มมูลค่าทางการค้าให้กับผลไม้ท้องถิ่นชนิดนี้ได้ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสกัดสารออกฤทธิ์จากส่วนต่าง ๆ ของทุเรียนเทศ

เก็บตัวอย่างส่วนต่าง ๆ ของต้นทุเรียนเทศ อายุ 5 ปี (มิถุนายน พ.ศ. 2563) ที่ปลูก ณ อาคารปฏิบัติการพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (พิกัด 7.80776, 99.9394) ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์จากห้องพิพิธภัณฑพืช คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (herbarium number TSU-260315) เตรียมตัวอย่างใบ เปลือกของลำต้น เมล็ดผลแก่ ผลอ่อนแยกเมล็ด (ขนาด 7x12 เซนติเมตร) และผลแก่แยกเมล็ด บันทึกร้าน้ำหนักสด ล้างทำความสะอาดส่วนต่าง ๆ ของพืชแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ใบ เปลือกของลำต้น และเมล็ดผลแก่) และ 60 องศาเซลเซียส (ผลอ่อนและผลแก่แยกเมล็ด) เป็นเวลา 120 ชั่วโมง บันทึกร้าน้ำหนักแห้งหลังการอบ คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากสารสกัดหยาบของพืช (% yield) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารสกัดที่ได้กับปริมาณสารตั้งต้น ทำให้ทราบต้นทุนการผลิตในแต่ละครั้ง

ก่อนทำการสกัดต้องตัดส่วนของพืชตามยาวหรือเป็นรูปเหลี่ยมและบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นเพื่อให้ตัวทำละลายที่ใช้สกัด (solvent) ได้แทรกซึมและสัมผัสกับสารต่าง ๆ ในเซลล์พืชให้ได้มากที่สุด เก็บส่วนของพืชที่บดแล้วใส่ขวด เก็บในที่แห้ง มีดและเย็น (4 องศาเซลเซียส) ในขั้นตอนนี้เป็นไปตามมาตรฐานของ Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) (Baur and Ensminger, 1977) ทำการสกัดสารออกฤทธิ์จากทุเรียนเทศด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvents) ที่มีขั้ว (polarity) ต่างกัน โดยชั่งน้ำหนักแห้งตัวอย่างพืชแต่ละส่วน แล้วนำมาแช่ในตัวทำละลายต่าง ๆ ด้วยวิธีสกัดแบบลำดับขั้น (sequential extraction) ด้วยการหมัก (maceration) แล้วแยกสารสกัดออกเป็นส่วน ๆ ตามความมีขั้ว ตามลำดับดังนี้ เฮกเซน (hexane) ไดคลอโรมีเทน (dichloromethane) เอทานอล (95% ethyl alcohol) และเมทานอล (methanol) โดยเทสารละลายจนท่วม ปิดฝาทิ้งไว้เป็นเวลา 5 วัน นำมากรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลาย (supernatant) นำไปกลั่นในสภาวะสุญญากาศ (distillation in vacuo) ด้วยเครื่อง rotary vacuum evaporator ที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเหนียวข้น นำสารสกัดไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง lyophilizer ชั่งน้ำหนักและเก็บสารสกัดที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จะได้สารสกัดหยาบ (crude) ในชั้นเฮกเซน วิธีการเตรียมสารสกัดหยาบในชั้นตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนทำซ้ำขั้นตอนเดิม โดยเทสารละลายไดคลอโร-มีเทนลงในกากพืชที่เหลือจนท่วม (150 มิลลิลิตร) ปิดฝาทิ้งไว้เป็นเวลา 5 วัน นำมากรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลาย นำไปกลั่นจะได้สารสกัดหยาบในชั้นไดคลอโรมีเทน ทำขั้นตอนเช่นเดียวกันนี้จนได้สารสกัดหยาบครบทั้ง 4 ตัวทำละลาย

2. การตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (ดัดแปลงจากวิธีการของ Singelton *et al.*, 1999)

เตรียมสารละลายตัวอย่างของสารสกัดหยาบทูเรียนเทศ (ผลอ่อนแยกเมล็ด ผลแก่แยกเมล็ด เมล็ด ใบ และเปลือกต้น) ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ด้วยเอทานอล (70 เปอร์เซ็นต์) จากนั้นเติม Folin-Ciocalteu's reagent ปริมาตร 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ลงในสารละลายจากตัวอย่างพืช ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาที เติมน้ำกลั่น โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) 2 เปอร์เซ็นต์ ลงไป 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามด้วยน้ำกลั่น 3 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในหน่วยไมโครกรัมสมมูลของการดกลักต่อกรัมสารสกัด ($\mu\text{g GAE/g ext.}$)

3. การทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดหยาบทูเรียนเทศต่อไรน้ำเค็มและลูกน้ำยุงลาย

3.1 การฟักไรน้ำเค็ม

การทดสอบส่วนนี้ดัดแปลงจากวิธีการของ Solis *et al.* (1993) โดยเตรียมน้ำทะเลเทียมด้วยโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 38 กรัมต่อลิตร ที่กรองผ่านกระดาษกรองลงในกล่องพลาสติกกัน 2 ด้านสำหรับเพาะเลี้ยง (ด้านหนึ่งปิดทึบ อีกด้านส่องหลอดไฟ ที่ก้นกลางกล่องมีรูเล็ก ๆ ให้น้ำเค็มที่ฟักแล้วว่ายผ่าน) ไรไซโรน้ำเค็ม (*artemia cyts*) ด้านที่ปิดทึบ ตั้งไว้ 24 ชั่วโมง (อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส) จะมองเห็นตัวอ่อนลักษณะเป็นตัวสีขาวขุ่น ว่ายน้ำลดมายังด้านที่ส่องไฟ ตัวอ่อนที่ฟักออกมาพร้อมที่จะนำไปใช้สำหรับการทดลองต่อไปอยู่ระยะที่ 1 (1st instar)

3.2 การเตรียมสารสกัดไมโครเพลท (microplate)

ชั่งสารสกัดจากตัวอย่างทูเรียนเทศส่วนต่าง ๆ 4 กรัม ผสมกับ 1 เปอร์เซ็นต์ (v/v) ไดเมทิล ซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulfoxide: DMSO) ปริมาตร 80 ไมโครลิตร แล้วใส่น้ำทะเลเทียม 3,920 ไมโครลิตร ได้เป็นสารละลายที่ 1 ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ด้วยเครื่องเขย่าสาร จากนั้นเตรียม dilution series จนได้สารละลายที่ 2 และ 3 ที่มีความเข้มข้น 100 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

3.3 การเตรียมไรน้ำเค็มในไมโครเพลท

ใช้ไมโครปิเปตดูดตัวไรน้ำเค็ม 10 ตัว (ในน้ำทะเลเทียม 100 ไมโครลิตร) นำมาใส่ในหลุมไมโครเพลท ดูดสารสกัดที่เตรียมไว้ทั้ง 3 ความเข้มข้นปริมาตร 400 ไมโครลิตร ใส่ลงหลุมไมโครเพลท ความเข้มข้นละ 3 หลุม (3 ซ้ำ)

3.4 การเตรียมสารควบคุมในไมโครเพลท

เตรียม DMSO ปริมาตร 80 ไมโครลิตร ผสมกับน้ำทะเลเทียมปริมาตร 3,200 ไมโครลิตร แล้วแบ่งใส่ลงในหลุมจำนวน 6 หลุม ๆ ละ 400 ไมโครลิตร จากนั้นดูดไรน้ำเค็ม 10 ตัว พร้อมกับน้ำทะเลเทียม 100 ไมโครลิตร ตามลงไป

นำไมโครเพลทส่องไฟเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส) นับจำนวนการตายเมื่อครบ 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ [เปอร์เซ็นต์การตาย = (จำนวนการตาย/จำนวนสัตว์ทดลองทั้งหมด) $\times$ 100] วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการสถิติ ประเมินค่า Probit analysis ตามสูตรของ Abbot (Abbot's formula) และค่าการตายของลูกน้ำยุงลายที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (LC₅₀) ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัด แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ สารสกัดที่มีฤทธิ์ในระดับสูง (high activity) จะมีค่า

LC₅₀ เท่ากับ 1-10 ไมโครลิตร ระดับปานกลาง (medium activity) จะมีค่า LC₅₀ เท่ากับ 11-100 ไมโครลิตร ระดับต่ำ (low activity) จะมีค่า LC₅₀ ตั้งแต่ 100 ไมโครลิตร ขึ้นไป (Meyer *et al.*, 1982)

ส่วนการฟักและการเพาะเลี้ยงลูกน้ำยุงลาย ดัดแปลงจากวิธีการของ Ciccia (2000) โดยเติมน้ำสะอาดลงในกล่องพลาสติกสำหรับเพาะเลี้ยง แบ่งไข่ยุงที่ฝังอยู่บนกระดาษกรอง (ใช้วิธีฉีก) แช่ลงในน้ำโดยหยาด้านที่มีไข่ติดอยู่ขึ้น เก็บภาชนะเลี้ยงไว้ในที่มืด 1-3 วัน เพื่อให้ลูกน้ำฟักออกจากไข่ซึ่งสังเกตเห็นจุดสีดำดำขึ้นมาในน้ำ ช่วงนี้ลูกน้ำจะมีการเจริญเติบโตโดยการลอกคราบ สังเกตเห็นคราบเก่าลอยอยู่บนผิวน้ำ จากระยะ 1-4 ใช้เวลาประมาณ 5 วัน จึงกลายเป็นระยะตัวมด และทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดทุเรียนเทศส่วนต่าง ๆ ใน 24-well plate ประเมินค่า Probit analysis และ LC₅₀ จากการทดสอบที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารสกัด (Ciccia, 2000) ด้วยขั้นตอนเดียวกันกับการทดสอบความเป็นพิษต่อตัวอ่อนไร้น้ำเค็ม

ผลการวิจัย

ในขั้นตอนการสกัดสารสกัดหยาบด้วยการหมักในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย ต้องใช้ปริมาณตัวทำละลายในการสกัดที่มากพอเพื่อให้ตัวทำละลายแทรกซึมเข้าไปละลายสารในเซลล์พืชออกมาและสารสกัดที่ได้จะต้องไม่สัมผัสความร้อน ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้ได้เรียงจากสารที่มีขั้วน้อยไปจนถึงสารที่มีขั้วมาก คือ เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เอทานอล และเมทานอล ตามลำดับ หลังจากที่ได้ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง lyophilizer จึงคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากสารสกัดหยาบของพืชได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปอร์เซนต์ที่ได้จากสารสกัดหยาบของพืชจากส่วนต่าง ๆ ของทุเรียนเทศที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่าง ๆ

ส่วนต่าง ๆ ของทุเรียนเทศ	เปอร์เซนต์ที่ได้จากสารสกัดหยาบของพืชในตัวทำละลายต่าง ๆ			
	เฮกเซน	ไดคลอโรมีเทน	เอทานอล	เมทานอล
ผลอ่อนแยกเมล็ด	3.63	2.99	5.26	6.80
ผลแก่แยกเมล็ด	3.31	4.79	6.11	5.42
ใบ	3.42	4.65	6.02	6.62
เมล็ด	3.08	4.80	5.85	6.13
เปลือกต้น	2.34	3.85	5.22	7.75

เมื่อทำการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดผลอ่อน ผลแก่ เมล็ด ใบ และเปลือกต้นของทุเรียนเทศ ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เอทานอล และเมทานอล เทียบกับสมการเส้นถดถอยของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ($y = 0.0009x$, $r^2 = 0.994$) พบว่า สารสกัดผลแก่ด้วยเอทานอลมีสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุดที่ $2,036 \pm 5.99$ ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก สารสกัดจากเมล็ดด้วยไดคลอโรมีเทนมีสารประกอบฟีนอลิกรวมต่ำสุดที่ $1,302 \pm 13.00$ ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดทุเรียนเทศจากส่วนต่าง ๆ

ส่วนต่าง ๆ ของ ทุเรียนเทศ	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) (ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก)			
	ตัวทำละลาย			
	เฮกเซน	ไดคลอโรมีเทน	เอทานอล	เมทานอล
ผลแก่	1,558.78 $\pm$ 8.58	1,896.56 $\pm$ 6.49	2,036.00 $\pm$ 5.99	1,990.44 $\pm$ 6.14
ผลอ่อน	2,012.00 $\pm$ 6.06	1,984.33 $\pm$ 6.16	2,012.00 $\pm$ 6.06	1,941.00 $\pm$ 6.32
ใบ	1,979.33 $\pm$ 6.18	1,302.00 $\pm$ 13.00	1,521.00 $\pm$ 8.96	2,013.22 $\pm$ 6.05
เมล็ด	1,404.33 $\pm$ 10.56	1,711.00 $\pm$ 7.42	1,423.78 $\pm$ 10.23	2,017.11 $\pm$ 6.05
เปลือกต้น	1,913.78 $\pm$ 6.42	1,540.44 $\pm$ 8.75	1,400.44 $\pm$ 10.63	2,025.44 $\pm$ 6.02

หมายเหตุ: - ระดับความเข้มข้นที่ 95 เปอร์เซนต์ (n=3)

จากการทดสอบค่าความเป็นพิษต่อโรน้าเค็มของสารสกัดทุเรียนเทศดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 ส่วนใบ เปลือกต้น เมล็ด ผลอ่อน และผลแก่ในตัวทำละลายเฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เอทานอล และเมทานอล ที่ความเข้มข้น 10-1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เทียบกับชุดควบคุม โดยทำการทดลองระดับละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 ตัว พบว่าค่า LC_{50} สูงสุดที่ทดสอบในโรน้าเค็ม คือ 985.34 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่เวลา 12 ชั่วโมง จากสารสกัดเปลือกต้นด้วยตัวทำละลายเฮกเซน รองลงมา คือ 898.07 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 12 ชั่วโมง สกัดเมล็ดด้วยตัวทำละลายเมทานอล) 833.26 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 12 ชั่วโมง สกัดใบด้วยตัวทำละลายเอทานอล และที่เวลา 18 ชั่วโมง สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน) 525.37 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 6 ชั่วโมง สกัดผลแก่ด้วยตัวทำละลายเอทานอล) และ 484.23 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 6 ชั่วโมง สกัดผลอ่อนด้วยตัวทำละลายเมทานอล) ตามลำดับ

ส่วนค่า LC_{50} ต่ำสุดจากการทดสอบค่าความเป็นพิษต่อโรน้าเค็ม คือ 71.95 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่เวลา 24 ชั่วโมง จากสารสกัดผลแก่ด้วยตัวทำละลายเมทานอล รองลงมา คือ 74.95 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 24 ชั่วโมง สกัดเมล็ดด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนและเอทานอล) 89.63 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 24 ชั่วโมง สกัดผลอ่อนด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน) 104.70 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 18 ชั่วโมง สกัดใบด้วยตัวทำละลายเอทานอล) และ 104.26 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 24 ชั่วโมง สกัดเปลือกด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน) ตามลำดับ

ค่า LC_{50} สูงสุดที่ทดสอบในลูกน้ำยุงลาย คือ 851.65 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่เวลา 18 ชั่วโมง จากสารสกัดเมล็ดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน รองลงมา คือ 815.94 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 24 ชั่วโมง สกัดเปลือกต้นด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน) 623.56 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 6 ชั่วโมง สกัดใบด้วยตัวทำละลายเมทานอล) 526.78 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 6 ชั่วโมง สกัดผลแก่ด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน) และ 448.18 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 6 ชั่วโมง สกัดผลอ่อนด้วยตัวทำละลายเมทานอล) ตามลำดับ

ส่วนค่า LC_{50} ต่ำสุด คือ 21.39 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่เวลา 24 ชั่วโมง จากสารสกัดผลแก่ด้วยตัวทำละลายเอทานอล รองลงมา คือ 45.25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 24 ชั่วโมง สกัดผลอ่อนด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน) 97.95 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 12 ชั่วโมง สกัดเปลือกด้วยตัวทำละลายเอทานอล) 104.44 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 6 ชั่วโมง สกัดใบด้วยตัวทำละลายเฮกเซน) และ 118.19 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ที่เวลา 12 ชั่วโมง สกัดเมล็ดด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนและเอทานอล) ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลของสารสกัดหยาดทุเรียนเทศส่วนต่าง ๆ ต่อค่าการตายของไรน้ำเค็มที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (LC₅₀)

เวลา (ชั่วโมง)	ความ เข้มข้น (ไมโครกรัม ต่อมิลลิลิตร)	ค่าการตาย (เปอร์เซ็นต์) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				ค่า LC ₅₀ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)			
		ตัวทำละลาย				ตัวทำละลาย			
		เฮกเซน	ไดคลอโร มีเทน	เอทานอล	เมทานอล	เฮกเซน	ไดคลอโร มีเทน	เอทานอล	เมทานอล
ใบ									
6	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	30.00±3.33	43.33±2.30	36.67±2.72	43.33±2.30	351.94	351.94	128.74	664.85
	100	63.33±1.57	100.00±0.00	63.33±1.57	46.67±2.14				
	1,000	73.33±1.36	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
12	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	33.33±3.00	43.33±2.30	36.67±2.72	46.67±2.14	664.85	104.47	833.26	161.86
	100	66.67±1.50	100.00±0.00	66.67±1.50	53.33±1.87				
	1,000	80.00±1.25	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
18	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	40.00±2.50	43.33±2.30	73.33±1.36	53.33±1.87	833.26	664.85	104.7	161.86
	100	70.00±1.42	100.00±0.00	76.67±1.30	63.33±1.57				
	1,000	86.67±1.15	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
24	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	50.00±2.00	73.33±1.36	70.00±1.42	70.00±1.42	798.59	664.85	156.29	472.17
	100	80.00±1.25	100.00±0.00	90.00±1.11	83.33±1.20				
	1,000	96.67±1.03	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
เปลือกต้น									
6	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	40.00±2.50	46.67±2.14	43.33±2.30	40.00±2.50	133.35	109.14	639.87	517.94
	100	53.33±1.87	100.00±0.00	53.33±1.87	60.00±1.66				
	1,000	73.33±1.36	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
12	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	13.33±7.50	56.67±1.76	50.00±2.00	43.33±2.30	985.34	282.72	649.29	898.07
	100	43.33±2.30	100.00±0.00	56.67±1.76	70.00±1.42				
	1,000	80.00±1.25	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
18	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	46.67±2.14	63.33±1.57	60.00±1.66	60.00±1.66	452.51	207.33	326.5	298.56
	100	66.67±1.50	100.00±0.00	66.67±1.50	76.67±1.30				
	1,000	83.33±1.20	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
24	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	76.67±1.30	80.00±1.25	70.00±1.42	76.67±1.30	121.84	104.26	180.12	122.46
	100	83.33±1.20	100.00±0.00	80.00±1.25	93.33±1.07				
	1,000	96.67±1.03	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
เมล็ด									
6	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	63.33±1.57	96.67±2.14	50.00±2.00	30.00±3.33				
	100	66.67±1.50	100.00±0.00	63.33±1.57	43.33±2.30				
	1,000	86.67±1.15	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	197.37	197.37	605.08	622.29
12	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	66.67±1.50	56.67±1.76	56.67±1.76	36.67±2.72				
	100	66.67±1.50	100.00±0.00	70.00±1.42	56.67±1.76				
	1,000	93.33±1.07	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	194.66	194.66	248.82	154.49

ตารางที่ 3 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ความ เข้มข้น (ไมโครกรัม ต่อมิลลิเมตร)	ค่าการตาย (เปอร์เซ็นต์) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				ค่า LC ₅₀ (ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร)			
		ตัวทำละลาย				ตัวทำละลาย			
		เฮกเซน	ไดคลอโร มีเทน	เอทานอล	เมทานอล	เฮกเซน	ไดคลอโร มีเทน	เอทานอล	เมทานอล
18	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	73.33±1.36	63.33±1.57	63.33±1.57	43.33±2.30				
	100	76.67±1.30	100.00±0.00	76.67±1.30	70.00±1.42				
	1,000	96.66±1.03	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	144.95	144.95	249.62	898.07
24	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	90.00±1.11	83.33±1.20	86.67±1.15	36.67±2.72				
	100	93.33±1.07	100.00±0.00	96.66±1.03	86.67±1.15				
	1,000	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	74.95	74.95	74.95	819.18
ผลอ่อน									
6	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	56.67±1.76	30.00±3.33	60.00±0.50	30.00±1.00				
	100	80.00±1.25	100.00±0.00	70.00±1.42	76.67±1.30				
	1,000	90.00±1.11	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	260.03	432.53	317.8	484.23
12	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	66.67±1.50	50.00±0.60	73.33±1.36	40.00±2.50				
	100	86.67±1.15	100.00±0.00	80.00±1.25	86.67±1.15				
	1,000	93.33±1.07	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	94.04	426.85	152.64	78.67
18	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	70.00±1.42	60.00±0.50	73.33±1.36	53.33±1.87				
	100	86.67±1.15	100.00±0.00	86.67±1.15	90.00±1.11				
	1,000	96.67±1.03	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	157.77	246.54	144.51	366.5
24	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	80.00±1.25	83.33±1.20	83.33±1.20	70.00±1.42				
	100	93.33±1.07	100.00±0.00	96.67±1.03	96.67±1.03				
	1,000	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	108.95	89.63	93.9	158.48
ผลแก่									
6	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	46.67±2.14	50.00±2.00	53.33±1.87	53.33±1.87				
	100	53.33±1.87	86.67±1.15	53.33±1.87	66.67±1.50				
	1,000	80.00±1.25	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	464.47	478.31	525.37	454.43
12	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	53.33±1.87	53.33±1.87	60.00±1.66	60.00±1.66				
	100	66.67±1.50	86.67±1.15	66.67±1.50	76.67±1.30				
	1,000	86.67±1.15	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	321.98	376.74	326.5	298.56
18	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	56.67±1.76	60.00±1.66	73.33±1.36	66.67±1.30				
	100	76.67±1.30	90.00±1.11	76.67±1.30	83.33±1.20				
	1,000	93.33±1.07	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	289.82	266.39	156.29	197.88
24	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	73.33±1.36	76.67±1.30	90.00±1.11	90.00±1.11				
	100	90.00±1.11	96.66±1.03	90.00±1.11	100.00±0.00				
	1,000	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	141.18	119.73	76.51	71.95

หมายเหตุ: - ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ (n=3)

ตารางที่ 4 ผลของสารสกัดหยาดทุเรียนเทศส่วนต่าง ๆ ต่อค่าการตายของลูกน้ำยุงลายที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (LC₅₀)

เวลา (ชั่วโมง)	ความ เข้มข้น (ไมโครกรัม ต่อมิลลิลิตร)	ค่าการตาย (เปอร์เซ็นต์) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				ค่า LC ₅₀ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)			
		ตัวทำละลาย				ตัวทำละลาย			
		เฮกเซน	ไดคลอโร มีเทน	เอทานอล	เมทานอล	เฮกเซน	ไดคลอโร มีเทน	เอทานอล	เมทานอล
ใบ									
6	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	3.33±30.00	6.67±15.00	10.00±10.00	13.33±7.50	562.11	214.25	142.44	623.56
	100	16.67±6.00	60.00±1.66	93.33±1.07	50.00±2.00				
	1,000	23.33±4.28	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
12	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	13.33±7.50	13.33±7.50	16.67±6.00	16.67±6.00	104.44	372.03	181.90	358.73
	100	26.67±3.75	66.67±1.50	96.67±1.03	56.67±1.76				
	1,000	30.00±3.33	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
18	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	30.00±3.33	20.00±6.00	20.00±6.00	20.00±6.00	232.14	328.62	184.05	340.16
	100	26.67±3.75	70.00±1.42	96.67±1.03	60.00±1.66				
	1,000	36.67±2.72	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
24	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	36.67±2.72	36.67±2.72	23.33±4.28	20.00±6.00	436.77	492.49	138.08	135.83
	100	36.67±2.72	73.33±1.36	96.67±1.03	70.00±1.42				
	1,000	36.67±2.72	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
เปลือกต้น									
6	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	10.00±10.00	10.00±10.00	13.33±7.50	13.33±7.50	196.93	169.98	321.13	321.13
	100	23.33±4.28	23.33±4.28	20.00±5.00	20.00±5.00				
	1,000	36.67±2.72	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
12	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	13.33±7.50	16.67±6.00	16.67±6.00	13.33±7.50	648.55	85.16	97.95	107.87
	100	26.67±3.75	26.67±3.75	23.33±4.28	20.00±5.00				
	1,000	36.67±2.72	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
18	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	16.67±6.00	20.00±5.00	20.00±5.00	20.00±5.00	326.07	334.82	431.93	807.12
	100	26.67±3.75	30.00±3.33	23.33±4.28	20.00±5.00				
	1,000	36.67±2.72	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
24	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	23.33±4.28	23.33±4.28	26.67±3.75	26.67±3.75	813.47	815.94	321.36	321.36
	100	36.67±2.72	36.67±2.72	30.00±3.33	30.00±3.33				
	1,000	40.00±2.50	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
เมล็ด									
6	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	6.67±15.00	10.00±10.00	10.00±10.00	13.33±7.50	151.92	232.83	232.83	195.97
	100	20.00±1.50	70.00±1.42	70.00±1.42	30.00±3.33				
	1,000	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
12	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	13.33±7.50	20±5.00	20.00±5.00	16.67±6.00	195.97	118.19	118.19	741.94
	100		80±1.25	80.00±1.25					
	1,000		100.00±0.00	100.00±0.00					

