



วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal

ปีที่ 11 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2562

ISSN 1906-6627 (Print)

ISSN 2673-0197 (Online)



วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

คณะกรรมการที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.สำเริง จักรใจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.เผด็จศักดิ์ จารยะพันธุ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัย (Peer review)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรวิ ลิ้มปนลิตธิกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ พาราสุข	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรประพันธ์ ส่งเสริม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารยา อาจเจริญ เทียนหอม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.นภัสวรรณ ชำนาญเวช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.ประพันธ์ศักดิ์ ศิริชะภา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนอมพร เลาหจรัสแสง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มินตรา ศิลอุดม	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ประพจน์ พรหมสมบูรณ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.รัตติกาล เสนน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.รัตนกร กฤษณชาญดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.สุพรรณษา สุขแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐทิศา โจนประสาทสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ มะเห	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ดร.สุคตนิ้ง ณ ระนอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.อัศวิน แสงพิกุล	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมพร แพ่งนคร	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญจิรา รัตนกรพิทักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายรุ้ง อวยพรกชกร	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.ตรีสินธุ์ โพธารส	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พหล ศักดิ์กะทัศน์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.อริศรา เล็กสรรเสริญ	มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.เฉลิมพล ศรีทอง	มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.นฤมล มีบุญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ดร.อานันท์นิตย์ คู่ยอกสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา เหลืองสุวาลัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี แหม่มคง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ดร.หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานิตย์ นุ้ยนุ่น	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ดร.ชัยณพพงศ์ ศิริโชตินิสากร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ เจษฎาลักษณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณอมศักดิ์ ศรีจันทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลยา ธเนศพงศ์ธรรม

ดร.ปองทิพย์ เทพอารีย์

รองศาสตราจารย์ ดร.การุณ ทองประจุแก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิติศัย เพชรสุภา

ดร.นพมาศ อัครจันทโชติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภารัตน์ หอมหวล

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทความทุกเรื่องก่อนลงตีพิมพ์ในวารสารฯ ได้ผ่านการพิจารณากลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ อย่างน้อย 2 ท่าน

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.สุวัจน์ ธัญรส

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ทองหนู่น้อย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ มะเห

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สงรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพร ธารางกูร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ดร.สุคคณิง ณ ระนอง

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

นางสาวกุลิกา ธนะเสวตร

วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติรี หอมเขียว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณพร ชีววุฒิพงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ดร.จิรวิษณุ พรรณรัตน์

คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

กองบรรณาธิการ

Associate Professor Dr.David Crookall

University of Nice Sophia Antipolis, France

Professor Mitsuhiro Sano

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนอมทอง

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงศรี สรรณสภาพร

คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ภูมิฐรัตน์ ปภาวสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ประพฤติ พรหมสมบูรณ์

คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ตะวันออก

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริโรตม์ เกตุแก้ว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

รองศาสตราจารย์ ดร.พูนสุข อุดม

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

รองศาสตราจารย์ เกชา คูหา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยโท (หญิง) ดร.เกิดศิริ เจริญวิศาล

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิธิดา จรุงเกียรติกุล

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินาถ ศรีอ่อนนวล

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ดร.ทรงสิน ชีระกุลพิศุทธิ์

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

วัตถุประสงค์	เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่บทความวิจัย (Research article) ของบุคลากร นักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย รวมทั้งบทความวิจัยของบุคคลภายนอก
ฝ่ายจัดทำ	นางสาวบุญบรรจง สายลาด สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นางสาวพนิดา ชูเวท สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
เจ้าของลิขสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ขอบเขต	เป็นวารสารวิชาการที่ครอบคลุมสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กำหนดการเผยแพร่	ปีละ 3 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม
การเผยแพร่	Online
จัดทำโดย	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 179 หมู่ 3 ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150 โทรศัพท์ 0 7520 4070 โทรสาร 0 7520 4071 E-mail: rdisv.journal@gmail.com Website: https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutsvrj/index
Print ISSN	1906-6627
Online ISSN	2673-0197

สารบัญ

Transthyretin กลายพันธุ์ ที่พบในคนไทยมีแนวโน้มเกี่ยวข้องกับการเกิดโรค.....	387-401
ศุภาวดี แก้วมีชัย รัตวรรณ พุดเพราะ และ พรทิพย์ ประพันธ์พจน์	
Tilapia Gelatin : Elimination of Fishy Odor.....	402-411
Patwarin Tohmadlae Wanchai Worawattanamatekul and Jirapa Hinsui	
ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากผลกรองในการควบคุมเพลี้ยอ่อนถั่ว.....	412-421
ณัฐพงศ์ เมธินธรังสรรค์ และ ดวงเดือน วัฏฏานุรักษ์	
การออกแบบกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง การทำสบู่สมุนไพรโดยการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา.....	422-431
ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6	
ศุภาพร กิจวานิชชัย ธนะวัฒน์ วรรณประภา และ นภา ตั้งเตรียมจิตมั่น	
ผลของการตัดยอดมันเทศในระยะเวลาเจริญเติบโตที่ต่างกันต่อการให้ผลผลิต.....	432-440
สุชาดา บุญเลิศนิรันดร์ ละอองศรี ศิริเกษร และ กิตติ บุญเลิศนิรันดร์	
ต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ.....	441-450
บรรพต พิจิตรกำเนิด	
ผลของเซฟราเรนทินต่อความเป็นพิษของด็อกโซรูบิซินในเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวในมนุษย์.....	451-460
ศุณิษา คงทอง วราลี คงทอง และ ขงยุทธ เทพรัตน์	
พฤติกรรมของผู้บริโภคในจังหวัดตรังต่อผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร.....	461-477
สุคณีน ฌ ระนอง นพรัตน์ มะเห และ รัตนาพร อนันตสุข	
การสังเคราะห์อนุพันธ์ของกรดแกลลิกและคุณสมบัติการต้านออกซิเดชัน.....	478-490
มูฮำหมัด นิยมเดชา และ สรชัย แซ่ลิ่ม	
การจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนในจังหวัดตรัง สตูล และกระบี่.....	491-503
จุติมา บุญมี และ คุณิภา ธนะเสวตร	
การใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และใบมะรุ้มในอาหารไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งปล่อย.....	504-518
ณัฐมา เกลิมแสน จินดารักษ์ ไทรอินทรีย์ วรรณรัตน์ จันตระกูล	
ศศิราธรณ์ ทองคำ กฤษณา อุลิต และ ธัญรัตน์ จาริ	

Effects of Crude Extract of *Phyllanthus urinaria* Linn. on Growth Performance, Feed..... 519-527

Utilization and Survival Rate of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone)

Uton Charoendat and Worawut Koedprang

ความเต็มใจจะจ่ายในการกำจัดขยะพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ อำเภอเมือง..... 528-539
จังหวัดกระบี่

มโนลี ศรีเปารยะ เพ็ญพงษ์ ศราวุธ ทองเนื้อห้า สีนินาท โชคดี เก่ง และ สมศรี ผิวดี

การผลิตและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ในถังโฟม..... 540-555

วรรณวิภา ไชยชาญ ฌานิกา แซ่แง ชุกกลั่น กัตตินาญ สกุลสวัสดิพันธ์

เจื้อยอู๋ เปาะเลาะ และ ทัพพสาร แต้มประสิทธิ์

คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดบุรีรัมย์..... 556-567

กรุปกรณ์ ละเอียคอ่อน และ อรุณรัศมี แสงศิลา

Transthyretin กลายพันธุ์ ที่พบในคนไทยมีแนวโน้มเกี่ยวข้องกับการเกิดโรค

Transthyretin Variant in Thai People is Likely to Associate with Pathogenesis

สุภาวดี แก้วมีชัย รัตวรรณ พุดเพราะ และ พรทิพย์ ประพันธ์พจน์*

Supawadee Kaewmeechai, Rattawan Poodproh and Porntip Prapunpoj*

Received: 16 October 2018, Revised: 28 November 2018, Accepted: 14 January 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวโน้มในการก่อให้โรคของ Transthyretin กลายพันธุ์ (TTR variant) ณ ตำแหน่ง valine 122 ที่พบในคนไทย โดยทำการผลิต cDNA ของ TTR variant ดังกล่าว จาก cDNA ของคนปกติ ด้วยเทคนิค Site-Directed Mutagenesis แล้วเชื่อมต่อเข้าสู่เวกเตอร์ pPIC 3.5 ก่อนนำเข้าสู่ยีสต์ *Pichia pastoris* เพื่อให้ผลิตเป็นโปรตีน TTR variant และทำให้บริสุทธิ์โดยอาศัยเทคนิค preparative-native PAGE โปรตีน TTR variant ที่สังเคราะห์ได้ มีลักษณะการเคลื่อนที่บนโพลีอะครีลาไมด์เจลในสภาพธรรมชาติเร็วกว่าอัลบูมิน เช่นเดียวกับ TTR ที่พบในพลาสมาของคนปกติ จากการวิเคราะห์หาหน่วยย่อยด้วยเทคนิค sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) ปรากฏว่า TTR variant มีมวลโมเลกุลหน่วยย่อยประมาณ 17 กิโลดาลตัน ความสามารถในการเกิดเป็นเส้นใย amyloid ถูกวัดด้วย Thioflavin T พบว่าเกิดเป็นเส้นใยได้เร็วกว่า L55P ภายใต้สภาวะปกติ แสดงให้เห็นว่า TTR variant นี้ มีความเสถียรของโครงสร้าง tetramer น้อยกว่า และผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ human neuroblastoma (LAN-5) โดยเทคนิค MTT แสดงให้เห็นว่า TTR variant นี้ มีความเป็นพิษต่อเซลล์สูงกว่า L55P ผลการวิจัยชี้ให้เห็นถึงศักยภาพในการก่อโรคของ TTR กลายพันธุ์ชนิดนี้

คำสำคัญ: Transthyretin, การกลายพันธุ์, โปรตีนอะมิลอยด์, ความเป็นพิษต่อเซลล์

ABSTRACT

In this research, we study a tendency of pathogenesis of a transthyretin variant (TTR variant) which was identified in Thai people. The cDNA of TTR variant was constructed from the cDNA of human TTR wild type (TTR WT) by Site-Directed Mutagenesis following by ligation into pPIC 3.5 expression vector and transformation into *Pichia pastoris*. The recombinant TTR variant was successfully synthesized by *Pichia*, and it was purified by preparative native-PAGE. In the comparison, TTR variant migrated on a non-denatured polyacrylamide gel faster than albumin in human plasma. Its molecular mass analyzed by sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) was approximately 17 kilodaltons. The ability to form fibril of TTR variant was investigated by Thioflavin T assay and found that TTR variant definitely formed fibril under the physiological condition faster than L55P and TTR WT, indicating low stability of tetrameric structure of TTR variant. Cytotoxicity test to human neuroblastoma cells (LAN-5) and determined by MTT assay showed that TTR variant had higher toxicity than L55P. The results demonstrated a potential pathogenesis of the studied TTR variant.

Key words: Transthyretin, variant, amyloid fibril, cytotoxicity

บทนำ

Transthyretin (TTR) เป็นโปรตีนที่พบในพลาสมา มีหน้าที่สำคัญในการขนส่งฮอร์โมน ไทรอยด์ และวิตามินเอ ยีน TTR อยู่บนโครโมโซมที่ 18 ประกอบด้วย 4 exon และ 3 intron โดยส่วนใหญ่โปรตีนชนิดนี้ถูกสังเคราะห์โดยเซลล์ตับแล้วหลั่งออกมาสู่พลาสมา ส่วนอวัยวะหรือเนื้อเยื่ออื่นๆ ได้แก่ choroid plexus ในสมอง และ retina สามารถผลิต TTR ได้เช่นกัน (Cavallaro *et al.*, 1990; Schreiber, 2002; Palha, 2002) โครงสร้างธรรมชาติของ TTR ประกอบด้วยสี่หน่วยย่อยที่เหมือนกัน (tetramer) โดยแต่ละหน่วยย่อยมีกรดอะมิโน 127 หน่วย สายโพลีเปปไทด์ของแต่ละหน่วยย่อยมีโครงสร้างเป็น beta-pleated sheet จำนวน 8 สาย (A ถึง H) ที่เรียงตัวในทิศทางตรงกันข้าม (DAGH และ CBEF) และมีเพียงส่วนน้อยที่เรียงตัวแบบ alpha-helix สายสั้นๆ dimer เกิดจากการยึดเหนี่ยวด้วยพันธะไฮโดรเจนและแรงดึงดูดแบบ hydrophobic ระหว่างสาย F กับ F' และ H

กับ H' ของ 2 หน่วยย่อย (' หมายถึงหน่วยย่อยอื่น) เกิดเป็นโครงสร้างที่มีความเสถียร จากนั้น dimer 2 หน่วย จับกันโดยส่วนใหญ่อาศัยแรงดึงดูดแบบ hydrophobic ซึ่งเกี่ยวข้องกับบริเวณสาย A, B, G และ H เกิดเป็นโครงสร้าง tetramer (Ferreira *et al.*, 2013) หากมีการกลายพันธุ์ของยีนที่แปลรหัสในการผลิตโปรตีน TTR จะส่งผลให้โครงสร้างของ TTR ไม่เสถียร (Terry *et al.*, 1993; Sebastiao *et al.*, 1998) ทำให้เกิดการแยกตัวของโปรตีนหน่วยย่อยแล้วรวมตัวกันในรูปแบบเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำซึ่งเรียกว่าเส้นใย amyloid (Lai *et al.*, 1996; Quintas *et al.*, 2001) เส้นใยเหล่านี้จะไปสะสมตามเนื้อเยื่อต่างๆ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเนื้อเยื่อและส่งผลกระทบโดยตรงต่อการทำงานของอวัยวะ โดยโปรตีน TTR กลายพันธุ์สามารถแยกตัวเป็นหน่วยย่อยได้ในสภาวะปกติทั่วไปของร่างกาย (Quintas *et al.*, 1997; 1999; 2001; Hou *et al.*, 2005) มีงานวิจัยหลายเรื่องที่รายงานตรงกันว่าเส้นใยสายสั้นๆ ที่ก่อตัวขึ้นระหว่าง

กระบวนการเกิด amyloid ที่สมบูรณ์เป็นรูปแบบของเส้นใยที่เป็นพิษต่อเซลล์มากที่สุด (Sousa *et al.*, 2001; 2002; Reixach *et al.*, 2004)

โดยทั่วไปการกลายพันธุ์ของยีน TTR ก่อให้เกิดโรค hereditary amyloidosis ทั้งชนิด familial amyloid polyneuropathy (FAP) และ familial amyloid cardiomyopathy (FAC) (Ikeda, 2004; Ando *et al.*, 2005) สาเหตุของ FAP ส่วนใหญ่เกิดจากการกลายพันธุ์ของยีน TTR เพียงตำแหน่งเดียว โดย L55P (กรดอะมิโนตำแหน่งที่ 55 ในสายโพลีเพปไทด์เปลี่ยนจาก leucine เป็น proline) เป็นการกลายพันธุ์ที่ก่อโรครุนแรงที่สุด (Yang *et al.*, 2003; Babbes *et al.*, 2008) ในขณะที่ V30M (กรดอะมิโนตำแหน่งที่ 30 ในสายโพลีเพปไทด์เปลี่ยนจาก valine เป็น methionine) เป็นการกลายพันธุ์ที่พบมากที่สุด (Ueda and Ando, 2014) โดยการกลายพันธุ์ดังกล่าวส่งผลต่อความเสถียรของโครงสร้างโปรตีน ก่อให้เกิดการสะสมของโปรตีน TTR ในรูปแบบของเส้นใย amyloid บริเวณระบบประสาทส่วนนอกเกิดเป็นกลุ่มโรค sensory peripheral neuropathy ที่ส่งผลต่อการรับรู้ความรู้สึกทั้งความเจ็บปวดและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ นอกจากนี้การกลายพันธุ์บางชนิด เช่น V122I (กรดอะมิโนตำแหน่งที่ 122 ในสายโพลีเพปไทด์เปลี่ยนจาก valine เป็น isoleucine) เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรค FAC (Jacobson *et al.*, 1997) โดยเส้นใย amyloid จะไปสะสมที่เนื้อเยื่อหัวใจ ส่งผลต่อจังหวะการเต้นของหัวใจและอาจทำให้หัวใจวายได้ นอกจากนี้ การกลายพันธุ์ชนิดนี้ยังทำให้เกิดโรค amyloid neuropathy ได้เช่นกัน (Carr *et al.*, 2015) ความรุนแรงและอาการของโรค TTR amyloidosis ขึ้นอยู่กับชนิดของการกลายพันธุ์และตำแหน่งที่มีการสะสมของเส้นใย amyloid การแสดงออกของอาการทางคลินิกขึ้นอยู่กับอายุ เพศ และระยะเวลาในการเกิดโรคซึ่งแตกต่างกันในแต่ละเชื้อชาติ ในคนไทยได้

มีการค้นพบการกลายพันธุ์ของยีน TTR ในหลายตำแหน่ง รวมทั้งการกลายพันธุ์ที่กรดอะมิโนตำแหน่ง 122

การศึกษาคุณลักษณะของ TTR จำเป็นต้องใช้ตัวอย่างโปรตีนปริมาณมากในระดับหนึ่ง แต่การแยกโปรตีน TTR จากผู้ป่วยเพื่อนำมาศึกษาโดยตรงเป็นสิ่งที่ยาก ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงได้ทำการผลิต TTR variant โดยอาศัยระบบการผลิตของยีสต์ (*Pichia pastoris*) *Pichia* เป็นยีสต์ที่สามารถผลิตโปรตีนโดยอาศัยการเหนี่ยวนำยีนให้แสดงออกด้วยเมทานอล (methanol) ซึ่งเป็นระบบที่มีประโยชน์ในการผลิตโปรตีนชนิดอื่นๆ ที่ไม่มีในยีสต์ โปรตีนที่ผลิตได้จะอยู่ในรูปแบบของโปรตีนถูกผสม (recombinant protein) โดยยีสต์มีระบบที่สามารถผลิตและปรับแต่งโปรตีนที่ผลิตโดยยูคาริโอตชั้นสูงได้ เช่น การเติมน้ำตาล และการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) (Patrick *et al.*, 2005) มีรายงานการผลิตโปรตีนหลายชนิดโดยใช้ยีสต์ชนิดนี้ได้แก่ โปรตีนเรืองแสงสีเขียว (green fluorescent) เอนไซม์ไลโซไซม์ (lysozyme) ในมนุษย์ และเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ในหนู (Ahmad *et al.*, 2014) เป็นต้น ในส่วนของโปรตีน TTR เคยมีการใช้ยีสต์ *P. pastoris* ในการผลิตเช่นกัน โดยสามารถผลิตโปรตีน TTR ทั้งชนิดปกติและ TTR กลายพันธุ์ (Prapunpoj *et al.*, 2002; สุภาวดี, 2549) TTR ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยยีสต์มีโครงสร้างตามธรรมชาติที่ประกอบด้วยสี่หน่วยย่อยที่เหมือนกันและมีขนาดที่เหมือนกับ TTR ที่พบในพลาสมาของคน และยังคงคุณสมบัติในการจับกับฮอร์โมนไทรอยด์และ retinol binding protein (Prapunpoj *et al.*, 2006; Leelawatwattana *et al.*, 2011)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการผลิต TTR ปกติและ TTR variant โดยอาศัยระบบการสังเคราะห์ของยีสต์

P. pastoris เพื่อใช้ในการศึกษาคุณลักษณะทั่วไป รวมถึงความสามารถในการเกิดเป็นเส้นใย amyloid ซึ่งจะมีประโยชน์ในการช่วยทำนายโอกาสที่จะก่อให้เกิดโรค TTR amyloidosis จากการกลายพันธุ์ของยีน TTR variant ที่พบในคนไทยชนิดนี้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสร้างเวกเตอร์สำหรับการสังเคราะห์โปรตีน TTR ในยีสต์ (*P. pastoris*)

1.1 การสร้าง cDNA ของ TTR variant

พลาสมิดที่มี cDNA ของ TTR variant ถูกผลิตขึ้นจาก cDNA ของ TTR ปกติ (wild type; WT) โดยอาศัยเทคนิค Site-Directed Mutagenesis โดยใช้ชุดนี้ 1 ย 1 Gene Editor *in vitro* Site-Directed Mutagenesis (Promega, USA) ด้วยขั้นตอนตามคำแนะนำจากบริษัท โดยมี cDNA ของ TTR ปกติที่อยู่ในเวกเตอร์ pGEM-T easy เป็นแม่แบบ และใช้ oligonucleotide ที่จำเพาะซึ่งออกแบบมาจาก full-length cDNA ของยีน *Homo sapiens* TTR (accession number NM_000371) คือ 5'-ACGGTCGTCGACACCAATCCC-3' สำหรับ TTR variant และ 5'-AGTCTGGAGAGCCGCATGG-3' สำหรับ L55P โดย cDNA ถูกสังเคราะห์ด้วยการทำงานของเอนไซม์ T4 DNA polymerase จากนั้นเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันโดยเอนไซม์ T4 DNA ligase ก่อนนำเวกเตอร์ดังกล่าวไปเพิ่มจำนวนโดยการนำเข้าสู่ *Escherichia coli* (BMH71-18 mutS) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ไม่มีคุณสมบัติในการตรวจสอบ DNA ที่กลายพันธุ์เลี้ยงแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มียาด้านแบคทีเรียที่จำเพาะ จากนั้นสกัดพลาสมิดจาก *E. coli* โดยใช้ชุดสกัดสำเร็จรูป Kit for plasmid purification (Geneaid, Taiwan) นำพลาสมิดที่ได้ไปตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะสองชนิด (*Bam*HI และ *Eco*RI) แล้วนำไปแยก

ใน agarose gel จากนั้นตัดเจลตำแหน่งที่มีชิ้นส่วนของยีน TTR (ขนาดประมาณ 400 bp) นำไปทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ชุดสกัดสำเร็จรูป Kit for gel extraction (Geneaid, Taiwan) แล้วนำชิ้นส่วนของ TTR ที่ได้ไปเชื่อมต่อกับเวกเตอร์ pPIC 3.5 ที่ถูกตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะสองชนิด (*Bam*HI และ *Eco*RI) ก่อนนำเวกเตอร์ pPIC 3.5 ที่มี cDNA ของ TTR ไปเพิ่มจำนวนโดยการนำเข้าสู่ *E. coli* (DH5 α) พลาสมิดที่สกัดได้ถูกนำไปตรวจสอบความถูกต้องของลำดับเบส โดยใช้ไพรเมอร์ 5' AOX (5'-GACTGGTCCAATTGACAAGC-3')

1.2 การนำ cDNA ของ TTR variant เข้าสู่ยีสต์

นำเวกเตอร์ pPIC 3.5 ที่มี cDNA ของ TTR variant ไปตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ (*Sac*I) แล้วผสม DNA ดังกล่าว 0.5 ไมโครกรัม กับยีสต์ *P. pastoris* (GS115) ที่ผ่านการเตรียมเป็น competent cells ปริมาตร 80 ไมโครลิตร แล้วนำส่วนผสมทั้งหมดไปใส่ใน cuvette ก่อนนำไปทำ electroporation โดยการกระตุ้นด้วยเครื่อง Gene Pulser (Bio-Rad, USA) ที่ความต่างศักย์ 1.5 กิโลโวลต์ ความจุไฟฟ้า 25 ไมโครฟารัด และความต้านทานไฟฟ้า 400 โอห์ม จากนั้นใส่น้ำตาล sorbital ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงไปใน cuvette ผสมกับเซลล์ยีสต์ ก่อนนำไปเลี้ยงบนอาหารแข็ง minimal dextrose medium (MD) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จนกว่าจะมีโคโลนีของยีสต์ขึ้นบนจานเพาะเชื้อ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 3 วัน

1.3 คัดเลือกโคลนสำหรับใช้ผลิตโปรตีน TTR

His⁺Mut⁺ (histidine synthesis plus, methanol utilization plus) เป็นลักษณะของโคลนที่ต้องการซึ่งสามารถคัดเลือกโดยการนำโคโลนีที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ MD หลังจากการทำ

electroporation ไปเลี้ยงบนอาหารแข็ง MD และ minimal dextrose medium (MM) เป็นเวลา 3 วัน แล้วทำการคัดเลือกโคลน His⁺Mut⁺ ซึ่งสามารถเจริญได้ดีบนอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง MD และ MM โคลนที่ได้จากการคัดเลือกถูกนำไปใช้ในการผลิตโปรตีน TTR

2. การผลิตและทำบริสุทธิ์โปรตีน TTR

นำโคลนของยีสต์ที่ได้จากการคัดเลือกไปเลี้ยงบนอาหารแข็ง yeast extract peptone dextrose (YPD) บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 วัน จากนั้นนำไปเลี้ยงในอาหาร BMGY (buffer medium containing glycerol) 5 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในเครื่องบ่มแบบเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที นาน 16-18 ชั่วโมง ย้ายยีสต์ที่อยู่ในอาหารไปเลี้ยงต่อใน BMGY 300 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในเครื่องบ่มแบบเขย่าที่ความเร็วเท่าเดิมเลี้ยงต่อไปจนวัดค่าความขุ่นของยีสต์ที่ OD₆₀₀ ได้ 3-4 หน่วย จากนั้นเก็บเซลล์ยีสต์แล้วนำไปเลี้ยงต่อในอาหาร BMMY ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในเครื่องบ่มแบบเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที และเหนี่ยวนำให้ยีสต์ผลิตโปรตีนด้วย 0.5% เมทานอลทุกวัน เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เก็บส่วนใสแล้วตรวจสอบโปรตีน TTR ที่ยีสต์หลั่งออกมาโดยการนำอาหารเลี้ยงยีสต์ไปแยกบนโพลีอะครีลาไมด์เจลในสภาพธรรมชาติ ย้อมแถบโปรตีนโดย silver nitrate โปรตีนในส่วนใสถูกนำไปทำให้เข้มข้นขึ้นโดยวิธี Ultrafiltration แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ก่อนนำโปรตีนไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค preparative native PAGE (12% resolving gel และ 4% stacking gel) โดยใช้ Prep Cell model 491 (Bio-Rad, USA) ด้วยขั้นตอนตามคำแนะนำของบริษัท

3. การตรวจสอบคุณลักษณะของโปรตีน

TTR

นำโปรตีน TTR ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ไปแยกในโพลีอะครีลาไมด์เจลในสภาพธรรมชาติเพื่อดูลักษณะการเคลื่อนที่ของโปรตีน TTR ที่ผลิตโดยยีสต์เปรียบเทียบกับ TTR ที่เตรียมได้จากพลาสมาของมนุษย์ โดยนำโปรตีนไปแยกใน native-PAGE (10% resolving gel และ 4% stacking gel) หลังจากนั้นย้อมแถบโปรตีนโดย Coomassie brilliant blue R-250

ในการหาขนาดของหน่วยย่อยโปรตีนโดยวิธี SDS-PAGE ทำได้โดยนำโปรตีน TTR แต่ละชนิดไปเจือจางในสารละลายที่ประกอบด้วย 2% SDS, 2.5% beta-mercaptoethanol แล้วนำไปต้มในน้ำเดือด 30 นาที ก่อนนำไปแยกใน SDS-PAGE (7-15% gradient resolving gel และ 4% stacking gel) จากนั้นนำเจลไปย้อมด้วย Coomassie brilliant blue แล้วตรวจสอบมวลโมเลกุลหน่วยย่อยของ TTR

การตรวจสอบโปรตีน TTR โดยวิธี Western Blot เริ่มจากการนำโปรตีนไปแยกโดยวิธี SDS-PAGE โดยเตรียมโปรตีนและใช้สภาวะในการทำ electrophoresis เช่นเดียวกับการหามวลโมเลกุลหน่วยย่อยของโปรตีนข้างต้น จากนั้นนำแผ่นเจลวางบนแผ่นเมมเบรน Polyvinylidene (PVDF) โปรตีนจากแผ่นเจลถูกย้ายไปยังเมมเบรนโดยใช้ระบบบัฟเฟอร์ Tris-Glycine (25mM Tris, 192 mM Glycine, pH 8.3) ที่มี 20% (v/v) เมทานอล ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ นาน 1 ชั่วโมง แล้วนำแผ่นเมมเบรนไปแช่ใน 5% non-fat milk ก่อนจะบ่มด้วย sheep anti-human antiserum ล้างแอนติบอดีส่วนเกินออก แล้วนำไปบ่มด้วย horseradish peroxidase-conjugated anti-sheep immunoglobulin ก่อนนำไปตรวจสอบแถบโปรตีนโดยใช้ ECL Prime

Western Blotting Detection Reagent (Amersham, USA) และทำตามคำแนะนำของบริษัท

4. การสร้างและการตรวจสอบเส้นใย amyloid ของโปรตีน TTR

นำโปรตีน TTR ปกติ TTR variant และ L55P ไปเจือจางใน phosphate buffer (pH 7.4) ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ที่มีส่วนผสมของ NaCl ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ (PBS) โดยให้ความเข้มข้นสุดท้ายของโปรตีนเป็น 4.5 ไมโครโมลาร์ แล้วนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นตรวจสอบการเกิดเป็นเส้นใยโดยการนำไปเจือจางในสารละลาย sodium phosphate (pH 7.0) ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ที่มี NaCl ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ และ Thioflavin T (ThT) 50 ไมโครโมลาร์ โดยให้ความเข้มข้นสุดท้ายของเส้นใยเป็น 0.8 ไมโครโมลาร์ จากนั้นนำไปวัดค่า fluorescence โดยใช้ Shimadzu RF-1501 spectrofluorometer ด้วยการกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 440 nm และปล่อยพลังงานออกมาในช่วงความยาวคลื่น 460-600 nm

5. ทดสอบความเป็นพิษต่อ human neuroblastoma cells (LAN-5) ของ TTR

เลี้ยง LAN-5 ในอาหาร Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM) ที่มีส่วนผสมของ fetal bovine serum 10%, penicillin 100 IU/มิลลิลิตร และ streptomycin 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ใน 96-well plate โดยจำนวนของเซลล์เริ่มต้นในแต่ละ well คือ 4.5×10^4 เซลล์ บ่มเซลล์ในตู้ที่มีความชื้น 95% คาร์บอนไดออกไซด์ 5% ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง จากนั้นเอาอาหารเลี้ยงเซลล์เก่าออก แล้วเติม DMEM ที่ไม่มีซีรัมลงไป 100 ไมโครลิตร แล้วใส่โปรตีน TTR ลงไปในแต่ละ well โดยให้ความเข้มข้นสุดท้ายของโปรตีนเป็น 2 ไมโครโมลาร์ บ่มเซลล์ตามสภาวะข้างต้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการทดสอบหาความเป็นพิษของ TTR

ต่อเซลล์โดยการทำ 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-dimethyl tetrazolium bromide (MTT) assay (Roche, Switzerland) ซึ่งมีขั้นตอนคือเติม MTT labeling reagent 10 ไมโครลิตร ลงไปในแต่ละ well แล้วบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นเติม solubilization reagent ลงไป 100 ไมโครลิตร บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 nm โดยใช้ Agilent model Synergy HT Microplate Reader จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เซลล์ที่มีชีวิตเปรียบเทียบกับ LAN-5 ที่ไม่ได้บ่มกับ TTR

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบการมีชีวิตของเซลล์โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance, ANOVA) แบบ one way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey Multiple Range Test ด้วยโปรแกรม SPSS Statistics 17.0 software ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การสร้างโคลนสำหรับการสังเคราะห์โปรตีน TTR

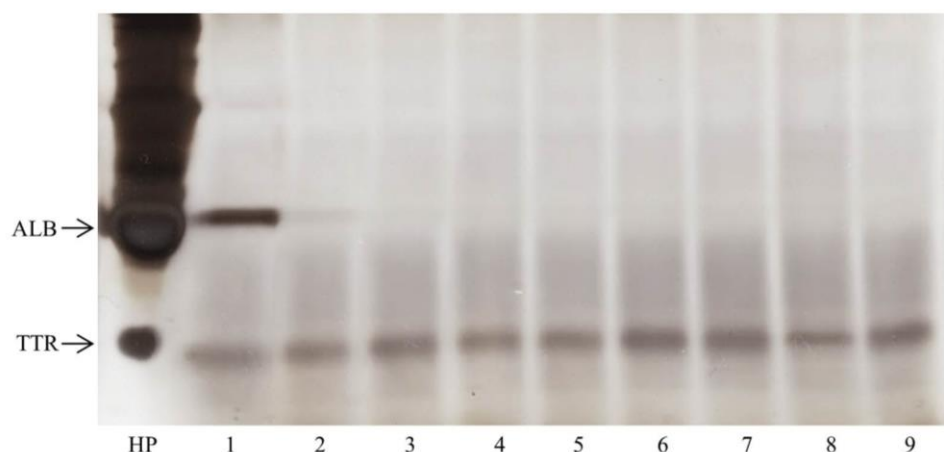
เวกเตอร์ที่มี cDNA ของ TTR variant ถูกสร้างขึ้นด้วยเทคนิค Site-Directed Mutagenesis โดยใช้ไพรเมอร์ที่จำเพาะและใช้ cDNA ของ TTR WT เป็นแม่แบบ จากนั้น ยีนของ TTR ถูกใส่เข้าไปในเวกเตอร์ pPIC 3.5 ที่ตำแหน่งระหว่างลำดับเบสของ AOX1 promoter และ terminator โดยยีน TTR ที่ตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะสามารถแทรกเข้าสู่โครโมโซมของ *Pichia* ที่ตำแหน่ง *HIS4* (mutant) โดยการนำเข้าสู่ยีสต์ด้วยเทคนิค electroporation ข้อดีคือใช้ DNA ปริมาณน้อยและสามารถนำ DNA เข้าสู่เซลล์เข้าบ้านได้โดยตรง การผลิตและหลั่ง TTR ส่วน

ใหญ่ถูกควบคุมโดย *AOXI* promoter ซึ่ง promoter ชนิดนี้มีหน้าที่ในการผลิตเอนไซม์ alcohol oxidase ในยีสต์ (Patrick *et al.*, 2005; Ahmad *et al.*, 2014) ดังนั้นเมื่อเลี้ยง *Pichia* ในอาหารที่มีเมทานอล *AOXI* จะถูกเหนี่ยวนำให้ทำงานแล้วส่งผลให้เกิดการผลิต TTR

2. การสังเคราะห์และการตรวจสอบโปรตีน TTR

โปรตีนถูกผสม TTR variant ที่สังเคราะห์โดยยีสต์ *P. pastoris* ถูกปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ (ภาพที่ 1) โดยปกติแล้วยีสต์ชนิดนี้จะหลั่งโปรตีนที่ผลิตภายในเซลล์ออกมาภายนอกน้อยมาก ดังนั้นโปรตีนส่วนใหญ่ที่ถูกปล่อยออกมาจึงเป็นโปรตีนถูกผสม (Balamurugan *et al.*, 2007) ซึ่งทำให้ง่ายต่อการทำโปรตีนให้บริสุทธิ์โดยเทคนิค preparative native-PAGE (Prapunpoj *et al.*, 2006) ข้อดีของการใช้ยีสต์ผลิตโปรตีนคือ ระบบของยีสต์มีกระบวนการ

post translation modification เช่น signal sequence processing, การเติม disulfide bond, การม้วนพับของโปรตีน และการเติมน้ำตาล (Cereghino and Cregg, 2000; Balamurugan *et al.*, 2007) และเนื่องจาก *Pichia* สามารถเจริญเติบโตในช่วง pH ตั้งแต่ 3.0 ถึง 7.0 จึงทำให้ช่วยลดความเสียหายของโปรตีนจาก extracellular protease โดยการปรับ pH ในการเลี้ยงยีสต์ให้ต่างจาก pH ที่เหมาะสมในการทำงานของ protease (Patrick *et al.*, 2005) นอกจากนี้การเติมสารตั้งต้นบางชนิด เช่น peptide component ของ yeast extract และ peptone ในอาหารยังช่วยลดผลของ protease ส่งผลให้โปรตีน TTR ที่ถูกปล่อยออกมาอยู่ในอาหารเลี้ยงยีสต์มีความเสถียรมากขึ้น (Westen *et al.*, 1999) ดังนั้นการเลี้ยงและเหนี่ยวนำ *Pichia* ให้มีการผลิตโปรตีนในอาหารที่เป็นระบบบัพเฟอร์ เช่น BMGY และ BMMY จึงสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตของโปรตีน TTR ได้



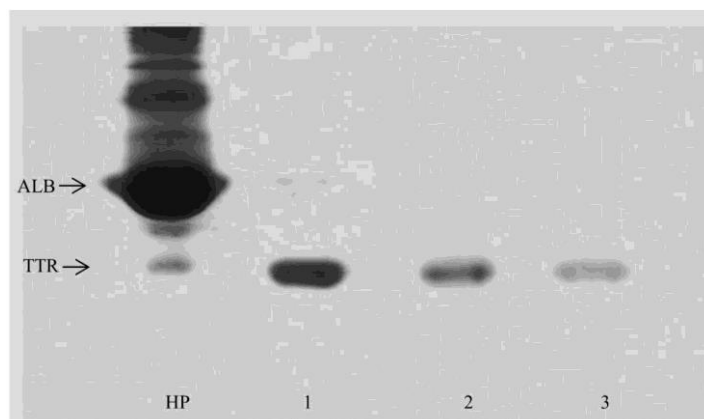
ภาพที่ 1 โปรตีน TTR variant ที่ *Pichia* สังเคราะห์และหลั่งออกมาสู่อาหารเลี้ยงเชื้อถูกนำไปวิเคราะห์โดยการทำ native-PAGE และย้อมแถบโปรตีนด้วย silver nitrate (ALB: albumin; HP: human plasma; 1-9: โปรตีน TTR ที่ยีสต์ผลิตได้จากแต่ละโคลน)