ตารางที่ 4 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ความ เข้มข้น (ไมโครกรัม ต่อมิลลิลิตร)	ค่าการตาย (เปอร์เซ็นต์) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				ค่า LC ₅₀ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)			
		ตัวทำละลาย				ตัวทำละลาย			
		เฮกเซน	ไดคลอโร มีเทน	เอทานอล	เมทานอล	เฮกเซน	ไดคลอโร มีเทน	เอทานอล	เมทานอล
18	0	30.00±3.33	0.00±0.00	0.00±0.00	30.00±3.33				
	10	100.00±0.00	20.00±5.00	20.00±5.00	100.00±0.00	851.65	373.35	373.35	231.36
	100	0.00±0.00	83.33±1.20	83.33±1.20	0.00±0.00				
	1000	16.67±6.00	100.00±0.00	100.00±0.00	26.67±3.75				
24	0	26.67±3.75	0.00±0.00	0.00±0.00	30.00±3.33				
	10	100.00±0.00	26.67±3.75	26.67±3.75	100.00±0.00	259.75	394.54	394.54	143.05
	100	0.00±0.00	83.33±1.20	83.33±1.20	0.00±0.00				
	1000	36.67±2.72	100.00±0.00	100.00±0.00	43.33±2.30				
ผลอ่อน									
6	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	10.00±10.00	3.33±30.00	6.67±15.00	10.00±0.00	159.93	267.85	267.85	448.18
	100	23.33±4.28	33.33±3.00	36.66±2.72	30.00±3.33				
	1000	36.67±2.72	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
12	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	13.33±7.50	10.00±10.00	13.33±7.50	16.67±6.00	72.02	218.72	154.7	74.19
	100	23.33±4.28	36.66±2.72	36.66±2.72	30.00±3.33				
	1000	36.67±2.72	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
18	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	13.33±7.50	13.33±7.50	13.33±7.50	20.00±5.00	367.65	154.7	154.7	33.48
	100	26.67±3.75	36.67±2.72	36.67±2.72	30.00±3.33				
	1000	43.33±2.30	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
24	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	16.67±6.00	16.67±6.00	23.33±4.28	33.33±3.00	241.18	45.25	124.64	338.98
	100	40.00±2.50	13.33±7.50	43.33±2.30	40.00±2.50				
	1000	36.67±2.72	100.00±0.00	100.00±0.00	40.00±2.50				
ผลแก่									
6	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	3.33±30.00	6.67±15.00	13.3±7.50	6.67±15.00	331.99	526.78	172.11	739.99
	100	10.00±3.00	36.67±2.72	33.33±30.0	30.00±3.33				
	1000	16.67±6.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
12	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	6.67±15.00	10.00±3.00	20.00±5.00	10.00±10.00	33.91	457.54	301.21	414.81
	100	10.00±3.00	40.00±2.50	33.33±30.00	30.00±3.33				
	1000	20.00±5.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
18	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	6.67±15.00	16.67±6.00	20.00±5.00	13.30±7.50	69.03	54.61	27.61	195.97
	100	16.67±6.00	40.00±2.50	36.67±2.72	30.00±3.33				
	1000	30.00±3.33	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				
24	0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00				
	10	10.00±10.00	16.67±6.00	20.00±5.00	16.67±6.00	44.53	42.43	21.39	49.79
	100	26.67±3.75	50.00±2.00	46.67±2.14	43.33±2.30				
	1000	50.00±2.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00				

หมายเหตุ: - ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ (n=3)

การอภิปรายผลการวิจัย

การสกัดสารสำคัญทางชีวภาพจากตัวอย่างส่วนต่าง ๆ ของทุเรียนเทศที่ศึกษา โดยใช้ตัวทำละลายที่มีความต่างขั้วจากขั้วน้อยไปจนถึงสารที่มีขั้วมากเพื่อให้สารเคมีในพืช (phytochemistry) ละลายออกมามากที่สุด (Nolasco *et al.*, 2022) ผลการวิจัยแสดงว่าส่วนต่าง ๆ ของทุเรียนเทศ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในธรรมชาติที่แตกต่างกันตามชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งโดยทั่วไป สารประกอบฟีนอลิกมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (antioxidant) และสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถการป้องกันโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือดและมะเร็ง อีกทั้งใช้เป็นสารกันหืน ป้องกันปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) ได้ (Wilfred and Ralph, 2006) เมื่อนำสารสกัดทดสอบกับโรสน้ำเค็ม สารสกัดเปลือกต้นที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ให้ค่า LC_{50} สูงสุด 985.34 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่เวลา 12 ชั่วโมง สอดคล้องกับค่า LC_{50} สูงสุด ที่ทดสอบในลูกน้ำยุงลาย (851.65 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่เวลา 18 ชั่วโมง) ซึ่งสกัดด้วยตัวทำละลาย ชนิดเดียวกัน ส่วนค่า LC_{50} ต่ำสุดที่ได้จากการทดสอบในโรสน้ำเค็มและลูกน้ำยุงลาย มีค่าไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร คือ 71.95 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่เวลา 24 ชั่วโมง จากการสกัดผลแก่ด้วย ตัวทำละลายเมทานอลและ 21.39 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่เวลา 24 ชั่วโมง จากสารสกัดผลแก่ด้วย ตัวทำละลายเอทานอล ตามลำดับ จากผลการทดลองค่า LC_{50} ต่ำสุดพบในสารสกัดจากผลแก่ของ ทุเรียนเทศและมีฤทธิ์สูงต่อการตายของโรสน้ำเค็มและลูกน้ำยุงลาย ซึ่งลูกน้ำยุงลายมีความไวต่อพิษ สารสกัดสูงกว่าโรสน้ำเค็มซึ่งเป็นตัวชี้วัด (indicator) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดจากพืช (Mackeen *et al.*, 2000) สารสกัดนี้จึงมีประสิทธิภาพดีต่อการทำลายลูกน้ำยุงลายได้ ซึ่งเป็นข้อมูล ใหม่ที่พบเพิ่มเติมจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ทดสอบเพียงสารสกัดจากเปลือกต้นและเมล็ดเท่านั้น (Hlywkai *et al.*, 1997; Solis *et al.*, 1993) สารประกอบฟีนอลิกรวมเป็นสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) ที่เกิดขึ้นจากสารมัธยันตร์หรือสารเมแทบอไลต์ปฐมภูมิ (primary metabolites) ที่เกิดขึ้นหลังจากที่เซลล์หยุดการเติบโตไปแล้ว สารประกอบฟีนอลิกรวมถูกสังเคราะห์จากวิถีเพนโทส ฟอสเฟต (pentose phosphate pathway) วิถีชิคิเมต (shikimate pathway) และวิถีฟีนิลโพรพา- นอยด์ (phenylpropanoid pathway) ซึ่งมีหน่วยโครงสร้างของลิกนิน (lignin) ถูกสร้างขึ้นในด้วย เพื่อใช้ในกลไกการต้านเชื้อโรคและการติดเชืของพืช (Randhir *et al.*, 2004) จากสารสกัดทุเรียนเทศ ต่อโรสน้ำเค็มและลูกน้ำยุงลาย คาดว่าส่วนต่าง ๆ ของทุเรียนเทศ (ใบ เปลือกลำต้น เมล็ดผลแก่ ผลอ่อน แยกเมล็ด และผลแก่แยกเมล็ด) ที่นำมาศึกษามีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่แตกต่างกัน สามารถออกฤทธิ์ยับยั้งลูกน้ำยุงลายได้ แต่มีพิษน้อยมากหรือไม่มีพิษต่อโรสน้ำเค็ม ข้อมูลจากผลการศึกษาสามารถ นำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลไม้ท้องถิ่นชนิดนี้ได้

สรุปผลการวิจัย

พืชท้องถิ่นหลายชนิดรวมถึงทุเรียนเทศ มีรสชาติและคุณสมบัติเฉพาะถิ่นปลูก พืชเหล่านี้ นับเป็นทรัพยากรที่มีค่าของประเทศ มีความสำคัญ และมีประโยชน์อย่างมากในแง่การพึ่งพาตนเอง ของประชาชนและเศรษฐกิจ ความสนใจในการพัฒนาพืชเหล่านี้เป็นยารักษาโรคหรือการเพิ่มมูลค่า เป็นสิ่งที่มีประโยชน์ต่อทุกฝ่าย เป็นหนทางหนึ่งที่จะกระตุ้นให้มีการศึกษาวิจัยในเชิงลึก ให้ชุมชนใน ท้องถิ่นเห็นความสำคัญและตระหนักถึงคุณค่าและความปลอดภัยของการใช้ประโยชน์จากฤทธิ์ของพืช อีกทั้งยังเป็นการต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์เชิงการแพทย์ พานิชย์ และสาธารณะ เพื่อ

เป็นพื้นฐานในการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืนต่อไป ข้อมูลจากงานวิจัยนี้ เช่น สารสกัดผลแก่ด้วยเอทานอล มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด สามารถนำไปใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ หรือสารสกัดผลแก่ด้วยเอทานอล มีค่า LC_{50} ต่ำที่สุด เมื่อทดสอบกับลูกน้ำยุงลายแสดงว่ามีความเป็นพิษต่อลูกน้ำยุงลายค่อนข้างสูง สามารถนำไปใช้เป็นสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติในการกำจัดลูกน้ำยุงลายได้ ทั้งนี้จะต้องมีการทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดผลแก่ทุเรียนเทศในสัตว์ทดลองเพื่อใช้เป็นอาหารหรือยารักษาโรคต่อไป ข้อมูลจากงานวิจัยจึงสามารถนำมาเป็นข้อมูลส่งเสริมและสร้างความเชื่อมั่นให้คนในชุมชนเห็นความสำคัญของพืชในท้องถิ่นและมีความภูมิใจต่อภูมิปัญญาของบรรพบุรุษ สร้างรายได้แก่ชุมชน อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลจากงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในหน่วยงานวิจัยด้านสมุนไพรและการแพทย์รวมถึงหน่วยงานด้านเกษตรกรรมและกลุ่มชุมชน โดยต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายฝ่ายในการพัฒนาการปลูกและแปรรูปทุเรียนเทศในทุกรูปแบบให้มีมาตรฐานตามหลักเกณฑ์ที่ดีในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กามีละห์ ยะโกะ. (2566). ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในจังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 42(1), 93-103, doi: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.256643>.
- วิวัฒน์ พันธวุฒิยานนท์ และนนทสิทธิ์ บุญยะรัตเวช. (2540). ผลไม้พื้นบ้านภาคใต้. *วารสารสารคดี*, 11(14), 54-72.
- Alali, F.Q, Liu, X.X. and McLaughlin, J.L. (1999). *Annonaceous acetogenins: Recent progress. Journal of Natural Products*, 62(3), 504-540, doi: <https://doi.org/10.1021/np980406d>.
- Baur, F.J., and Ensminger, L.G. (1977). The association of official analytical chemists (AOAC). *Journal of American Oil Chemical Society*, 54, 171-172, doi: <https://doi.org/10.1007/BF02670789>.
- Ciccia, G., Coussio, J. and Mongelli, E. (2000). Insecticidal activity against *Aedes aegypti* larvae of some medicinal South American plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 72(1-2), 185-189, doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(00\)00241-5](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00241-5).
- Hernández-Fuentes, G.A., García-Argáez, A.N., Campos, A.L.P., Delgado-Enciso, I., Muñoz-Valencia, R., Martínez-Martínez, F.J., Toninello, A., Gómez-Sandoval, Z., Mojica-Sánchez, J.P., Vía, L.D. and Parra-Delgado, H. (2021). Cytotoxic acetogenins from the roots of *Annona purpurea*. *International Journal of Molecular Science*, 20(8), doi: <https://doi.org/10.3390/ijms20081870>.
- Hlywkai, J.J., Bech, M.M. and Bullerman, L.B. (1997). The use of the chicken embryo screening test and brine shrimp (*Artemia salina*) bioassays to assess the toxicity of fumonisin B1 mycotoxin. *Food and Chemical Toxicology Research*, 35(10-11), 991-999, doi: [https://doi.org/10.1016/s0278-6915\(97\)87268-7](https://doi.org/10.1016/s0278-6915(97)87268-7).

- Huai, H., Dong, Q. and Lui, A. (2010). Ethnomedicinal analysis of toxic plants from five ethnic groups in China. *Ethnobotany Research and Applications*, 8, 169-179, doi: <https://doi.org/10.17348/era.8.0.169-179>.
- Jaramillo, M.C., Arango, G.J., González, M.C., Robledo, S.M. and Velez, I.D. (2000). Cytotoxicity and antileishmanial activity of *Annona muricata* pericarp. *Fitoterapia*, 71(2), 183-186, doi: [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(99\)00138-0](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(99)00138-0).
- Liaw, C.C., Chang, F.R., Lin, C.Y., Chou, C.J., Chiu, H.F., Wu, M.J. and Wu, Y.C. (2002). New cytotoxic monotetrahydrofuran annonaceous acetogenins from *Annona muricata*. *Journal of Natural Products*, 65(4), 470-475, doi: <https://doi.org/10.1021/np0105578>.
- Mackeen, M.M., Khan, M.N., Zamadi, Z. and Lajis, N.H. (2000). Brine shrimp toxicity of fractionated extracts of Malaysian medicinal plants. *Natural Product Sciences*, 6(3), 131-134.
- Meyer, B.N., Ferrigni, N.R., Putnam, J.E., Jacobsen, L.B., Nichols, D.E. and McLaughlin, J.L. (1982). Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. *Planta Medica*, 45(5), 31-34, doi: <https://doi.org/10.1055/s-2007-971236>.
- Nolasco, Y.G., Chacón-López, M.A., Basurto, R.I.O., Aguirre, S.A., González-Aguilar, G.A., Rodríguez-Aguayo, C., Cortez, M.C.N., Galindo, H.S.G., Magaña, M.L.G., Espinoza, L.M. and González, E.M. (2022). *Annona muricata* leaves as a source of bioactive compounds: Extraction and quantification using ultrasound. *Horticulturae*, 8(7), doi: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070560>.
- Oberlies, N.H., Chang, C.J. and McLaughlin, J.L. (1997). Structure-activity relationships of diverse *Annonaceous acetogenins* against multidrug resistant human mammary adeno-carcinoma (MCF-7/Adr) cells. *Journal of Medicinal Chemistry*, 40(13), 2102-2106, doi: <https://doi.org/10.1021/jm9700169>.
- Randhir, R., Lin, Y.T. and Shetty, K. (2004). Phenolics, their antioxidant and antimicrobial activity in dark germinated fenugreek sprouts in response to peptide and phytochemical elicitors. *Asia Pacific Journal Clinical Nutrition*, 13(3), 295-307.
- Singelton, V.L., Orthofer, R. and Lamaela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Method in Enzymology*, 299, 152-178, doi: [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).
- Solis, P.N., Wright, C.W., Anderson, M.M., Gupta, M.P. and Philipson, J.D. (1993). A microwell cytotoxicity assay using *Artemia salina* (brine shrimp). *Planta Medica*, 59(3), 250-252, doi: <https://doi.org/10.1055/s-2006-959661>.
- Wilfred, V. and Ralph, N. (2006). *Phenolic compound biochemistry*. London: Academic Press.

การประยุกต์ใช้เศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในสูตรอาหารต่อ
การเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลากะพงขาว
(*Lates calcarifer* Bloch, 1790) ที่เลี้ยงในน้ำจืด

Application of Marine Fish Processing Waste in Formulated Diet on
Growth Performance and Fillet Chemical Composition of Asian
Seabass (*Lates calcarifer* Bloch, 1790) Reared in Fresh Water

แจ่มจันทร์ เพชรศิริ^{1*} และทวีเดช ไชยนาพงษ์¹
Jamjun Pechsiri^{1*} and Thaweedet Chainapong¹

บทคัดย่อ

เศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอด องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา และต้นทุนค่าอาหารต่อการเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัวของปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch, 1790) ที่เลี้ยงในน้ำจืด โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 3 ชุดการทดลอง คือ อาหารอัดเม็ดที่มีส่วนผสมเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่นและกรดอะมิโนจากปลาทะเล (อาหารทดลองสูตรที่ 1: T1) อาหารอัดเม็ดที่มีส่วนผสมเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่น (อาหารทดลองสูตรที่ 2: T2) และอาหารเม็ดสำเร็จรูปเชิงการค้าสำหรับปลาทะเล (อาหารทดลองสูตรที่ 3: T3) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวขนาด 27-29 กรัม ในบ่อซีเมนต์น้ำจืด เป็นระยะเวลา 4 เดือน ผลการศึกษาพบว่า ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหาร T2 มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด มีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายเท่ากับ 385.70 ± 12.00 กรัม น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ $1,282.69 \pm 46.69$ เปอร์เซ็นต์ อัตราการเจริญเติบโตต่อวันเท่ากับ 2.98 ± 0.09 กรัมต่อตัวต่อวัน อีกทั้งปลากะพงขาวที่ได้รับอาหาร T2 มีต้นทุนค่าอาหารต่อการเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัวต่ำที่สุดเพียง 41.09 ± 3.98 บาทต่อกิโลกรัม ในขณะที่ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) มีปริมาณโปรตีนในเนื้อปลากะพงขาวสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 85.47 ± 1.57 เปอร์เซ็นต์ แต่ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) มีอัตราการรอดเพียง 83.30 ± 3.30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหาร T3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่นสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในการผลิตอาหารปลาอัดเม็ดที่มีโปรตีนสูงสำหรับเลี้ยงปลากะพงขาวในน้ำจืดได้

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

* Corresponding author e-mail: jamjun2508@yahoo.com

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchainstru.2024.v43i1.257891>

Received: 10 February 2023, Revised: 1 May 2023, Accepted: 7 June 2023

คำสำคัญ: เศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเล สูตรอาหารปลา ปลากระพงขาว การเจริญเติบโต องค์ประกอบทางเคมี

Abstract

Marine fish processing waste contains high amount of nutritional values. The present study aimed to investigate the efficiency of marine fish processing waste in the formulated diets on growth performance, survival rate, fillet chemical compositions and feed cost of Asian seabass (*Lates calcarifer* Bloch, 1790) reared in fresh water. A completely randomized design was formulated comprising three experimental diets which included a diet containing dried form of marine fish processing waste and marine fish amino acids (T1), a diet containing dried form of marine fish processing waste (T2), and a commercial diet for marine fish (T3). The fingerling fish with initial body weight of 27-29 gram (g) were reared in fresh water cement tanks for four months. The results showed that the highest growth performances were found in T2 fish. The mean final weights, weight gain, and average daily gain of T2 fish were 385.7 ± 12.0 g, $1,282.69 \pm 46.69\%$, and 2.98 ± 0.09 g per fish per day, respectively. Also, the lowest feed cost per gain (41.09 ± 3.98 baht per kilogram (kg)) was found in T2 fish. Whereas, T1 fish was found with the highest protein ($85.47 \pm 1.57\%$) in the fillet but having the lower survival rate ($83.30 \pm 3.30\%$) than T3 fish ($93.30 \pm 3.30\%$). This study demonstrated that the dried form of marine fish processing waste can be used as a protein source in high protein diet for Asian seabass reared in fresh water.

Keywords: Marine fish processing waste, Fish formulated diet, *Lates calcarifer* (Bloch, 1790), Growth performance, Chemical composition

บทนำ

ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำทุกขั้นตอนจะมีวัสดุเศษเหลือเกิดขึ้นทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว ได้แก่ ส่วนหัว ก้าง เกล็ด เครื่องใน และน้ำเลือด มากถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุดิบทั้งหมด (Siddik *et al.*, 2021) เศษเหลือดังกล่าวอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น โปรตีน กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน และวิตามิน ฯลฯ (Caruso *et al.*, 2020) ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง เช่น ผลิตเป็นโปรตีนเข้มข้น โปรตีนไฮโดรไลเสต (fish protein hydrolysates) และกรดอะมิโน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารกระตุ้นทางชีวภาพให้แก่พืช (plant biostimulants) (Madende and Hayes, 2020) และใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารของสัตว์น้ำเศรษฐกิจ เช่น ปลากระรังจุดฟ้าเล็ก (*Plectropomus leopardus*) (Giri *et al.*, 2021) และกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) (De *et al.*, 2020) และใช้เป็นแหล่งโปรตีน

และไขมันในสูตรอาหารปลาตุ๊กผสม (แจ่มจันทร์ และคณะ, 2564) แต่จากการนำเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลมาแปรรูปเป็นกรดอะมิโน พบว่าประสบปัญหาเรื่องความเค็มที่เกิดจากการใช้เกลือในการเก็บรักษาปลาก่อนนำมาแปรรูป จึงทำให้กรดอะมิโนที่ผลิตจากเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลอาจจะไม่เหมาะสมกับพืชบางชนิด ดังนั้นการหาแนวทางนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปใช้ให้เหมาะสมตรงกับความต้องการจึงเป็นวิธีการที่จะก่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น

จากคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์กรดอะมิโนปลาทะเลที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนมากถึง 17 ชนิด และมีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบทั้ง 10 ชนิด แต่มีความเค็ม น่าจะเหมาะกับการนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลากะพงขาวที่เลี้ยงในน้ำจืด เนื่องจากปลากะพงขาวเป็นปลากินเนื้อต้องการอาหารที่มีโปรตีนสูงประมาณ 40-45 เปอร์เซ็นต์ (Boonyaratpalin, 1997) อีกทั้งสามารถเลี้ยงได้ทั้งในน้ำเค็ม น้ำกร่อย และน้ำจืด (Harpaz *et al.*, 2005) จึงทำให้ปัจจุบันมีการขยายพื้นที่ไปเลี้ยงปลากะพงขาวในน้ำจืดทั้งในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (สุพันธุ์ และคณะ, 2564) แต่อย่างไรก็ตามปลากะพงขาวที่เลี้ยงในน้ำจืดจะปรับตัวโดยขับเกลือแร่ เช่น โซเดียมไอออน (Na^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ออกจากร่างกาย ปลาต้องชดเชยเกลือแร่ต่าง ๆ เหล่านี้จากน้ำหรือจากอาหารเพื่อรักษาสมดุลของเกลือแร่ในร่างกาย ดังนั้นการเติมเกลือแร่ในอาหารปลากะพงขาวที่เลี้ยงในน้ำจืดนอกจากช่วยลดพลังงานในการรักษาสมดุลของร่างกายแล้วยังทำให้พลังงานเหล่านั้นถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้ปลาเจริญเติบโตได้มากขึ้น ดังรายงานผลการวิจัยของ Harpaz *et al.* (2005) ที่พบว่า การเติมเกลือที่ระดับ 1 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสำหรับเลี้ยงปลากะพงขาวในน้ำจืดทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนค่าอาหาร

งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้เศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลทั้งในรูปแบบป่นและผลิตภัณฑ์กรดอะมิโนปลาทะเล เป็นแหล่งโปรตีนหลักในการผลิตอาหารปลาอัดเม็ดที่มีโปรตีนสูงสำหรับปลากะพงขาวที่เลี้ยงในน้ำจืด ซึ่งยังไม่เคยมีการศึกษามาก่อน ผลที่ได้จากการดำเนินงานวิจัยนี้นอกจากจะสร้างมูลค่าเพิ่มจากเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลแล้ว ยังสร้างความยั่งยืนให้แก่สังคมและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัสดุเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเล

การวิจัยนี้ใช้เศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลใน 2 รูปแบบ คือ กรดอะมิโนปลาทะเล ประกอบด้วย กรดอะมิโนทั้งหมด 17 ชนิด แบ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็น 9 ชนิด คือ เมไทโอนีน (Methionine: Met) อาร์จินีน (Arginine: Arg) ทรีโอนีน (Threonine: Thr) ฮิสทีดีน (Histidine: His) ไอโซลิวซีน (Isoleucine: Ile) ลิวซีน (Leucine: Leu) ไลซีน (Lysine: Lys) วาลีน (Valine: Val) และฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine: Phe) และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น 8 ชนิด คือ แอสพาทิก แอซิด (Aspartic acid: Asp) ซีรีน (Serine: Ser) กลูตามิก แอซิด (Glutamic acid: Glu) โพลีน (Proline: Pro) ไกลซีน (Glycine: Gly) อะลานีน (Alanine: Ala) ซีสเทอีน (Cysteine: Cys) และไทโรซีน (Tyrosine: Tyr) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลแล้วเนื้อของบริษัทยาเทอรัน ซีฟูด โปรดักส์ จำกัด อำเภอลาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และในรูปแบบป่นโดยรวบรวมเศษเหลือทั้งจากการแปรรูปปลาทะเลแล้วเนื้อ ซึ่งประกอบด้วยส่วนหัวและส่วนก้างของปลาหลังเขียว ปลาทูลาย ปลาตาโต

และปลาข้างเหลือง จากบริษัทเซาท์เทอร์น ซีฟู้ด โปรดักส์ จำกัด นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาบดให้ละเอียด

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำหัวปลาและก้างปลาที่อบแห้งและบดละเอียดไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ตามวิธีของ AOAC (2000) วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยอบตัวอย่างในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง วิเคราะห์โปรตีนโดยวิธี Kjeldahl method ด้วยเครื่องย่อย Gerhardt รุ่น KB8S และเครื่องกลั่น Gerhardt รุ่น Vapodest 300, Germany วิเคราะห์ไขมันโดยวิธี ether extract ด้วยเครื่อง Gerhardt รุ่น EV6 A11, Germany และวิเคราะห์เถ้าโดยวิธี muffle furnace combustion โดยนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จะได้เถ้าสีขาว จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนหัวและก้างปลาซึ่งเป็นเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลแล่นเนื้อ พบว่าประกอบด้วยความชื้น 8.2 ± 0.7 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 60.9 ± 0.4 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 8.9 ± 0.6 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 25.0 ± 1.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

3. การผลิตอาหารปลาอัดเม็ดโปรตีนสูงจากเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเล

สร้างสูตรอาหารโดยนำข้อมูลผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเล มาคำนวณปริมาณการใช้เป็นส่วนผสมร่วมกับวัสดุอื่น ๆ ในสูตรอาหาร โดยกำหนดให้อาหารปลาอัดเม็ดที่ผลิตมีโปรตีนไม่น้อยกว่า 43 เปอร์เซ็นต์ ไขมันไม่น้อยกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นไม่เกิน 7 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 2 สูตร ซึ่งส่วนผสมที่คำนวณได้ในแต่ละสูตร ดังตารางที่ 1 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องอัดเม็ดผ่านหน้าแวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร นำอาหารเม็ดที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้อาหารปลาอัดเม็ดชนิดจมน้ำ นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธีการมาตรฐานของ AOAC (2000) ได้ผลดังตารางที่ 2 และนำอาหารปลาที่ผลิตได้เก็บใส่ถุงและแช่ในตู้เย็นสำหรับนำไปใช้เป็นอาหารปลาทดลองต่อไป

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของสูตรอาหารทดลอง

ส่วนประกอบ	ปริมาณอาหารทดลอง (เปอร์เซ็นต์)	
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
หัวและก้างปลาทะเลปน	40	63
กรดอะมิโนปลาทะเล	20	0
กากถั่วเหลือง	16.5	13.5
รำละเอียด	10	10
แป้งสาลี	5	5
น้ำมันปลาหมึก	5	5
แร่ธาตุรวม*	2	2
วิตามินรวม**	1	1
วิตามินซี	0.5	0.5
รวม	100	100

หมายเหตุ: - * แร่ธาตุรวม (ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัม) ประกอบด้วย แคลเซียม 100,000 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 80,000 มิลลิกรัม ทองแดง 2,500 มิลลิกรัม เหล็ก 1,200 มิลลิกรัม แมงกานีส 1,200 มิลลิกรัม สังกะสี 1,540 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 260 มิลลิกรัม ไอโอดีน 740 มิลลิกรัม แมงกานีส 2,160 มิลลิกรัม ซิลิเนียม 10 มิลลิกรัม และโคบอลต์ 240 มิลลิกรัม

- ** วิตามินรวม (ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัม) ประกอบด้วย วิตามินเอ 500,000 หน่วยสากล วิตามินดี 3 100,000 หน่วยสากล วิตามินอี 10,000 หน่วยสากล วิตามินเค 3 8,000 มิลลิกรัม วิตามินบี 1 300 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 1,500 มิลลิกรัม วิตามินบี 6 700 มิลลิกรัม วิตามินบี 12 20 มิลลิกรัม กรดแพนโททินิก 3,000 มิลลิกรัม ไนอะซิน 2,500 มิลลิกรัม ไบโอดิน 300 มิลลิกรัม กรดโฟลิก 30 มิลลิกรัม วิตามิน ซี 80 กรัม อินซิทอล 25 กรัม เหล็ก 20 กรัม สังกะสี 35 กรัม ทองแดง 2.5 กรัม ซิลิเนียม 40 มิลลิกรัม สารถนอมคุณภาพอาหารสัตว์ 10 กรัม สลือ: เต็มจนครบ 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

ดัชนี (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	อาหารทดลอง		
	สูตรที่ 1 (T1)	สูตรที่ 2 (T2)	สูตรที่ 3 (T3)
ความชื้น	6.8±1.0	6.6±1.1	6.8±1.1
โปรตีน	43.2±0.5	43.1±0.1	43.3±0.3
ไขมัน	15.0±0.3	16.2±0.5	12.7±0.2
เถ้า	14.8±0.5	15.6±0.7	11.8±0.3

หมายเหตุ: - อาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) = อาหารอัดเม็ดที่มีส่วนผสมพิเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่นและ กรดอะมิโนจากปลาทะเล

- อาหารทดลองสูตรที่ 2 (T2) = อาหารอัดเม็ดที่มีส่วนผสมพิเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่น

- อาหารทดลองสูตรที่ 3 (T3) = อาหารเม็ดสำเร็จรูปเชิงการค้าสำหรับปลาทะเล

4. การเตรียมปลากะพงขาวที่ทดลอง

ซื้อลูกพันธุ์ปลากะพงขาว ขนาดประมาณ 27-29 กรัม จำนวน 300 ตัว จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสงขลา จังหวัดสงขลา นำมาปรับสภาพการทดลองเลี้ยงในน้ำจืด ในบ่อซีเมนต์ ขนาด 2x3.5 เมตร ในโรงเพาะฟัก อาคารปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง เป็นระยะเวลา 14 วัน หลังจากนั้นนำปลากะพงขาวที่ปรับสภาพแล้ว ปล่อยลงในบ่อซีเมนต์ ขนาด 2x3.5 เมตร บ่อละ 30 ตัว จำนวน 9 บ่อ

5. การดำเนินการทดลองและการเก็บข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) ประกอบด้วย 3 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ คือ

อาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) = อาหารอัดเม็ดที่มีส่วนผสมเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่นและกรดอะมิโนจากปลาทะเล

อาหารทดลองสูตรที่ 2 (T2) = อาหารอัดเม็ดที่มีส่วนผสมเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่น

อาหารทดลองสูตรที่ 3 (T3) = อาหารเม็ดสำเร็จรูปเชิงการค้าสำหรับปลาทะเล

ให้อาหารทดลองตามที่กำหนดแบบให้กินจนอิ่มภายในระยะเวลา 20 นาที วันละ 2 ครั้ง เวลา 8.30 น. และ 16.30 น. จัดบันทึกอาหารที่ให้ เปลี่ยนถ่ายน้ำ 30 เปอร์เซ็นต์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เก็บข้อมูลโดยชั่งน้ำหนักปลากะพงขาวเดือนละ 1 ครั้ง ทดลองเป็นระยะเวลา 4 เดือน และเมื่อสิ้นสุดการทดลองชั่งน้ำหนักรวมของปลากะพงขาวแต่ละบ่อ นับจำนวนปลากะพงขาวที่เหลือรอด และน้ำหนักอาหารรวมทั้งหมดที่ปลากะพงขาวกินในแต่ละบ่อ เพื่อนำมาคำนวณอัตราการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอด และต้นทุนค่าอาหารต่อการเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว โดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (average weight) (กรัมต่อตัว)} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักรวม}}{\text{จำนวนปลากะพงขาวทดลอง}} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain) (เปอร์เซ็นต์)} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{น้ำหนักเมื่อเริ่มการทดลอง}} \times 100 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \text{อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (average daily gain) (กรัมต่อตัวต่อวัน)} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักเมื่อเริ่มการทดลอง}}{\text{จำนวนวันที่ทดลอง}} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \text{ปริมาณอาหารที่กิน (feed intake) (กรัมต่อตัว)} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักอาหารกินรวม (กรัม)}}{\text{จำนวนปลากะพงขาว (ตัว)}} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio)} \\ &= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่ปลากะพงขาวกิน}}{\text{น้ำหนักปลากะพงขาวที่เพิ่มขึ้น}} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \text{อัตราการรอด (survival rate) (เปอร์เซ็นต์)} \\ &= \frac{\text{จำนวนปลากะพงขาวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลากะพงขาวเริ่มต้น}} \times 100 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \text{ต้นทุนค่าอาหารต่อการเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว (feed cost per gain) (บาทต่อกิโลกรัม)} \\ &= \text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ} \times \text{ต้นทุนวัตถุดิบ} \end{aligned} \quad (7)$$

วิเคราะห์คุณภาพของเนื้อปลากระพงขาวโดยนำปลากระพงขาวจากแต่ละบ่อ ๆ ละ 5 ตัว แต่ละชุดการทดลองนำมารวมกันเท่ากับ 15 ตัว สลบลบโดยใช้น้ำแข็ง แลเฉพาะเนื้อปลา นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธีการมาตรฐานของ AOAC (2000)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

คำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา ในแต่ละชุดการทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ one-way ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์โดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows

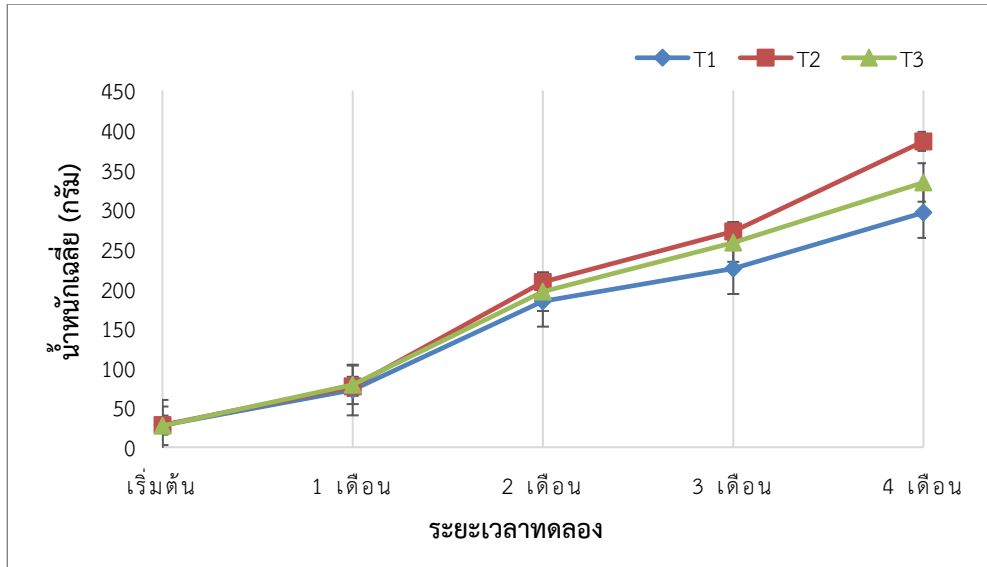
ผลการวิจัย

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของปลากระพงขาว พบว่าปลากระพงขาวที่ทดลองมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทดลอง โดยในเดือนที่ 1 ปลากระพงขาวทั้ง 3 ชุดการทดลองมีน้ำหนักเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) มีน้ำหนักเฉลี่ยระหว่าง 72.10 ± 5.90 - 78.70 ± 2.80 กรัม อย่างไรก็ตามในเดือนที่ 2 3 และ 4 ปลากระพงขาวที่ทดลองที่ได้รับอาหารต่างกันมีน้ำหนักเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 1) โดยเดือนที่ 2 และ 3 ปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารสูตร T2 มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงกว่าปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรอาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในเดือนที่ 4 พบว่าปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารสูตร T2 มีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายมากที่สุดและมีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด ส่วนปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) และ 3 มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด (ตารางที่ 3)

เมื่อพิจารณาปริมาณอาหารที่กินพบว่าปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารต่างกันมีปริมาณอาหารที่กินต่อตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารสูตร T2 มีปริมาณอาหารที่กินมากที่สุด ส่วนปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) และ 3 มีปริมาณอาหารที่กินไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่างกันมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) มีค่าระหว่าง 1.32 ± 0.01 - 1.48 ± 0.14 กรัม (ตารางที่ 3)

นอกจากนี้ผลการทดลองยังพบว่าปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารสูตร T2 และ T3 มีอัตราการรอดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) มีค่าระหว่าง 88.90 ± 1.90 - 93.30 ± 3.30 เปอร์เซ็นต์ แต่ปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) มีอัตราการรอดเท่ากับ 83.30 ± 3.30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 (T3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการคำนวณต้นทุนค่าอาหารต่อการเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม พบว่าอาหารสูตร T3 มีต้นทุนค่าอาหารสูงที่สุด รองลงมา คือ อาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) ส่วนอาหารทดลองสูตรที่ 2 (T2) มีต้นทุนค่าอาหารน้อยที่สุด (ตารางที่ 3)



ภาพที่ 1 น้ำหนักเฉลี่ยของปลากะพงขาวที่เลี้ยงในน้ำจืดด้วยอาหารสูตรต่างกันเป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยที่อาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) = อาหารอัดเม็ดที่มีส่วนผสมเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่นและ กรดอะมิโนจากปลาทะเล อาหารทดลองสูตรที่ 2 (T2) = อาหารอัดเม็ดที่มีส่วนผสมเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่น และอาหารทดลองสูตรที่ 3 (T3) = อาหารเม็ดสำเร็จรูปเชิงการค้าสำหรับปลาทะเล

ตารางที่ 3 อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอด และต้นทุนค่าอาหารต่อการเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่างกันที่ระยะเวลา 4 เดือน

ดัชนี	สูตรอาหาร		
	สูตรที่ 1 (T1)	สูตรที่ 2 (T2)	สูตรที่ 3 (T3)
1. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	965.22±51.71 ^c	1,282.69±46.69 ^a	1,139.91±93.23 ^b
2. อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กรัมต่อตัวต่อวัน)	2.24±0.25 ^b	2.98±0.09 ^a	2.56±0.20 ^b
3. ปริมาณอาหารที่กิน (กรัมต่อตัว)	382.48±29.24 ^b	527.30±36.81 ^a	404.25±34.57 ^b
4. อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.43±0.06 ^a	1.48±0.14 ^a	1.32±0.01 ^a
5. อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	83.30±3.30 ^b	88.90±1.90 ^{ab}	93.30±3.30 ^a
6. ต้นทุนค่าอาหารต่อการเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม	62.59±2.66 ^c	41.09±3.98 ^b	72.41±0.63 ^a

หมายเหตุ: - ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

- ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- อาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) = อาหารอัดเม็ดที่มีส่วนผสมเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่นและ กรดอะมิโนจากปลาทะเล
- อาหารทดลองสูตรที่ 2 (T2) = อาหารอัดเม็ดที่มีส่วนผสมเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่น
- อาหารทดลองสูตรที่ 3 (T3) = อาหารเม็ดสำเร็จรูปเชิงการค้าสำหรับปลาทะเล

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลากะพงขาว (ตารางที่ 4) พบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 85.47 ± 1.57 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณไขมันเท่ากับ 12.05 ± 0.49 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตร T2

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่างกัน

ดัชนี (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)	สูตรอาหาร		
	สูตรที่ 1 (T1)	สูตรที่ 2 (T2)	สูตรที่ 3 (T3)
ความชื้น	77.08 ± 0.64^a	76.59 ± 0.27^a	77.31 ± 0.18^a
โปรตีน	85.47 ± 1.57^a	81.69 ± 0.67^b	82.90 ± 0.41^b
ไขมัน	12.05 ± 0.49^b	13.29 ± 0.20^a	11.82 ± 0.02^b
เถ้า	4.87 ± 0.02^a	4.85 ± 0.20^a	4.90 ± 0.05^a

หมายเหตุ: - ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

- ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
- อาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) = อาหารอัดเม็ดที่มีส่วนผสมเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่นและ กรดอะมิโนจากปลาทะเล
- อาหารทดลองสูตรที่ 2 (T2) = อาหารอัดเม็ดที่มีส่วนผสมเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่น
- อาหารทดลองสูตรที่ 3 (T3) = อาหารเม็ดสำเร็จรูปเชิงการค้าสำหรับปลาทะเล

การอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร T2 ให้ผลการเจริญเติบโตดีที่สุดทั้งในด้านน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (385.70 ± 12.00 กรัม) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ($1,282.69 \pm 46.69$ เปอร์เซ็นต์) และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (2.98 ± 0.09 กรัมต่อตัวต่อวัน) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอาหารที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณโปรตีนที่เพียงพอต่อความต้องการของปลากะพงขาวระยะวัยรุ่นที่ต้องการอาหารที่มีระดับโปรตีนระหว่าง 40-45 เปอร์เซ็นต์ (Boonyaratpalin, 1997) อีกทั้งอาหารสูตร T2 มีปริมาณไขมันสูงถึง 16.2 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับรายงานของ Williams *et al.* (2003) ที่ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวในน้ำจืดด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนและไขมันต่างกัน พบว่าปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีปริมาณโปรตีนเท่ากันแต่มีปริมาณไขมันสูงกว่ามีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่า

เนื่องจากปลาจะใช้แหล่งพลังงานจากไขมันและลดการใช้พลังงานจากโปรตีนช่วยให้ปลามีอัตราการเจริญเติบโตเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตร T2 มีปริมาณอาหารที่กินตลอดการทดลองสูงที่สุดซึ่งอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตร T2 มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด เช่นเดียวกับผลการศึกษาของชุดิมา และคณะ (2550) ที่ใช้เศษเหลือส่วนหัวและเครื่องในจากการแปรรูปปลาทูน่าทั้งในรูปแบบป่นและไฮโดรไลเสตเป็นวัตถุดิบแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารสำหรับปลากะพงขาว พบว่าชนิดของวัตถุดิบที่ใช้แทนที่ปลาป่นมีผลต่อการกินอาหารของปลากะพงขาว ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทูน่าในรูปโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินอาหารน้อยกว่าอาหารที่มีส่วนผสมของเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทูน่าในรูปแบบป่น แต่อย่างไรก็ตามปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่างกันมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) มีค่าระหว่าง 1.32 ± 0.01 - 1.48 ± 0.14 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปสูตรของสถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งชนิดจมน้ำและที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปปลาทะเลชนิดลอยน้ำที่มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 1.46 ± 0.09 และ 1.30 ± 0.09 ตามลำดับ (พิเชต และคณะ, 2551)

นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบในสูตรอาหารมีผลต่ออัตราการรอดและองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลากะพงขาวอีกด้วย โดยปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) มีอัตราการรอดน้อยกว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตร T3 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) มีส่วนผสมของกรดอะมิโนปลาทะเลมากเกินไปทำให้มีกลิ่นที่ปลาไม่ยอมรับ ปลา กินอาหารน้อยลงทำให้ผอมและตายในที่สุด แต่อย่างไรก็ตามผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตร T2 และ T3 มีอัตราการรอดใกล้เคียงกับผลการศึกษาของพิเชต และคณะ (2551) ที่รายงานว่าปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปสูตรของสถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งชนิดจมน้ำและที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปปลาทะเลชนิดลอยน้ำ มีอัตราการรอดประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ แต่ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) มีปริมาณโปรตีนในเนื้อปลามากที่สุด มีค่าเท่ากับ 85.47 ± 1.57 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับรายงานผลการศึกษานอื่น ๆ เช่น พิเชต และคณะ (2551) รายงานว่าเนื้อปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปสูตรของสถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งชนิดจมน้ำและที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปปลาทะเลชนิดลอยน้ำ มีปริมาณโปรตีน 79.28 ± 0.24 และ 82.20 ± 0.57 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในขณะที่ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตร T2 มีปริมาณไขมันในเนื้อปลาสูงที่สุด 13.29 ± 0.20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณไขมันในเนื้อปลามีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันในอาหาร แสดงให้เห็นว่าระดับไขมันในอาหารที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ระดับไขมันในตัวปลาที่มีปริมาณสูงขึ้นด้วย สอดคล้องกับการรายงานของวรเรทย์ และคณะ (2555) ที่พบว่าปลากะรังเสือ (*Epinephelus fuscoguttatus* Forsskal, 1775) ที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนเดียวกันแต่ปริมาณไขมันในอาหารสูงกว่า ส่งผลให้ระดับไขมันในตัวปลาที่มีปริมาณสูงขึ้นด้วย

จากผลการวิเคราะห์ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตปลากะพงขาว 1 กิโลกรัม พบว่าอาหารทดลองสูตรที่ 2 (T2) มีต้นทุนค่าอาหารต่ำที่สุด เท่ากับ 41.19 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้าสำหรับปลาทะเล (T3) ที่มีต้นทุนค่าอาหารสูงถึง 72.60 บาทต่อกิโลกรัม

แสดงว่าอาหารสูตร T2 สามารถลดต้นทุนการผลิต ทำให้ราคาอาหารต่อกิโลกรัมลดลง 31.41 บาท คิดเป็น 43.26 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอาหารสูตร T2 ใช้แหล่งโปรตีนหลักจากเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่นเพียงอย่างเดียว ต่างจากอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้าสำหรับปลาทะเลที่ใช้แหล่งโปรตีนหลักจากปลาป่นซึ่งมีราคาแพง อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้ยังแสดงให้เห็นว่าอาหารทดลองสูตรที่ 1 (T1) มีต้นทุนค่าอาหารที่ต่ำกว่าการเลี้ยงปลากะพงขาวด้วยสูตรอาหารที่ใช้แหล่งโปรตีนทางเลือกอื่น เช่นสูตรอาหารที่ใช้แหล่งโปรตีนจากปลาป่น 35 เปอร์เซ็นต์ และใช้แหล่งโปรตีนทางเลือก 39 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหาร 62.51 บาทต่อกิโลกรัม สูตรอาหารที่ใช้แหล่งโปรตีนจากปลาป่น 10 เปอร์เซ็นต์ แหล่งโปรตีนทางเลือก 71 เปอร์เซ็นต์ และเสริมไลซีน 0.4 เปอร์เซ็นต์ เมไทโอนีนสังเคราะห์ 0.2 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารสูงถึง 88.64 บาทต่อกิโลกรัม (พิเชต และคณะ, 2562)

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในรูปแบบป่น สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งโปรตีนหลักในสูตรอาหารปลาโปรตีนสูงได้ โดยไม่ต้องมีส่วนผสมของปลาป่นและไม่ต้องผสมกรดอะมิโนปลาทะเล นอกจากจะทำให้ปลาเจริญเติบโตได้ดีแล้ว ยังสามารถลดต้นทุนการผลิตค่าอาหารลงได้ 43.26 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการเลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปเชิงการค้าสำหรับปลาทะเล และการผสมกรดอะมิโนปลาทะเลในสูตรอาหารทำให้ปริมาณโปรตีนในเนื้อปลาสูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ควรพัฒนาสูตรอาหารปลากะพงขาวที่เลี้ยงในน้ำจืด โดยลดอัตราส่วนของกรดอะมิโนปลาทะเลในสูตรอาหารให้มีในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณการกินอาหาร เพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และลดต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิต แต่ยังคงให้เนื้อปลามีปริมาณโปรตีนสูงและไขมันต่ำดังเดิม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ และบริษัทเซาท์เทอร์น ซีฟู้ด โปรดักส์ จำกัด ที่สนับสนุนทุนวิจัยและวัตถุดิบมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

แจ่มจันทร์ เพชรศิริ ทวีเดช ไชยนาพงษ์ และธัญญา พันธุ์ฤทธิ์ดำ. (2564). ประสิทธิภาพของเศษเหลือ จากการแปรรูปปลาตุกในสูตรอาหารสำเร็จรูปต่อการเลี้ยงปลาดุกกลมผสม (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) ในกระชัง. วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช, 40(1), 16-30.

- ชุติมา ตันติกิตติ สุภาพร มหันต์กิจ ไพรัตน์ โสภโณดร และอดุลย์ แมะเระ. (2550). การใช้วัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลา กะพงขาว. *วารสารสงขลานครินทร์ วทท.*, 29(5), 1321-1340.
- พิเชต พลายเพชร ปิยารมณ คชขิม ธนิกานต์ บัวทอง และสกันธ์ แสงประดับ. (2562). การเสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอาหารปลากะพงขาว กุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไม ระยะวัยรุ่นที่ใช้แหล่งโปรตีนทางเลือกในอัตราสูง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 24(2), 867-884.
- พิเชต พลายเพชร มนทกานติ ท้ามตัน สิริพร ลือชัย ชัยกุล จีรรัตน์ เกื้อแก้ว เพ็ญศรี เมืองเยาว์ นงลักษณ์ สำราญราษฎร์ และสุพิศ ทองรอด. (2551). การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและคุณภาพเนื้อของปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch, 1790) ที่เลี้ยงด้วยปลาสดและอาหารสำเร็จรูป. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46*. (หน้า 156-166). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรเพ็ญ คำมี จูะดี พงศ์มณีรัตน์ และสมศักดิ์ จิระวัฑโธ. (2555). ระดับโปรตีนและไขมันที่เหมาะสมในอาหารปลากะรังเสือ (*Epinephelus fuscoguttatus* Forsskal, 1775). *เอกสารวิชาการฉบับที่ 32/2555*. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง.
- สุพันธ์ณี สุวรรณภักดี พชรวาลย์ ศรียศศักดิ์ ณัฏฐิยา ชานาญคำ และพรพิมล พิมพ์รัตน์. (2564). ผลการใช้ไบโอฟลอตต่อการเจริญเติบโตและการควบคุมคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลากะพงขาวในน้ำจืด. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 26(1), 413-424.
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis*. (17th ed). Gaithersburg: The Association of Official Analytical Chemists.
- Boonyaratpalin, M. (1997). Nutritional requirements of marine food fish cultured in Southeast Asia. *Aquaculture*, 151(1-4), 283-313, doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01497-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01497-4).
- Caruso, G., Floris, R., Serangeli, C. and Paola, L.D. (2020). Fishery wastes as a yet undiscovered treasure from the sea: Biomolecules sources, extraction methods and valorization. *Marine Drugs*, 18(12), doi: <https://doi.org/10.3390/md18120622>.
- De, D., Sandeep, K.P., Kumar, S., Raja, R.A., Mahalakshmi, P., Sivaramakrishnan, T., Ambasankar, A. and Vijayan, K.K. (2020). Effect of fish waste hydrolysate on growth, survival, health of *Penaeus vannamei* and plankton diversity in culture systems. *Aquaculture*, 524, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735240>.
- Giri, N.A., Astuti, N.W.W., Sudewi, S., Marzuqi, M. and Asih, Y.N. (2021). Fish hydrolysate supplemented diet improved feed efficiency and growth of coral trout (*Plectropomus leopardus*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 890, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/890/1/012024>.

- Harpaz, S., Hakim, Y., Slosman, T. and Eroldogan, O.T. (2005). Effects of adding salt to the diet of Asian seabass (*Lates calcarifer*) reared in fresh or salt water recirculating tanks, on growth and brush border enzyme activity. *Aquaculture*, 248(1-4), 315-324, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.03.007>.
- Madende, M. and Hayes, M. (2020). Fish by-product use as biostimulants: An overview of the current state of the art, including relevant legislation and regulations within the EU and USA. *Molecules*, 25(5), doi: <https://doi.org/10.3390/molecules25051122>.
- Siddik, M.A.B., Howieson, J., Fotedar, R. and Partridge, G.J. (2021). Enzymatic fish protein hydrolysates in finfish aquaculture: A review. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 406-430, doi: <https://doi.org/10.1111/raq.12481>.
- Williams, K.C., Barlow, C.G., Rodgers, L., Hockings, I., Agcopra, C. and Ruscoe, I. (2003). Asian seabass *Lates calcarifer* (Bloch) perform well when fed pelleted diets high in protein and lipid. *Aquaculture*, 225(1), 191-206, doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00278-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00278-3).