จากการทบทวนงานวิจัยพบว่า TTR ในสัตว์มีกระดูกสันหลังส่วนใหญ่เคลื่อนที่เร็วกว่าอัลบูมินระหว่างการทำ electrophoresis ที่ pH 8.6 (Duan *et al.*,

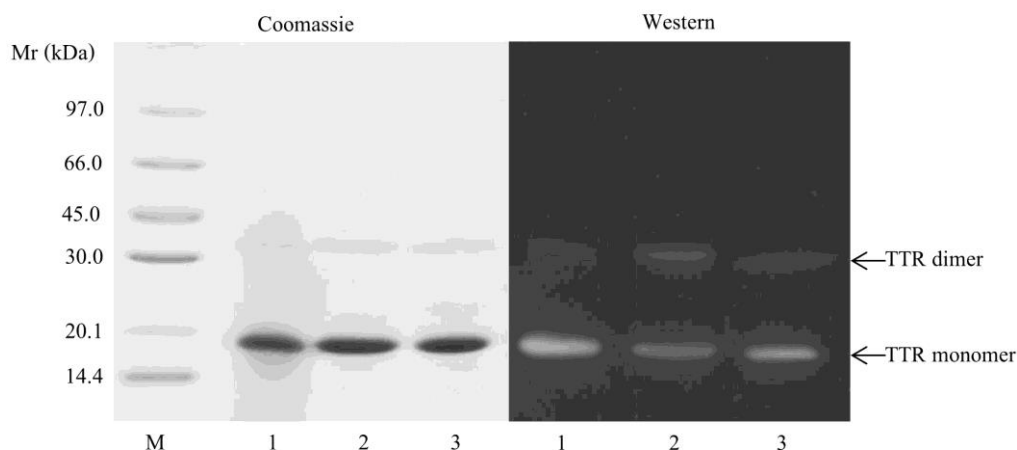
1995; Prapunpoj *et al.*, 2002) และในงานวิจัยนี้ได้ตรวจสอบลักษณะการเคลื่อนที่ของโปรตีนถูกผสม TTR ได้แก่ TTR WT, TTR variant และ L55P

เปรียบเทียบกับ TTR ในพลาสมาของคนบนโพลีอะครีลาไมด์เจลภายใต้สภาวะธรรมชาติ โปรตีน TTR ที่ผลิตโดยยีสต์มีลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนกับ TTR ในพลาสมาของคน โดยเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าอัลบูมิน ดังแสดงในภาพที่ 2 และจากการศึกษาความจำเพาะของโปรตีนโดยการทำ Western Blot

พบว่าโปรตีนสองแถบเกิดปฏิกิริยากับ anti-human TTR antibody โดยโปรตีนที่มีแถบขนาดใหญ่ น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 17 กิโลดาลตัน มีตำแหน่งตรงกับหน่วยย่อย TTR ที่ย้อมแถบโปรตีนด้วย Coomassie blue ดังแสดงในภาพที่ 3 จากผลการทดลองสามารถบ่งชี้ได้ว่าโปรตีนที่ผลิตจากยีสต์คือ TTR



ภาพที่ 2 TTR ที่ได้จากการทำบริสุทธิ์วิเคราะห์ด้วย native-PAGE และย้อมแถบโปรตีนด้วย Coomassie blue (ALB: albumin; HP: human plasma; 1: TTR WT; 2: L55P; 3: TTR variant)



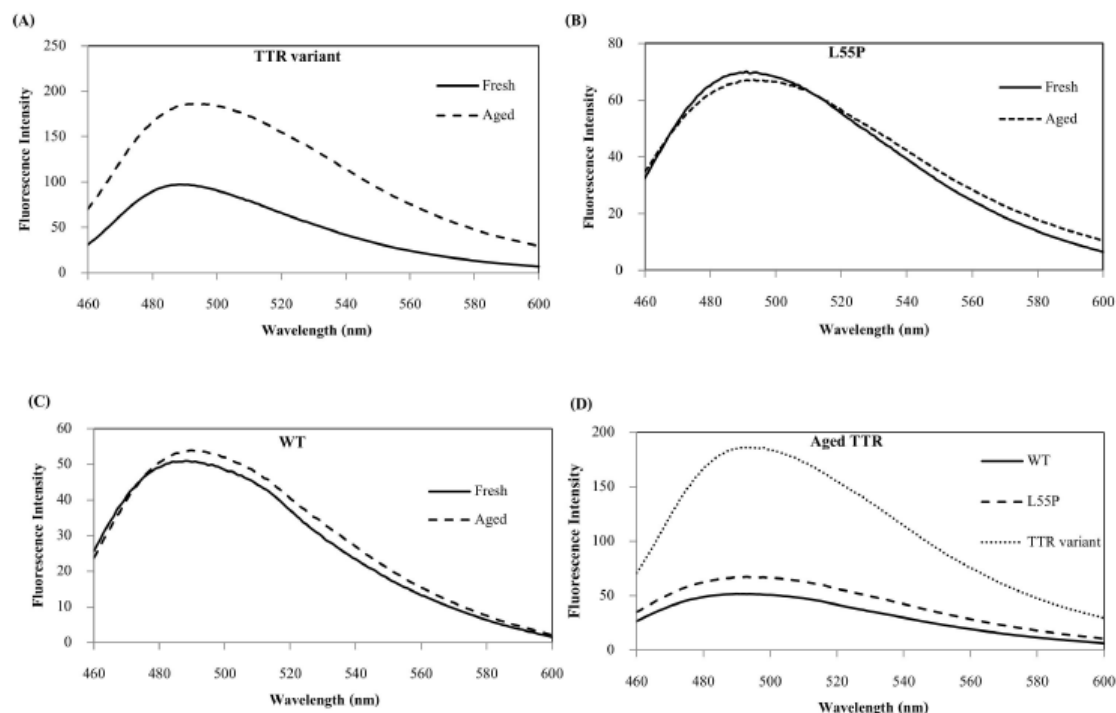
ภาพที่ 3 แถบของโปรตีน TTR บริสุทธิ์ที่วิเคราะห์โดย SDS-PAGE ย้อมด้วย Coomassie blue และตรวจสอบ immunological reactivity ด้วย TTR antiserum (M: โปรตีนมาตรฐาน; 1: TTR WT; 2: L55P; 3: TTR variant)

3. การเกิดเป็น fibril ของ TTR variant

การเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนที่ตำแหน่ง 122 ในสายโพลีเปปไทด์ของ TTR จาก valine ไปเป็นกรดอะมิโนชนิดอื่น เช่น isoleucine (V122I) มีรายงานเกี่ยวข้องกับการก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับกล้ามเนื้อหัวใจและโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท (Jacobson *et al.*, 1997; Carr *et al.*, 2015) ตรงตำแหน่งเดียวกันนี้ในสายโพลีเปปไทด์ของตัวอย่างจากคนไทย ได้พบการกลายพันธุ์ ณ ตำแหน่งดังกล่าวเช่นกัน ดังนั้นจึงคาดว่า การกลายพันธุ์ชนิดนี้มีแนวโน้มทำให้เกิดเป็นเส้นใย amyloid ที่เป็นพิษต่อเซลล์และก่อให้เกิดโรคเช่นเดียวกับ V122I

โครงสร้างของ TTR ที่ประกอบด้วยสี่หน่วยย่อยสามารถแยกตัวแล้วนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของแต่ละหน่วยย่อย แล้วส่งผลให้เกิดการรวมตัวกันเป็นเส้นใย amyloid ภายใต้อาณัติ เช่น L55P สามารถแยกตัวเป็นหน่วยย่อยแล้วเปลี่ยนแปลงเป็น amyloidogenic intermediate ซึ่งสามารถรวมตัวกันเองเป็นเส้นใย amyloid ทั้งในสถานะปกติและที่ pH ต่ำๆ (Lashuel *et al.*, 1999; Arsequell and Planas, 2012; Sant'anna *et al.*, 2013) แต่เนื่องจากโรค TTR amyloidosis ที่เกิดจาก TTR แยกตัวไปเป็น non-nature monomeric แล้วเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นใย amyloid ในสถานะ pH ปกติแล้วสะสมในเนื้อเยื่อหรืออวัยวะ (Quintas *et al.*, 1997; 1999; 2001) ดังนั้นในการศึกษาความสามารถของ TTR variant ในการสร้างเส้นใย amyloid จึงทำการทดลองในสถานะปกติและทำการเปรียบเทียบกับ

L55P และ TTR WT โดยโปรตีนเหล่านี้ถูกเจือจางใน PBS ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 4.5 ไมโครโมลาร์ และเหนี่ยวนำให้สร้าง amyloid ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และ pH 7.4 แล้ววัด amyloid ที่เกิดขึ้นโดยใช้ ThT ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป (Arsequell and Planas, 2012) โดย ThT จับกับโครงสร้าง beta-sheet ของ amyloid แล้วนำไปสู่การเพิ่ม fluorescence ของ ThT (Khurana *et al.*, 2005; Groenning, 2010) เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง TTR ที่เตรียมใหม่กับ TTR บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน พบว่า TTR variant มีอัตราการเกิดเป็นเส้นใย amyloid ที่สูงและเร็วมากในขณะที่ L55P และ TTR WT แทบไม่มีความแตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 4A, 4B และ 4C และที่ความเข้มข้นเดียวกัน TTR variant มีค่า fluorescence สูงกว่า L55P และ TTR WT อย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 4D) เนื่องจากกรดอะมิโนตำแหน่งที่ 122 อยู่ในสาย H ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดปฏิสัมพันธ์กับสาย H ของอีกหน่วยย่อยเพื่อสร้างเป็น dimer และ สาย H ของแต่ละหน่วยย่อยยังมีส่วนในการจับกับกันระหว่าง dimer เพื่อสร้างเป็น tetramer ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโน ณ ตำแหน่งดังกล่าว จึงอาจมีผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างหน่วยย่อยเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อความเสถียรของโครงสร้าง TTR (Jiang *et al.*, 2001; Ferreira *et al.*, 2013) ในการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า TTR variant มีแนวโน้มที่จะเกิดเป็น amyloid ได้เร็วและสูงกว่า L55P นั้นหมายถึงโอกาสที่จะเป็นพิษต่อเซลล์แล้วก่อให้เกิดโรคย่อมมีสูงด้วยเช่นกัน

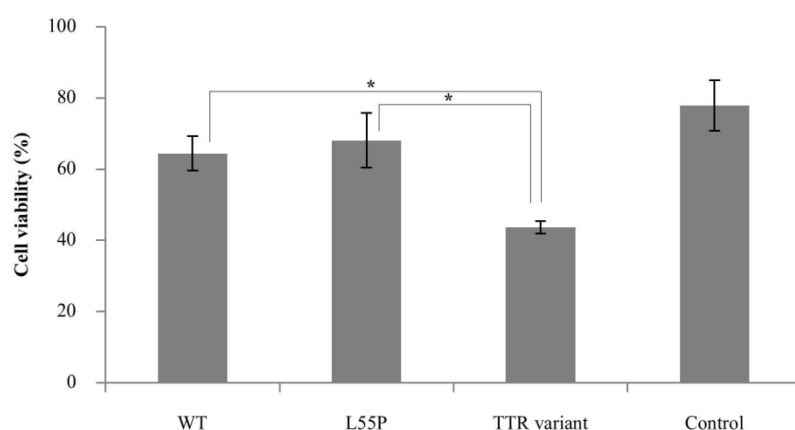


ภาพที่ 4 การเกิดเป็นเส้นใย amyloid ของโปรตีน TTR แต่ละชนิดได้แก่ TTR variant, L55P และ TTR WT (WT) หลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน (Aged) และโปรตีนที่ไม่ได้บ่ม (Fresh) ดังแสดงในรูป A, B และ C ส่วนรูป D เปรียบเทียบความสามารถของ TTR แต่ละชนิดในการเกิดเป็นเส้นใย amyloid

4. ความเป็นพิษต่อเซลล์ human neuroblastoma (LAN-5) ของ TTR variant

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบความเป็นพิษของ TTR variant ต่อ neuroblastoma (LAN-5) โดยบ่ม TTR ความเข้มข้น 2 ไมโครโมลาร์ กับ LAN-5 ที่เลี้ยงใน 96- well plate หลังจากบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจสอบเซลล์ที่มีชีวิตโดยการวัดกิจกรรมภายในเซลล์ด้วยการทำ MTT assay

ผลการทดลองพบว่าเซลล์ที่บ่มกับ TTR มีอัตราการรอดชีวิตลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (LAN-5 ที่ไม่ได้บ่มกับโปรตีน) แต่เซลล์ที่บ่มด้วย TTR variant มีการตายสูงกว่า L55P และ TTR WT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งเป็นการบ่งชี้ว่า TTR variant มีความเป็นพิษต่อเซลล์มากกว่า TTR WT และ L55P



ภาพที่ 5 ผลของ TTR ต่อการมีชีวิตของ LAN-5 หลังจากที่ถูกบ่มเซลล์ด้วย TTR แต่ละชนิดที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้ววัดการมีชีวิตของเซลล์โดย MTT assay เป็นค่าเฉลี่ยของการทำ 3 ซ้ำ (* $p < 0.05$)

ความเป็นพิษของ TTR ต่อเซลล์สัมพันธ์โดยตรงกับความเสถียรทางโครงสร้าง tetramer ที่ลดลงของสายโพลีเปปไทด์ของ TTR (Quintas *et al.*, 2001) ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับความสามารถของเส้นใย amyloid ของ TTR ในการเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบและการเกิดภาวะเครียดที่เกิดจากการออกซิเดชัน (oxidative stress) ส่งผลให้เกิดการตายของเซลล์ประสาท (Sousa and Saraiva, 2003) โดยเส้นใย amyloid เหล่านี้สามารถจับกับ lipid moiety ของเยื่อหุ้มเซลล์แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของความเสียหายต่อเซลล์เช่นกัน (Hou *et al.*, 2005) นอกจากนี้การกระตุ้นผ่านตัวรับ (receptor) ก็เป็นกลไกหนึ่งที่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ (Sousa *et al.*, 2000) Receptor for advanced glycation end product (RAGE) เป็นตัวรับที่เซลล์ประสาทสามารถผลิตได้ โดยในสภาวะปกติมีการแสดงออกน้อยแต่พบสูงขึ้นในภาวะที่เกิดโรคบางชนิด เช่น เบาหวาน การอักเสบแบบเรื้อรัง หรือโรคที่มีการทำลายของเซลล์ประสาท โดยเส้นใย amyloid เป็นลิแกนด์ชนิดหนึ่งของ RAGE (Schmidt *et al.*, 2000; Kierdorf and Fritz 2013) สำหรับเส้นใย

amyloid ของ TTR มีรายงานว่าสามารถจับกับตัวรับชนิดนี้ได้เช่นกัน โดยพบว่า RAGE มีการแสดงออกที่สูงขึ้นในเนื้อเยื่อของผู้ป่วย FAP และสามารถจับกับเส้นใย amyloid แล้วเหนี่ยวนำให้เกิดการแสดงออกของ nuclear transcription factor κ B (NF- κ B) ซึ่งไปเพิ่มการผลิตสารที่เกี่ยวข้องในกระบวนการอักเสบและไปกระตุ้นให้เกิดการตายของเซลล์ แล้วส่งผลให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบประสาทในผู้ป่วย FAP (Sousa *et al.*, 2000; 2001) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าเส้นใย amyloid ของ TTR variant อาจกระตุ้นผ่านกลไกใดกลไกหนึ่งแล้วส่งผลให้เกิดการตายของเซลล์

สรุป

จากการศึกษาสรุปได้ว่า *P. pastoris* เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตและหลังโปรตีน TTR ถูกผสมออกมาภายนอกเซลล์ซึ่งง่ายต่อการทำให้โปรตีนบริสุทธิ์ โดย TTR ที่ผลิตได้มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับ TTR ที่แยกมาจากพลาสมาของคน โดย TTR variant ที่พบในคนไทย และทำการศึกษาในครั้งนี้ มีความสามารถในการเกิดเป็นเส้นใย amyloid ที่สภาวะปกติได้เร็วกว่า L55P ซึ่งเป็น

TTR กลายพันธุ์ชนิดที่ก่อให้เกิดโรคได้เร็วและรุนแรง และยังมีความเป็นพิษต่อเซลล์ human neuroblastoma อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ได้ว่า TTR variant มีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดโรคได้เช่นเดียวกัน ความเข้าใจในรูปแบบผลกระทบของเส้นใย amyloid ต่อเซลล์และความเสถียรของโครงสร้าง tetramer ของ TTR จะช่วยในการหาวิธีป้องกันหรือรักษาโรคจาก TTR variant นี้ ดังนั้นการศึกษากลไกความเป็นพิษต่อเซลล์และความเสถียรทางโครงสร้างจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคูนทุนโครงการสร้างความเข้มแข็งสู่ความเป็นเลิศทางวิชาการ สาขาวิชาชีวเคมี ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2554 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และทุนอุดหนุนโครงการวิจัยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนการศึกษาและเงินทุนสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

สุภาวดี แก้วมีชัย. 2549. การผลิตและศึกษาคุณสมบัติของ recombinant amyloid transthyretin. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Ahmad, M., Hirz, M., Pichler, H. and Schwab, H. 2014. Protein expression in *Pichia pastoris*: recent achievements and perspective for heterologous protein production. **Applied**

Microbiology Biotechnology 98(12): 5301-5317.

Ando, Y., Nakamura, M. and Araki, S. 2005. Transthyretin-related familial amyloidotic polyneuropathy. **Archives of Neurology** 62(7): 1057-1062.

Arsequell, G. and Planas, A. 2012. Methods to evaluate the inhibition of TTR fibrillogenesis induced by small ligands. **Current Medical Chemistry** 19(1): 1-13.

Babbes, A.R.H., Powers, E.T. and Kelly, J.W. 2008. Quantification of the thermodynamically linked quaternary and tertiary structural stabilities of transthyretin and its disease-associated variants-the relationship between stability and amyloidosis. **Biochemistry** 47(26): 6969-6984.