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสด กลุ่มวิสาหกิจชุมชน
ผู้ผลิตไม้ผลเพื่อส่งออกแปรรูปบ้านคลองชล จังหวัดสระแก้ว
The Development of Preserved Tamarind Packaging for
Export Processed Fruit Producer Community Enterprise in
Ban Khlong Chon, Sa Kaeo Province

ภาสุรี ฤทธิเลิศ^{1*} อณนภา สุขลิ้ม¹ และวิศวรรธน์ พัชรวิชญ์²
Pasuree Rittilert^{1*} Annapha Suklim¹ and Wissawat Patcharawit²

บทคัดย่อ

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตไม้ผลเพื่อส่งออกแปรรูปบ้านคลองชล จังหวัดสระแก้ว แปรรูปมะขามแช่อิ่มสดบรรจุถุงพลาสติก หน้าใส หลังฟอยล์ เพื่อจำหน่าย ปัญหาที่พบของผลิตภัณฑ์มีลักษณะถุงบวมและถุงแตกระหว่างการขนส่ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ใหม่ต่อคุณภาพของมะขามแช่อิ่มสดในระหว่างการเก็บรักษา โดยการบรรจุมะขามแช่อิ่มสดในกระป๋องพลาสติกชนิด polyethylene terephthalate (PET) ใช้ฝาฟอยล์อลูมิเนียมสีเงิน (silver peel of end aluminium lid) แบบวาร์ล ปิดผนึกกระป๋องด้วยเครื่องปิดฝากระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 10 วัน และอุณหภูมิตู้เย็น เป็นเวลา 28 วัน พร้อมทั้งออกแบบฉลากสินค้าใหม่ ผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นาน 4 วัน และอุณหภูมิตู้เย็นได้มากกว่า 28 วัน โดยอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะขามแช่อิ่มสด มีสีเหลืองซีด โดยมีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง ค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบมะขามแช่อิ่มสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็น มีคะแนนลดลงจากระดับคะแนนชอบมากเป็นระดับคะแนนชอบเฉย ๆ และคะแนนชอบปานกลาง ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (CFU/g) และปริมาณยีสต์และรามีจำนวนน้อยกว่า 1×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งไม่เกินมาตรฐานตามที่ประกาศสำนักงานมาตรฐาน

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

² สาขาวิชาออกแบบอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

* Corresponding author e-mail: pasuree@vru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i1.256695>

Received: 24 October 2022, Revised: 2 March 2023, Accepted: 14 June 2023

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้ ในขณะที่การออกแบบฉลาก ผู้บริโภคให้คะแนนความพึงพอใจต่อฉลากสินค้าใหม่ซึ่งมีความโดดเด่น ชัดเจน และสื่อถึงจุดเด่นของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดได้ดีในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 83.60 โดยบรรจุภัณฑ์ใหม่ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้ได้จริง ช่วยแก้ปัญหาความเสียหายระหว่างการขนส่งได้ และเป็นแนวทางการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มชนิดอื่น

คำสำคัญ: มะขามแช่อิ่มสด บรรจุภัณฑ์ อายุการเก็บรักษา

Abstract

Preserved tamarind from Exporting Processed Fruit Producer Community Enterprise in Ban Khlong Chon, Sa Kaeo province were packed in aluminum foil zip lock pouch with clear front window. The problem was zip lock bags were bloated and torn during transportation. Therefore, this research aimed to study effects of a new package on the quality of preserved tamarind during storage. In this study, preserved tamarind were packed in polyethylene terephthalate (PET) cans with valve silver peel of end aluminum lid, sealed by a can sealing machine and stored at temperature room (30 ± 2 °C) for 10 days and refrigerator temperature (4 ± 2 °C) for 28 days. New product label was also designed. Results showed that preserved tamarind could be stored at room temperature only for 4 days and at refrigerator temperature longer than 28 days. Temperature had an effect on the quality of preserved tamarind as they became pale yellow, lightness (L^*) increased, yellowness (b^*) decreased and alkalinity increased. Total soluble solid decreased with statistical significance ($p \geq 0.05$). Sensory evaluation revealed that consumers gave decreased preference scores to preserved tamarind stored at room temperature and refrigerator temperature from very much liked to moderately liked and neither liked nor disliked, respectively. Throughout the storage period, total bacteria count was less than 1×10^6 colony-forming units per gram (CFU/g) and total yeast and mold count was less than 1×10^3 CFU/g, which did not exceed the standard required by Thai Industrial Standards Institute (TISI). With regard to the product label design, consumers gave satisfaction scores towards the new product label as it is attractive, clear, and communicate the outstanding point of preserved tamarind at a high level, accounting for 83.60%. The new package can be used actually to solve the damage problems during transportation and can be used as a guideline for other kinds of preserved fruits.

Keywords: Preserved tamarind, Packaging, Shelf life

บทนำ

มะขาม (*Tamarindus indica* L.) เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย และเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มะขามเปรี้ยวยักษ์ เป็นมะขามที่มีฝักใหญ่ เนื้อหนา มีการเพาะปลูกมากโดยเกษตรกร อำเภอลำสนธิ จังหวัดสระแก้ว ซึ่งมีกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตไม้ผล เพื่อส่งออกแปรรูปบ้านคลองชล จังหวัดสระแก้ว นำมะขามไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสด จำหน่ายภายใต้ตราสินค้า “บิ๊กฟล็อก (BIG FLOOK)”

มะขามแช่อิ่มสดเป็นการแปรรูปมะขามเพื่อยืดอายุและเพิ่มมูลค่าให้กับมะขามโดยการนำมะขามยักษ์ฝักสดมาผ่านการลอกเปลือก ล้างทำความสะอาด ตองด้วยเกลือ แล้วนำมาแช่ในสารละลายน้ำตาลในลักษณะของกรรมวิธีการแช่อิ่มแบบช้า มีลักษณะการขายโดยการบรรจุในถุงซิปล็อค เมื่อจัดส่งพัสดุเป็นระยะเวลา 1-3 วัน ถึงมือลูกค้า ถุงบรรจุจะเกิดการบวม และถุงแตกในระหว่างการขนส่ง (ภาพที่ 1) ถุงที่ใช้บรรจุมะขามแช่อิ่มสดเป็นถุงซิปล็อค ด้านหน้าใส ด้านหลังด้านในสีเงิน ด้านหลังด้านนอกสีเงิน ตั้งได้ มองเห็นสินค้าด้านใน ป้องกันอากาศ ฝุ่นและความชื้น วัสดุด้านนอก ด้านหน้าพลาสติกชนิด polyethylene terephthalate (PET) ด้านหลังเป็นอลูมิเนียมทิง (aluminizing) ส่วนวัสดุด้านในเป็นพลาสติกชนิด polyethylene (PE) ความหนาของถุง 180 ไมครอน (ทั้ง 2 ด้าน) ขนาดบรรจุที่จำหน่าย 500 กรัม และ 1,000 กรัม



ภาพที่ 1 ลักษณะบรรจุภัณฑ์ การบรรจุมะขามแช่อิ่มสด และบรรจุภัณฑ์ถุงแตกในระหว่างการขนส่ง

ถุงบรรจุภัณฑ์ที่เกิดการบวมและถุงแตกในระหว่างการขนส่ง อาจเนื่องมาจากเกิดกระบวนการหมักของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ การศึกษาของปิยะวรรณ และรัชฎาพร (2558) กล่าวว่า ผลไม้หรือวัตถุดิบที่ต้องส่วนใหญ่จะปราศจากการให้ความร้อนหรือการให้ความร้อนเพียงเล็กน้อย แต่ไม่เพียงพอสำหรับการทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์ประจำถิ่น (microflora) ซึ่งถุงบรรจุภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดที่ปิดสนิท มีการขนส่งในช่วงอากาศที่มีอุณหภูมิสูง จึงส่งผลให้เร่งปฏิกิริยาการเสื่อมเสีย เกิดแก๊ส ส่งผลให้บรรจุภัณฑ์บวม และหากมีการกระแทกระหว่างการขนส่งจะทำให้บรรจุภัณฑ์แตก อย่างไรก็ตามจากการศึกษาทดลองเบื้องต้นการบรรจุมะขามแช่อิ่มสดในถุงซิปล็อคหน้าใส หลังฟอยล์ และถุงสุญญากาศ แล้วทำให้เป็นภาวะสุญญากาศด้วยเครื่อง vacuum pack เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิตู้เย็นเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่ามะขามแช่อิ่มสดที่ใช้ถุงทั้ง 2 ชนิด และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ถุงบวม ตั้งแต่วันที่ 1 ของการเก็บรักษา และถุงบวมขึ้นเรื่อย ๆ จึงง่ายต่อการแตกของถุงที่มีการกระแทกระหว่างการขนส่ง ขณะที่มะขามแช่อิ่มสดในถุงทั้ง 2 ชนิด เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นไม่พบถุงบวมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา จึงสรุปได้ว่าการบรรจุมะขามแช่อิ่มสดในถุงทั้ง 2

แบบ ต้องเก็บรักษาร่วมกับการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำหรับการขนส่งของกลุ่มวิสาหกิจฯ คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการเปลี่ยนบรรจุภัณฑ์ใหม่ที่สามารถคงคุณภาพของมะขามแช่อิ่มสดได้ในระหว่างการขนส่ง และต้องมีความสวยงามตามความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจฯ แต่คงสูตรการผลิตมะขามแช่อิ่มสดแบบดั้งเดิมไว้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดระหว่างการเก็บรักษาและการออกแบบฉลากสินค้าใหม่ เพื่อแก้ปัญหาให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตไม้ผลเพื่อส่งออกแปรรูปบ้านคลองชล จังหวัดสระแก้ว และเป็นแนวทางในการใช้บรรจุภัณฑ์ให้กับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แช่อิ่มของไทยเพื่อการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ตัวอย่างมะขามแช่อิ่มสด

เตรียมผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสด โดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตไม้ผลเพื่อส่งออกแปรรูปบ้านคลองชล จังหวัดสระแก้ว ทำการแปรรูปและบรรจุลงในกระป๋องพลาสติกชนิด polyethylene terephthalate (PET) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 83 เซนติเมตร ความสูง 157 เซนติเมตร ขนาดบรรจุ 500 กรัม โดยใช้ฝาฟอยล์อลูมิเนียมสีเงิน (silver peel of end aluminum lid) แบบวาล์ว ปิดผนึกกระป๋องด้วยเครื่องปิดฝากระป๋อง manual รุ่น LZM10 (ยี่ห้อ MITSUBISHI, ประเทศไทย) และขนส่งโดยรถยนต์ปรับอากาศเป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง มายังห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

2. การศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสด

นำผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดบรรจุกระป๋องชนิด PET มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิตู้เย็น (4 ± 2 องศาเซลเซียส) ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี การยอมรับทางประสาทสัมผัส และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดทุก ๆ 4 วัน เป็นระยะเวลา 28 วัน ดังนี้

2.1 การวัดค่าสี

นำชิ้นมะขามแช่อิ่มสดวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีแบบสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometers) รุ่น Ultrascan VIS (ยี่ห้อ HunterLab, USA) โดยใช้ตัวอย่างมะขามแช่อิ่มสดวางไว้ตรงช่องแหล่งกำเนิดแสงของเครื่องวัดสี รายงานค่าสีด้วยระบบ CIE ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) (Bozkir and Ergün, 2020)

2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

นำชิ้นมะขามแช่อิ่มสด จำนวน 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นจำนวน 2 มิลลิลิตร ปั่นบดผสมเป็นเวลา 30 วินาที จนเนื้อมะขามแช่อิ่มละเอียด และกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่อง pH meter รุ่น Cyberscan (ยี่ห้อ Eutech, Singapore)

2.3 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดทาร์ทาริก (tartaric acid)

นำชิ้นมะขามแช่อิ่มสด จำนวน 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นจำนวน 2 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดนาน 2-3 นาที ทำให้เย็น ถ่ายใส่ขวดปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นแล้วกรอง

ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำสารละลายส่วนในมาไทเทรต (titration) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(sodium hydroxide) มาตรฐาน (0.1 N NaOH) โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) เป็นอินดิเคเตอร์ (indicator) และคำนวณปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้แสดงผลการคำนวณเป็นร้อยละของกรดทาร์ทาริก (AOAC, 2000)

2.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

นำชิ้นมะขามแช่อิ่มสดจำนวน 10 กรัม บดบดละเอียด แล้วนำน้ำที่คั้นได้ไปวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ digital refractometer (Model PASL-18S; Atago Co.,Ltd., Tokyo, Japan) อ่านค่าเป็น องศาบริกซ์ (°Brix)

2.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสด ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ใช้สเกลความชอบ 9 ระดับ (9 point hedonic rating scale) กำหนดให้ระดับคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด จนถึงระดับ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบทั้งฝึกฝนจำนวน 20 คน เป็นนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

2.6 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

วิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาโดยตรวจหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา โดยใช้แผ่นอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปแบบรวดเร็ว 3M Petrifilm™ Rapid Plate สำหรับทดสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (aerobic count plate) บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และปริมาณยีสต์และรา (rapid yeast and mold) บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน รายงานผลเป็นโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตามวิธีมาตรฐานของ Bacteriological Analytical Manual Online (BAM) (2001)

3. การศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อการออกแบบฉลากสินค้า

ลงพื้นที่เพื่อทำการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตไม้ผลเพื่อส่งออกแปรรูปบ้านคลองชล จังหวัดสระแก้ว ในเรื่องบรรจุภัณฑ์รูปแบบเดิม และแนวทางในการออกแบบฉลากบรรจุภัณฑ์ด้วยแบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง (standardized or structured interview) ซึ่งเป็นการสัมภาษณ์ที่มีการวางแผน จัดเตรียมชุดคำถามและวิธีการสัมภาษณ์อย่างเป็นระบบ (พรพิมล และคณะ, 2564) นำข้อมูลที่ได้มาออกแบบฉลากผลิตภัณฑ์ 3 แบบ ประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคโดยรวมต่อฉลากผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธีการจัดลำดับค่าคะแนนมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ กำหนดให้ระดับคะแนน 1.00-1.49 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด คะแนน 1.50-2.49 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย คะแนน 2.50-3.49 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง คะแนน 3.50-4.49 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก และคะแนน 4.50-5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด (Best, 1981) โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปและตัวแทนสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตไม้ผลเพื่อส่งออก แปรรูปบ้านคลองชล จังหวัดสระแก้ว จำนวน 30 คน

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) ยกเว้นการประเมินทางประสาทสัมผัสที่วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS version 23

ผลการวิจัย

1. ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสด

1.1 ลักษณะปรากฏ

ลักษณะผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดที่บรรจุในกระป๋องพลาสติกชนิด PET ใช้ฝาฟอยล์อลูมิเนียมสีเงิน แบบวาล์ว ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 บรรจุภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดในกระป๋องพลาสติกชนิด PET (ก) และลักษณะฝาฟอยล์อลูมิเนียมสีเงิน แบบวาล์ว ลักษณะด้านนอก (ข) และด้านใน (ค)

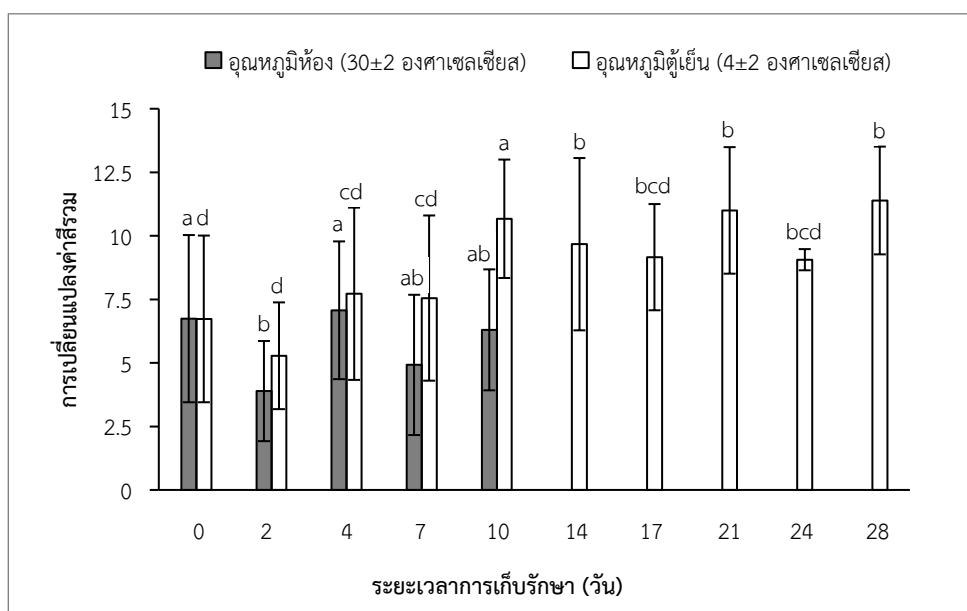
1.2 ค่าสี CIE

ลักษณะปรากฏของมะขามแช่อิ่มสดมีสีธรรมชาติเป็นสีเหลือง ปรากฏจากการใช้สีสังเคราะห์ พบว่าค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของมะขามแช่อิ่มสดมีแนวโน้มเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นในช่วงการเก็บรักษานาน 4 วัน และลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 10 วัน และมีสีซีดโดยมีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกับการเก็บรักษามะขามแช่อิ่มสดที่อุณหภูมิตู้เย็น แต่การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นสีเหลืองจะลดลงหลังจากวันที่ 7 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 1) และการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมของมะขามแช่อิ่มสดที่อุณหภูมิตู้เย็นเกิดขึ้นมากกว่ามะขามแช่อิ่มสดที่อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 3)

ตารางที่ 1 ค่าสี CIE ของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดในระหว่างการเก็บรักษาที่และอุณหภูมิตู้เย็น ตลอดระยะเวลา 28 วัน

ระยะเวลา การเก็บ รักษา (วัน)	อุณหภูมิห้อง			อุณหภูมิตู้เย็น		
	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าความเป็น สีแดง (a*)	ค่าความเป็น สีเหลือง (b*)	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าความเป็น สีแดง (a*)	ค่าความเป็น สีเหลือง (b*)
0	53.79±2.65 ^b	5.10±0.90 ^{ab}	53.83±0.39 ^b	53.79±2.65 ^d	5.10±0.90 ^{abc}	50.51±4.16 ^b
2	54.20±2.49 ^b	5.13±0.46 ^{ab}	53.91±0.46 ^b	54.29±0.95 ^d	5.11±0.78 ^{abc}	50.45±3.12 ^b
4	53.30±1.23 ^b	4.13±0.46 ^c	57.50±0.47 ^a	54.15±2.36 ^d	5.01±0.39 ^{bcd}	53.83±3.64 ^a
7	53.72±0.94 ^b	5.25±0.93 ^a	37.52±0.93 ^c	51.75±0.73 ^e	5.13±0.46 ^{abc}	53.91±3.23 ^a
10	59.18±2.41 ^a	4.63±0.28 ^{bc}	37.80±0.28 ^c	59.18±2.83 ^a	4.63±0.28 ^{cd}	37.78±2.19 ^c
14	-	-	-	54.08±2.05 ^d	5.25±0.93 ^{abc}	37.51±3.60 ^c
17	-	-	-	54.98±0.69 ^{cd}	4.63±0.28 ^{cd}	37.80±2.19 ^c
21	-	-	-	57.21±2.49 ^b	5.65±0.44 ^a	36.81±2.49 ^c
24	-	-	-	56.16±2.39 ^{cb}	4.46±1.02 ^d	38.55±1.09 ^c
28	-	-	-	56.49±1.77 ^{cb}	5.29±0.33 ^{ab}	36.02±2.16 ^c

หมายเหตุ: - a b c d ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็น ตลอดระยะเวลา 28 วัน

1.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณกรดทั้งหมด

ผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 2.73-3.17 ที่เก็บรักษาอุณหภูมิห้อง และมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 2.70-2.95 ที่อุณหภูมิตู้เย็น ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดทาร์ทาริกมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็น ตลอดระยะเวลา 28 วัน

ระยะเวลา การเก็บรักษา (วัน)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง		ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	
	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิตู้เย็น	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิตู้เย็น
0	2.73±0.02 ^c	2.73±0.02 ^d	0.41±0.01 ^a	0.41±0.01 ^a
2	2.90±0.04 ^b	2.70±0.02 ^d	0.48±0.08 ^a	0.40±0.02 ^a
4	2.93±0.06 ^b	2.81±0.03 ^c	0.23±0.02 ^b	0.38±0.04 ^b
7	3.17±0.05 ^a	2.87±0.02 ^{bc}	0.30±0.04 ^b	0.36±0.01 ^{bc}
10	3.15±0.04 ^a	2.87±0.07 ^{abc}	0.31±0.02 ^b	0.31±0.02 ^d
14	-	2.89±0.08 ^{abc}	-	0.33±0.00 ^{cd}
17	-	2.92±0.06 ^{ab}	-	0.31±0.02 ^d
21	-	2.95±0.03 ^{ab}	-	0.31±0.02 ^d
24	-	2.95±0.05 ^{ab}	-	0.31±0.01 ^d
28	-	2.97±0.01 ^a	-	0.33±0.02 ^{cd}

หมายเหตุ: - a b c d ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดหรือค่าความหวานเริ่มต้นของมะขามแช่อิ่มสดประมาณ 10 องศาบริกซ์ (°Brix) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็น มะขามแช่อิ่มสดมีค่าความหวานลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็น ตลอดระยะเวลา 28 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	
	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิตู้เย็น
0	10.13±0.12 ^b	10.13±0.12 ^b
2	11.23±0.21 ^a	11.21±0.21 ^a
4	11.37±0.15 ^a	11.20±0.20 ^a
7	8.97±0.06 ^c	11.27±0.12 ^a
10	8.33±0.31 ^d	11.17±0.15 ^a
14	-	8.53±0.06 ^c
17	-	8.70±0.26 ^c
21	-	8.53±0.06 ^c
24	-	8.07±0.12 ^d
28	-	8.17±0.15 ^d

หมายเหตุ: - a b c d ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็น พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวม มีคะแนนความชอบลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ตลอดระยะเวลา 10 วัน

ระยะเวลา การเก็บ รักษา (วัน)	ลักษณะ ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
0	7.95±1.36 ^a	7.65±1.35 ^a	7.50±1.57 ^a	7.40±1.90 ^a	8.20±1.24 ^a	8.02±1.51 ^a
2	7.95±1.01 ^a	7.90±0.97 ^a	7.50±1.10 ^a	7.70±0.80 ^a	8.05±0.83 ^a	8.10±0.85 ^a
4	7.85±0.75 ^a	7.40±0.75 ^a	7.60±0.68 ^a	7.70±0.80 ^a	7.40±0.88 ^a	7.75±0.85 ^a
7	5.60±1.23 ^b	6.50±1.12 ^b	4.95±1.61 ^b	5.40±1.54 ^b	5.75±1.58 ^b	5.90±1.41 ^b
10	5.65±1.18 ^b	6.75±0.95 ^b	5.20±1.54 ^b	5.45±1.54 ^b	5.35±1.66 ^b	5.70±1.34 ^b

หมายเหตุ: - a b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 5 ความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น ตลอดระยะเวลา 28 วัน

ระยะเวลา การเก็บ รักษา (วัน)	ลักษณะ ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
0	7.70±0.66 ^a	7.90±0.72 ^a	8.00±0.72 ^a	7.80±0.70 ^a	7.85±0.74 ^a	8.00±0.72 ^a
2	7.69±0.62 ^a	7.90±0.71 ^a	8.00±0.70 ^a	7.80±0.70 ^a	7.89±0.64 ^a	8.05±0.75 ^a
4	7.70±0.66 ^a	7.90±0.72 ^a	8.00±0.72 ^a	7.80±0.69 ^a	7.85±0.74 ^a	7.80±0.70 ^a
7	7.56±0.61 ^a	7.85±0.74 ^a	8.00±0.56 ^a	7.70±0.73 ^a	7.85±0.74 ^a	7.60±0.68 ^a
10	7.55±0.60 ^a	7.70±0.73 ^a	7.90±0.72 ^a	7.60±0.88 ^{abc}	7.60±0.68 ^{abc}	7.60±0.73 ^a
14	7.45±0.60 ^a	7.80±0.69 ^a	7.70±0.66 ^{ab}	7.75±0.72 ^a	7.75±0.72 ^{ab}	7.70±0.67 ^a
17	7.60±0.60 ^a	7.70±0.73 ^a	7.70±0.80 ^{ab}	7.55±0.88 ^{abc}	7.50±0.69 ^{abc}	7.65±0.61 ^{ab}
21	6.95±1.05 ^{bc}	7.35±0.87 ^{ab}	6.90±1.02 ^c	7.20±1.00 ^{abc}	7.25±1.12 ^{bc}	7.55±0.94 ^a
24	7.35±1.08 ^{abc}	7.35±0.87 ^{ab}	7.25±1.21 ^{bc}	7.10±1.21 ^{bc}	6.95±0.89 ^d	7.05±0.76 ^{ab}
28	6.85±0.93 ^b	6.95±0.82 ^b	6.80±0.95 ^c	7.00±1.03 ^c	7.15±0.99 ^{cb}	7.59±0.76 ^b

หมายเหตุ: - a b c d ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.6 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา

ผลการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็นเป็นระยะเวลา 10 วัน และ 28 วัน พบว่ามะขามแช่อิ่มสดมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา มีค่าไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แช่อิ่ม ซึ่งกำหนดให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และปริมาณยีสต์และราต้องไม่เกิน 1×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็น ตลอดระยะเวลา 28 วัน

ระยะเวลา การเก็บ รักษา (วัน)	จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) อุณหภูมิห้อง	จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) อุณหภูมิตู้เย็น	ยีสต์และรา (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) อุณหภูมิห้อง	ยีสต์และรา (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) อุณหภูมิตู้เย็น
0	น้อยกว่า 2.50×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2
2	3.00×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2
4	3.10×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2
7	6.00×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2
10	8.00×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2	7.00×10^2	น้อยกว่า 2.50×10^2
14	-	3.85×10^2	-	น้อยกว่า 2.50×10^2
17	-	4.25×10^2	-	น้อยกว่า 2.50×10^2
21	-	4.35×10^2	-	น้อยกว่า 2.50×10^2
24	-	5.10×10^2	-	2.00×10^1
28	-	6.50×10^2	-	7.00×10^1

2. ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อการออกแบบฉลากผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสด

ผู้บริโภคให้คะแนนความพึงพอใจต่อฉลากผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสด 3 แบบ ดังตารางที่ 7 และภาพที่ 4 โดยรูปแบบที่ 2 มีคะแนนความพึงพอใจในระดับมากที่สุด 83.60 (ภาพที่ 5)

ตารางที่ 7 ความพึงพอใจต่อรูปแบบฉลากผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสด

รูปแบบฉลาก	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ร้อยละ	ระดับ ความพึงพอใจ
แบบที่ 1	2.36	0.86	47.20	น้อย
แบบที่ 2	4.18	0.81	83.60	มาก
แบบที่ 3	3.38	0.65	67.60	ปานกลาง



ภาพที่ 4 ฉลากบรรจุภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 (ก) แบบที่ 2 (ข) และแบบที่ 3 (ค)



ภาพที่ 5 บรรจุภัณฑ์ฉลากเดิม (ก) และต้นแบบบรรจุภัณฑ์พร้อมฉลากของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสด (ข)

การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาคุณภาพของมะขามแช่อิ่มสดที่บรรจุในกระป๋องพลาสติกชนิด PET ปิดด้วยฝาฟอยล์อลูมิเนียมสีเงิน แบบวาล์ว เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 10 วัน และอุณหภูมิตู้เย็น (4 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 28 วัน ผลการทดลองพบว่าสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดได้นาน 4 วัน ที่อุณหภูมิห้อง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นได้นานมากกว่า 28 วัน โดยอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี จุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัส

มะขามแช่อิ่มสดมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 2.73 และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 10.13 มีปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดทาร์ทาริก เท่ากับ 0.41 ระหว่างการเก็บรักษามะขามแช่อิ่มสดมีสีเหลืองซีดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าความสว่าง (L^*) มีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากปริมาณกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อมะขาม เช่น กรดทาร์ทาริก กรดซิตริก และกรดมาลิก ไปยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกที่ถูกเร่งด้วยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ((polyphenol oxidase: PPO) โดย De Aguiar Cipriano *et al.*, (2015) รายงานว่ากรดซิตริกมีคุณสมบัติเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลซึ่งทำหน้าที่จับโลหะและคุณสมบัติความเป็นกรดจะช่วยยับยั้งเอนไซม์ PPO ด้วยสารพวกแอซิดโพลิฟอสเฟต (acidic polyphosphate) เป็นสารจับโลหะที่มีอยู่ในโครงสร้างของเอนไซม์ PPO ซึ่งช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล จึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของมะขามแช่อิ่มสดในระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมของมะขามแช่อิ่มสดที่อุณหภูมิตู้เย็นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่ามะขามแช่อิ่มสดที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงภายในตู้เย็นมีความสว่างมากกว่าแสงที่อุณหภูมิห้อง มะขามแช่อิ่มสดมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 2.73-3.17 ที่อุณหภูมิห้อง และอยู่ในช่วง 2.70-2.95 ที่อุณหภูมิตู้เย็น หากเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้ดอง พบว่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดให้ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่เกิน 3.5 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546) ปริมาณกรดทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นเพราะกระบวนการหมักที่เกิดขึ้น

ในทำนองเดียวกับการรายงานของธีรพร (2546) กล่าวว่ากระบวนการหมักกะหล่ำปลีต้องในระยะเริ่มต้นจุลินทรีย์จะเจริญขึ้น โดยจะเปลี่ยนน้ำตาลที่ออกมาจากผักและละลายผสมในน้ำเกลือให้กลายเป็นกรดแลคติก กรดอะซิติก เอธานอล และคาร์บอนไดออกไซด์ และการศึกษาของบุษกร (2550) รายงานว่ากะหล่ำปลีต้องมักพบการเสียโดยเชื้อราซึ่งจะเติบโตและใช้กรดทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นแบบที่เรียกว่าสามารถเจริญเติบโตได้ ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบมะขามแช่อิ่มสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีคะแนนต่ำกว่า 6 คะแนน ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ตั้งแต่วันที่ 7-10 อยู่ในระดับคะแนนความชอบเฉย ๆ เป็นเพราะมะขามแช่อิ่มสดมีเนื้อสัมผัสนุ่มลง เนื่องจากสารประกอบเพกทินถูกย่อยสลายทำให้ผนังเซลล์อ่อนนุ่มลง จากข้อมูลของบุษกร (2550) รายงานว่ามะกอกต้องนิ่มเกิดจากเชื้อยีสต์จะผลิตพอลิกลาแลกไทโรเนส (polygalacturonase) และเพกทิน เมทิลเอสเทอร์เลส (pectin methylesterase) ที่ทำให้เนื้อมะกอกนิ่มและได้ นอกจากนี้ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบลดลงเพราะมะขามแช่อิ่มสดมีกลิ่นแอลกอฮอล์ซึ่งอาจเกิดจากการรีดิวซ์กรดให้เป็นแอลกอฮอล์ ส่วนรสชาติพบว่ามะขามแช่อิ่มสดมีความหวานลดลงและมีความขมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบมะขามแช่อิ่มสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นมีคะแนนความชอบโดยรวมลดลงจากระดับคะแนนชอบมากเป็นชอบปานกลางตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 28 วัน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูง (อุณหภูมิห้อง) ช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีและส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการเก็บรักษามะขามแช่อิ่มสดที่อุณหภูมิตู้เย็นช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสน้อยกว่าคุณภาพทางจุลินทรีย์ของมะขามแช่อิ่มสด พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 10 วัน และที่อุณหภูมิตู้เย็นนาน 28 วัน มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานชุมชนผักและผลไม้แช่อิ่ม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2558) ที่ระบุให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และปริมาณยีสต์และราต้องไม่เกิน 1×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม อาจเป็นเพราะว่าสภาวะความเป็นกรดของมะขามแช่อิ่มสดไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ อาหารที่มีสภาพเป็นกรดค่อนข้างสูง แสดงว่าอาหารนั้นมีสภาพความเป็นกรด-ด่างที่ช่วยถนอมอาหารได้ในระดับหนึ่ง (สถาบันอาหาร, 2547) ในทำนองเดียวกับงานวิจัยของฐิติมา และผกาวิ (2557) รายงานว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะม่วงแช่อิ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราน้อยกว่าผลิตภัณฑ์มะม่วงแช่อิ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 14 วัน และ 7 วัน ตามลำดับ

ในส่วนของการพัฒนาฉลากผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสด ซึ่งฉลากของบรรจุภัณฑ์เดิมเป็นถุงพอยล์ซิปล็อคตั้งได้ หน้าพลาสติกใส หลังพอยล์สีทอง ขนาด 18x28 เซนติเมตร มีฉลากสติ๊กเกอร์วงกลมขนาด 7 เซนติเมตร ไม่เป็นจุดเด่นและไม่สร้างการจดจำแก่ผู้บริโภค มีโครงสร้างที่ไม่มีเอกลักษณ์และไม่เข้ากันกับผลิตภัณฑ์ มีการจัดวางองค์ประกอบที่ไม่เป็นระเบียบทำให้การสื่อสารเข้าใจยาก ข้อมูลไม่ครบถ้วน จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการเพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ก่อนการออกแบบ พบว่าผู้ประกอบการต้องการฉลากใหม่ ที่มีความโดดเด่น ชัดเจน และสื่อถึงจุดเด่นผลิตภัณฑ์ได้ จึงออกแบบพัฒนาฉลากบรรจุภัณฑ์ใหม่เป็นฉลาก 3 แบบ ให้มีจุดเด่นในภาพประกอบและจุดเด่นในชื่อผลิตภัณฑ์ที่เป็นตัวสร้างการจดจำแก่ผู้บริโภคมีการใช้ชื่อภาษาไทยควบคู่ไปกับภาษาอังกฤษ สอดคล้องกับ

การศึกษาของปรภัทร (2564) กล่าวว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นสากลและเป็นกลวิธีดึงดูด สร้างความสนใจให้แก่ผู้อ่าน เมื่อผู้อ่านดูผ่านสายตาก็เกิดความรู้สึกถึงผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีมาตรฐาน จำเป็นต้องมีการใช้ภาษาที่เป็นภาษาอังกฤษในการให้ข้อมูลบนฉลาก ในการออกแบบฉลากผลิตภัณฑ์ มะขามแช่อิ่มสดยังใช้โครงสร้างที่มีเอกภาพเข้ากันกับผลิตภัณฑ์โดยเลือกใช้รูปแบบสีตัดกันทำให้มีความสดใส มีการจัดวางที่เป็นระบบตามหลักของดุลยภาพ พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนฉลากบรรจุภัณฑ์ที่ 2 ในระดับคะแนนความพึงพอใจมาก คิดเป็นร้อยละ 83.60 เนื่องจากเป็นรูปแบบที่มีความสนุกสนาน เน้นการจัดวางแบบสมมาตร ใช้จุดเด่นเป็นภาพการ์ตูนมะขามยักษ์แช่อิ่ม หน้าตาอ้วนแถม เป็นภาพประกอบหลัก ใช้สีที่ตัดกับตัวผลิตภัณฑ์ และพื้นหลังสีฟ้าอมเขียวที่ตัดกับตัวผลิตภัณฑ์ สื่อถึงรสชาติและความสดใหม่ ตัวอักษรชื่อผลิตภัณฑ์เด่น มีขนาดใหญ่ มองเห็นชัดเจน ช่วยถ่วงดุลกับภาพมะขามยักษ์ให้เกิดความสมมาตร ใส่รายละเอียดข้อมูลครบถ้วนเป็นไปตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 383 พ.ศ. 2560 เรื่องการแสดงฉลากของอาหารในภาชนะบรรจุ (ฉบับที่ 2)

สรุปผลการวิจัย

ผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดที่บรรจุในกระป๋องพลาสติก PET ปิดด้วยฝาฟอยล์อลูมิเนียมสีเงินแบบวาวล์ สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ได้นาน 4 วัน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น ได้นานมากกว่า 28 วัน การเปลี่ยนบรรจุภัณฑ์ใหม่นี้ทำให้สินค้าไม่ได้รับความเสียหาย ไม่เกิดการบวมของภาชนะบรรจุระหว่างการขนส่งที่อุณหภูมิห้อง และกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตไม้ผลเพื่อส่งออกแปรรูปบ้านคลองชล จังหวัดสระแก้ว มีการจัดส่งผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดไปยังต่างจังหวัดที่มีระยะทางไกลโดยสินค้าไม่เกิดความเสียหายเมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์เดิม ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าบรรจุภัณฑ์แบบใหม่ของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดสามารถลดการสูญเสียและรักษาคุณภาพของสินค้า โดยบรรจุภัณฑ์มีโครงสร้างทางกายภาพที่เหมาะสมสามารถปกป้องผลิตภัณฑ์จากความเสียหายระหว่างการขนส่ง รวมถึงให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และนำเสนอผลิตภัณฑ์อย่างสวยงาม แก้ปัญหาของกลุ่มวิสาหกิจฯ ได้ จึงเป็นแนวทางในการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอื่น ๆ ทั้งนี้หากมีการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายใต้อุณหภูมิต่ำด้วยจะสามารถช่วยรักษาคุณภาพมะขามแช่อิ่มสดได้นานยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดในบรรจุภัณฑ์ใหม่ด้วยเทคนิควิธีสภาวะเร่งเพื่อประเมินอายุการเก็บรักษาได้เร็วยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนภายใต้โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนท้องถิ่นแผนธุรกิจ และการตลาดเพื่อชุมชน 14 ผลิตภัณฑ์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตไม้ผลเพื่อส่งออกแปรรูปบ้านคลองชล จังหวัดสระแก้ว และคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ฐิติมา มาใหญ่ และผกาดี เอี่ยมกำแพง. (2557). การประเมินคุณค่าทางโภชนาการและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงแช่อิ่ม. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏเพชรบุรีวิจัยเพื่อแผ่นดินไทยที่ยั่งยืน ครั้งที่ 4* (หน้า 241-246). เพชรบุรี: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.
- ธีรพร กงบังเกิด. (2546). *จุลชีววิทยาทางอาหาร*. พิษณุโลก: ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- บุษกร อุดรภักดี. (2550). *จุลชีววิทยาทางอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 3). สงขลา: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- ปรภัทร คงศรี. (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นให้ดึงดูดความสนใจนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติในอำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 40(6), 79-92.
- ปิยะวรรณ กาสลัก และรัชฎาพร อุ่นศิริไธย์. (2558). *โปรไบโอติกและเซอรั่มเปรี้ยวหมักเสริมสุขภาพ. รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- พรพิมล ข้าเพชร ปาริฉัตร ศรีหะรัญ และวันดี หิรัญสถาพร. (2564). ความสำคัญและเทคนิคการรวบรวมข้อมูลสู่การวิจัยในศตวรรษ 21. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*, 32(2), 1-12.
- สถาบันอาหาร. (2547). *หลักการผลิตและฆ่าเชื้ออาหารในภาชนะปิดสนิทด้วยความร้อน*. กรุงเทพฯ: สถาบันอาหาร.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2546). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้ดอง*, มผช.160/2546, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2558). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แช่อิ่ม*, มผช.161/2558, กรุงเทพฯ.
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis*. (17th ed). Virginia: Association of Official Analytical Chemists.
- Bacteriological Analytical Manual Online (BAM). (2001). *Chapter 3: Aerobic plate count*. Retrieved 20 May 2022, from: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam>.
- Best, J.W. (1981). *Research in education*. (3rd ed). New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Bozkir, H. and Ergün, A.R. (2020). Effect of sonication and osmotic dehydration applications on the hot air drying kinetics and quality of persimmon. *LWT-Food Science and Technology*, 131, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109704>.
- De Aguiar Cipriano, P., Ekici, L., Barnes, R.C., Gomes, C., Talcott, S.T. (2015). Pre-heating and polyphenol oxidase inhibition impact on extraction of purple sweet potato anthocyanins. *Food Chemistry*, 180, 227-234, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.020>.

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง โดยเทคนิคอินดักทีฟพลาสมา-ออปติคอลอิมิสชันสเปกโทรเมตรี Determination of Heavy Metals in Dried Seafood Products by Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry

พุทธิดา ด้วงกลัด¹ และมาริส อินทวงศ์^{1*}
Phutthathida Duangklat¹ and Marisa Intawongse^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยแบบเปียก และการย่อยตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟสำหรับวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) และตะกั่ว (Pb) ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งด้วยเทคนิคอินดักทีฟพลาสมา-ออปติคอลอิมิสชันสเปกโทรเมตรี (ICP-OES) สุ่มเก็บตัวอย่างจากตลาดในจังหวัดสุราษฎร์ธานี 5 พื้นที่ ได้แก่ อำเภอเมือง (A1) อำเภอกาญจนดิษฐ์ (A2) อำเภอดอนสัก (A3) อำเภอไชยา (A4) และอำเภอดำรง (A5) ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 ผลการศึกษาพบว่าการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และการศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐานมีค่าอยู่ในช่วง 0.9990-0.9998 ความถูกต้องและความเที่ยงมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 84.9-111.8 และ 1.7-7.4 ตามลำดับ ความเข้มข้นต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 5.1 11.1 17.3 13.5 และ 14.5 นาโนกรัมต่อกรัม และความเข้มข้นต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (LOQ) เท่ากับ 5.6 12.9 26.2 14.5 และ 15.0 นาโนกรัมต่อกรัม สำหรับโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์โลหะหนักพบว่าปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งทั้งหมดเรียงลำดับจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ เหล็ก สังกะสี ทองแดง แมงกานีส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 49.53 ± 33.31 15.33 ± 11.86 4.15 ± 5.90 และ 2.88 ± 1.92 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักสด ตามลำดับ สำหรับปริมาณตะกั่วในตัวอย่างทั้งหมดไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณได้ นอกจากนี้พบว่าปริมาณเหล็กและทองแดงในตัวอย่างกุ้งแห้งและหมึกกล้วยดำมีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันอยู่ในระดับดีเยี่ยม (ร้อยละ 27.6-93.1)

คำสำคัญ: โลหะหนัก อินดักทีฟพลาสมา-ออปติคอลอิมิสชันสเปกโทรเมตรี ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง

¹ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

* Corresponding author e-mail: marisa@sru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i1.258284>

Received: 18 March 2023, Revised: 12 May 2023, Accepted: 16 June 2023

Abstract

This research aimed to compare the sample digestion methods i.e., wet digestion and microwave digestion for the determination of manganese (Mn), copper (Cu), zinc (Zn), iron (Fe) and lead (Pb) in dried seafood products by Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). The samples were collected randomly from five local markets in Surat Thani Province i.e., Muang District (A1), Kanchanadit District (A2), Don Sak District (A3), Chaiya District (A4) and Tha Chang District (A5) in May 2022. The results showed that microwave digestion was the suitable method for this study. The parameters for method validation obtained correlation coefficient of the standard curve (0.9990 - 0.9998), accuracy (84.9 - 111.8%), precision (1.8 - 7.5% RSD), limits of detection (5.1, 11.1, 17.3, 13.5, and 14.5 nanogram per gram (ng/g) for Mn, Cu, Zn, Fe, and Pb, respectively), and limits of quantification (5.6, 12.9, 26.2, 14.5, and 15.0 ng/g for Mn, Cu, Zn, Fe, and Pb, respectively). The heavy metal amounts found in all dried seafood samples, in descending order were Fe > Zn > Cu > Mn with the mean concentrations of 49.53 ± 33.31 , 15.33 ± 11.86 , 4.15 ± 5.90 and 2.88 ± 1.92 milligram per kilogram (mg/kg) fresh weight, respectively. The amounts of lead were not detectable in all samples. In addition, it was found that dried shrimp and dried squid were classified as excellent sources of iron and copper (27.6 - 93.1 of daily value percentage).

Keywords: Heavy metal, Inductively coupled plasma - optical emission spectrometry, Dried seafood product

บทนำ

สุราษฎร์ธานีเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ในชายฝั่งตะวันออกของภาคใต้ มีสภาพภูมิประเทศที่หลากหลาย มีพื้นที่ครอบคลุมบริเวณอ่าวไทยทั้งบริเวณที่เป็นทะเลและเกาะ เหมาะสำหรับประกอบอาชีพประมง จึงเป็นแหล่งผลิตอาหารทะเลที่สำคัญ โดยเฉพาะพื้นที่อ่าวบ้านดอนซึ่งเป็นอ่าวที่ใหญ่ที่สุดในภาคใต้ เป็นแหล่งทรัพยากรชายฝั่งที่สำคัญของจังหวัดสุราษฎร์ธานี ครอบคลุมพื้นที่ 6 อำเภอ ได้แก่ อำเภอไชยา อำเภอนาหว้า อำเภอพุนพิน อำเภอเมือง อำเภอกาญจนดิษฐ์ และอำเภอดอนสัก ดังนั้นจึงมีกลุ่มชาวประมงที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งอ่าวบ้านดอนได้ทำผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแปรรูปเพื่อจำหน่าย อาหารทะเลที่นิยมนำมาแปรรูปโดยการตากแห้ง ได้แก่ ปลา กุ้ง หอย และหมึก การตากแห้งเป็นกรรมวิธีในการถนอมอาหาร ซึ่งทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารทะเลได้เป็นระยะเวลานานขึ้นและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปของคนไทยและประเทศแถบเอเชีย อาหารทะเลแปรรูปจึงเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ (Banna *et al.*, 2022) แต่ในอาหารทะเลตากแห้งนั้นอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เป็นพิษต่อร่างกาย (Panebianco *et al.*, 2021; Rakib *et al.*, 2021; Hoque *et al.*, 2022) ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการปล่อยของเสียหรือสารเคมีจากการทำการเกษตรหรือโรงงาน

อุตสาหกรรมลงสู่ทะเล เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเล ทำให้เกิดการสะสมอยู่ในสัตว์น้ำ โลหะหนักสลายตัวได้ยากในธรรมชาติ และจะถูกสะสมไว้ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โลหะหนักแต่ละชนิดมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่ต่างกัน เช่น ตะกั่วเป็นสารก่อมะเร็งและมีพิษต่อระบบประสาทที่ทำให้การเจริญเติบโตและการเรียนรู้ช้าลงปรอททำให้เกิดผลเสียต่อระบบประสาท แคดเมียมทำให้เกิดโรคมะเร็ง เป็นต้น (Rakib *et al.*, 2021)

ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักสามารถทำได้โดยอาศัยเทคนิคทางเคมีวิเคราะห์ต่าง ๆ เช่น เทคนิคทางไฟฟ้าเคมี ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมตรี (UV-visible spectrophotometry) อะตอมมิก-แอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี (atomic absorption spectrometry) อินดักทีฟลิคัปเปิลพลาสมา-ออปติคัลอีมิสชันสเปกโตรเมตรี (inductively coupled plasma - optical emission spectrometry) และอินดักทีฟลิคัปเปิลพลาสมาแมสสเปกโตรเมตรี (inductively coupled plasma mass spectrometry) เป็นต้น (สมชาย และคณะ, 2558; Makedonski *et al.*, 2017; Vu *et al.*, 2017; Police *et al.*, 2021) ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคอินดักทีฟลิคัปเปิลพลาสมาสเปกโตรเมทรีมาประยุกต์ใช้ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูง มีความไววิเคราะห์ ทำให้วิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยได้ดี สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้อย่างรวดเร็ว เพราะตรวจวิเคราะห์ได้หลายธาตุพร้อมกันในคราวเดียว และเป็นเทคนิคที่มีสิ่งรบกวนน้อย แต่จำเป็นจะต้องมีขั้นตอนการย่อยตัวอย่างที่เป็นของแข็งเพื่อทำให้องค์ประกอบของตัวอย่างเกิดการสลายตัวทำให้โลหะหนักอยู่ในรูปสารละลาย แล้วจึงนำสารละลายที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ต่าง ๆ ข้างต้น ยกเว้นกรณีที่วิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิคอื่น ๆ ที่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นของแข็งได้โดยตรง การย่อยตัวอย่างจะใช้สารละลายกรดและให้ความร้อนช่วยในการสลายตัว การย่อยด้วยกรดมี 2 วิธี คือ การย่อยแบบดั้งเดิมหรือการย่อยแบบเปียกโดยใช้เตาไฟฟ้า และการใช้ระบบไมโครเวฟ

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการย่อยแบบเปียกและวิธีการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ และตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งด้วยเทคนิคอินดักทีฟลิคัปเปิลพลาสมา-ออปติคัลอีมิสชันสเปกโตรเมตรี เนื่องจากข้อมูลผลการวิจัยเกี่ยวกับปริมาณโลหะหนักในอาหารทะเลตากแห้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ในท้องถิ่นในจังหวัดสุราษฎร์ธานียังมีค่อนข้างจำกัด เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค และยังเป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการตรวจติดตามปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งอีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้ง 6 ชนิด ได้แก่ ปลาซีเสียด ปลาจวด ปลาหูแขก ปลากระบอก หมึกกล้วยดำ และกุ้งแห้ง จากแต่ละพื้นที่ชนิดละ 1 กิโลกรัม โดยวิธีการสุ่มจากตลาดในจังหวัดสุราษฎร์ธานี 5 พื้นที่ ได้แก่ อำเภอเมือง (A1) อำเภอกาญจนดิษฐ์ (A2) อำเภอดอนสัก (A3) อำเภอไชยา (A4) และ อำเภอนาทม (A5) ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 รายละเอียดดังตารางที่ 1 เตรียมตัวอย่างโดยการนำตัวอย่างแต่ละชนิดเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อที่รับประทานได้มาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บดตัวอย่างให้ละเอียดด้วยเครื่องบดของแข็ง เก็บใส่ถุงซิปลงไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นจนกว่าจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก

ตารางที่ 1 พื้นที่เก็บตัวอย่างและชนิดตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้ง

พื้นที่เก็บตัวอย่าง	พิกัดทางภูมิศาสตร์	ชนิดตัวอย่าง
อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี (A1)	9°03'58.9"N 99°21'41.8"E	หมึกกล้วยดำ ปลาซีเลียด กุ้งแห้ง
อำเภอกาญจนดิษฐ์ (A2)	9°08'54.1"N 99°23'21.0"E	ปลาซีเลียด ปลาจวด
อำเภอดอนสัก (A3)	9°18'47.9"N 99°41'09.9"E	ปลาทุแขก
อำเภอไชยา (A4)	9°22'33.0"N 99°16'19.0"E	ปลากระบอก หมึกกล้วยดำ
อำเภотаฉาง (A5)	9°14'52.5"N 99°11'08.4"E	ปลาทุแขก

2. สารเคมีและเครื่องมือ

สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ กรดไนตริก (nitric acid) ความเข้มข้นร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (ผลิตโดยบริษัท Merck ประเทศเยอรมัน) สารละลายมาตรฐานของธาตุโลหะหนัก ความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน (part per million: ppm) (ผลิตโดยบริษัท AccuStandard ประเทศสหรัฐอเมริกา) แอสอาร์กอน (Ar) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 (ผลิตโดยบริษัท Praxair ประเทศไทย) และใช้น้ำปราศจากไอออน สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เครื่องย่อยไมโครเวฟ (ยี่ห้อ Berghof รุ่น Speedwave Entry ประเทศเยอรมัน) เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน (Milli-Q™ Millipore Water Purification ประเทศฝรั่งเศส) และเครื่องอินดักทีฟลีคัปเปิลพลาสมา-ออปติคอลอิมิสชันสเปกโตรมิเตอร์ (inductively coupled plasma optical emission spectrophotometer: ICP-OES) (ยี่ห้อ Teledyne รุ่น Prodigy 7 (ผลิตโดยบริษัท Teledyne Leeman Labs ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3. การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่าง

3.1 การย่อยแบบเปียก (wet digestion)

ซึ่งตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้ง 0.5 กรัม (ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ) เติมกรดไนตริกเข้มข้น ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนบนเตาให้ความร้อน จนได้สารละลายใสไม่มีสี นำสารละลายไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน และนำไปวัดค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว ด้วยเครื่อง ICP-OES

3.2 การย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ (microwave digestion)

ซึ่งตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้ง 0.3 กรัม (ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ) ใส่ลงใน vessel เติมกรดไนตริกเข้มข้น ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วจึงปิดฝาภาชนะให้สนิท นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องย่อยไมโครเวฟตามสภาวะที่ใช้ในการย่อย ดังแสดงในตารางที่ 2 นำตัวอย่างที่ย่อยได้ไปกรอง

ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน และนำไปวัดค่าความเข้มแสงของโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว ด้วยเครื่อง ICP-OES

ตารางที่ 2 สภาวะที่ใช้ในการย่อยตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ

ขั้นตอน	อุณหภูมิในการย่อย (องศาเซลเซียส)	ความดันสูงสุด (บาร์)	เวลาในการเพิ่ม ความดัน (นาทีก)	เวลาในการย่อย (นาทีก)
1	180	26	5	10
2	75	26	1	10

4. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างด้วยเทคนิค ICP-OES

นำตัวอย่างที่ได้จากการย่อยทั้ง 2 วิธี ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-OES โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ของเครื่อง ICP-OES ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก

พารามิเตอร์ (หน่วย)	รายละเอียดหรือค่าที่ใช้
optical system	echelle polychromator
detector	CMOS (complimentary metal oxide semiconductor) 3.38 million pixels
RF power (W)	1,200
plasma gas flow (Lmin ⁻¹)	16
auxiliary gas flow (Lmin ⁻¹)	1.2
nebulizer gas flow (psi)	25.0
sample flow (mLmin ⁻¹)	1.0
number of replicates	3
wavelengths (nm)	
Mn	257.61
Cu	324.75
Zn	213.86
Fe	259.94
Pb	220.35

5. ความเข้มข้นต่ำสุดของการตรวจวัด (limit of detection: LOD) และความเข้มข้นต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (limit of quantitation: LOQ)

นำสารละลายแบลงค์ (blank) ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างไปวัดค่าความเข้มแสงของโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ตะกั่ว ทองแดง สังกะสีและเหล็กด้วยเครื่อง ICP-OES โดยทำการวิเคราะห์ 7 ซ้ำ แล้วจึงนำไปคำนวณหาความเข้มข้นต่ำสุดของการตรวจวัดและความเข้มข้นต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์จากสมการ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\text{LOD} = \overline{x}_{\text{blank}} + 3\text{SD} \quad (1)$$

$$\text{LOQ} = \overline{x}_{\text{blank}} + 10\text{SD} \quad (2)$$

เมื่อ $\overline{x}_{\text{blank}}$ คือ ค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่วัดได้จากแบลงค์

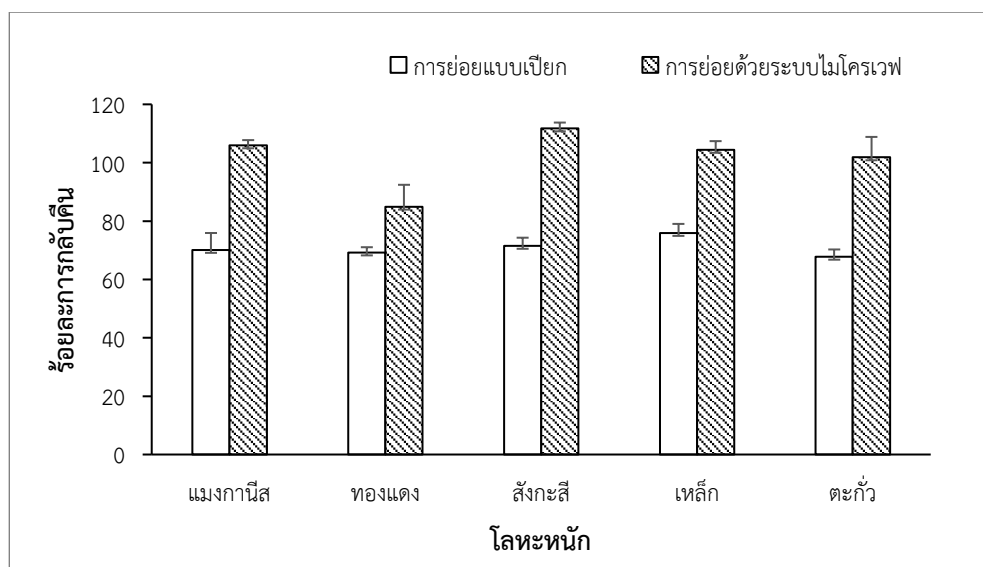
SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณที่วัดได้จากแบลงค์

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ผลการวิจัย

จากการศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้ง 2 วิธี ได้แก่ การย่อยแบบเปียก และการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่วในตัวอย่างด้วยเทคนิค ICP-OES ผลการศึกษาพบว่าการเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟมีค่าร้อยละการกลับคืน (% recovery) ของโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว เท่ากับ 105.9 84.9 111.8 104.4 และ 101.8 ตามลำดับ และค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% relative standard deviation: RSD) เท่ากับ 1.8 7.5 2.0 3.0 และ 7.0 ตามลำดับ ส่วนการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีย่อยแบบเปียกมีค่าร้อยละการกลับคืนของโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว เท่ากับ 70.1 69.2 71.5 75.9 และ 67.8 ตามลำดับ และค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เท่ากับ 5.8 1.8 2.8 3.1 และ 2.5 ตามลำดับ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ค่าร้อยละการกลับคืนของโลหะหนักที่ได้จากเตรียมตัวอย่าง 2 วิธี

ผลการศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์โดยวิธีการย่อยตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟตามด้วยการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค ICP-OES พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของกราฟมาตรฐานมีค่าอยู่ในช่วง 0.9990-0.9998 ความถูกต้องและความเที่ยงมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 84.9-111.8 และ 1.7-7.4 ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของการตรวจวัด เท่ากับ 5.1 11.1 17.3 13.5 และ 14.5 นาโนกรัมต่อกรัม และค่าความเข้มข้นต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ เท่ากับ 5.6 12.9 26.2 14.5 และ 15.0 นาโนกรัมต่อกรัม สำหรับโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างโดยเทคนิค ICP-OES

ธาตุโลหะหนัก	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ร้อยละการกลับคืน	ร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์	ความเข้มข้นต่ำสุดของการตรวจวัด (นาโนกรัมต่อกรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (นาโนกรัมต่อกรัม)
แมงกานีส	0.9990	105.9	1.7	5.1	5.6
ทองแดง	0.9996	84.9	2.4	11.1	12.9
สังกะสี	0.9995	111.8	2.7	17.3	26.2
เหล็ก	0.9994	104.4	6.7	13.5	14.5
ตะกั่ว	0.9998	101.8	7.4	14.5	15.0

เมื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการเตรียมตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ และนำตัวอย่างที่ย่อยได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งด้วยเทคนิค ICP-OES ได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง

พื้นที่เก็บ ตัวอย่าง	ชนิด ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหลัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด)				
		แมงกานีส	ทองแดง	สังกะสี	เหล็ก	ตะกั่ว
A1	หมึกกล้วยดำ	6.36±0.52	4.51±0.29	29.72±2.25	91.82±2.19	ND
	ปลาซีเลีย	4.40±0.65	0.70±0.12	12.09±1.63	32.57±0.40	ND
	กุ้งแห้ง	4.66±0.55	15.25±0.21	26.64±0.39	95.44±8.49	ND
A2	ปลาซีเลีย	1.68±0.27	0.36±0.08	5.45±0.62	24.53±2.28	ND
	ปลาจวด	1.09±0.07	0.16±0.02	4.50±0.44	10.68±1.13	ND
A3	ปลาทุแขก	1.06±0.14	0.71±0.08	7.06±0.79	28.74±2.61	ND
A4	ปลากะบอก	1.91±0.05	0.43±0.08	6.39±1.05	29.70±1.28	ND
	หมึกกล้วยดำ	3.99±0.36	14.56±1.52	37.58±3.56	98.96±10.49	ND
A5	ปลาทุแขก	0.82±0.02	0.67±0.03	8.57±0.61	33.35±1.17	ND
ค่าสูงสุด		6.93	16.23	41.24	109.21	ND
ค่าต่ำสุด		0.80	0.14	4.16	9.37	ND
ค่าเฉลี่ย		2.88±1.92	4.15±5.90	15.33±11.86	49.53±33.31	ND

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD, n = 3)

- ND ไม่สามารถตรวจพบได้ (มีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์)

การอภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งโดยเทคนิค ICP-OES จากการเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่าง 2 วิธี ได้แก่ การย่อยแบบเปียกและการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ พบว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟมีประสิทธิภาพมากกว่าการย่อยแบบเปียก โดยมีความถูกต้องของการวิเคราะห์ซึ่งแสดงได้จากค่าร้อยละการกลับคืนของทุกธาตุของโลหะหนัก (มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 84.9-111.8) ซึ่งสูงกว่าการย่อยแบบเปียก (มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 67.8-75.9) และมีค่าความเที่ยงซึ่งแสดงได้จากค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ซึ่งการย่อยทั้ง 2 วิธี ให้ค่าความเที่ยงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 1.8-7.5 ในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้การย่อยด้วยระบบไมโครเวฟในการเตรียมตัวอย่าง ที่ผ่านมามีการนำการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านการวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างอาหารทะเลชนิดต่าง ๆ (Copat *et al.*, 2013; Yu, *et al.*, 2020; Arthur *et al.*, 2021; Panebianco *et al.*, 2021; Police *et al.*, 2021) เนื่องจากมีความถูกต้องและแม่นยำในการวิเคราะห์ มีความสะดวกและรวดเร็ว ไม่ทำให้เกิดการสูญหายไปของธาตุที่ระเหยเป็นไอได้เนื่องจากทำในระบบปิด นอกจากนี้ยังช่วยลดการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นในการวิเคราะห์ เนื่องจากการใช้ปริมาณกรดน้อยลง

จากผลการศึกษาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งโดยเทคนิค ICP-OES ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 5 พบว่า ปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งทั้งหมดเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ เหล็ก สังกะสี ทองแดง แมงกานีส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 49.53 15.33 4.15 และ 2.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของ น้ำหนักสด ตามลำดับ และไม่สามารถตรวจพบปริมาณตะกั่วในทุกตัวอย่าง

ปริมาณเฉลี่ยของเหล็กในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 10.68-98.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (คิดเป็น 42.53-147.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) โดยพบว่ามีปริมาณเหล็กสูงสุดในหมึกกล้วยดำ (พื้นที่อำเภอไชยา: A4) และต่ำสุดในปลาจวด (พื้นที่ อำเภอกาญจนดิษฐ์: A2) ซึ่งผลที่ได้นี้มีปริมาณเหล็กในปลาตากแห้งน้อยกว่าที่ได้จากการศึกษาใน ปลาทะเลตากแห้ง 6 ชนิด ในประเทศบังคลาเทศ ซึ่งมีปริมาณเหล็กอยู่ในช่วง 36.04-160.18 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Kar *et al.*, 2020) และมีค่าน้อยกว่าผลการศึกษาในตัวอย่างปลาตากแห้ง 10 ชนิดที่เป็นที่นิยมบริโภคในประเทศบังคลาเทศ ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 133.5-203.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Rakib *et al.*, 2021) ในทางตรงกันข้ามปริมาณเหล็กในปลาตากแห้งจาก งานวิจัยนี้มีปริมาณมากกว่าผลของการศึกษาในตัวอย่างปลารมควันที่อบแห้งโดยใช้เตาอบที่แตกต่างกัน ซึ่งอยู่ในช่วง 3.82-36.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Arthur *et al.*, 2021) นอกจากนี้เมื่อ เปรียบเทียบกับผลการศึกษาในสัตว์น้ำที่ไม่ได้แปรรูปโดยการตากแห้งหรืออบ พบว่าปริมาณเหล็กใน งานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับปริมาณเหล็กในปลา 5 ชนิดที่เก็บตัวอย่างจากประเทศโปรตุเกส ซึ่งมีค่า 5.98-26.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Pinto *et al.*, 2022) และผลการศึกษาในตัวอย่าง ปลา 10 ชนิดที่ได้จากแม่น้ำในประเทศจีน ซึ่งมีค่า 5.528-20.010 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Cai *et al.*, 2017) นอกจากนี้พบว่าปริมาณเหล็กในหมึกแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้ (เท่ากับ 91.82-98.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด) มีค่ามากกว่าตัวอย่างหมึกที่ได้จากประเทศจีน ซึ่งมีค่า 0.714-78.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Jiao *et al.*, 2018)

ปริมาณเฉลี่ยของสังกะสีในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 4.50-37.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (คิดเป็น 17.91-46.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) โดย พบว่ามีปริมาณสังกะสีสูงสุดในหมึกกล้วยดำ (พื้นที่อำเภอไชยา: A4) และต่ำสุดในปลาจวด (พื้นที่ อำเภอกาญจนดิษฐ์: A2) ซึ่งผลที่ได้นี้มีปริมาณสังกะสีในปลาตากแห้งทุกชนิดมากกว่าในตัวอย่าง ปลารมควันที่อบแห้งโดยใช้เตาอบ ซึ่งมีค่า 0.46-2.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Arthur *et al.*, 2021) ในทางตรงกันข้ามปริมาณสังกะสีที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าน้อยกว่าผลการศึกษาใน ตัวอย่างปลาตากแห้ง 10 ชนิดที่เก็บตัวอย่างจากประเทศบังคลาเทศ ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 35.5-68.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Rakib *et al.*, 2021) รวมทั้งผลของตัวอย่างปลาทะเลตากแห้ง อีก 6 ชนิด ในประเทศบังคลาเทศ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 16.95-46.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Kar *et al.*, 2020) และผลที่ได้จากงานวิจัยนี้พบว่าปริมาณสังกะสีสอดคล้องกับรายงานที่ศึกษา ในสัตว์น้ำที่ยังไม่แปรรูป (ปลา 10 ชนิด หมึก 4 ชนิด และกุ้ง 2 ชนิด) บริเวณชายฝั่งสงขลา ซึ่งมีค่าอยู่ ในช่วง 4.077-16.226 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (สมชาย และคณะ, 2558) และผลการศึกษา ในสัตว์ทะเลที่เก็บตัวอย่างจากอ่าวปัตตานี พบว่าในปลา 4 ชนิด (ปลากะบอก ปลาริวกิว ปลาตุ๊กทะเล และปลาตะกรับ) มีปริมาณสังกะสี 3-10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด แต่ในทางตรงข้ามพบว่า

ในกุ้ง 2 ชนิด (กุ้งแชบ๊วยและกุ้งกุลาดำ) มีปริมาณสังกะสี 12-60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด ซึ่งสูงกว่าผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ (Tanhan *et al.*, 2023) และปริมาณสังกะสีในหมึกแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้ (เท่ากับ 29.723-37.582 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด) มีค่ามากกว่าตัวอย่างหมึกที่ได้จากประเทศจีน ซึ่งมีค่า 1.329-23.657 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Jiao *et al.*, 2018)

ปริมาณเฉลี่ยของทองแดงในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.16-15.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (คิดเป็น 0.62-19.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) โดยพบว่าปริมาณทองแดงสูงสุดในกุ้งแห้ง (พื้นที่อำเภอเมือง: A1) และต่ำสุดในปลาจวด (พื้นที่อำเภอกาญจนดิษฐ์: A2) โดยพบว่าปริมาณทองแดงในตัวอย่างปลาตากแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากตัวอย่างปลาทะเลตากแห้ง 6 ชนิด ในประเทศบังคลาเทศ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.23-0.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Kar *et al.*, 2020) แต่มีค่าน้อยกว่าในตัวอย่างปลาตากแห้งที่เป็นที่นิยมบริโภคในประเทศบังคลาเทศ ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.2-63.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Rakib *et al.*, 2021) และมีปริมาณมากกว่าผลของการศึกษาในตัวอย่างปลารมควันที่อบแห้งโดยใช้เตาอบที่แตกต่างกัน ซึ่งอยู่ในช่วง ND-0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Arthur *et al.*, 2021) ในขณะที่ปริมาณทองแดงในหมึกแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้ (เท่ากับ 4.51-14.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด) มีปริมาณใกล้เคียงกันกับตัวอย่างหมึกที่ได้จากประเทศจีน ซึ่งมีค่า 0.900-17.389 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Jiao *et al.*, 2018) ผลการศึกษาปริมาณทองแดงในสัตว์ทะเลที่ได้จากบริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง พบว่าในตัวอย่างปลา 24 ชนิด และกุ้ง 2 ชนิด มีปริมาณทองแดงน้อยกว่า 0.022-11.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ ในขณะที่ปริมาณทองแดงที่พบในกุ้งและหมึกอยู่ในช่วง 3.96-478 และ 0.34-506 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ (แววตาและคณะ, 2557)

ปริมาณเฉลี่ยของแมงกานีสในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.82-6.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (คิดเป็น 3.30-7.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) โดยพบว่าปริมาณแมงกานีสสูงสุดในหมึกกล้วยดำ (พื้นที่อำเภอเมือง: A1) และต่ำสุดในปลาหูแขก (พื้นที่อำเภอท่าฉาง: A5) โดยพบว่าปริมาณแมงกานีสในตัวอย่างปลาที่ได้จากงานวิจัยนี้ใกล้เคียงกับตัวอย่างปลาตากแห้งที่เป็นที่นิยมบริโภคในประเทศบังคลาเทศ ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.32-9.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Rakib *et al.*, 2021) แต่มีปริมาณมากกว่าตัวอย่างปลารมควันที่อบแห้งโดยใช้เตาอบที่แตกต่างกัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง ND-3.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Arthur *et al.*, 2021) ปริมาณแมงกานีสในหมึกแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้ (เท่ากับ 3.99-6.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด) มีปริมาณสอดคล้องกันกับตัวอย่างหมึกที่ได้จากประเทศจีน ซึ่งมีค่า 0.109-6.358 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Jiao *et al.*, 2018)

สำหรับปริมาณตะกั่วซึ่งมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ในทุกตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ แต่มีรายงานผลการศึกษาในปลาตากแห้งที่นิยมบริโภคในประเทศบังคลาเทศ พบว่ามีปริมาณตะกั่วปนเปื้อนอยู่ในช่วง ND-0.136 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Hoque *et al.*, 2022) และการศึกษาในตัวอย่างปลาตากแห้งในประเทศบังคลาเทศ โดยผู้วิจัยอีกคณะหนึ่ง พบว่ามีปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง 0.001-0.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Rakib *et al.*,

2021) และพบว่ามีตะกั่วอยู่ในตัวอย่างปลารมควันที่อบแห้ง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง ND-1.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Arthur *et al.*, 2021) นอกจากนี้ยังมีรายงานผลการศึกษาในสัตว์น้ำที่เก็บตัวอย่างจากทะเลสาบสงขลา พบว่าในกุ้ง 5 ชนิด มีปริมาณตะกั่ว 0.04-0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในปลา 38 ชนิด มีปริมาณตะกั่ว 0.04-0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (สุตขญา และคณะ, 2560) และมีคณะผู้วิจัยได้รายงานผลการศึกษาการปนเปื้อนของตะกั่วในสัตว์น้ำทะเล (ปลา 16 ชนิด หมึก 4 ชนิด และกุ้ง 2 ชนิด) ที่ได้จากสะพานปลาและท่าเทียบเรือในจังหวัดต่าง ๆ จำนวน 33 แห่ง 18 จังหวัดในภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ พบว่าปริมาณตะกั่วที่พบสูงสุดในปลาแต่ละชนิดคือ 0.013-0.046 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปลาทุแวกมีปริมาณตะกั่วสูงสุดคือ 0.046 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณตะกั่วที่พบในหมึกอยู่ในช่วง 0.029-0.082 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกุ้งมีปริมาณตะกั่วน้อยกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (รัชดา และวลัย, 2557)

เมื่อพิจารณาปริมาณแร่ธาตุทั้งหมดที่มีในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งเปรียบเทียบกับปริมาณที่แนะนำให้ได้รับจากการบริโภคต่อวัน (US FDA, 2022) โดยคิดเป็นร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันต่อหน่วยบริโภค ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่าปริมาณเหล็กและทองแดงในตัวอย่างกุ้งแห้งและหมึกกล้วยดำมีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันอยู่ในระดับดีเยี่ยม (ร้อยละ 27.6-93.1) ในขณะที่ปริมาณสังกะสีในตัวอย่างหมึกกล้วยดำและกุ้งแห้งมีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันอยู่ในระดับดี (ร้อยละ 13.3-18.8) ปริมาณเหล็กในตัวอย่างปลาซีเสียดและปลาทุแวกมีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันอยู่ในระดับดี (ร้อยละ 10.0-10.2) และปริมาณแมงกานีสในตัวอย่างหมึกกล้วยดำ ปลาซีเสียดและกุ้งแห้งมีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันอยู่ในระดับดี (ร้อยละ 10.5-15.2) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหมึกกล้วยดำ และกุ้งแห้งจัดเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่สำคัญทั้ง 4 ชนิดนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ธาตุเหล็กและทองแดง สำหรับปลาซีเสียดที่ได้จากพื้นที่อำเภอเมือง (A1) จัดได้ว่าเป็นแหล่งที่ดีของแร่ธาตุเหล็กและแมงกานีส

ตารางที่ 6 ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันของแร่ธาตุแมงกานีส ทองแดง สังกะสี และเหล็ก ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง

พื้นที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดตัวอย่าง	ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันต่อ 1 หน่วยบริโภคของแร่ธาตุ*			
		แมงกานีส	ทองแดง	สังกะสี	เหล็ก
A1	หมึกกล้วยดำ	15.2 ^b	27.6 ^a	14.9 ^b	28.1 ^a
	ปลาซีเสียด	10.5 ^b	4.3	6.0	10.0 ^b
	กุ้งแห้ง	11.2 ^b	93.1 ^a	13.3 ^b	29.2 ^a
A2	ปลาซีเสียด	4.0	2.2	2.7	7.5
	ปลาจวด	2.6	0.9	2.2	3.3
A3	ปลาทุแวก	2.5	4.3	3.5	8.8
A4	ปลากระบอก	4.6	2.6	3.2	9.1
	หมึกกล้วยดำ	9.5	89.0 ^a	18.8 ^b	30.2 ^a
A5	ปลาทุแวก	2.0	4.1	4.3	10.2 ^b
ปริมาณที่แนะนำต่อวัน (มิลลิกรัม)		2.3	0.9	11	18

- หมายเหตุ: - * ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน คำนวณได้จากปริมาณแร่ธาตุที่มีในตัวอย่างต่อปริมาณที่แนะนำต่อวัน $\times 100$ เมื่อกำหนดให้ 1 หน่วยบริโภคของอาหารทะเลตากแห้ง เท่ากับ 55 กรัม น้ำหนักสด (US FDA, 2018)
- a แหล่งของแร่ธาตุในอาหารที่จัดอยู่ในระดับดีเยี่ยม (มีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันมากกว่าหรือเท่ากับ 20)
 - b แหล่งของแร่ธาตุในอาหารที่จัดอยู่ในระดับดี (มีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน 10-19)

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งโดยเทคนิค ICP-OES และพบว่าการใช้ระบบไมโครเวฟเป็นวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสม และได้แสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์นี้ หลังจากนั้นจึงนำวิธีการวิเคราะห์เพื่อไปประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ เหล็ก สังกะสี ทองแดง แมงกานีส สำหรับปริมาณตะกั่วในตัวอย่างทั้งหมดไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณได้ นอกจากนี้พบว่าปริมาณเหล็กและทองแดงในตัวอย่างกุ้งแห้งและหมึกกล้วยดำมีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันอยู่ในระดับดีเยี่ยม ผลจากการวิจัยนี้มีประโยชน์กับประชาชนในท้องถิ่นเกี่ยวกับการเลือกบริโภคอาหารที่มีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย และยังเป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการตรวจติดตามปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง อย่างไรก็ตามควรมีงานวิจัยเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง เช่น แร่ธาตุหลักและแร่ธาตุรองชนิดอื่น ๆ วิตามิน และกรดไขมัน นอกจากนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคควรมีการตรวจติดตามปริมาณยาฆ่าแมลงตกค้างซึ่งอาจมีการใช้เพื่อป้องกันแมลงรบกวนทั้งในขั้นตอนการตาก การเก็บรักษา และการวางจำหน่ายตามแผงในตลาด

เอกสารอ้างอิง

- รัชดา อิทธิพงษ์ และวลัย คลีฉายา. (2557). การปนเปื้อนโลหะหนักในสัตว์น้ำจากสะพานปลาท่าเทียบเรือ. *เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2557*. กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, กรมประมง.
- แววตา ทองระอา ฉลวย มุสิกะ วันชัย วงสุดาวรรณ และอาวุธ หมั่นหาผล. (2557). การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการได้รับโลหะหนักจากการบริโภคอาหารทะเลบริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 19(2), 39-54.
- สมชาย วิบุญพันธ์ ธีรรัตน์ คงชัย อุทิศ โชติธรรมโม และพิมพ์วิมล อินทร์แก้ว. (2558). ศึกษาปริมาณโลหะหนักในสัตว์น้ำและแหล่งประมงบริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลา ปี 2554. *เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2558*. กองวิจัยและพัฒนาประมงทะเล, กรมประมง.
- สุดชญา ศรประสิทธิ์ กิ่งแก้ว กาญจนรัตน์ และอริญญา อัครอารีย์. (2560). การประเมินความเสี่ยงโลหะหนักในปลาและกุ้งจากทะเลสาบสงขลาต่อคนไทย. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*, 59(2), 115-127.

- Arthur, W., Asiamah, E., Dowuona, J., Crabbe, G. and Kortei, N.K. (2021). Concentration of heavy metals and its risk assessments on *Pseudotolithus senegalensis*, *Sciaenops ocellatus* and *Chloroscombrus chrysurus* smoked on different ovens. *Scientific African*, 13, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00953>.
- Banna, H.A., Zaber, A.A., Rahman, N., Siddique, A.M., Siddique, M.A.B., Hagan, J.E., Rifat, M.A., Nasiah-Asamoah, C.N.A., Seidu, A., Ahinkorah, B.O. and Khan, M.S.I. (2022). Nutritional value of dry fish in Bangladesh and its potential contribution to addressing malnutrition: A narrative review. *Fishes*, 7(5), doi: <https://doi.org/10.3390/fishes7050240>.
- Cai, S.W., Ni, Z.H., Liu, B. and Fan, L.L. (2017). Metal concentrations and health risk assessment in the muscle of ten commercial fish species from the Chishui river, China. *International Journal of Environmental Research*, 11, 125-132, doi: <http://doi.org/10.1007/s41742-017-0013-7>.
- Copat, C., Arena, G., Fiore, M., Ledda, C., Fallico, R., Sciacca, S. and Ferrante, M. (2013). Heavy metal concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: Consumption advisories. *Food and Chemical Toxicology*, 53, 33-37, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.11.038>.
- Hoque, S., Tamanna, F., Hasan, M., Banna, H.A., Mondal, P., Prodhan, M.D.H., Rahman, Z. and Brakel, M.L. (2022). Probabilistic public health risk associated with pesticides and heavy metal exposure through consumption of common dried fish in coastal regions of Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(14), 20112-20127, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17127-9>.
- Jiao, Y., Chen, J., Li, W., Liu, Y., Xin, C. and Yang, L. (2018). Trace element concentrations in squids consumed in Shandong province, China and their associated risks to the human health. *Marine Pollution Bulletin*, 128, 267-274, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.038>.
- Kar, M., Hoq, E., Islam, S., Islam, M., Meghla, N.T., Suravi, S. and Kabir, H. (2020). Monitoring of proximate composition, heavy metal concentrations and pesticide residues in marine dried fish available in the coastal region of Bangladesh. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 3(2), 30-41, doi: <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.03023>.
- Makedonski, L., Peycheva, K. and Stancheva, M. (2017). Determination of heavy metals in selected black sea fish species. *Food Control*, 72, 313-318, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.024>.