Balamurugan, V., Reddy, G.R. and Suryanarayana, V.V.S. 2007. *Pichia pastoris*: A notable heterologous expression system for the production of foreign proteins-vaccines. **Indian Journal of Biotechnology** 6: 175-180.

Carr, A.S., Pelayo-Negro, A.L., Jaunmuktane, Z., Scalco, R.S., Hutt, D., Evans, M.R., Heally, E., Brandner, S., Holton, J., Blake, J., Whelan, C.J., Wechlekar, A.D., Gillmore, J.D., Hawkins, P.N. and Reilly, M.M. 2015. Transthyretin V122I amyloidosis with clinical and histological evidence of amyloid neuropathy and myopathy. **Neuromuscular Disorders** 25(6): 511-515.

Cavallaro, T., Martone, R.L., Dwork, A.J., Schon, E.A. and Herbert, J. 1990. The retinal

- pigment epithelium is the unique site of transthyretin synthesis in the rat eye. **Investigative Ophthalmology and Visual Science** 31(3): 497-501.
- Cereghino, J.L. and Cregg, J.M. 2000. Heterologous protein expression in the methylotrophic yeast *Pichia Pastoris*. **FEMS Microbiology Review** 24(1): 45-66.
- Duan, W., Richardson, S.J., Kohrle, J., Chang, L., Southwell, B.R., Harms, P.J., Brack, C.M., Petterson, T.M. and Schreiber, G. 1995. Binding of thyroxine to pig transthyretin, its cDNA structure, and other properties. **European Journal of Biochemistry** 230(3): 977-986.
- Ferreira, P., Anna, O.S., Varejao, N., Lima, C., Novis, S., Barbosa, R.V., Caldeira, C.M., Rumjnek, F.D., Ventura, S., Cruz, M.W. and Foguel, D. 2013. Structure-based analysis of transthyretin involved in familial amyloid cardiomyopathy. **Plos One** 8(12): 1-14.
- Groenning, M. 2010. Binding mode of Thioflavin T and other molecular probes in the context of amyloid fibrils-current status. **Journal of Chemical Biology** 3: 1-18.
- Hou, X., Richardson, S.J., Aguilar, M.I. and Small, D.H. 2005. Binding of amyloidogenic transthyretin to the plasma membrane alters membrane fluidity and induces neurotoxicity. **Biochemistry** 44(34): 11618-11627.
- Ikeda, S. 2004. Cardiac amyloidosis: Heterogenous pathogenic backgrounds. **Internal Medicine** 43(12): 1107-1114.
- Jacobson, D.R., Pastore, R.D., Yaghoubian, R., Kane, I., Gallo, G., Buck, F.S. and Buxbaum, J.N. 1997. Variant-sequence transthyretin (isoleucine 122) in late-onset cardiac amyloidosis in black Americans. **The New England Journal of Medicine** 336(7): 466-473.
- Jiang, X., Buxbaum, J.N. and Kelly, J.W. 2001. The V122I cardiomyopathy variant of transthyretin increases the velocity of rate-limiting tetramer dissociation, resulting in accelerated amyloidosis. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 98(26): 14943-14948.
- Khurana, R., Coleman, C., Zanetti, C.I., Carter, S.A., Krishna, V., Grover, R.K., Roy, R. and Sing, S. 2005. Mechanism of thioflavin T binding to amyloid fibrils. **Journal of Structure Biology** 151: 229-238.
- Kierdorf, K. and Fritz, G. 2013. RAGE regulation and signaling in inflammation and beyond. **Journal of Leukocyte Biology** 94: 55-68.
- Lai, Z., Colon, W. and Kelly, J.W. 1996. The acid-mediated denaturation pathway of transthyrtin yields a conformational intermediate that can self-assemble into amyloid. **Biochemistry** 35: 6470-6848.
- Lashuel, H.A., Wurth, C., Woo, L. and Kelly, J.W. 1999. The most pathogenic transthyretin variant, L55P, form amyloid fibrils under acidic conditions and protofilaments under physiological conditions. **Biochemistry** 38: 13560-13573.

- Leelawatwattana, L., Praphanphoj, V. and Prapunpoj, P. 2011. Effect of the N-terminal sequence on the binding affinity of transthyretin for human retinol-binding protein. **FEBS Journal** 278(18): 3337-3347.
- Palha, J.A. 2002. Transthyretin as a thyroid hormone carrier: function revisited. **Clinical Chemistry and Laboratory Medicine** 40(12): 1292-1300.
- Patrick, S.M., Fazenda, M.L., McNeil, B. and Harvey, L.M. 2005. Heterologous protein production using the *Pichia pastoris* expression system. **Yeast** 22: 249-270.
- Prapunpoj, P., Leelawatwattana, L., Schreiber, G. and Richardson, S.J. 2006. Change in structure of the N-terminal region of transthyretin produces change in affinity of transthyretin to T4 and T3. **FEBS Journal** 273(17): 4013-4023.
- Prapunpoj, P., Richardson, S.J. and Schreiber, G. 2002. Crocodile transthyretin: structure, function, and evolution. **American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology** 283(4): R885-R896.
- Quintas, A., Sariaiva, M.J.M. and Brioto, R.M.M. 1997. The amyloidogenic potential of transthyretin variants correlates with their tendency to aggregate in solution. **FEBS Letters** 418(3): 297-300.
- Quintas, A., Sariaiva, M.J.M. and Brioto, R.M.M. 1999. The tetrameric protein transthyretin dissociates to a non-native monomer in solution A NOVEL MODEL FOR AMYLOIDOGENESIS. **Journal of Biological Chemistry** 274(46): 32943-32949.
- Quintas, A., Vaz, D.C., Cardoso, I., Sariaiva, M.J.M. and Brioto, R.M.M. 2001. Tetramer dissociation and monomer partial unfolding precedes protofibril formation in amyloidogenic transthyretin variants. **Journal of Biological Chemistry** 276(29): 27207-27213.
- Reixach, N., Deechongkit, S., Jiang, X., Kelly, J.W. and Buxbaum, J.N. 2004. Tissue damage in the amyloidosis: Transthyretin monomers and nonnative oligomers are the major cytotoxic species in tissue culture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 101(9): 2817-2822.
- Sant'anna, R.O., Braga, C.A., Polikarpov, I., Ventura, S., Mauricio, L., Lima, T.R. and Foguel, D. 2013. Inhibition of human transthyretin aggregation by non-steroidal anti-inflammatory compounds: A structural and thermodynamic analysis. **International Journal of Molecular Sciences** 14(3): 5284-5311.
- Schmidt, A.M., Yan, S.D., Yan, S.F. and Stern, D.M. 2000. The biology of the receptor for advanced glycation end products and its ligands. **Biochimica et Biophysica Acta** 1498: 99-111.
- Schreiber, G. 2002. The evolution of transthyretin synthesis in the choroid plexus. **Clinical**

- Chemistry and Laboratory Medicine** 40(12): 1200-1210.
- Sebastião, M.P., Saraiva, M.J. and Damas, A.M. 1998. The crystal structure of amyloidogenic Leu55Pro transthyretin variant reveals a possible pathway for transthyretin polymerization into amyloid fibrils. **Journal of Biological Chemistry** 273(38): 24715-24722.
- Sousa, M.M., Fernandes, R., Palha, J.A., Taboada, A., Vieira, P. and Saraiva, M.J. 2002. Evidence for early cytotoxic aggregates in transgenic mice for human transthyretin Leu55Pro. **The American Journal of Pathology** 161(5): 1935-1948.
- Sousa, M.M. and Saraiva, M.J. 2003. Neurodegeneration in familial amyloid polyneuropathy: from pathology to molecular signaling. **Progress in Neurobiology** 71(5): 385-400.
- Sousa, M.M., Yan, S.D., Fernandes, R., Guimaraes, A., Stern, D. and Sariava, M.J. 2001. Familial amyloid polyneuropathy: receptor for advance glycation end products-dependent triggering of neuronal inflammatory and apoptotic pathway. **The Journal of Neuroscience** 21(19): 7576-7586.
- Sousa, M.M., Yan, S.D., Stern, D. and Sariava, M.J. 2000. Interaction of the receptor for advanced glycation end product (RAGE) with transthyretin triggers nuclear transcription factor kB (NF-kB) activation. **Laboratory Investigation** 80(7): 1101-1110.
- Terry, C., Damas, A.M., Oliveira, P., Saraiva, M.J., Alves, I., Costa, P., Sakaki, Y. and Blake, C. 1993. Structure of Met30 variant of transthyretin and its amyloidogenic implications. **The EMBO Journal** 12(2): 735-741.
- Ueda, M. and Ando, Y. 2014. Recent advances transthyretin amyloidosis therapy. **Translational Neurodegeneration** 3(19): 1-10.
- Westen, M.W.T., van der Bosch, T.J., Wind, R.D., Mooibroek, H. and de Wolf, F.A. 1999. High-yield secretion of recombinant gelatins by *Pichia pastoris*. **Yeast** 15(11): 1087-1096.
- Xiang, Q., Bi, R., Xu, M., Zhang, D.F., Tan, L., Zhang, C., Fang, Y., Yao, Y.G. 2017. Rare genetic variants of the transthyretin gene and associated with Alzheimer's disease in Han Chinese. **Molecular Neurobiology** 54(7): 5192-5200.
- Yang, M., Lei, M. and Huo, S. 2003. Why is Leu55→Pro55 transthyretin variant the most amyloidogenic: Insight from molecular dynamics simulations of transthyretin monomers. **Protein Science** 12: 1222-1

เจลาตินจากปลานิล : การกำจัดกลิ่นคาว Tilapia Gelatin : Elimination of Fishy Odor

ภัทวรินทร์ โต๊ะหมัดและ วันชัย วรวัฒน์เมธิกุล และ จิรภา หินซุย *

Patwarin Tohmadlae, Wanchai Worawattanamateekul and Jirapa Hinsui *

Received: 4 October 2018, Revised: 24 December 2018, Accepted: 26 December 2018

บทคัดย่อ

ปลานิลแท้เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากปลาน้ำจืดที่ประเทศไทยส่งออกมากที่สุดจึงมีเศษเหลือที่เกิดจากกระบวนการผลิตจำนวนมาก ได้แก่ หัวปลา ก้างปลา เลือด ใส้ปลา หนังและเกล็ดปลา ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการแปรรูปสัตว์น้ำ เช่น คอลลาเจนและเจลาติน เป็นต้น หนังปลานิลที่มีปริมาณมากเพียงพอจะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเจลาตินเชิงอุตสาหกรรมได้ แต่เนื่องจากหนังปลานิลมีกลิ่นคาวมากจึงเป็นอุปสรรคในการผลิตเชิงการค้า วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อลดกลิ่นคาวออกจากหนังปลานิลที่ใช้ในการสกัดเจลาติน โดยการเตรียมตัวอย่างหนังปลานิลจะถูกล้างด้วยสารเคมี 5 การทดลอง ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟูริกและกรดซิตริก ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน แล้วล้างหนังปลาจนน้ำล้างมี pH เป็นกลาง จึงนำมาสกัดเจลาตินด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมารองและนำส่วนใสไประเหยน้ำออกที่อุณหภูมิ 50 °C ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ผลผลิตสุทธิที่ได้ ค่าความแข็งแรงของเจล วิเคราะห์ปริมาณสารระเหยที่ได้ด้วยเครื่อง GC/MS และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1.5% โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.2% กรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้น 0.2% และกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 1% ทำให้เจลาตินที่สกัดได้มีปริมาณผลผลิตสูงสุด (20.37±0.64%) มีค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุด (1,811.73±8.80 g) เจลาตินที่ได้ใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นคาวและได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบจึงทำให้เจลาตินจากหนังปลานิลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอางและเภสัชกรรมได้

คำสำคัญ: กลิ่นคาวปลา, เจลาตินจากปลา, หนังปลานิล

ABSTRACT

Tilapia fillets are the main processed freshwater fish export from Thailand. Many by-products are created during processing, including head, bone, blood, intestine, skin and scales. These can be used as raw materials for the production of fish oil, fish meal, protein concentrate, calcium, collagen and gelatin. Nile tilapia skin can be used for industrial gelatin production, and it is available in large quantities. However, because of its strong fishy odor, it is not acceptable for this application. The objective of this study was to remove fishy odor from Nile tilapia skin for use in gelatin extraction. Nile tilapia skin was treated by soaking in five different combinations of NaCl, NaOH, sulfuric acid and citric acid, and then rinsed with tap water until neutral pH of the wash water was obtained. Gelatin from Nile tilapia skin was extracted with water at 50 °C for 3 h, then the filtered solution was evaporated at 50 °C before oven drying at 50 °C for 16 h. The product was analyzed for yield, gel strength and volatile compounds with GC/MS and evaluated for sensory characteristics. The pretreatment of 1.5% NaCl, 0.2% NaOH, 0.2% sulfuric acid and 1% citric acid gave high yield ($20.37 \pm 0.64\%$) and gel strength ($1,811.73 \pm 8.80$ g) of clear, colorless and odorless gelatin. Nile tilapia skin gelatin was accepted by panelists. Then gelatin from Nile tilapia skin would be suitable for use by food, cosmetics and pharmaceutical industries.

Key words: fishy odor, fish gelatin, Nile tilapia skin

INTRODUCTION

Thailand exports tilapia fillets, as the main freshwater fish species, to the Middle East and USA. Tilapia has white flesh which contains high protein. In 2016, Thailand's tilapia production of 164,630 tons was mainly used for domestic consumption, with 3,108.7 tons exported as frozen whole fish (73.7%), frozen fish fillets (25.7%) and other products (0.6%). Tilapia fillet processing creates 800 tons of by-product per year; 33% head, 16% bone, 8% intestine, and 7% skin and scale of fish. These remains consist of protein, minerals and other nutrients (FAO, 2017). They can be processed into many kinds of products such as gelatin, calcium, chitin, chitosan and protein hydrolysate. Tilapia skin can be used to produce collagen (Waswa *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2018; Liao *et al.*, 2018; Yan and Wang, 2018) or gelatin (Jayathilakan *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2016; Pang *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2018). However, gelatin extraction from tilapia skin is not done commercially because of fishy odors of the raw materials. This remains a major problem in commercial production waiting for a solution. Reduction of fishy odor from salmon skin is

possible by soaking in 1% NaCl for 5 minutes, followed by washing with tap water and rinsing in hot water at 50 °C for 1 minute. The treated fish skin has a slight fishy odor (Tiwtha and Usawakesmanee, 2012). The objective of this study was to remove fishy odor from tilapia skin for use in gelatin extraction.

MATERIALS AND METHODS

Materials

Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) skins were obtained from Grobest Marine Co., Ltd., Bangkok, Thailand. The skins (10 kg) were packed in polyethylene bags and kept in ice with a fish skin to ice ratio of 1:2 (w/w). The material was transported to the Department of Fishery Products, Kasetsart University, Bangkok within 2 h. Skins were prepared by trimming off remaining meat. The skin was then cut into small pieces (1.0×1.0 cm²) and placed in polyethylene bags (1 kg skin/bag) and stored at -20 °C until use.

Gelatin Extraction

Nile tilapia skin was soaked in five different solutions prior to gelatin extraction, at a skin: solution ratio of 1:4 (w/v) and shaken at a speed of 350 rpm at

room temperature. Nile tilapia skin was then rinsed with tap water until a neutral pH of wash water was obtained before extraction of gelatin with 50 °C water for 3 h. Finally, filtered solution was evaporated at 50 °C, followed by oven drying at 50 °C for 16 h. A control (treatment 1) was not soaked in any chemicals, but was extracted in water in the same way as the other treatments.

For the remaining five treatments, fish skin was soaked in the following solutions for the time indicated in parentheses: treatment 2-1.5% NaCl (1 h); treatment 3-0.2% NaOH, 0.2% H₂SO₄ and 1% citric acid (2 h) (according to Grossman and Ramat, 1992); treatment 4-1.5% NaCl, 0.2% NaOH, 0.2% H₂SO₄ and 1% citric acid (2 h); treatment 5-1.5% NaCl, 0.2% NaOH and 0.2% H₂SO₄ (2 h); treatment 6-1.5% NaCl, 0.2% NaOH and 1% citric acid (2 h). For treatments 3-6, solutions were changed after the first hour.

Yield of extracted gelatin

Yield of extracted gelatin was calculated from the formula:

Yield (%) = (dried weight of gelatin/wet weight of skin) × 100

Determination of gel strength

Gel strength was determined using a Texture analyzer (TA.XT Plus, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, England). Dried gelatin (6.67%, w/v) was mixed with distilled water at 65 °C for 15 min until completely dissolved. The gelatin solution was added to glass measuring bottles and then kept at 4 °C for 12 h. The dimensions of the sample were 6 cm in diameter and 3.5 cm in height. The maximum force (gram) was recorded when the penetration distance reached 4 mm. The speed of the plunger was 0.5 mm/s. Gel strength of tilapia skin gelatin was compared with commercial fish gelatin.

SDS-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE)

Protein patterns of gelatin were determined by sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-

PAGE), with 7.5% separating gel and 4% stacking gel according to the method described by Laemmli (1970). A 50% (w/v) gelatin solution was mixed with the buffer (0.5 M Tris-HCl, pH 6.8 containing 10% SDS (w/v), glycerol, 0.5% bromophenol blue, 2-mercaptoethanol) at a ratio of 1:1 (v/v). The mixtures were incubated at 90 °C for 30 minutes and centrifuged at 6,000xg to remove undissolved debris. The loading volume of each sample was 10 µl per well. Electrophoresis was performed at a constant voltage of 180 V by using Mini-Protein®II Electrophoresis cell (Bio-Rad Laboratories Ltd, Thailand). After electrophoresis, the gel was stained with 0.1% (w/v) Coomassie blue R-250 in 40% (v/v) methanol, 10% (v/v) acetic acid and 50% (v/v) water, and then de-stained with 40% (v/v) methanol, 10% (v/v) acetic acid and 50% (v/v) water. Precision plus protein standard (New England BioLabs Inc., USA) was used to estimate the molecular weight of protein.

Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analysis

Gelatin was mixed (6.67%, w/v) with distilled water at 65 °C for 15 min until completely dissolved. The gelatin solution was added to 5 ml cap vials (head space screw-tap 20 ml clear vials). GC-MS analysis was performed using an Agilent Technologies 7890B coupled with Agilent Technologies 5977A mass-selective detector equipped with a splitless injector and coupled with a quadrupole mass detector (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, England). Compounds were separated on a HP-Innowax capillary column (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, England) (30 m × 0.25 mm ID, with film thickness of 0.25 mm). The GC oven temperature program was 40 °C for 3 min followed by an increase of 10 °C/min to a final temperature of 230 °C and holding for 3 min. Helium was employed as a carrier gas, with a constant flow of 1 mL/min. The injector was operated in the splitless mode and its temperature was set at 250 °C. Transfer line temperature was maintained at 270 °C. The quadrupole mass spectrometer was operated in the electron

ionization (EI) mode and source temperature was set at 250 °C. Initially, full scan mode data was acquired to determine appropriate masses for the later acquisition in scan mode under the following conditions: mass range 20-450 amu and scan rate 0.220 s/scan. All the analyses were performed with ionization energy of 70 eV, filament emission current at 150 mA, and the electron multiplier voltage at 450 V (Sukkwai *et al.*, 2010).