- Panebianco, F., Nava, V., Giaratana, F., Gervasi, T. and Cicero, N. (2021). Assessment of heavy- and semi-metals contamination in edible seaweed and dried fish sold in ethnic food stores on the Italian market. *Journal of Food Composition and Analysis*, 104(9), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104150>.
- Pinto, F.R., Duarte, A.M., Silva, F., Barroso, S., Mendes, S., Pinto, E., Almeida, A., Sequeira, V., Vieira, A.R., Gordo, L.S. and Gil, M.M (2022). Annual variations in the mineral element content of five fish species from the Portuguese coast. *Food Research International*, 158, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111482>.
- Police, S., Maity, S., Chaudhary, D.K., Dusane, C.K., Sahu, S.K. and Kumar, A.V. (2021). Estimation of trace and toxic metals in marine biota and associated health risk assessment in Thane Creek, Mumbai, India. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3(1), 234-240, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2021.07.002>.
- Rakib, R.J., Jolly, Y.N., Enyoh, C.E., Khandaker, M.U., Hossain, M.B., Akther, S., Alsubaie, A., Almalki, A.S.A. and Bradley, D.A. (2021). Levels and health risk assessment of heavy metals in dried fish consumed in Bangladesh. *Scientific Reports*, 11(1), doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93989-w>.
- Tanhan, P., Lansubsakul, N., Phaochoosak, N., Sirinupong, P., Yeesin, P. and Imsilp, K. (2023). Human health risk assessment of heavy metal concentration in seafood collected from Pattani Bay, Thailand. *Toxics*, 11(1), doi: <https://doi.org/10.3390/toxics11010018>.
- US FDA. (2018). *Food labeling: serving sizes of foods that can reasonably be consumed at one eating occasion; dual-column labeling; updating, modifying, and establishing certain reference amounts customarily consumed; serving size for breath mints; and technical amendments*. Retrieved 1 December 2022, from: <https://www.fda.gov/media/111144/download>.
- US FDA. (2022). *Daily value on the new nutrition and supplement facts labels*. Retrieved 1 December 2022, from: <https://www.fda.gov/food/new-nutrition-facts-label/daily-value-new-nutrition-and-supplement-facts-labels>.
- Vu, C.T., Lin, C., Yeh, G. and Villanueva, M.C. (2017). Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in Taiwan: assessment and possible human health implications. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 19422-19434, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9590-4>.
- Yu, B., Wang, X., Dong, K.F., Xiao, G. and Ma, D. (2020). Heavy metal concentrations in aquatic organisms (fishes, shrimp and crabs) and health risk assessment in China. *Marine Pollution Bulletin*, 159, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111505>.

ผลของปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพจากฟางข้าวต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

Effect of Using Manure and Biochar from Rice Straw on Growth and Yield of Green Oak (*Lactuca sativa* L.)

เยาวมาลย์ เขียวสอาด^{1*} ฐิรารัตน์ แก้วจำนง¹ และสมรักษ์ รอดเจริญ¹
Yaowamarn Keawsaard^{1*} Thirarat Kaewchamnon¹ and Somrak Rodjaroan¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดกรีนโอ๊ค ดำเนินการศึกษา ณ แปลงเกษตรพอเพียง ศูนย์เด็กเล็กนาทราย อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช ในระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 4 แปลง ประกอบด้วย 1) ไม่ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพ (ชุดควบคุม) 2) ใส่ปุ๋ยคอกปริมาณ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ 3) ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 1,500:500 กิโลกรัมต่อไร่ และ 4) ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 500:1,500 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการทดลองการปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คที่อายุ 40 วัน หลังปลูก โดยใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ส่วนการปลูกโดยใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 500:1,500 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่าลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ความยาวราก และน้ำหนักสดต่อต้นของผักสลัดกรีนโอ๊คมีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 28.12 43.38 69.25 50.38 เซนติเมตร และ 189.57 กรัมต่อต้น ตามลำดับ สรุปการใช้ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 500:1,500 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คและทดแทนปุ๋ยเคมีได้

คำสำคัญ: ปุ๋ยคอก ถ่านชีวภาพ การเจริญเติบโต ผลผลิต ผักสลัดกรีนโอ๊ค

¹ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

* Corresponding author e-mail: yaowamarn@hotmail.com

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i1.257823>

Received: 2 February 2023, Revised: 18 May 2023, Accepted: 21 June 2023

Abstract

This research aimed to study the appropriate ratio of manure and biochar in the growth and yield of Green Oak. The field experiment had been done at Na Sai Subdistrict Child Development Center Mueang district, Nakhon Si Thammarat province from September 2021 to January 2022. The complete randomized design (CRD) was adopted which resulted in 4 different treatments: (T1) no application of biochar and manure, (T2) manure only (2,000 kilogram (kg) per rai), (T3) biochar combined with manure (1500:500 kg/rai), and (T4) biochar combined with manure (500:1500 kg/rai). The result showed that the use of manure and biochar in different ratios after being transplanted for 40 days had a statistically significant ($p \leq 0.01$). With T2, the parameters of stem diameter, plant height, canopy root length, and:- the fresh weight per plant was higher than those of other treatments, at 28.12 centimeter (cm), 43.38 cm, 69.25 cm, 50.38 cm, and 189.57 gram per plant, respectively. It can be concluded that the use of chemical fertilizer can be replaced by the use of biochar combined with manure at the rate of 500:1500 kg/rai in growing Green Oak.

Keywords: Manure, Biochar, Growth, Yield, Green oak

บทนำ

ปัจจุบันการปลูกผักของเกษตรกรในประเทศไทยนิยมใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับเป็นธาตุอาหารพืช และมีแนวโน้มในการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูงขึ้น รวมถึงการปลูกผักชนิดเดิมในพื้นที่เดิมติดต่อกันเป็นเวลานานซึ่งทำให้ดินจับตัวเป็นก้อนแข็งเมื่อแห้ง ดินที่แน่นทึบจะมีผลต่อการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศของดินทำให้การถ่ายเทอากาศไม่ดีและรากพืชหาอาหารได้ยาก ทำให้พืชไม่สามารถเติบโตได้ดีเท่าที่ควร การใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นระยะเวลานานทำให้เกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของโครงสร้างและความอุดมสมบูรณ์ของดิน เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีไม่ใช่วิธีการปรับปรุงโครงสร้างดิน แต่เป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช โดยไม่มีการเพิ่มอินทรีย์วัตถุลงในดิน การใส่ปุ๋ยยูเรียหรือปุ๋ยแอมโมเนียทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้น ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้มีฟอสเฟตตกค้างในดิน ดังนั้นก่อนที่จะทำการเพาะปลูกผักจึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขปัญหาดินโดยทำได้หลายวิธี เช่น การเพิ่มอินทรีย์วัตถุลงในดินโดยการใส่ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก เป็นต้น เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินก่อนปลูก (Whalen *et al.*, 2000) นอกจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงดินก่อนการปลูกผักแล้ว ยังมีวัสดุที่ใช้สำหรับปรับปรุงดินที่ได้รับความนิยม คือ ถ่านชีวภาพ (biochar) เป็นวัสดุที่มีคาร์บอนสูง เกิดจากการแปรสภาพด้วยกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนหรือไพโรไลซิส (pyrolysis) โดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือใช้น้อยมาก มี 2 วิธีหลัก ๆ คือ การแยกสลายอย่างรวดเร็ว (fast pyrolysis) และการแยกสลายอย่างช้า (slow pyrolysis) ซึ่งองค์ประกอบที่ได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของมวลชีวภาพและวิธีการแยกสลาย

(pyrolysis condition) (Manya *et al.*, 2012; Sohi, 2012) ถ่านชีวภาพประกอบด้วยคาร์บอนประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

ถ่านชีวภาพไม่ใช่ปุ๋ยแต่เป็นวัสดุที่มีความพรุนสูงและพื้นผิวมาก (Sun *et al.*, 2022) จึงช่วยดูดซับความชื้นในดินได้ดี ช่วยเก็บธาตุอาหารจากปุ๋ย เป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์และช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชและลดความหนาแน่นของดินเพื่อเพิ่มอัตราการแทรกซึมน้ำ และการอุ้มน้ำ (Glaser *et al.*, 2002) และทำให้อนุภาคดินจับกลุ่มกันเกิดเป็นเม็ดดิน (Brodowski *et al.*, 2006) ช่วยลดการชะล้างไนโตรเจน แคลเซียมและแมกนีเซียมที่อยู่ในดิน (Lehmann *et al.*, 2003) เมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์อย่างปุ๋ยคอกที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น จะยิ่งช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (ศิริลักษณ์ และอรสา, 2556) จึงมีการศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุปรับปรุงดินโดยการใส่ลงไปในดินโดยตรง โดยเฉพาะดินกรดหรือผสมกับดินและหมักดินก่อนปลูกพืช หลังจากนั้นศึกษาการเจริญเติบโตหรือผลผลิตของพืช เช่น ข้าว กล้วย ฝรั่ง (เสาวคนธ์, 2557; เกศศิริรินทร์ และคณะ, 2557) รวมถึงมีการศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพในการแก้ปัญหาดินทราย งานวิจัยของพินิจภณ และอนัญญา (2560) ศึกษาการพัฒนาและฟื้นฟูดินทรายโดยใช้ปุ๋ยหมักผสมถ่านชีวภาพจากผักตบชวาสามารถปรับปรุงดินทราย เนื่องจากมีพื้นที่จำเพาะและรูพรุนจำนวนมากสามารถกักเก็บธาตุอาหารและเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์กับพืช นอกจากนี้ยังมียานวิจัยจำนวนมากแสดงถึงข้อดีของการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของดิน (Wang *et al.*, 2013; Sun and Lu, 2014) ผักสลัดเป็นอาหารสุขภาพและนิยมรับประทานสด ประกอบกับผู้บริโภคในปัจจุบันที่เลือกรับประทานผักเพื่อสุขภาพมากขึ้น ทำให้ผักสลัดเป็นที่ต้องการของตลาดสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการสูงประกอบด้วย แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และวิตามินชนิดต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (ฉัตรชัย, 2547) และที่สำคัญสามารถปลูกได้ทุกฤดูและทั่วทุกภาคของประเทศไทย เป็นผักที่ให้ผลผลิตเร็วและมีอายุเก็บเกี่ยว 45-50 วัน (ช่อทิพย์ และคณะ, 2559) และถ่านชีวภาพจากธรรมชาติสามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิงถ่านชีวมวลอัดแท่ง เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและสามารถลดปัญหามลพิษในทางเกษตรและครัวเรือน (นัฐวุฒิ และคณะ, 2566)

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดกรีนโอ๊ค ซึ่งเป็นรูปแบบเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชที่ยั่งยืน เพราะเป็นการนำเศษเหลือของพืชกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบของถ่านชีวภาพสำหรับเป็นวัสดุปรับปรุงดิน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพ ประกอบด้วย ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า โดยใช้การตรวจวัดด้วยเครื่อง Sartorius model DOCU-pH+ pH-meter ปริมาณคาร์บอนไนโตรเจนและกำมะถัน โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง elemental analyzer LECO CHNS-932 and VTF-900 ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และฟอสฟอรัส (ตารางที่ 1) โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (atomic absorption spectroscopy: AAS) ด้วยเครื่อง Perkin-Elmer analyst 800

การทดลองปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยดินที่มีส่วนผสมของถ่านชีวภาพที่ได้จากการเผาฟางด้วยเตาเผาถ่านชีวภาพแนวตั้งที่ทำจากถังน้ำมัน 200 ลิตรแบบชาวบ้าน มีสมบัติเป็นต่าง ปริมาณธาตุอาหารต่ำ และเกษตรกรสามารถผลิตได้เอง (อัจจิมา, 2559) โดยถ่านชีวภาพที่ใช้ในการทดลองนี้ผลิตขึ้นเองจากการการนำเศษฟางในนาข้าวของเกษตรกรมาเผาด้วยเตาเผาถ่านชีวภาพที่คณะผู้วิจัยดัดแปลงมาจากต้นแบบเตาแบบแอนิลา (anila stove) ใช้หลักความร้อนไล่ความชื้นในเศษฟางที่อยู่ในเตาทำให้ฟางกลายเป็นถ่านชีวภาพ อุณหภูมิในการเผาอยู่ในช่วง 300-400 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเผาหลังจากอุณหภูมิอยู่ในช่วง 300-400 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง ทำการศึกษาแปลงเกษตรกรพอเพียงศูนย์เด็กเล็กนาทราย อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช ในระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design: CRD) ประกอบด้วย แปลงสาธิต 4 แปลง โดยแต่ละแปลงมีพื้นที่เพาะปลูก 2 ตารางเมตร กว้าง 1 เมตร และยาว 2 เมตร กำหนดให้แปลงที่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพ (ชุดควบคุม) 2) ใส่ปุ๋ยคอกปริมาณ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ 3) ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 1,500:500 กิโลกรัมต่อไร่ และ 4) ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 500:1,500 กิโลกรัมต่อไร่ การเตรียมเพาะเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค โดยเพาะเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คลูกผสมช่วงที่ 1 ของบริษัท อีสเวส ซีดี จำกัด ในถาดเพาะเมล็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร บรรจุวัสดุปลูกถ่านชีวภาพแล้วหยอดเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คลงไปหลุม หลุมละ 1 เมล็ด รดน้ำให้ชุ่มทุกวันเช้า-เย็น แล้วนำถาดเพาะไปวางในที่ร่มที่มีแสงแดด 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 14 วัน ซึ่งเป็นระยะที่พีชมีใบจริง 2-3 ใบ ความสูง 5 เซนติเมตร ทำการย้ายปลูกลงในแปลงที่เตรียมไว้ โดยใช้ระยะปลูกระหว่างต้นและระหว่างแถว 25x30 เซนติเมตร

การเตรียมดินสำหรับการย้ายปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คโดยผสมหน้าดินกับถ่านชีวภาพและปุ๋ยคอกในอัตราส่วนตามสิ่งทดลองข้างต้น และหมักดินที่ผสมไว้เป็นเวลา 15 วัน เพื่อปรับความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพ รดน้ำเพื่อให้เมล็ดหญ้าในแปลงงอกและกำจัดทิ้ง จากนั้นย่ำดินกล้ามาปลูกโดยต้นกล้าอายุ 14 วัน โดยคัดเลือกต้นกล้าที่มีความแข็งแรงและมีขนาดใกล้เคียงกัน การย้ายกล้าจะถอนต้นกล้าให้มีวัสดุปลูกเดิมติดมาด้วยและปลูกความลึกประมาณ 3-5 เซนติเมตร หลังจากย้ายปลูกกดดินบริเวณรอบลำต้นให้แน่น เพื่อพยุงต้นและให้ต้นสลัดตั้งตรง หลังจากนั้นรดน้ำทุกวัน

การบันทึกข้อมูล จำนวนใบ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความสูงของต้นผักสลัดกรีนโอ๊ค (โดยรวบต้นผักสลัดกรีนโอ๊คและวัดจากพื้นดินให้ถึงปลายยอด) ความกว้างทรงพุ่ม ความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค หลังปลูก 20 วัน และ 40 วัน และชั่งน้ำหนักสดของผักสลัดกรีนโอ๊ค บันทึกข้อมูลน้ำหนักผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยชั่งน้ำหนัก 20 ต้น ในแต่ละชุดการทดลอง โดยคัดเลือกเฉพาะต้นที่อยู่ตรงกลางของแปลงปลูก การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิตินำข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ โดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี least significant difference (LSD) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป statistical tool for agricultural research 2.0.1 (STAR 2.0.1)

ผลการวิจัย

1. สมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพจากฟางข้าว

ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว (ภาพที่ 1) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 10.55 จัดว่าเป็นด่างปานกลาง มีอินทรีย์วัตถุ 21.36 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณธาตุอาหารพืชหลักและธาตุอาหารพืชรอง ดังนี้ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 2.43 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ทั้งหมด 1.06 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ทั้งหมด 3.07 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด 1.05 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด 1.08 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกำมะถันทั้งหมด 0.30 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณคาร์บอนสูงมากเท่ากับ 52.77 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 1 ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว (ก) และถ่านชีวภาพจากฟางข้าวที่ผ่านการบดละเอียดสำหรับนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี (ข)

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพจากฟางข้าว

พารามิเตอร์	ถ่านชีวภาพ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	10.55
อินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	21.36
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) (เปอร์เซ็นต์)	2.43
ปริมาณฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ได้ (total P ₂ O ₅) (เปอร์เซ็นต์)	1.06
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total K ₂ O) (เปอร์เซ็นต์)	3.07
ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด (total Ca) (เปอร์เซ็นต์)	1.05
ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด (total Mg) (เปอร์เซ็นต์)	1.08
ปริมาณกำมะถันทั้งหมด (total S) (เปอร์เซ็นต์)	0.30
ปริมาณคาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	52.77

2. การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่อายุ 20 วัน หลังปลูก โดยผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 1,500:500

กิโกรัมต่อไร่ มีจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุด 9.75 ใบต่อต้น ในขณะที่จำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คที่อายุ 40 วัน หลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยคอก และถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 1,500:500 กิโกรัมต่อไร่ และการใช้ปุ๋ยคอกปริมาณ 2,000 กิโกรัมต่อไร่ มีจำนวนใบสูงสุด 13.50 ใบต่อต้น และ 13.00 ใบต่อต้น ตามลำดับ ลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของผักสลัดกรีนโอ๊คที่อายุ 20 และ 40 วัน หลังปลูก พบว่าการใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักสลัดกรีนโอ๊คที่อายุ 20 วัน หลังปลูก ที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยคอกปริมาณ 2,000 กิโกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของผักสลัดกรีนโอ๊คมากที่สุด 15.88 เซนติเมตร และที่อายุ 40 วัน หลังปลูก ที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 500:1,500 กิโกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของผักสลัดกรีนโอ๊คมากที่สุด 28.12 เซนติเมตร ความสูงของต้นผักสลัดกรีนโอ๊คที่อายุ 20 วัน หลังปลูก ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยการปลูกโดยใช้ปุ๋ยคอกปริมาณ 2,000 กิโกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุด 29.75 เซนติเมตร ในขณะที่ความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คที่อายุ 40 วัน หลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการปลูกโดยใช้ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 500:1,500 กิโกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุด 43.38 เซนติเมตร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลของการใช้ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกันต่อจำนวนใบ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คที่อายุ 20 และ 40 วัน หลังปลูก

สิ่งทดลอง	จำนวนใบต่อต้น		เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร)		ความสูง (เซนติเมตร)	
	20 วัน	40 วัน	20 วัน	40 วัน	20 วัน	40 วัน
1. ไม่ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพ (ชุดควบคุม)	8.50	10.38 ^c	11.75 ^b	15.75 ^b	26.88	31.69 ^b
2. ใส่ปุ๋ยคอก 2,000 กิโกรัม ต่อไร่	8.38	13.00 ^{ab}	15.88 ^a	26.50 ^a	29.75	35.88 ^b
3. ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพ ในอัตราส่วน 1,500:500 กิโกรัมต่อไร่	9.75	13.50 ^a	15.04 ^a	28.00 ^a	28.44	33.81 ^b
4. ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพ ในอัตราส่วน 500:1,500 กิโกรัมต่อไร่	8.25	11.25 ^{bc}	14.62 ^a	28.12 ^a	27.81	43.38 ^a
mean	8.72	12.03	14.32	24.59	28.22	36.19
F-test	ns	*	*	**	ns	**
CV (%)	15.96	15.88	16.67	8.62	11.70	11.87

หมายเหตุ: - ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

- * = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- ** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

ด้านความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คพบว่าการปลูกโดยใช้ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักสลัดกรีนโอ๊คที่อายุ 20 วัน หลังปลูก ที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 1,500:500 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มมากที่สุด 46.12 เซนติเมตร และผักสลัดกรีนโอ๊คที่อายุ 40 วัน หลังปลูก ที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 500:1,500 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มมากที่สุด 69.25 เซนติเมตร ด้านความยาวรากวัดเมื่อผักสลัดกรีนโอ๊คอายุ 45 วัน หลังปลูก ซึ่งครบอายุเก็บเกี่ยว พบว่าความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 500:1,500 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุด คือ 50.38 เซนติเมตรต่อต้น (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลของการใช้ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่ต่างกันต่อความกว้างทรงพุ่มและความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คที่อายุ 20 และ 40 วัน หลังปลูก

สิ่งทดลอง	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)		ความยาวราก (เซนติเมตร)
	20 วัน	40 วัน	45 วัน
1. ไม่ใส่ปุ๋ยคอกและถ่าน ชีวภาพ (ชุดควบคุม)	30.12 ^c	41.25 ^d	34.88 ^c
2. ใส่ปุ๋ยคอกปริมาณ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่	43.19 ^{ab}	57.62 ^b	42.38 ^b
3. ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 1,500:500 กิโลกรัมต่อไร่	46.12 ^a	52.75 ^c	42.88 ^b
4. ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 500:1,500 กิโลกรัมต่อไร่	41.50 ^b	69.25 ^a	50.38 ^a
mean	40.23	55.22	42.12
F-test	**	**	**
CV (%)	9.21	5.41	16.97

หมายเหตุ: - ** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

3. ผลผลิตของผักสลัดกรีนโอ๊ค

ผลของการใช้ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่ต่างกัน เมื่อผักสลัดกรีนโอ๊คมีอายุ 40 วันหลังปลูก ถอนต้นแล้วล้างรากให้สะอาด ชั่งน้ำหนักสด พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 500:1,500 กิโลกรัมต่อไร่ ให้น้ำหนักเฉลี่ยของผักสลัดกรีนโอ๊คมากที่สุด 189.57 กรัมต่อต้น และการไม่ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพ ให้น้ำหนักเฉลี่ยของผักสลัดกรีนโอ๊คน้อยที่สุด 52.33 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลของการใช้ปุ๋ยคอกต่อถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่ต่างกันต่อน้ำหนักสดทั้งต้น (รวมราก) ของผักสลัดกรีนโอ๊คที่อายุ 40 วัน หลังปลูก

สิ่งทดลอง	น้ำหนักสดทั้งต้น (รวมราก) ที่อายุ 40 วัน (กรัมต่อต้น)
1. ไม่ใส่ปุ๋ยคอกและถ่าน ชีวภาพ (ชุดควบคุม)	52.33 ^c
2. ใส่ปุ๋ยคอก 2,000 กิโลกรัมต่อไร่	164.78 ^b
3. ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 1,500:500 กิโลกรัมต่อไร่	159.14 ^b
4. ใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 500:1,500 กิโลกรัมต่อไร่	189.57 ^a
mean	141.46
F-test	**
CV (%)	26.11

หมายเหตุ: - ** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

การอภิปรายผลการวิจัย

ถ่านชีวภาพมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ความพรุนเป็นที่ยึดของน้ำและจุลินทรีย์ มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง (Lehmann and Joseph, 2009) มีความเป็นด่าง (Wang *et al.*, 2013) สามารถดูดซับธาตุอาหารในดินได้ (Sun and Lu, 2014) และเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (Case *et al.*, 2012) จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้ผสมกับปุ๋ยคอกในการปลูกผัก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lehmann *et al.* (2003) พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพผสมกับปุ๋ยคอกสามารถเพิ่มผลผลิตของพืช และการศึกษาของเกศศิรินทร์ และคณะ (2557) พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพในดินเพิ่มขึ้นจาก 400 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 800 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้กะน้ามีการเจริญเติบโตและผลผลิตเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Carter *et al.* (2013) ที่ได้ศึกษาผลของถ่านชีวภาพจากแกลบเผาต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม และกะล่ำปลีที่ปลูกในดินทรายของประเทศกัมพูชา พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพปริมาณ 25 50 และ 150 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม กับพืช โดยเฉพาะการใส่ถ่านชีวภาพ 150 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ทำให้ผักกาดหอมและกะล่ำปลีมีความยาวราก จำนวนใบ ความสูง และน้ำหนักต้นสูงสุด และการศึกษาของ เกศศิรินทร์ และคณะ (2558) ที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ปุ๋ยคอกปริมาณ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่ต่างกัน ไม่พบความแตกต่างในลักษณะความสูง น้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น และผลผลิตต่อพื้นที่ แต่พบว่าหลังจากใส่ถ่านชีวภาพทำให้สมบัติทางเคมีของดิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งถ่านชีวภาพปริมาณ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ดินมีค่าอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นก่อนการทดลอง เพราะถ่านชีวภาพมีรูพรุนสูงสามารถดูดซับประจุบวกของโพแทสเซียมไอออน (K^+) แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ได้มากขึ้น และรูพรุนในถ่านชีวภาพยังเป็นที่ยึดของน้ำ อากาศ และจุลินทรีย์ในดิน ส่งผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น (Lehmann and Rondon, 2006) และเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ร่วมกับการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อการเพาะปลูกพืชจึงเริ่มได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การใช้ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่ต่างกันส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คให้ผลผลิตแตกต่างกัน โดยการใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 500:1,500 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตต่อต้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 189.57 กรัม ซึ่งการใช้ปุ๋ยคอกผสมกับถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มความสมบูรณ์ดินให้เหมาะสมสำหรับการปลูกพืช

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของถ่านชีวภาพในการเป็นวัสดุปรับปรุงดินหรือใช้ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักหรือพืชอื่น ส่วนใหญ่ดำเนินการศึกษาระยะสั้นหรือทดลองในกระถาง ทำให้ผลการทดลองที่ได้ยังไม่ตอบวัตถุประสงค์ของการศึกษา เพราะการศึกษาประสิทธิภาพของการปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ต้องมีระยะเวลาการศึกษาไม่น้อยกว่าสามปี เนื่องจากการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพต้องใช้เวลาในการฟื้นฟู และปรับสภาพจากเคมีเป็นอินทรีย์ มีการปรับปรุงดินอย่างต่อเนื่อง ควบคู่กับการจัดการศัตรูพืชแบบชีวภาพ จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ขอขอบคุณหน่วยบริหารและจัดการทุนวิจัยด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ที่ให้ทุนในการทำวิจัย และเทศบาลตำบลนาทราย อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช สำหรับสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- เกศศิรินทร์ แสงมณี ชัยนาม ดิสถาพร และสุรัชย์ สุวรรณชาติ. (2557). การจัดการดินด้วยเทคโนโลยีชีวภาพและถ่านชีวภาพในการผลิตผักคะน้าในดินทราย. ใน *การประชุมวิชาการและนำเสนองานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อน ครั้งที่ 8* (หน้า 70). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยหอการค้า.
- เกศศิรินทร์ แสงมณี ธีระรัตน์ ชินแสน และณัฐพงษ์ พันธุ์ภา. (2558). ผลของการใช้แทนแดง ปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมี ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ใหม่ดรีน. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53* (หน้า 746-752). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ฉัตรชัย กิตติไพศาล. (2547). ผลของไนโตรเจนที่ใช้โดยเกษตรกรต่อผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของผักกวางตุ้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- ช่อทิพย์ อังศุณิตยาลภา คริชัฐสพล หนูพรหม และอมรรัตน์ ชุมทอง. (2559). ผลของตาข่ายพรางแสงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดกวางตุ้งในฤดูแล้งของจังหวัดสงขลา ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏเพชรบุรีเพื่อแผ่นดินไทยที่ยั่งยืน ครั้งที่ 6* (หน้า 888-893). เพชรบุรี: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.