Sensory evaluation

Gelatin gel was prepared as above (6.67%, w/v). Sensory evaluation of fishy odor intensity of the gelatin gel was carried out according to Sae-leaw and Benjakul (2015) using 50 trained panelists from the Department of Fishery products, Kasetsart University with the ages of 23-30. The panelists were asked to open the sealable cup and sniff the head space above the samples in order to determine the intensity of fishy odor, using a just about right scale, in which a score of 3 is ideal, meaning no fishy odors or other odors. A score of 1 indicates no fishy odor, but other odors (such as chlorinated water) are present, while 5 indicates extremely strong fishy odor. Panelists judged the intensity of color using a just about right scale from 1 (opaque) to 5 (strong yellow), with 3 being ideal.

Statistical analysis

All experiments were run in triplicate with completely randomized design (CRD). Sensory evaluation used randomized complete block design (RCBD). Data were subjected to one-way analysis of variance (ANOVA) and mean comparisons were carried out by using Duncan's multiple range test. Statistical tests were done using the SPSS computer

program (SPSS Statistical Software Inc., version 23, Chicago, IL, USA). Differences between means were tested by the Duncan's multiple range test. The data were presented as mean $\pm$ standard deviation. A probability value of $p < 0.05$ was considered statistically significant.

RESULTS AND DISCUSSION

Yield of extracted gelatin

Gelatin preparations were performed under identical conditions with the exception of the treatment solutions. The extracted yields were 1.95 ± 0.19 to $21.03 \pm 0.55\%$ and the lowest yield was obtained from treatment 1 (control), while the highest yield was obtained from treatment 4 (1.5% NaCl, 0.2% NaOH, 0.2% H₂SO₄ and 1% citric acid). The gelatin yields from each treatment were different, as shown in Table 1. The treatment of tilapia skin with alkaline/acid removes soluble proteins, lipids and other undesired components, and disrupts some cross links of collagen molecules. The yields of tilapia gelatin in this study are similar to other reports which ranged from 17.63-21.93% (Grossman and Ramat, 1992; Zeng *et al.*, 2010; Nui *et al.*, 2013), but are higher than Jamilah *et al.* (2011) who used different treatment conditions (chemicals, time, temperature) from this study. The use of NaCl and alkaline/acid increased the yield of extracted gelatin compared to the control. The NaCl helped to remove blood and mucus (Barve and Gardre, 2012), while the alkaline/acid removed non-collagen substances, such as elastin, albumin, mucopoly saccharide and affected the arrangement of new molecular structure.

Table 1 Characteristics of gelatin produced from tilapia skin, following treatment with various solutions.

Treatment	Soaking solution	Yield (%) [*]	Gel strength (g) [*]	Methoxy phenyl oxime (%) [*]	Remarks
1	None	1.95±0.19 ^c	0.00±0.00	22.17 ^a	Control
2	NaCl	18.79±0.23 ^b	541.87±6.74 ^d	20.64 ^a	
3	NaOH+H ₂ SO ₄ +citric acid	21.03±0.55 ^a	856.07±5.30 ^c	23.32 ^a	Grossman and Ramat (1992)
4	NaCl+NaOH+H ₂ SO ₄ +citric acid	20.37±0.64 ^a	1811.73±8.80 ^a	8.41 ^c	
5	NaCl+NaOH+H ₂ SO ₄	20.02±0.64 ^a	1482.61±2.13 ^b	15.72 ^b	
6	NaCl+NaOH+citric acid	19.96±0.64 ^{ab}	1504.61±1.63 ^b	14.11 ^b	
commercial gelatin	None	-	964.50±7.92 ^c	-	

^{*} Values presented as mean ± SD from triplicate determinations.

^{a-d} Different letters in the same column indicate significant difference ($p < 0.05$).

Determination of gel strength

Gel strength is one of the most important functional properties of gelatin. Gel strength is a function of complex interactions determined by amino acid composition and the ratio of α -chains to β -components. In this experiment, gel strength of commercial fish gelatin was 964.50±7.92 g, which is higher than Grossman and Ramat (1992), although it is not known if the commercial gelatin used in that study was identical to the commercial gelatin in this study, or if the gelatins were prepared in the same way. Control treatment gelatin remained in solution, and therefore gel strength could not be determined. Gel strength of treatment 4 was highest among the experimental treatments and higher than commercial fish gelatin.

There were significant differences in gel strengths among all treatments, except for treatments 5 and 6 (Table 1). Differences could be due to intrinsic characteristics, such as molecular weight distribution and amino acid composition, as well as the type of extraction treatment. High gel strength of extracted gelatin may be due to the possible high content of the amino acids proline and hydroxyproline, which could result in massy organized triple helical structures. Proline and hydroxyproline are thought to be responsible for the stability of the triple helix of collagen structure through hydrogen bonding between free water molecules and hydroxyl groups of the hydroxyproline in gelatin (Fernandez-Diaz *et al.*, 2001).

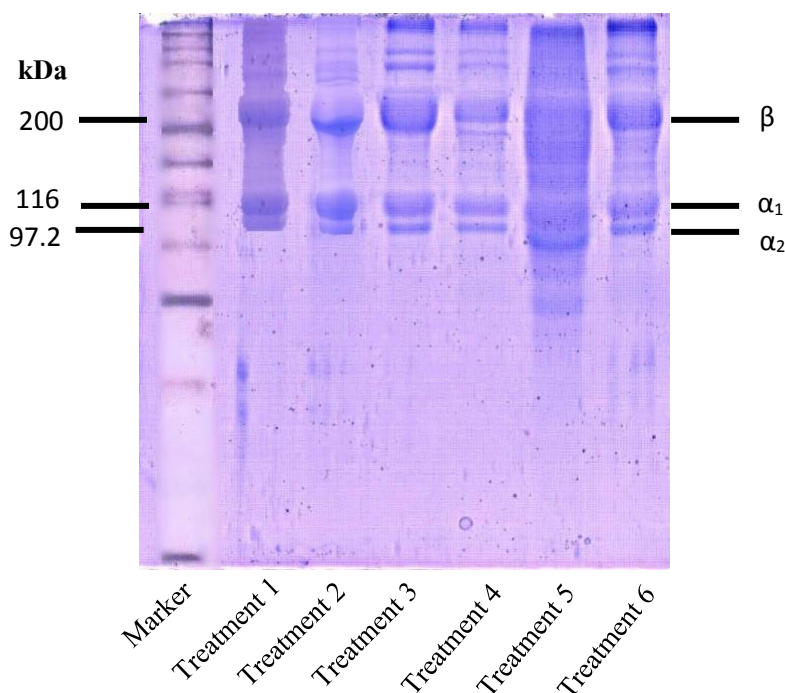


Figure 1 Protein MW distributions of gelatin from tilapia skin extracted following treatment with different solutions, and commercial gelatin.

SDS-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE)

Protein patterns of tilapia skin gelatin are shown in Fig. 1. All gelatins contained α -chains as the major components. β -component (α -chain dimers) were also noticeable. Tilapia skin gelatin contained α_1 and α_2 chains and was characterized as type I protein (Benjakul *et al.*, 2010; Sukkwai *et al.*, 2010). During gelatin extraction, the conversion of collagen to gelatin with varying molecular mass takes place, due to the cleavage of inter-chain cross-links (Zhou *et al.*, 2006). Degradation of major components into lower molecular weight fragments or shorter chains might result in lowering gelatin's gel strength and viscoelastic properties.

Fishy odor analysis

The volume of methoxy phenyl oxime remaining in the gelatin after treatments of the tilapia skin (Area normalized (%)) was analyzed by GC-MS, with results shown in Table 1. A high level of methoxy phenyl oxime produces a strong fishy odor. Treatment 2 (1.5% NaCl) had

lower levels of this compound compared with the control (treatment 1), although the difference was not significant. Methoxy phenyl oxime in gelatin also decreased when acid was incorporated during gelatin extraction (treatments 4, 5 and 6). The formation of secondary lipid oxidation products is the main contributor to undesirable offensive fishy odor in fish skin (Sae-leaw *et al.*, 2013; Sae-leaw and Benjakul, 2014). The fishy odor in skin, which contained high levels of poly unsaturated fatty acids, was mediated by lipid autoxidation and lipoxygenase induced oxidation. The results suggested that the use of NaCl in combination with acid prior to gelatin extraction was a promising means to minimize the formation of fishy odor in the gelatin. Meanwhile, the treatment that did not include any NaCl (treatment 3) actually had higher levels of methoxy phenyl oxime than the control. In the treatment 4, methoxy phenyl oxime was reduced by more than 2 times compared to the control and was lower than all other treatments ($p < 0.05$). Thus, treatment with NaCl or alkaline/acid could not reduce fishy

odor, but a combination of NaCl and alkaline/acid were more effective. Washing fish skin with salt solution has been reported to be an important process to remove lipids and undesirable materials such as blood, pigment and odorous substances (Kristinsson *et al.*, 2005). NaOH removes non-collagen substances, such as elastin, albumin and mucopoly saccharide, and plays a role in the arrangement of new structure. Citric acid was reported to help in removal of membrane lipids (Liang and Hultin, 2005) and could act as a metal chelator (Choe and Min, 2009). Citric acid disconnects the linkages between cytoskeletal proteins and phospholipids, linked together via electrostatic interaction (Liang and Hultin, 2005). Moreover, citric acid plays a role as a binding agent for the basic amino acid residues of cytoskeletal proteins, thereby competing with the acidic phospholipids of membranes (Hrynets *et al.*, 2011).

Sensory evaluation

Results of the sensory evaluation of gelatin from tilapia skin were similar to the results from GC-MS (Table 2). The panelists detected significant differences in fishy odor and color of gelatin among treatments. Treatment 1 (control) could not be tested, as the gelatin remained in solution. Commercial gelatin and treatment 3 received significantly higher scores than the other treatments, and were found to have strong fishy odor to extremely strong odor. The remaining treatments received lower scores, indicating light odor to moderate odor. Acceptability scores for treatment 4 were higher than commercial fish gelatin. These results are in accordance with Kawahara and Tanihata (2005), who showed that washing Atlantic cod fillets with 1% w/v of sodium chloride solution reduced fishy odor, and that treating with a combination of sodium chloride and sodium bicarbonate could improve flavor and texture, and reduced formation of volatile lipid compounds (Magnus and Turid, 2012).

Table 2 Sensory evaluation scores for gelatin extracted from tilapia skin.

Characteristic	Treatment*						Commercial gelatin
	1	2	3	4	5	6	
Color ¹	-	4.37±0.21 ^b	5.00±0.04 ^c	3.31±0.07 ^a	3.20±0.07 ^a	3.26±0.07 ^a	5.00±0.07 ^c
Odor ²	-	4.04±0.08 ^{ab}	5.00±0.17 ^c	3.30±0.11 ^a	4.16±0.11 ^b	3.70±0.11 ^a	5.00±0.11 ^c
Acceptability ³	-	1.00±0.00 ^c	1.00±0.00 ^c	2.00±0.00 ^a	1.60±0.07 ^b	1.84±0.04 ^b	1.00±0.00 ^c

* Values presented as mean ± SD from triplicate determinations.

^{a-c} Different letters in the same row indicate significant difference ($p < 0.05$).

¹JAR scale: 1 = opaque, 5 = strong yellow.

²JAR scale: 1 = non-fishy odors, 3 = no odors, 5 = strong fishy odors.

³A score of 1 indicates rejection, 2 indicates acceptance.

CONCLUSION

The best treatment of tilapia skin prior to gelatin extraction was using a solution of 1.5% NaCl, 0.2% NaOH, 0.2% H₂SO₄ and 1% citric acid. This produced a gelatin with a yield of 20.37±0.64%, high

gel strength (1811.73±8.80 g) and was characterized to be type I protein. The treatment also reduced the level of volatile compounds in the extracted gelatin and improved gel strength. The properties of this gelatin produced from tilapia skin

should be suitable for applications in the cosmetic, biomedical, pharmaceutical and food industries.

REFERENCES

- Barve, S. and Gardre, A. 2012. Method of production gelatin from fish. The United States of America. IP WO 2012/160575 A2, 29 November 2012.
- Benjakul, S., Thiansilakul, Y., Visessanguan, W., Roytrakul, S., Kishimura, H., Prodpran, T. and Meesane, J. 2010. Extraction and characterisation of pepsin-solubilised collagens from the skin of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus* and *Priacanthus macracanthus*). **Journal of Science and Food Agriculture** 90(1): 132-138.
- Chen, J., Li, L., Yi, R., Xu, N., Gao, R. and Hong, B. 2016. Extraction and characterization of acid-soluble collagen from scales and skin of tilapia (*Oreochromis niloticus*). **LWT - Food Science and Technology** 66: 453-459.
- Choe, E. and Min, D.B. 2009. Mechanisms of antioxidants in the oxidation of foods. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety** 8: 345-358.
- FAO. 2017. **Fisheries and Aquaculture Department, Thailand**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fernandez-Diaz, M.D., Montero, P. and Gomez-Guillen, M.C. 2001. Gel properties of collagens from skins of cod (*Gadus morhua*) and hake (*Merluccius merluccius*) and their modification by the coenhancers magnesium sulphate, glycerol and transglutaminase. **Food Chemistry** 74(2): 161-167.
- Grossman, S. and Ramat, G. 1992. Process for the production of gelatin from fish skins. The United States of America. IP US005093474A, 3 March 1992.
- Hrynets, Y., Omana, D.A., Xu, Y. and Betti, M. 2011. Impact of citric acid and calcium ions on acid solubilization of mechanically separated turkey meat: effect on lipid and pigment content. **Poultry Science** 90: 458-466.
- Jamilah, B., Tan, K.W., Hartina, M.R.U. and Azizah, A. 2011. Gelatins from three cultured freshwater fish skins obtained by liming process. **Food Hydrocolloids** 25(5): 1256-1260.
- Jayathilakan, K., Sultana, K., Radhakrishna, K. and Bawa, A.S. 2012. Utilization of by-products and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: A review. **Journal of Food Science & Technology** 49(3): 278-293.
- Kawahara, H. and Tanihata, T. 2005. Method for Producing Fish Gelatin Peptide. The United States of America. IP 2005/0124034 A1, 9 June 2005.
- Kristinsson, H.G., Theodoure, A.E., Demir, N. and Ingadottir, B. 2005. A comparative study between acid- and alkali-aided processing and surimi processing for the recovery of proteins from channel catfish muscle. **Journal of Food Science & Technology** 70(4): 298-306.
- Laemmli, U.K. 1970. Cleavage of structural proteins during assembly of head of Bacteriophage T4. **Nature** 227: 680-685.
- Liang, Y. and Hultin, H.O. 2005. Separation of membranes from acid-solubilized fish muscle proteins with the aid of calcium ions and organic acids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 53: 3008-3016.
- Li, J., Wang, M., Qiao, Y., Tian, Y., Liu, J., Qin, S. and Wu, W. 2018. Extraction and characterization of type I collagen from skin of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and its potential application in biomedical scaffold material for tissue

- engineering. **Process Biochemistry** 74: 1-8.
- Liao, W., Guanghua, X., Li, Y., Shen, X.R. and Li, C. 2018. Comparison of characteristics and fibril-forming ability of skin collagen from barramundi (*Lates calcarifer*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). **International Journal of Biological Macromolecules** 107: 549-559.
- Magnus, A. and Turid, M. 2012. Brines added sodium bicarbonate improve liquid retention and sensory attributes of lightly salted Atlantic cod. **Journal of Food Science and Technology** 46: 196-202.
- Nui, L., Zhou, X., Yuan, C., Bai, Y., Lai, K., Yang, F. and Huang, Y. 2013. Characterization of tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin gelatin extracted with alkaline and different acid pretreatments. **Food Hydrocolloids** 33(2): 336-341.
- Pang, Z., Deeth, H., Yang, H., Prakash, S. and Bansal, N. 2017. Evaluation of tilapia skin gelatin as a mammalian gelatin replacer in acid milk gels and low-fat stirred yogurt. **Journal of Dairy Science** 100(5): 3436-3447.
- Sae-leaw, T., Benjakul, S., Gokoglu, N. and Nalinanon, S. 2013. Changes in lipids and fishy odor development in skin from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) stored in ice. **Food Chemistry** 141: 2466-2472.
- Sae-leaw, T. and Benjakul, S. 2014. Fatty acid composition, lipid oxidation, and fishy odor development in seabass (*Lates calcarifer*) skin during iced storage. **European Journal of Lipid Science and Technology** 116: 885-894.
- Sae-leaw, T. and Benjakul, S. 2015. Physico-chemical properties and fishy odor of gelatin from seabass (*lates calcarifer*) skin stored in ice. **Food Biochem** (10): 59-68.
- Santos, J.P., Esquereo, V.M., Moura, C.M. and Pinto, L.A.A. 2018. Crosslinking agents effect on gelatins from carp and tilapia skins and in their biopolymeric films. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects** 539: 184-191.
- Sukkwai, S., Kijroongrojana, K. and Benjakul, S. 2010. Extraction of gelatin from bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) skin for gelatin hydrolysate production. **International of Food Research Journal** 18(3): 1129-1134.
- Tiwtha, O. and Usawakesmanee, W. 2012. The reduction of fishy odor in salmon skin by washing with salt solution. **Journal of Mae Fah Luang University** Special volume international conference: 1-9.
- Waswa, J., Tang, J. and Gu, X. 2007. Utilization of fish processing by-products in the gelatin Industry. **Food Reviews International** 23(2): 159-174.
- Yan, M. and Wang, X. 2018. Study on the kinetic self-assembly of type I collagen from tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin using the fluorescence probe thioflavin T. **Spectrochimical Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy** 203: 342-347.
- Zeng, S., Yan, X., Cao, W., Hong, P., Zhang, C. and Li, L. 2010. Optimisation of extraction conditions and characteristics of skin gelatin from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **International Journal of Food Science and Technological** (45): 1807-1813.
- Zhang, Q., Wang, Q., Li, S., Lu, J., Jiang, S., Regenstein, J.M. and Lin, L. 2016. Comparison of collagen and gelatin extracted from the skins of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Food Bioscience** 13: 41-48.
- Zhou, P., Mulvaney, S.J. and Regenstein, J.M. 2006. Properties of Alaska Pollock skin gelatin: A comparison

with tilapia and pork skin gelatins.
Journal of Food Science 71: 313-
321.

ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากผลากรองในการควบคุมเพลี้ยอ่อนถั่ว

Efficiency of Crude Extract from *Lantana camara* L. on Controlling Cowpea Aphid, *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae)

ณัฐพงศ์ เมธินธรังสรรค์* และ ดวงเดือน วัฒนารักษ์

Nathapong Matintarangsarn* and Duangduan Wattanuruk

Received: 21 November 2018, Revised: 17 December 2018, Accepted: 10 June 2019

บทคัดย่อ

การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากผลากรองที่สกัดด้วยเอทานอล ในการเป็นสารไล่ สารฆ่า และสารยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนถั่ว ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.3125, 0.625, 0.125, 0.25 และ 5% (w/v) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) ความเข้มข้นละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการชีววิทยา พบว่าประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากผลากรองมีผลต่อการไล่ การฆ่า และการยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนถั่วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ที่ความเข้มข้น 5% มีเปอร์เซ็นต์ในการไล่และการตายของเพลี้ยอ่อนถั่วสูงสุด 100% ค่า LC_{50} มีค่าเท่ากับ 1.25 ที่เวลา 24 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม การยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนถั่วพบว่าจำนวนครั้งในการแทงดูดใบถั่วฝักยาวมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบจากผลากรองสูงขึ้น ที่ความเข้มข้น 5% จำนวนครั้งในการแทงดูดใบถั่วฝักยาวมากที่สุดเท่ากับ 9.40 ± 0.74 ครั้ง/นาทีก ในขณะที่ชุดควบคุมเท่ากับ 1.20 ± 0.48 ครั้ง/นาทีก ระยะเวลาในการแทงดูดอาหารน้อยลง เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบจากผลากรองสูงขึ้น ที่ความเข้มข้น 5% ระยะเวลาในการแทงดูดอาหารของเพลี้ยอ่อนน้อยสุดเท่ากับ 0.14 ± 0.26 นาที ในขณะที่ชุดควบคุมเท่ากับ 8.64 ± 1.03 นาที

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพ, สารสกัดหยาบ, ผลากรอง, เพลี้ยอ่อนถั่ว

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Phahon Yothin Road, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 13180, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, email): Entomology2552@gmail.com

ABSTRACT

The repellent, insecticidal and anti-feedant activity of ethanol extracts from hedge flower extract, *Lantana camara* L. were tested on cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch. The various concentrations of crude extract from hedge flower of 0, 0.3125, 0.625, 0.125, 0.25 and 5% (w/v) were applied. The treatments were arranged in a completely randomized design (CRD) and replicated 5 times on 10 adults. The experiment was conducted at biology laboratory. The leaf dipping method was applied with different concentrations of hedge flower extract (0, 0.3125, 0.625, 0.125, 0.25 and 5% (w/v)). The results indicated that the repellent, insecticidal and anti-feedant activity of hedge flower extract on cowpea aphid were significantly effective ($p < 0.05$) when compared with the control. At 5% of hedge flower extract, the percent of repellent and the percent of mortality were the highest at 100% and LC_{50} value was 1.25 at 24 hours when compared with the control. For the anti-feedant activity, the number of probing was higher when the concentration was higher. The number of probing was the highest (9.40 ± 0.74) at 5% concentration when compared with the control (1.20 ± 0.48). Time of penetration was lower when the concentration was higher. Time of penetration was the lowest (0.14 ± 0.26 min) at 5% concentration when compared with the control (8.64 ± 1.03 min).

Key words: efficiency, crude extract, hedge flower, cowpea aphid

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยประสบกับปัญหาในการเพาะปลูกพืชผักโดยการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืช ทำให้เกิดความเสียหายทั้งคุณภาพและปริมาณ โดยเฉพาะการปลูกถั่วฝักยาว เกษตรกรต้องประสบปัญหาการเข้าทำลายของเพลี้ยอ่อนถั่วซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Aphis craccivora* Koch. อยู่ในวงศ์ Aphididae อันดับ Homoptera จัดเป็นกลุ่มแมลงศัตรูพืชตระกูลถั่ว Leguminosae ที่มีความสำคัญและสร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจ (Blackman and Eastop, 2000) ทั้งตัวเต็มวัยและตัวอ่อนจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากใบ ยอดอ่อน ดอก และฝักถั่ว ทำให้ดอกร่วง ยิ่งถ้าหากมีการระบาดขึ้นรุนแรงจะมีผลกระทบต่อพัฒนาการของยอดและตายอด ทำให้ไม่สามารถติดฝักหรือติดฝักได้น้อย สร้างความสูญเสียให้กับผลผลิตเป็นอย่างมากทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณ

(Blackman and Eastop, 2000) เพลี้ยอ่อนถั่วเป็นแมลงปากดูดมีลำตัวขนาดเล็กและอ่อนนุ่ม ตัวเต็มวัยสีดำ มีทั้งมีปีกและไม่มีปีก มีการเจริญเติบโตแบบค่อยเป็นค่อยไป ไม่มีระยะไข่ในแถบทวีปเขตร้อนรวมทั้งประเทศไทยด้วย เพลี้ยอ่อนถั่วมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศแบบพาร์ทิโนจีเนซิส (Parthenogenesis) ตาเป็นแบบดราวม ปากเรียวยาวพับได้ส่วนนอกและเลยโคนขาหลังเล็กน้อย ใช้สำหรับเจาะเข้าไปในลำต้นของพืช ประกอบด้วย outer mandibular stylets 1 คู่ และ inner maxillary stylets 1 คู่ โดยมีส่วนห่อหุ้ม (sheath) ประกอบ labium และ labrum รูปสามเหลี่ยมขนาดเล็ก ทำให้เกิดท่ออาหาร และท่อน้ำลาย (Emden and Harrington, 2007)

การป้องกันกำจัดเพลี้ยอ่อนถั่วเกษตรกรมักจะนิยมใช้สารเคมีสังเคราะห์ เนื่องจากหาซื้อง่าย สะดวก และสามารถกำจัดแมลงในทุกระยะ

การเจริญเติบโต (Aktar *et al.*, 2009) แต่อย่างไรก็ตาม ผลกระทบที่ตามมาหลายประการ เช่น ผลเสียต่อสุขภาพต่อผู้ใช้ การตกค้างและสะสมในผลผลิตและสิ่งแวดล้อม สัตว์และสิ่งมีชีวิตที่มีประโยชน์ตาย ลดความหลากหลายในระบบนิเวศ (Relyea, 2005; Sarwar, 2015; Sharma and Singhvi, 2017) และที่สำคัญแมลงสร้างความต้านทานต่อสารเคมี จากรายงานวิจัยของ Sarwar and Salman (2015) อธิบายว่าแมลงศัตรูพืชมีกลไกการสร้าง ความต้านทานต่อสารเคมี โดยมีการปรับตัวทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และพฤติกรรม มีถิ่นที่สามารถสร้างความต้านทานต่อสารเคมี จากรายงานวิจัยของ Pérez *et al.* (2000) พบว่าแมลงศัตรูพืชสามารถสร้างความต้านทานต่อสารฆ่าแมลง โดยค่าความเป็นพิษ (LC₅₀) มีค่าสูงกว่ากลุ่มชุดทดลองเปรียบเทียบ

สารสกัดจากพืช (plant extract) เป็นวิธีการหนึ่งในการควบคุมแมลงศัตรูพืช เนื่องจากมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้และไม่ตกค้างในผลผลิตและสิ่งแวดล้อม พืชจะผลิตสารทุติยภูมิ (secondary metabolite) ขึ้นมาเพื่อป้องกันอันตรายจากการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืชได้แก่ Phenolics, Terpenes, Steroids, Alkaloids, Flavanoids (Tiwari and Rana, 2015) นอกจากนี้ Azad (2012) พบว่าสารสกัดจากพืชมีคุณสมบัติในการเป็นสารฆ่า (Insecticidal) สารไล่ (Repellent) สารยับยั้งการกิน (Anti-feedant) สารยับยั้งการวางไข่ (Anti-oviposition) และสารยับยั้งการเจริญเติบโต (Insect growth regulator) ผกากรอง (Hedge flower) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lantana camara* L. จัดอยู่ในวงศ์ Verbenaceae เป็นวัชพืชที่พบได้ตามทุ่งหญ้าทั่วไป มักอยู่เป็นพุ่มต่ำ เมื่อผกากรองเจริญเติบโตหนาแน่นมากขึ้นจะส่งผลกระทบต่ออัตราการขยายพันธุ์ของพืชชนิดอื่น (Sharma *et al.*, 2005) ใบและดอกของผกากรองเมื่อนำมาขยี้จะมีกลิ่นเหม็นฉุน สามารถนำมาเป็นสารไล่แมลงศัตรูพืชได้

(Priyanka and Joshi, 2013) จากการวิจัยของ Murugesan *et al.* (2012) พบว่าองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ (Bioactivity) ที่พบในผกากรองได้แก่ α - Copaene, Germacrene D & B, α - Cubebene, β - Elemene, α - Guaiene, α - humulene, Aromadendrene, β - Selinene, α - Selinene, Caryophyllene oxide, Nerolidol, Spathulenol and Delta - Cadinene ซึ่งสารบางตัวมีคุณสมบัติในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชได้

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดผกากรองจากการเป็นสารไล่ สารฆ่า และสารยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนตัว เพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการเพลี้ยอ่อนตัวและนำมาประยุกต์ใช้ทดแทนสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชและที่สำคัญเป็นการนำเอาวัชพืชที่ขึ้นอยู่ข้างทางมาใช้ให้เกิดคุณค่าและประโยชน์สูงสุดต่อไป

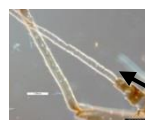
วิธีดำเนินการวิจัย

การเลี้ยงและขยายพันธุ์เพลี้ยอ่อนตัว

เก็บเพลี้ยอ่อนตัวจากแปลงเกษตรกร จ. ปทุมธานี มาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการชีววิทยาที่อุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75-80 เปอร์เซ็นต์ การจำแนกเพลี้ยอ่อนตัวอ้างอิงจาก Poole and Gentili (1996) โดยจำแนกได้กล้องสเตอริโอ (stereo microscope) ลำตัวมีขนาดเล็กประมาณ 1.0-1.3 มิลลิเมตร สีน้ำตาลจนถึงสีดำ ส่วนท้องด้านปลายแพนหาง siphunculi และ cauda จะมีขนอยู่ 7 เส้น บริเวณหนวด (tentacles) มี 4 ปล้อง (ภาพที่ 1) นำเพลี้ยอ่อนตัวมาปล่อยลงในกระถางที่ปลูกถั่วฝักยาวไว้สำหรับเป็นอาหารและขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนเพลี้ยอ่อนตัวไว้สำหรับในการทดลองต่อไป



(A) แพนหาง siphunculi และ cauda



(B) หนวด (tentacles)

ภาพที่ 1 การจำแนกเพลี้ยอ่อนตัว (A) แพนหาง (B) หนวด (Poole and Gentili, 1996)

การเตรียมสารสกัดจากผกากรอง

นำผกากรองมาล้างน้ำกลั่นให้สะอาด ผึ่งให้แห้งแล้วนำมาหั่นให้ละเอียด นำไปสกัดแบบต่อเนื่อง (continuous extractor) โดยใช้ 95% เอทานอลเป็นตัวทำละลาย นำผกากรองบรรจุในท่อแก้วสำหรับบรรจุของแข็งที่ต้องการสกัด (thimble) โดยใช้ผกากรอง 100 กรัมต่อเอทานอล 800 มิลลิลิตร (1:8 w/v) นำไปสกัดด้วยเครื่องสกัดสารแบบซอกซ์เล็ท (soxhlet apparatus) สกัดวันละ 8 ชั่วโมงเป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นนำมารองด้วยกระดาษกรอง Whatman® เบอร์ 1 นำไประเหยเอาตัวทำละลายออกโดยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ก็จะได้อาหารสกัดหยาบ (crude extract) นำไปเก็บโดยแช่แข็งเพื่อใช้ทดสอบขึ้นต่อไป

การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นสารไล่ (Repellent test)

นำสารสกัดหยาบจากผกากรองที่ความเข้มข้น 0, 0.3125, 0.625, 1.25, 2.5 และ 5% (w/v) โดย

การทดสอบแบบมีทางเลือกในจานแก้ว (Petri-dish choice bioassay) ใช้วิธี impregnated filter paper test นำกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman เบอร์ 1) เส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร มาตัดออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน ซีกหนึ่งหยดสารสกัดหยาบจากผกากรองจำนวน 1 มิลลิลิตร ส่วนอีกซีกหนึ่งหยดตัวทำละลายคือเอทานอลจำนวน 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้แห้ง นำ 2 ส่วนมาประกบเข้าด้วยกัน วางในจานแก้วเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร และนำระยะตัวเต็มวัยของเพลี้ยอ่อนตัวที่ไม่มีปีก (Apterous) อายุ 4 วัน ใส่ลงตรงกลางจานแก้ว แต่ละความเข้มข้นทำการทดลอง 5 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) นำจานแก้ววางในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้น 75-80 เปอร์เซ็นต์ นับจำนวนแมลงที่พบบนแต่ละซีกของกระดาษกรองเมื่อเวลาผ่านไป 12 และ 24 ชั่วโมง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การไล่

$$\text{Percentage repellency, PR (\%)} = [(N_c - N_t) / (N_c + N_t)] \times 100$$

โดย N_c = จำนวนของแมลงที่อยู่บนกระดาษกรองส่วนที่หยดเอทานอลซึ่งเป็นชุดควบคุม (control)

N_t = จำนวนของแมลงที่อยู่บนกระดาษกรองส่วนที่หยดน้ำมันหอมระเหย

การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นสารฆ่าโดยการกิน (Contact toxicity test)

ทำการทดสอบโดยวางใบถั่วฝักยาวที่จุ่มสารสกัดหยาบจากผกากรองความเข้มข้น 0, 0.3125,

0.625, 1.25, 2.5 และ 5% (w/v) ลงในกล่องเลี้ยงแมลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร รองก้นกล่องด้วยกระดาษฟางชุบน้ำเพื่อให้ความชื้น ส่วนฟากกล่องเจาะรูและปิดด้วย

ผ้าขาวบางเพื่อระบายอากาศ ปล่อยตัวเต็มวัยของ เพลี้ยอ่อนตัวที่ไม่มีปีกอายุ 4 วัน จำนวน 10 ตัวต่อ กล่อง ทำการทดลองความเข้มข้นละ 5 ซ้ำ วาง แผนการทดลองแบบ สุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) นำไปวางในตู้ควบคุม อุณหภูมิที่ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้น 75-80

เปอร์เซ็นต์ บันทึกจำนวนเพลี้ยอ่อนตัวตายที่ 24 และ 48 ชั่วโมง หลังการทดสอบ เปรียบเทียบกับชุด ควบคุม นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่า LC_{50} หลังการ ทดสอบและเปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยอ่อนตัว ตาม สูตร Abbott's formula (Abbott, 1925)

$$\% \text{การตายของเพลี้ยอ่อนจริง} = \frac{\% \text{การตายของเพลี้ยอ่อนที่ได้รับสารสกัด} - \% \text{การตายของเพลี้ยอ่อนในชุดควบคุม}}{100 \times \% \text{การตายของเพลี้ยอ่อนในชุดควบคุม}} \times 100$$

การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นสารยับยั้งการกิน (Anti-feedant test)

ทำการทดสอบโดยวางใบถั่วฝักยาวที่จุ่มสาร สกัดหยาบจากผลากรองความเข้มข้น 0, 0.3125, 0.625, 1.25, 2.5 และ 5% (w/v) ที่ง ั่วไว้ให้แห้งที่ อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาวางในงานแก้วขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร รองกันกล่องด้วยกระดาษฟาง ชุบน้ำเพื่อให้ความชื้น ก้านใบถั่วฝักยาวหุ้มด้วยสำลี ชุบน้ำ ปล่อยระยะตัวเต็มวัยของเพลี้ยอ่อนตัวที่ไม่มี ปีกอายุ 4 วันลงไป 1 ตัว ทำการทดลองความเข้มข้น ละ 5 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) บันทึก จำนวนครั้งในการเจาะและระยะเวลาในการแทงดูด ของเพลี้ยอ่อนตัวภายใต้กล้องสเตอริโอ เป็นเวลา 15 นาที

วิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ ANOVA และ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ค่า Median lethal concentration (LC_{50}) โดยวิธี Probit analysis (Finney, 1971)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจาก ผลากรองในการเป็นสารไล่เพลี้ยอ่อนตัว

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของสาร สกัดหยาบจากผลากรองที่ความเข้มข้น 0, 0.3125, 0.625, 1.25, 2.5 และ 5% ในการเป็นสารไล่เพลี้ยอ่อน ตัว พบว่าสารสกัดหยาบจากผลากรองมีผลต่อการไล่ เพลี้ยอ่อนตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับชุด ควบคุม เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบจาก ผลากรองสูงขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การไล่เพลี้ย อ่อนตัวเพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้น 5% ของสารสกัดหยาบ จากผลากรองมีเปอร์เซ็นต์การไล่เพลี้ยอ่อนตัวสูงสุด ในชั่วโมงที่ 12 มีผลต่อการไล่เพลี้ยอ่อนตัวเฉลี่ย 9.40 ± 0.48 ตัว คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การไล่ 88% ในชั่วโมงที่ 24 ผลต่อการไล่เพลี้ยอ่อนตัวเฉลี่ย 10.00 ± 0.00 ตัว คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การไล่ 100% เมื่อเปรียบเทียบกับชุด ควบคุมไม่มีผลต่อการไล่เพลี้ยอ่อนตัว (ตารางที่ 1) จากการวิจัยของ Zandi-Sohani *et al.* (2012); Murugesan *et al.* (2016) พบว่าสารออกฤทธิ์ที่พบใน น้ำมันหอมระเหยจากผลากรองคือกลุ่ม terpenoids นอกจากนั้นยังมี α -humelene และ cis-caryophyllene ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารไล่แมลง ศัตรูพืช Halbert *et al.* (2009) อธิบายว่าบริเวณ

ปลายหนวดของเพี้ยอ่อนจะมีเซลล์ประสาทรับ
สัมผัสทางเคมี (chemosensilla) ในการรับกลิ่น ซึ่งจะ

ตอบสนองต่อกลิ่นเหม็นฉุนของพืช ทำให้เพี้ยอ่อน
เกิดความสับสนและถอยหนีออกไป

ตารางที่ 1 ผลของสารสกัดจากผลากรองในการเป็นสารไล่เพี้ยอ่อนตัว ที่เวลา 12 และ 24 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (%) (w/v)	จำนวนเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์การไล่เพี้ยอ่อนตัว (ตัว)			
	12 ชั่วโมง	การไล่ (%)	24 ชั่วโมง	การไล่ (%)
0	0.00 ± 0.00^c	0.0	0.00 ± 0.00^c	0.0
0.3125	5.20 ± 0.40^{ab}	4.0	5.60 ± 0.48^b	12.0
0.625	5.40 ± 0.48^{ab}	8.0	6.40 ± 0.48^b	32.0
1.25	7.40 ± 0.48^a	48.0	7.20 ± 0.48^b	74.0
2.5	8.60 ± 0.48^a	72.0	9.60 ± 0.48^a	92.0
5	9.40 ± 0.48^a	88.0	10.00 ± 0.00^a	100.0

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
โดยวิธี Duncan's new multiple range test

การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจาก ผลากรองในการเป็นสารฆ่าเพี้ยอ่อนตัว

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของสาร
สกัดหยาบจากผลากรองที่ความเข้มข้น 0, 0.3125,
0.625, 1.25, 2.5 และ 5% ในการเป็นสารฆ่าเพี้ยอ่อนตัว
พบว่าสารสกัดหยาบจากผลากรองมีผลต่อการฆ่า
เพี้ยอ่อนตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่
ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับชุด
ควบคุม พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบ
จากผลากรองสูงขึ้นจะมีผลทำให้อัตราการตายของ
เพี้ยอ่อนตัวสูงขึ้น โดยที่ความเข้มข้น 5% มีอัตรา
การตายของเพี้ยอ่อนตัวสูงสุด 100% ค่า LC_{50} มีค่า
เท่ากับ 1.25 และ 1.08 ในชั่วโมงที่ 24 และ 48 ชั่วโมง
ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้น 0.3125, 0.625,
1.25, 2.5 ในชั่วโมงที่ 24 มีเปอร์เซ็นต์การตายของ
เพี้ยอ่อนตัว 12.0, 34.0, 50.0 และ 84.0% ตามลำดับ
และในชั่วโมงที่ 48 มีเปอร์เซ็นต์การตายของ

เพี้ยอ่อนตัว 20.0, 36.0, 66.0 และ 94.0% ตามลำดับ
เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมไม่มีอัตราการตายของ
เพี้ยอ่อนตัว (ตารางที่ 2) จากการวิจัยของ Zhou *et al.*
(2016) อธิบายว่าเพี้ยอ่อนจะได้รับสารพิษจากพืช
ทางปากโดยการแทงดูดและสัมผัสผ่านเข้าข้อต่อทาง
เยื่อเมมเบรน ซึ่งสารพิษจากพืชจะมีผลในการยับยั้ง
การทำงานของกลูตาไธโอน เอส ทรานเฟอเรส
(glutathione S-transferases) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ช่วยใน
การกำจัดสารพิษของแมลง Huron *et al.* (2016)
อธิบายว่าเมื่อเพี้ยอ่อนได้รับสารพิษจากพืช สารพิษ
จากพืชจะมีผลต่อการทำงานของระบบย่อยอาหาร
ส่วนกลาง (midgut of digestive system) ของเพี้ย
อ่อน โดยจะทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อผิวของ
กระเพาะอาหาร เซลล์เยื่อบุผิวมีรูปร่างผิดปกติ ซึ่งจะ
มีผลต่อการดูดซึมสารอาหารส่งผลทำให้เพี้ยอ่อน
ตายในที่สุด

ตารางที่ 2 ผลของสารสกัดจากผลการกรองในการเป็นสารฆ่าเพลี้ยอ่อนตัว ที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (%) (w/v)	จำนวนเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์การฆ่าเพลี้ยอ่อนตัว (ตัว)			
	24 ชั่วโมง	การตาย (%)	48 ชั่วโมง	การตาย (%)
0	0.0 ± 0.00^{cd}	0.0	0.0 ± 0.00^c	0.0
0.3125	1.20 ± 0.74^{cd}	12.0	2.20 ± 0.40^b	22.0
0.625	3.40 ± 0.48^b	34.0	3.60 ± 0.48^b	36.0
1.25	5.00 ± 0.00^b	50.0	6.60 ± 0.48^{ab}	66.0
2.5	8.40 ± 0.48^{ab}	84.0	9.40 ± 0.48^{ab}	94.0
5	10.00 ± 0.00^a	100.0	10.00 ± 0.00^a	100.0

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's new multiple range test.

การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากผลการกรองในการเป็นสารยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนตัว

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากผลการกรองความเข้มข้น 0, 0.3125, 0.625, 1.25, 2.5 และ 5% ในการเป็นสารยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนตัว พบว่าจำนวนครั้งในการเจาะและระยะเวลาในการแทงดูดอาหารของเพลี้ยอ่อนตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม การยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนตัวพบว่าจำนวนครั้งในการแทงดูดใบถั่วฝักยาวมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบจากผลการกรองสูงขึ้น ความเข้มข้น 5% จำนวนครั้งในการเจาะใบถั่วฝักยาวเท่ากับ 9.40 ± 0.74 ครั้ง/นาท ในขณะที่ชุดควบคุมเปรียบเทียบกับ 1.20 ± 0.48 ครั้ง/นาท ระยะเวลาในการแทงดูดอาหารน้อยลง เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบจากผลการกรองสูงขึ้น ที่ความเข้มข้น 5% ระยะเวลา

ในการแทงดูดอาหารของเพลี้ยอ่อนเท่ากับ 0.14 ± 0.26 นาท ในขณะที่ชุดควบคุมเปรียบเทียบกับ 8.64 ± 1.03 นาท (ตารางที่ 3) จากการวิจัยของ Sadek *et al.* (2013) อธิบายว่าเพลี้ยอ่อนจะทำการทดสอบความเหมาะสมของพืชอาหาร (test of suitable host / host acceptance) โดยใช้อวัยวะรับรู้สัมผัสที่บริเวณหนวด ระวังปากหรือขนตามระยางค์ต่างๆ สัมผัสพื้นผิวภายนอกของพืชอาหารที่ค้นพบ และจากการวิจัยของ Booiy *et al.* (2013) อธิบายว่าบริเวณตำแหน่งพืชอาหารที่เหมาะสม เพลี้ยอ่อนจะแทงสไตเลทลง ในเนื้อเยื่อของพืช (select of inserting site) ไปในส่วนของเซลล์ (feeding intercellular) เพื่อดูดสารอาหาร โดยจำนวนครั้งในการเจาะดูดน้อยและใช้เวลาในการแทงดูดสารอาหารมากขึ้น ในขณะที่บริเวณตำแหน่งพืชอาหารที่ไม่เหมาะสม เช่น มีสารพิษ เพลี้ยอ่อนจะใช้แทงสไตเลทบริเวณผิวของเนื้อเยื่อพืช โดยจำนวนครั้งในการเจาะดูดสารอาหารมากขึ้นและใช้เวลาในการแทงดูดสารอาหารสั้นลง

ตารางที่ 3 ผลของสารสกัดจากผลกากรองในการเป็นสารยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนถั่ว หลังเวลา 15 นาที

ความเข้มข้น (%) (w/v)	ค่าเฉลี่ยจำนวนการแทงดูด (ครั้ง)	ค่าเฉลี่ยเวลาในการแทงดูด (วินาที)
0	1.20 ± 0.48^a	8.64 ± 1.03^a
0.3125	2.60 ± 0.48^b	1.84 ± 0.33^b
0.625	3.20 ± 0.48^b	1.41 ± 0.34^b
1.25	7.40 ± 0.48^c	0.29 ± 0.23^b
2.5	8.20 ± 0.74^c	0.20 ± 0.44^b
5	9.40 ± 0.74^c	0.14 ± 0.26^b

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's new multiple range test.

สรุป

สารสกัดหยาบจากผลกากรองมีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยอ่อนถั่ว ในด้านการเป็นสารไล่สารฆ่า และสารยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนถั่ว เนื่องจากสารออกฤทธิ์ในผลกากรองมีคุณสมบัติมีกลิ่นเหม็นฉุน สามารถไล่และฆ่าเพลี้ยอ่อนถั่วได้ ซึ่งจะทำให้พืชอาหารไม่เป็นแหล่งอาศัย แหล่งอาหาร และแหล่งสืบพันธุ์ของเพลี้ยอ่อนถั่ว การใช้สารสกัดหยาบจากผลกากรองจะมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม ที่สำคัญเป็นการลดการใช้สารเคมีสังเคราะห์ ซึ่งในงานวิจัยครั้งต่อไปจะทดสอบในพื้นที่จริง เช่น แปลงปลูกพืช โดยเฉพาะแปลงถั่วฝักยาวและนำสารสกัดจากผลกากรองมาพัฒนาในรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมในรูปแบบสเปรย์ที่ใช้กับสภาพพื้นที่จริงต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Abbott, W.S. 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology** 18: 265-267.

Aktar, M.D., Sengupta, D. and Chowdhury, A. 2009. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. **Interdisciplinary Toxicology** 2(1): 1-12.

Azad, M.A.K. 2012. Effect of botanical extract on pest control in Brinjal field. **Journal of environmental science and natural resources** 5(2): 173-176.

Blackman, R.L. and Eastop, V.F. 2000. **Aphids on the world's crops: an identification and information guide 2nd ed.** John Wiley and Sons, Chichester.

Booij, M.W., Kloth, K.J., Jongsma, M.A., Dicke, M. and Hemerik, L. 2013. Analysing aphid behaviour with time-to-event techniques to discriminate between susceptible and resistant plants. **Proceedings of the Netherlands Entomological Society Meeting** 24: 9-16.

Emden H.F.V. and Harrington, R. 2007. **Aphids as Crop Pests.** Wallingford Oxfordshire Press, United Kingdom.

- Finney, D.J. 1971. **Probit Analysis** 3rd ed. Cambridge University Press, London.
- Halbert, S.E., Corsini, D., Wiebe, M. and Vaughn, S.F. 2009. Plant-derived compounds and extracts with potential as aphid repellents. **Annals of Applied Biology** 154: 303-307.
- Huron, E.N., Abbas, A.A., El-Hamid, N.A.A., Nada, M.S. and Amin, T.R. 2016. Toxicity and acute macromolecular abnormalities induced by some plant extracts against the Cowpea aphid; *Aphis carricivora* Koch. **Journal of Plant Protection and Pathology Mansoura University** 7(7): 445-449.
- Murugesan, S., Rajeshkannan, C., Babu, D.S., Sumathi, R. and Manivachakam, P. 2012. Identification of insecticidal properties in common weed - *Lantana camara* Linn by Gas Chromatography and Mass Spectrum (GC-MS-MS). **Advances in Applied Science Research** 3(5): 2754-2759.
- Murugesan, S., Senthilkumar, N., Suresh Babu, D. and Rajasugunasekar, D. 2016. Chemical constituents and toxicity assessment of the leaf oil of *Lantana camara* Linn from Tamilnadu regions. **Asian Journal of Plant Science and Research** 6(3): 32-42.
- Pérez, C.J., Alvarado, P., Narváez, C., Miranda, F., Hernández, L., Vanegas, H., Hruska, A. and Shelton, A.M. 2000. Assessment of insecticide resistance in five insect pests attacking field and vegetable crops in Nicaragua. **Journal of Economic Entomology** 93(6): 1779-1787.
- Poole, R.W. and Gentili, P. 1996. **Cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch 1854**. Available source: <https://www.insectimages.org/browse/subthumb.cfm?sub=8116>. March 1, 2017.
- Priyanka, N and Joshi, P.K. 2013. A review of *Lantana camara* studies in India. **International Journal of Scientific and Research Publications** 3(10): 1-11.
- Relyea, R.A. 2005. The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. **Ecological Applications** 15(2): 618-627.
- Sadek, R.Z., Elbanna, S.M. and Semida, F.M. 2013. Aphid-host plant interaction. **Open Journal of Animal Sciences** 3(2A): 16-27.
- Sarwar, M. 2015. The dangers of pesticides associated with public health and preventing of the risks. **International Journal of Bioinformatics and Biomedical Engineering** 1(2): 130-136.
- Sarwar, M and Salman, M. 2015. Insecticides resistance in insect pests or vectors and development of novel strategies to combat its evolution. **International Journal of Bioinformatics and Biomedical Engineering** 1(3): 344-351.
- Sharma, N and Singhvi, R. 2017. Effects of chemical fertilizers and pesticides on human health and environment: A review. **International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology** 10(6): 675-679.
- Sharma, G.P., Raghubanshi, A.S. and Singh, J.S. 2005. *Lantana* invasion: An overview.

- Weed Biology and Management** 5: 157-165.
- Tiwari, R. and Rana, C.S. 2015. Plant secondary metabolites: a review. **International Journal of Engineering Research and General Science** 3(5): 660-670.
- Zandi-Sohani, N., Hojjati, M. and Carbonell-Barrachina, A.A. 2012. Bioactivity of *Lantana camara* L. essential oil against *Callosobruchus maculatus* (Fabricius).
- Chilean journal of agricultural research** 72(4): 502-506.
- Zhou, B.G., Wang, S., Dou, T.T., Liu, S., Li, M.Y., Hua, R.M., Li, S.G. and Lin, H.F. 2016. Aphicidal activity of *Illicium verum* fruit extracts and their effects on the acetylcholinesterase and glutathione s-transferases activities in *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). **Journal of Insect Science** 16(1): 1-7.

การออกแบบกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง การทำสบู่สมุนไพรโดยการ จัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

Designing Science Camp Activities on Herbal Soap Making Using STEM Education for Grade 12 Students

สุภาพร กิจวานิชชัย¹ ธนะวัฒน์ วรรณประภา² และ นภา ตั้งเตรียมจิตมัน^{1*}

Suphaphorn Kitwanitchai¹, Thanawat Wannaprapha² and Napa Tangtreamjitmun^{1*}

Received: 18 February 2019, Revised: 16 May 2019, Accepted: 10 June 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่องการทำสบู่สมุนไพรด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม นักเรียนได้ทดลองทำสบู่ขึ้นใช้เองเป็นการเสริมความรู้ต่อยอดจากการทดลองในหนังสือเรียนมัธยมปลาย วิชาเคมี เรื่อง “ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสไขมันหรือไขมันด้วยไฮดรอกไซด์” ซึ่งทำให้ผู้เรียนเห็นประจักษ์ถึงการนำความรู้ไปใช้ได้จริงในชีวิตประจำวัน การวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ระยะที่ 2 การออกแบบการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ ระยะที่ 3 ดำเนินการจัดค่ายวิทยาศาสตร์กับกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นนักเรียนอาสาสมัครจากชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวังตะเคียนวิทยาคม จำนวน 63 คน เครื่องมือที่ใช้คือ คู่มือกิจกรรม เรื่อง การทำสบู่สมุนไพร จำนวน 8 กิจกรรม ใช้เวลา 12 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของการสอนรายวิชาเคมี ด้านการจัดการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ย 4.42 อยู่ในระดับดี ด้านประโยชน์ที่นักเรียนได้รับ นักเรียนมีความพึงพอใจในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.53 นักเรียนเกิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอยู่ในระดับดีมาก มีร้อยละผลการประเมิน 92.2

คำสำคัญ: สะเต็มศึกษา, สบู่สมุนไพร, กิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์

¹ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ 169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

¹ Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University, 169 Bang Saen Beach Road, Saen Suk, Mueang, Chonburi 20131, Thailand.

² ภาควิชานวัตกรรมและเทคโนโลยีการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ 169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

² Department of Innovation and Educational Technology, Faculty of Education, Burapha University, 169 Bang Saen Beach Road, Saen Suk, Mueang, Chonburi 20131, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): napa@buu.ac.th

ABSTRACT

The objective of this research was to design science camp activities on herbal soap making using Science Technology Engineering Mathematics (STEM) education through the engineering design process. Students were assigned to make their own soap employing fundamental knowledge contained in the high-school chemistry book: "Hydrolysis reaction of oil or fat with sodium hydroxide". Students realized how knowledge from the classroom can be applied in daily life. The methodology was performed in 3 steps: Step 1 - Experiment in a science laboratory, Step 2 - Designing science camp activities, Step 3 - Conducting a science camp. The participants in this research were 63 grade 12 students from Wangtakian Witthayakhom school who volunteered to participate. The research involved 8 activities which took 12 hours to complete. The results showed good effectiveness of chemistry teaching with an average score of 4.42 and the students satisfied with the camp with an average score of 4.53. Students highly acquired the engineering design process with the evaluation result of 92.2 percent.