- นัฐวุฒิ เพ็ชรชาติ พิมพ์ชนก ธาตรีวิจิตร หนึ่งหทัย ธารพร ศราวุฒิ ชูโลก และนวรรตน์ สีตะพงษ์. (2566). สมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดแท่งและถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกกระท้อนและเปลือกมังคุด. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 42(1), 39-49, doi: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.254379>.
- พินิจภณ ปิตุยะ และอนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์. (2560). การพัฒนาและฟื้นฟูดินทรายในเขตเงาฝนด้วย ถ่านชีวภาพ. *วารสารวิจัยและพัฒนาโดยกองการณิในพระบรมราชูปถัมภ์*, 2(3), 27-38.
- ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์ และอรสา สุกสว่าง. (2556). การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อ การเกษตร. *วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์*, 39(2), 212-225.
- เสาวคนธ์ เหมวงษ์. (2557). ผลของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่ และแกลบต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการ ดูดใช้ในโตรเจน ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี*, 16(1), 69-75.
- อัจจิมา ควรสงวน. (2559). ผลของการใช้วัสดุปุ๋ยและถ่านแกลบไปโอชาร์ต่อผลผลิตข้าว การ เปลี่ยนแปลง ปริมาณของธาตุฟอสฟอรัส อะลูมินัม และจุลธาตุในดินนากรดจัด. *วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ*.
- Brodowski, S., John, B., Flessa, H. and Amelung, W. (2006). Aggregate-occluded black carbon in soil. *European Journal of Soil Science*, 57(4), 539-546, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00807.x>.
- Carter, S., Shackley, S., Sohi, S.T., Boun, S. and Haefele, S. (2013). The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and Cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*, 3(2), 404-418, doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy3020404>.
- Case, S.D.C., McNamara, N.P., Reay, D.S. and Whitaker, J. (2012). The effect of biochar addition on N₂O and CO₂ emissions from a sandy loam soil the role of soil aeration. *Soil Biology and Biochemistry*, 51, 125-134, doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.03.017>.
- Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35(4), 219-230, doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0466-4>.
- Lehmann, J. and Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: An introduction. In Lehmann, J., and Joseph, S. (Eds.). *Biochar for environmental management: Science technology and implementation*, pp. 1-12. London: Taylor & Francis Group.
- Lehmann, J. and Rondon, M. (2006). Bio-char soil management in highly weathered soils in the humid tropics. In Uphoff, N., Ball, A.S., Palm, C., Fernandes, E., and Thies, J. (Eds.). *Biological approaches to sustainable soil systems*, pp. 517-530. London: Taylor & Francis Group.

- Lehmann, J., Silva, D.A., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendment. *Plant and Soil*, 249(2), 343-357, doi: <https://doi.org/10.1023/A:1022833116184>.
- Manya, J.J. (2012). Pyrolysis for biochar purposes: A review to establish current knowledge gaps and research needs. *Environment Science Technology*, 46(15), 7939-7954, doi: <https://doi.org/10.1021/es301029g>.
- Sohi, S.P. (2012). Carbon storage with benefit. *Science*, 338(6110), 1034-1035, doi: <https://doi.org/10.1126/science.1225987>.
- Sun, F. and Lu, S. (2014). Biochars improve aggregate stability, water retention and pore space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), 26-33, doi: <https://doi.org/10.1002/jpln.201200639>.
- Sun, Z., Hu, Y., Shi, L., Li, G., Pang, Z., Liu, S., Chen, Y. and Jia, B. (2022). Effects of biochar on soil chemical properties: A global meta-analysis of agricultural soil. *Plant, Soil and Environment*, 68(6), 272-289, doi: <https://doi.org/10.17221/522/2021-PSE>.
- Wang, Y., Hu, Y., Zhao, X., Wang, S. and Xing, G. (2013). Comparisons of biochar properties from wood material and crop residues at different temperatures and residence times. *Energy & Fuels*, 27(10), 5890-5899, doi: <https://doi.org/10.1021/ef400972z>.
- Whalen, J.K., Chang, C., Clayton, G.W. and Carefoot, J.P. (2000). Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Science Society of America Journal*, 64(3), 962-966, doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.643962x>.

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับสำหรับผู้พิมพ์ เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จัดทำขึ้นเพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่บทความวิจัย (research article) และบทความวิชาการ (academic article) ของคณาจารย์ บุคลากร นักศึกษา ภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยฯ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะรับตีพิมพ์บทความในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบด้วย ด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งมีกลุ่มเป้าหมายคือคณาจารย์ นักศึกษา และนักวิจัยทั้งในและนอกสถาบัน ทั้งนี้วารสารมีกำหนดตีพิมพ์เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ในเดือนมกราคม-มิถุนายน และฉบับที่ 2 ในเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม

บทความทุกบทความที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช “ต้องไม่เคยได้รับการตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการเสนอเพื่อพิจารณาเผยแพร่ในวารสารฉบับอื่น” พร้อมทั้งได้รับการพิจารณาจากผู้ประเมินอิสระ (peer review) ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง อย่างน้อย 3 ท่าน แบบผู้ประเมินอิสระและผู้แต่งไม่ทราบชื่อกันและกัน (double-blind review) และได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ ทั้งนี้ บทความอาจถูกตัดแปลง แก้ไขคำ สำนวน รูปแบบการอ้างอิง รูปแบบการนำเสนอ และอื่น ๆ (ซึ่งไม่เกี่ยวกับเนื้อหาหรือสาระสำคัญ) ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร และผู้เขียนต้องรับผิดชอบในเนื้อหาของบทความ โดยกองบรรณาธิการวารสารวิชา และมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ไม่จำเป็นต้องรับผิดชอบใด ๆ

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ

- พิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้
- การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์และการเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ควรหลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีคำแปลหรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนปนภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ
- สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาเป็นเบื้องต้นก่อน
- ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 16 หน้า รวมตาราง ภาพและเอกสารอ้างอิง ควรระบุเลขหน้าให้ชัดเจนและจัดให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันทั้งฉบับ

2. รายละเอียดตัวอักษรและรูปแบบการพิมพ์

- จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word ขนาดของต้นฉบับใช้กระดาษขนาด Executive (18.41 × 26.67 เซนติเมตร)
- ตั้งค่าน้ำกระดาษสำหรับการพิมพ์
 ด้านบน 2.5 เซนติเมตร ด้านล่าง 2.5 เซนติเมตร
 ด้านซ้าย 2.3 เซนติเมตร ด้านขวา 2.5 เซนติเมตร
- พิมพ์คอลัมน์เดียวกระจายเต็มบรรทัด
- ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดตัวอักษร 15

3. ส่วนประกอบในบทความ

3.1 บทความวิจัย (research article) เป็นบทความที่เป็นผลงานต่อเนื่อง สกัดมาจากงานวิจัยที่เสร็จสมบูรณ์แล้วซึ่งผู้เขียนได้ดำเนินการด้วยตนเอง ประมวลสรุปกระบวนการวิจัยให้มีความกระชับและสั้น

3.1.1 ส่วนประกอบตอนต้น

➤ ชื่อเรื่อง (title) ควรสั้น กระชับ ไม่ยาวจนเกินไป ให้เขียนชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษในบรรทัดถัดไป

➤ ชื่อผู้เขียนบทความ (authors and co-authors) ให้ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะอักษรตัวแรกของชื่อตัวและนามสกุล ถ้ามีผู้วิจัยหลายคนให้ใส่ลำดับเลข พร้อมระบุที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ และชื่อหน่วยงานของผู้วิจัยที่ส่วนล่างของหน้าแรก และให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ที่ตำแหน่งผู้ประสานงานหลัก (corresponding author) พร้อมทั้งระบุอีเมลสำหรับติดต่อ (e-mail: address)

➤ บทคัดย่อ (abstract) ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกินอย่างละ 300 คำ บทคัดย่อที่เขียนควรสั้น ตรงประเด็น และให้สาระสำคัญเท่านั้น โดยเรียงลำดับบทคัดย่อภาษาไทยก่อนตามด้วยบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

➤ คำสำคัญ (keywords) ให้ใช้คำที่ปรากฏอยู่ในเนื้อเรื่องซึ่งเป็นตัวแทนบอกวิธีการวิจัย ประเด็นที่วิจัย ผลการวิจัย การใช้ประโยชน์หรือสถานที่ที่ทำวิจัย คำสำคัญนี้ให้เขียนทั้งในภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ในตอนท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาอย่างละไม่เกิน 5 คำ

3.1.2 เนื้อหาในบทความวิจัย ให้มีองค์ประกอบดังนี้

➤ บทนำ (introduction) อธิบายถึงที่มา ความสำคัญของปัญหา และเหตุผลที่นำไปสู่การศึกษาวิจัย ให้ข้อมูลทางวิชาการที่มีการตรวจสอบเอกสาร (literature review) โดยระบุถึงแหล่งที่มาของข้อมูล (อ้างอิง) และจุดมุ่งหมายที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งวัตถุประสงค์ของการวิจัย

➤ วิธีดำเนินการวิจัย (research methods) อธิบายกระบวนการดำเนินการวิจัย โดยบอกรายละเอียดวัสดุ วิธีการศึกษา สิ่งนำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา ตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษา อธิบายแบบแผนการวิจัย การสุ่มตัวอย่าง วิธีการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

➤ ผลการวิจัย (results) รายงานผลการวิจัยให้ได้ใจความชัดเจนและตรงประเด็นโดยยึดแนวทางตามวัตถุประสงค์เป็นหลัก ควรอธิบายผลการวิจัยด้วยคำบรรยายเป็นหลัก แต่ถ้ามีตัวเลขหรือตัวแปรมากควรนำเสนอเป็นภาพและตาราง แทรกในเนื้อหา พร้อมอธิบายผลการวิจัยให้ได้สาระครบถ้วน

➤ การอภิปรายผลการวิจัย (discussion) เป็นการชี้แจงผลการวิจัยว่าตรงกับวัตถุประสงค์หรือสมมติฐานของการวิจัย สอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลการวิจัยของผู้อื่นที่มีอยู่ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

➤ สรุปผลการวิจัย (conclusion) สรุปผลการวิจัยให้ได้ใจความชัดเจนและตรงประเด็น

➤ ข้อเสนอแนะ (suggestion) (ถ้ามี)

➤ กิตติกรรมประกาศ (acknowledgements) ให้ระบุว่าจะงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนหรือความช่วยเหลือจากองค์กรใด และบุคคลใดบ้าง

➤ เอกสารอ้างอิง (references) ให้ระบุเฉพาะเอกสารที่ผู้เขียนบทความได้นำมาอ้างอิงในบทความวิจัยอย่างครบถ้วน โดยระบุรายละเอียดและใช้รูปแบบการเขียนที่ถูกต้องครบถ้วน (ตามข้อ 4) จัดเรียงลำดับตามตัวอักษร โดยเรียงเอกสารภาษาไทยก่อนและตามด้วยเอกสารภาษาอังกฤษ

3.2 บทความทางวิชาการ (academic article) เป็นบทความที่ผู้เขียนได้เรียบเรียงโดยศึกษาค้นคว้าจากเอกสาร งานแปล และผลงานจากประสบการณ์ของผู้เขียนหรือได้รับการถ่ายทอดจากผู้อื่น มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ องค์กรความรู้ การเสนอความคิดเห็นที่มีคุณค่า และเป็นประโยชน์ทางวิชาการของสาขาต่าง ๆ

3.2.1 ส่วนประกอบตอนต้น

➤ ชื่อเรื่อง (title) ควรสั้นกะทัดรัด ไม่ยาวจนเกินไป ให้เขียนชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษในบรรทัดถัดไป

➤ ชื่อผู้เขียน (authors and co-authors) ให้ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะอักษรตัวแรกของชื่อตัวและนามสกุล ถ้ามีผู้วิจัยหลายคนให้ใส่ลำดับเลข พร้อมระบุที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ และชื่อหน่วยงานของผู้วิจัยที่ส่วนล่างของหน้าแรก และให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ที่ตำแหน่งผู้ประสานงานหลัก (corresponding author) พร้อมทั้งระบุอีเมลสำหรับติดต่อ (e-mail: address)

➤ สาระสังเขป (summary) เป็นการย่อเนื้อความของบทความทั้งเรื่องให้สั้นได้เนื้อหาสาระครบถ้วน

➤ คำสำคัญ (keywords) ให้ใช้คำที่ปรากฏอยู่ในเนื้อเรื่องซึ่งเป็นตัวแทนบอกวิธีการ สิ่งที่ศึกษา ผลการศึกษา สาขา การใช้ประโยชน์และสถานที่ คำสำคัญให้เขียนทั้งคำสำคัญภาษาไทย และภาษาอังกฤษแต่ละชุดไม่เกิน 5 คำ

3.2.2 เนื้อหา (main text) ในบทความทางวิชาการมีองค์ประกอบดังนี้

- บทนำ (introduction) กล่าวถึงความน่าสนใจของเรื่องที่น่าสนใจก่อนเข้าสู่เนื้อหา
- เนื้อความ (content) ควรนำเสนอพัฒนาการของเรื่องได้อย่างน่าสนใจ และเนื้อเรื่องมีเนื้อหาใหม่เหมาะสมกับสภาพปัจจุบัน
- สรุป (conclusion) เป็นการย่อเฉพาะข้อมูลจากเนื้อความให้สั้นได้เนื้อหาสาระของเนื้อความครบถ้วน
- เอกสารอ้างอิง (references) ให้ระบุเฉพาะเอกสารที่ผู้เขียนบทความได้นำมาอ้างอิงในบทความวิชาการอย่างครบถ้วนรูปแบบของการเขียนเอกสารอ้างอิงให้จัดทำตามที่ระบุไว้ในข้อ 4 (เอกสารอ้างอิง)

3.3 ตารางและภาพประกอบ ให้จัดแทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็นเท่านั้น โดยเนื้อหาและคำอธิบายในตารางและภาพสามารถใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น

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

ตารางที่ 1 จำนวนฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง และความเร็รรอบของจานโซ่

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

ที่มา: จารุณี (2559)

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

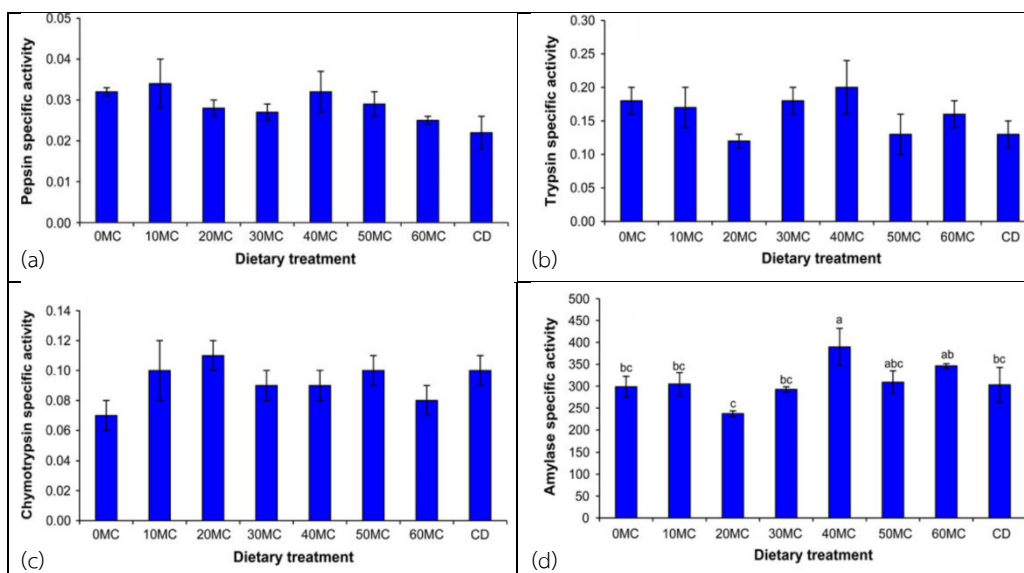


Figure 1 The specific activities (U/mg protein) of pepsin (a), trypsin (b), chymotrypsin (c) and amylase (d) in giant freshwater prawns subjected to various dietary replacements of protein from fish meal with mackerel condensate (MC). The data are expressed as mean $\pm$ SEM ($n = 3$). Different superscripts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

Source: Wattanakul *et al.* (2017)

ตารางสรุปรูปแบบการพิมพ์ส่วนประกอบของบทความ

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

4. การอ้างอิง (References)

วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชใช้รูปแบบการอ้างอิงที่ดัดแปลงมาจากสมาคมจิตวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (American Psychological Association: APA) ดังนี้

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

4.1.1 การเขียนอ้างอิงก่อนเนื้อหา

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

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

4.1.2 การเขียนเนื้อหาการอ้างอิง

ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: ข้อความ..... (จิรวัดน์,/2554)

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

กรณีมีผู้แต่งคนเดียว

- 1) ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: ชื่อ/(ปี พ.ศ.)
- 2) ต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ: ชื่อสกุล/(ปี ค.ศ.)

กรณีมีผู้แต่ง 2 คน

- 1) ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: ชื่อคนที่ 1/และชื่อคนที่ 2/(ปี พ.ศ.)
- 2) ต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ: ชื่อสกุลคนที่ 1/and/ชื่อสกุลคนที่ 2/(ปี ค.ศ.)

กรณีมีผู้แต่งมีตั้งแต่ 3 คนขึ้นไป

- 1) ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: ชื่อคนที่ 1/และคณะ/(ปี พ.ศ.)
- 2) ต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ: ชื่อสกุลคนที่ 1/*et al.*/(ปี ค.ศ.)

4.2 การอ้างอิงท้ายบทความ (reference section)

หนังสือที่ตีพิมพ์เป็นรูปเล่ม (print version)
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อหนังสือ/(ครั้งที่พิมพ์)/สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.
ตัวอย่าง กรณีตีพิมพ์ครั้งแรก (ไม่ต้องใส่ครั้งที่พิมพ์) สรเมธี วชิรปราการ. (2551). <i>เปิดชีวิตเทวดานางฟ้าไขปริศนาแดนสวรรค์</i>. นนทบุรี: สมาร์ทบุ๊ก. Almond, G.A. and Powell, B.G. (1976). <i>Comparative political today</i>. Boston: Little Brown and Company. กรณีตีพิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป เจือจันทร์ จงสถิต และรุ่งเรือง สุชาติพิทย์. (2550). <i>การสังเคราะห์งานวิจัยคุณลักษณะและกระบวนการปลูกฝังจริยธรรมของประเทศต่าง ๆ</i>. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. Carpenter, J.W., Mashima, T.Y. and Rupiper, D.J. (2001). <i>Exotic animal formulary</i>. (2nd ed). Philadelphia: W.B. Saunders Company.
หนังสือที่ออนไลน์ (electronic book)
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่ออนไลน์)/ชื่อหนังสือ/สืบค้นเมื่อ/วัน/เดือน/ปี/จาก:/http:..... .
The World Society for the Protection of Animals. (2013). <i>The Cayman turtle farm: A continued case for change</i> . Retrieved 10 July 2017, from: https://d31j74p4lpxrfpcloudfront.net/sites/default/files/us_files/turtle_a_continued_case_for_change_report.pdf .

วารสาร (journal)
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อบทความ/ชื่อวารสาร/ปีที่หรือเล่มที่ (ฉบับที่)/หน้าแรก-หน้าสุดท้าย, doi:/http://doi.org/..... .
ตัวอย่าง สมรักษ์ รอดเจริญ และการณ ทองประจักษ์. (2559). สภาวะการเลี้ยงและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (<i>Nostoc commune</i> TISTR 8870) ที่ผ่านการดัดแปรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. <i>วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย</i>, 8(2), 219-229. Palazzo, A.J., Cory, T.J. and Hardy, S.E. (2003). Root growth and metal uptake in four grasses grown on Zn-contaminated soil. <i>Journal of Environmental Quality</i>, 32(3), 834-840. Whan-air, W., Thongprajukaew, K., Salaeharae, T. and Yoonram, K. (2018). Identification of wild and farmed broadhead catfish (<i>Clarias macrocephalus</i> Günther, 1864) based on morphometry, digestive indexes and flesh quality. <i>Journal of Oceanology and Limnology</i>, doi: https://doi.org/10.1007/s00343-018-7205-7.
นิตยสารหรือหนังสือพิมพ์
ชื่อ/ชื่อสกุล/(วัน/เดือน/ปี)/ชื่อบทความ/ชื่อนิตยสารหรือหนังสือพิมพ์/ปีที่/หน้า.
ตัวอย่าง มาลินี ป้องกัน. (3 กรกฎาคม 2560). ลงทะเบียนคนจน. <i>มติชน</i>, 50, หน้า 12.
บทหนึ่งในหนังสือ (book chapter)
ชื่อ/ชื่อสกุลผู้เขียนบท/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อบทหรือตอน/ใน/ชื่อ/ชื่อสกุลบรรณาธิการ/ชื่อหนังสือ/หน้าแรก-หน้าสุดท้ายของบท/สถานที่พิมพ์/สำนักพิมพ์.
ตัวอย่าง มาลินนท์ วุฒิจักร. (2560). สาหร่ายพวงองุ่น. ใน บัณฑิต คิตติ. <i>เกษตรหน้าใหม่</i>, หน้า 100-110. กรุงเทพฯ: อุดมศิลป์. Zambonino-Infante, J., Gisbert, E., Sarasquete, C., Navarro, I., Gutiérrez, J. and Cahu, C.I. (2009). Ontogeny and physiology of the digestive system of the marine fish larvae. In Cyrino, J.E.O., Bureau, D. and Kapoor, B.G. (Eds.). <i>Feeding and digestive function of fish</i>, pp. 277-344. Enfield: Science Publishers, Inc.

วิทยานิพนธ์
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อวิทยานิพนธ์/ระดับวิทยานิพนธ์/ชื่อมหาวิทยาลัย/เมืองที่ตั้งมหาวิทยาลัย.
ตัวอย่าง จงลักษณ์ จิมนับใจ. (2550). สมรรถนะแห่งตนต่อการเฝ้าระวังโรคความดันโลหิตสูงของอาสาสมัครสาธารณสุขอำเภอนาหมื่น จังหวัดน่าน. วิทยานิพนธ์พยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. Mirera, D.O. (2013). Capture-based mud crab (<i>Scylla serrata</i>) aquaculture and artisanal fishery in East Africa-Practical and ecological perspectives. Ph.D. thesis in Environmental Science. Linnaeus University, Kalmar.
เว็บไซต์ (website)
ชื่อผู้จัดทำ/(ปีที่ออนไลน์)/ชื่อเรื่อง/สืบค้นเมื่อ/วัน/เดือน/ปี/จาก:/http:..... .
ตัวอย่าง อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. (2542). ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2542, จาก: http://158.108.200.11/scil/009hom~1/009421/chap1.html. Adkins, J. (2016). Marine scientist devotes career to reversing trend of by catch. Retrieved 1 July 2018, from: https://phys.org/news/2016-03-marine-scientist-devotes-career-reversing.html.
รายงานการประชุม
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อเรื่อง/ชื่อการประชุมหรือการสัมมนา/เมืองที่พิมพ์.
ตัวอย่าง สุรยุทธ แฉ่งเกิด. (2559). ความมั่นคงทางอาหารของชุมชนบ้านบางปรึก. การประชุมวิชาการความมั่นคงทางอาหารแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.
รายงานการวิจัย
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อเรื่อง/รายงานวิจัย/ชื่อมหาวิทยาลัย.
ตัวอย่าง จันทิมา ชั่งสิริพร พรศิริ แก้วประดิษฐ์ และพญกระยา พงศ์ยี่หล้า. (2559). การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราที่ได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับงานเครื่องกรองน้ำ. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บทหนึ่งในหนังสือการประชุม (proceeding) และเอกสารการสัมมนา
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อบทความหรือบท./ใน/ชื่อการประชุมหรือการสัมมนา/(หน้าแรก-หน้าสุดท้าย)/เมืองที่พิมพ์:/หน่วยงานที่จัดทำ.
ตัวอย่าง กรวรรณ มากสุข. (2555). วาทกรรมความงามของเด็กมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏวิจัย ครั้งที่ 3 (หน้า 22-35). นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
บทคัดย่อในการประชุมวิชาการ (abstract in conference)
ชื่อ/ชื่อสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อบทความ./ในบทคัดย่อ/ชื่อการประชุม/(หน้า)/เมืองที่พิมพ์:/หน่วยงานที่จัดทำ.
Kovitvadhi, A., Chandang, P., Luapan, J., Sriyaphai, P., Buahom, R., Cham-iam, T., Leelehapongsathon, K., Tirawattanawanich, C. and Thongprajukaew, K. (2018). Screening three cricket species (<i>Gryllus bimaculatus</i>, <i>Acheta domestica</i> and <i>Modicogryllus confirmata</i>) for broiler diets by <i>in vitro</i> digestibility techniques. In <i>Abstract of the 6th Mediterranean Poultry Summit</i> (pp. 62). Torino: The Mediterranean Poultry Network of the World's Poultry Science Association.



วารสาร วิชชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

วารสารวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ISSN 3027-737X (Online)

WICHCHA
JOURNAL

NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