Key words: STEM education, science camp activities, herbal soap

บทนำ

ยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (2560-2579) กำหนดให้มีการพัฒนาและเสริมสร้างศักยภาพคนไทยด้วยการพัฒนาศักยภาพตลอดช่วงชีวิตและยกระดับการศึกษาและการเรียนรู้ให้มีคุณภาพเท่าเทียมและทั่วถึง ให้สอดคล้องกับโลกเศรษฐกิจสมัยศตวรรษที่ 21 ซึ่งเน้นการใช้แรงงานที่มีความรู้มีทักษะ แนวคิด สังเคราะห์ ประยุกต์ใช้เป็น มิติดนการ และสามารถเรียนรู้สิ่งใหม่ได้ด้วยตนเอง ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี (วิจารณ์, 2555; พรทิพย์, 2556)

แนวคิดหนึ่งที่ใช้ในการจัดการศึกษาเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้เกิดทักษะดังกล่าว คือ สะเต็มศึกษา (STEM Education) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2558; สิริินภา, 2558) ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการความรู้ในศาสตร์ต่างๆ 4 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) คณิตศาสตร์ (Mathematics)

การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการตามแนวสะเต็มนี้จะส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์และสร้างนวัตกรรมที่ใช้ความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ผ่านกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design Process) หรือกระบวนการเทคโนโลยี ทำให้ผู้เรียนเข้าใจสาระเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มากยิ่งขึ้นและเกิดการถ่ายโอนความรู้ ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างความคิดรวบยอดในศาสตร์ต่างๆ ทำให้การเรียนรู้มีความหมายต่อผู้เรียน ผู้เรียนเห็นความสำคัญและคุณค่าของสิ่งที่เรียน สามารถนำมาใช้ได้ในชีวิตจริง (อภิสิทธิ์, 2556)

ปัจจุบันได้มีการตื่นตัวในการนำสะเต็มศึกษามาใช้ในการจัดการเรียนรู้ในเกือบทุกระดับชั้นของการศึกษาภาคบังคับ โดยในระดับประถมศึกษาได้มีการทำวิจัยเพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาสำหรับผู้เรียนระดับประถมศึกษา (จำรัส และคณะ, 2558) ส่วนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น มีตัวอย่างการใช้กิจกรรมสะเต็ม

ศึกษาเพื่อสอนเรื่องระบบร่างกายของมนุษย์ (ภัสสร และคณะ, 2558) เรื่องพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง (นิตยา, 2559) เรื่องการแยกสาร (อโนดาห์ และคณะ, 2560) ส่วนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีตัวอย่างการวิจัยการจัดการเรียนการสอนด้วยสะเต็มศึกษา เรื่องการสืบพันธุ์ของพืชดอกและการเจริญเติบโต (นัสรินทร์, 2558) เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีให้แก่นักเรียนที่กำลังศึกษาอยู่ในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (พลศักดิ์, 2558)

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มาใช้ในการจัดค่ายวิทยาศาสตร์เรื่อง การทำสบู่สมุนไพร ของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เพื่อเสริมความรู้ต่อยอดจาก “การทดลอง 13.4 ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส น้ำมันหรือไขมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์” (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์, 2556) ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเห็นประจักษ์ถึงการนำความรู้ไปใช้ได้จริงในชีวิตประจำวัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การออกแบบกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง การทำสบู่สมุนไพร โดยการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 3 ระยะ ดังต่อไปนี้

ระยะที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ วิธีทำสบู่เบื้องต้น

ศึกษาน้ำหนักสบู่ที่น้อยที่สุดที่สามารถเตรียมได้ด้วยวิธีนี้

1. กำหนดปริมาณน้ำมันเป็น 5 กรัมหาปริมาณน้ำ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ได้จากโปรแกรม SoapCalc (Botanie Natural Soap, Inc, 2000)

2. ชั่งน้ำมันบัว 5.00 กรัม แล้วเทลงในปิกเกอร์ อุ่นน้ำมันโดยใช้อ่างน้ำวางบนตะเกียงแอลกอฮอล์ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 40-45 องศาเซลเซียส (น้ำมันบัว เป็นน้ำมันสำหรับใช้ในการทอดอาหารจำพวกแป้ง สามารถหาซื้อได้ในตลาดสด)

3. ชั่ง NaOH 0.85 กรัม เทลงในน้ำดื่ม 1.90 กรัม (เป็นน้ำหนักที่ได้จากโปรแกรม Soap Calc) ใช้พายคนจน NaOH ละลายหมด ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงจนถึง 40-45 องศาเซลเซียส

4. ค่อยๆ เทสารละลาย NaOH ลงในน้ำมันกวนส่วนผสมนานจนสารผสมที่ได้ค่อนข้างหนืด มีสีขาวขุ่นและเนื้อเนียนดี (ประมาณ 5-20 นาที)

5. เทสบู่ที่ได้ลงในแม่พิมพ์ ตั้งทิ้งไว้จนสบู่จับตัวเป็นก้อนแข็ง จึงเอาออกจากแม่พิมพ์

6. ทำการทดลองเช่นเดียวกันตั้งแต่ ข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนปริมาณน้ำมัน เป็น 4 3 2 และ 1 กรัม

เปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์

เตรียมสบู่ 100 กรัม ตามวิธีทำสบู่เบื้องต้น ใช้ฟิวเจอร์บอร์ด กระดาษกล่องสีน้ำตาล กระดาษวาดเขียน กระดาษ A4 ขนาด 120 แกรม และ 160 แกรม ทำแม่พิมพ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 21 × 30 เซนติเมตร เทสบู่ลงในแม่พิมพ์ ทิ้งไว้ข้ามคืน สังเกตลักษณะสบู่ที่ได้

ทำสบู่จากสารสกัดจากสมุนไพร

ตัวอย่างสมุนไพร

เมล็ดมะรุม อัญชัน แครอท ขมิ้น กระเจี๊ยบแดง ใบเตย ใบมะกรูด ตะไคร้ ใบรางจืด กระชาย เก็บในพื้นที่ตำบลวังตะเคียน และตำบลวังท่าช้าง อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี ส่วนอาโวคาโด มะขามป้อม หัวไชเท้า ซื้อจากตลาดสดอำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี ศึกษาการสกัดสมุนไพรและนำมาทำสบู่

1. สมุนไพรที่ให้น้ำมัน นำโอคาโด 75 กรัม ปั่นรวมกับน้ำมันบัว 100 กรัม แล้วนำไปให้ความร้อน เติวจนน้ำมันใสเป็นเนื้อเดียวกัน กรองน้ำมันที่ได้ เพื่อไปทำสบู่ตามวิธีทำสบู่เบื้องต้น

2. สมุนไพรที่ให้สี นำอัญชันและกระเจี๊ยบแดง มาต้มกับน้ำเดือดนาน 10 นาที กรองด้วยผ้าขาวบาง ทิ้งไว้ให้เย็นใช้แทนน้ำในการละลาย NaOH เพื่อทำสบู่ตามวิธีทำสบู่เบื้องต้น

3. สมุนไพรที่ให้กลิ่น นำใบมะกรูด ใบเตย ตะไคร้ ที่หั่นแล้วใส่ลงไปทอดในน้ำมันที่ร้อน 60-70 องศาเซลเซียส กรองเอาส่วนน้ำมันมาใช้ทำสบู่ตามวิธีทำสบู่เบื้องต้น

4. สมุนไพรแบบสดมาคั้นน้ำ นำใบรางจืด หัวไชเท้า กระชาย และแครอท มาปั่นรวมกับน้ำ กรองด้วยผ้าขาวบาง นำสารละลายที่ได้มาใช้แทนน้ำ ในการละลาย NaOH เพื่อทำสบู่ตามวิธีทำสบู่เบื้องต้น

5. สมุนไพรแบบแห้งบดเป็นผง นำผงขมิ้น มะขามป้อมและเมล็ดมะรุม โรยใส่ในเนื้อสบู่ชั้นตอน ก่อนจะเทสบู่ลงแม่พิมพ์ตามวิธีทำสบู่เบื้องต้น

ระยะที่ 2 การออกแบบการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์

ได้สร้างคู่มือกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง การทำสบู่สมุนไพร และสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการ เก็บรวบรวมข้อมูลและหาคุณภาพเครื่องมือที่สร้างขึ้น โดยส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมิน โดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence) จากนั้นนำเครื่องมือที่ได้รับการประเมินไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 6 โรงเรียนปราจีนกัลยาณี อำเภอเมือง จังหวัด ปราจีนบุรี จำนวน 40 คน เพื่อหาคุณภาพของ เครื่องมือ

ระยะที่ 3 นำกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนที่มีความสนใจในการร่วมวิจัย โดยรับ สัมภาษณ์จากนักเรียนชั้นระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 ห้องเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปี การศึกษา 2561 โรงเรียน วัดตะเคียนวิทยาคม อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี จำนวน 63 คน

การจัดค่ายและเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมความพร้อม ก่อนการจัด กิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์

1. ผู้วิจัยส่งหนังสือขออนุญาตผู้ปกครองและ ขอให้ผู้ปกครองที่ยินยอมให้บุตรหลานของตนเข้าร่วมงานวิจัยลงนามในใบขอความยินยอม

2. นักเรียนจะได้รับการอธิบายเพื่อทบทวนความรู้ ของ การทดลอง 13.4 ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสไขมันหรือ ไขมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

3. นักเรียนจะได้รับคำแนะนำเรื่องข้อควรระวัง ระหว่างการทำกิจกรรม รวมทั้งขอความช่วยเหลือ เบื้องต้นหากเกิดการบาดเจ็บ

ขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการสอนผ่านกิจกรรมค่าย วิทยาศาสตร์ เรื่องการทำสบู่สมุนไพร โดยจัดกลุ่ม นักเรียน 12 กลุ่ม กลุ่มละ 5-6 คน เข้าค่าย 2 วัน ระหว่างวันที่ 15-16 ธันวาคม 2561 ณ หอประชุม โรงเรียนวัดตะเคียนวิทยาคม อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การทำสบู่สมุนไพร

ผู้วิจัยได้สูตรทำสบู่เบื้องต้นที่ต่อยอดจาก การทดลอง 13.4 ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสไขมันหรือ ไขมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยวิธีนี้ใช้ทำสบู่ น้ำหนัก ตั้งแต่ 5 ลงไปถึง 1 กรัม ได้ นักเรียนจะเห็น สบู่เป็นก้อนสีขาวแม้จะทำการทดลองเตรียมสบู่ ขึ้นมาแล้ว 1 กรัม จากการใช้น้ำมัน 1 กรัม โดยใช้

น้ำมันบัวซึ่งประกอบด้วยน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (Palm Kernel Oil) 50% และน้ำมันมะพร้าว 50% ใช้วิธีทำสบู่แบบเย็น (Cold Process) คือไม่มีการใช้ความร้อนใช้แต่การกวน ซึ่งสูตรที่ใช้มีชนิดและอัตราส่วนของน้ำมันใกล้เคียงกับสูตรที่ 3 ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Mabrouk, 2005) ที่ได้นำเสนอวิธีทำสบู่แบบเย็นเป็นกิจกรรมสำหรับนักศึกษาปี 1 ในรายวิชาเคมีอินทรีย์ โดยมีสูตรสบู่ 8 สูตรที่มีชนิดและอัตราส่วนของน้ำมันต่างกัน และใช้เวลาในการกวนประมาณ 5-20 นาทีเช่นเดียวกัน นักเรียนสามารถเตรียมสบู่ 1 กรัม ด้วยวิธีทำสบู่แบบเย็นนี้เปรียบเทียบกับผลที่ได้กับการทดลอง 13.4 ซึ่งมีการให้ความร้อนและใช้เอทานอล

สำหรับวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ของสบู่ น้ำหนัก 100 กรัม พบว่ากระดาษ A4 120 และ 160 แกรม นิยชาดไม่เป็นทรง เนื่องมาจากน้ำที่อยู่ในสบู่ซึมออกมาแต่ฟิวเจอร์บอร์ด กระดาษกล่องสีน้ำตาล และกระดาษวาดเขียน เป็นวัสดุที่หนา แต่ระบายอากาศได้ดี ทำให้สบู่แข็งตัว สามารถแกะออกจากแม่พิมพ์ได้ในเวลาข้ามคืน จึงเหมาะกับกิจกรรมค่าย 2 วัน

ส่วนสบู่สมุนไพรที่ใช้เป็นส่วนผสมของสบู่พบว่าแบบให้น้ำมันซึ่งใช้วิธีปั่นรวมกันกับน้ำมันแล้วนำไปให้ความร้อน จะปลอดภัยกว่าวิธีสกัดด้วย

ตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท ในกิจกรรมทำสบู่อาโวคาโด (Sutheimer *et al.*, 2015) สำหรับในคู่มือกิจกรรมได้เลือกใช้แบบผงและ แบบสดมาคั้นน้ำ เพราะมีความสะดวกและปลอดภัยสำหรับนักเรียนในการทำสบู่ไม่ต้องใช้ทั้งความร้อนและตัวทำละลายอินทรีย์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การออกแบบกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่องการทำสบู่สมุนไพร มีการสร้างเครื่องมือสำหรับใช้ในกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ ซึ่งประกอบด้วย

1. คู่มือกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง การทำสบู่สมุนไพร โดยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จัดทำเป็นรูปเล่ม ขนาด A4 มีจำนวน 8 กิจกรรม ใช้เวลา 12 ชั่วโมง โดยตัวกิจกรรม มีเนื้อหาสะเต็มศึกษารายละเอียดดังในตาราง ที่ 1

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ 1) แบบประเมินกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมของผู้เรียนระหว่างการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ 2) แบบประเมินประสิทธิภาพการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาหลังการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ 3) แบบสัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 1 ขอบเขตเนื้อหาสะเต็มศึกษาในกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่องการทำสบู่สมุนไพร

กิจกรรม	ขอบเขตเนื้อหาสะเต็มศึกษา				สถานการณ์ที่กำหนดให้
	วิทยาศาสตร์	เทคโนโลยี	วิศวกรรมศาสตร์	คณิตศาสตร์	
1. โมเลกุล หรรษา	- ความรู้เคมีเรื่องไขมันและน้ำมัน	- ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสืบค้นข้อมูล	- จัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ	- นำความรู้เรื่องการวัดและ	หนังสือพิมพ์ฉบับหนึ่ง
2. ปฏิกริยา ไฮโดรลิซิส	- การเกิดพันธะโคเวเลนต์ของ	- การเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับ	ออกแบบเชิงวิศวกรรมที่	เรขาคณิตไปใช้ในการออกแบบ	เศรษฐกิจของประเทศ
3. แม่พิมพ์แสนสวย	ธาตุคาร์บอนไฮโดรเจน และ	รูปทรงของบรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบ	ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน	แม่พิมพ์สบู่และกล่องบรรจุภัณฑ์	รายได้จากงานประจำ
4. สบู่สมุนไพร	ออกซิเจน			สบู่	ไม่เพียงพอในการดำรงชีพ จึงมีการทำอาชีพเสริมเพื่อเพิ่มรายได้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

กิจกรรม	ขอบเขตเนื้อหาเพิ่มเติมศึกษา				สถานการณ์ที่กำหนดให้
	วิทยาศาสตร์	เทคโนโลยี	วิศวกรรมศาสตร์	คณิตศาสตร์	
5. การออกแบบ บรรจุภัณฑ์	- ปฏิบัติสาธต นิพจน์ ในการ เตรียมสบู			- คำนวณต้นทุน กำไร	นักเรียนเป็นสมาชิก ชมรมเคมี จึงคิดที่จะ ผลิตสบู่สมุนไพรโดย สร้างยี่ห้อสบูเป็นของ ตนเอง
6. ต้นทุน-กำไร					
7. ทดสอบ สมบัติสบู่ สมุนไพร					
8. นำเสนอผล การทดลอง					

ผลการประเมินคุณภาพของเครื่องมือโดย
ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่าคู่มือมีความถูกต้องของ
เนื้อหา และแบบประเมินนำมาใช้เฉพาะข้อที่มีค่า
ดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ย 0.67 และ 1

ผลประเมินประสิทธิภาพของการสอน

กิจกรรมสบู่สมุนไพรได้ใช้วิธีการออกแบบ
เชิงวิศวกรรมในการจัดการเรียนการสอนซึ่งสามารถ
ประเมินผลได้ตลอดช่วงเวลาของกิจกรรมโดยการ
สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียน หรือประเมินหลังกิจกรรม

โดยพิจารณาจาก บันทึกผลการทดลอง ในกิจกรรม ตัว
ชี้งาน รายงาน การสัมภาษณ์ (สถาบันส่งเสริมการ
สอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) ดังนั้นผู้วิจัย
ได้มีแบบประเมิน 3 แบบดังในข้อ 3 โดยผลการประเมิน
กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมของผู้เรียน
ระหว่างการจัดกิจกรรม พบว่า ร้อยละจำนวนกลุ่มที่
ปฏิบัติตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 5 ขั้นตอน
คือ 95 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลประเมินกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมจากการสังเกตผู้เรียนในระหว่างการทำกิจกรรม

ข้อ	ขั้นตอนที่ประเมิน	จำนวนกลุ่ม ที่ปฏิบัติ	ร้อยละ
1. ระบุปัญหา			
1.1	มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้	12	100
1.2	มีการระบุเงื่อนไขและข้อกำหนดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	11	91
2. ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง			
2.1	ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการทำสบู่สมุนไพร	12	100
2.2	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการทำสบู่สมุนไพร	10	83
2.3	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าสามารถนำมา ประยุกต์ในกิจกรรมการทำสบู่สมุนไพรได้อย่างไร	12	100

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ข้อ	ขั้นตอนที่ประเมิน	จำนวนกลุ่ม ที่ปฏิบัติ	ร้อยละ
2.4	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการทำสบู่สมุนไพรแนวคิด และเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม	12	100
2.5	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม	10	83
3.	วางแผนและพัฒนา		
3.1	ร่างแบบการทำสบู่สมุนไพร	12	100
3.2	ระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ได้ถูกต้อง	12	100
3.3	ทำสบู่สมุนไพรตามที่ได้ออกแบบ	10	83
4.	ทดสอบและประเมินผล		
4.1	สบู่สมุนไพรที่ทำได้สามารถนำไปใช้งานได้จริง	12	100
4.2	ในกรณีที่สบู่สมุนไพรที่ทำไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง นักเรียนมีวิธีการแก้ไข ปรับปรุงอย่างไร	12	100
5.	นำเสนอผลลัพธ์		
5.1	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีในการทำสบู่สมุนไพร	12	100
เฉลี่ย			95

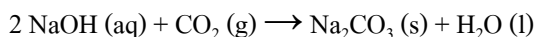
ในด้านคุณภาพกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียน ได้ทำการประเมินหลังเรียนจากใบกิจกรรมและประเมินระหว่างเรียนจากการนำเสนอได้ผลในระดับดีมาก ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลประเมินกระบวนการออกแบบวิศวกรรม จากใบบันทึกกิจกรรม และการนำเสนอ

ด้านที่ประเมิน	x±sd	ร้อยละ	ระดับ
ระบุปัญหา	2.8±0.4	94.4	ดีมาก
ค้นหาแนวคิด	2.8±0.4	91.7	ดีมาก
วางแผนพัฒนา	2.8±0.5	91.7	ดีมาก
ทดสอบสมบัติสบู่	2.5±0.5	83.3	ดีมาก
นำเสนอผลลัพธ์	3.0±0.0	100	ดีมาก
เฉลี่ย	2.8±0.4	92.2	ดีมาก

หมายเหตุ เกณฑ์คะแนน 0 = ไม่เขียนตอบ 1 = เขียนตอบแต่ผิด
2 = ตอบถูกบางส่วน 3 = ตอบถูกต้องหมด

สำหรับการประเมินจากชิ้นงาน สบู่สมุนไพร ที่นักเรียนทำขึ้นมา จะพบว่า มี 2 กลุ่มที่เมื่อแกะสบู่ออกจากพิมพ์ สบู่ไม่เป็นก้อนแข็งจับแล้วละลาย มีปริมาณน้ำมันเหลือด้านบน อาจเนื่องมาจากการซังน้ำมันเกิน หรือมาจากการกวนที่ไม่สม่ำเสมอ ปฏิบัติอาจเกิดไม่สมบูรณ์ นักเรียนไม่สามารถนำข้อผิดพลาดกลับมาแก้ไขชิ้นงานใหม่ได้ เพราะเป็นกิจกรรมที่ใช้เวลา 2 วันต่อเนื่องกัน แต่นักเรียนสามารถนำชิ้นงานกลับบ้านและทิ้งไว้เมื่อเวลาผ่านไปเป็นสัปดาห์ปฏิริยาเกิดสมบูรณ์ สบู่จะแข็งตัวขึ้นเพราะน้ำจะระเหยไป และสบู่จะมีฟิเอชลดลง เพราะการทิ้งสบู่ไว้ให้สัมผัสกับอากาศหรือการกวน จะทำให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้โซเดียมคาร์บอเนตที่มีฟิเอชต่ำกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังสมการ (Mabrouk, 2005)



เมื่อพิจารณาถึงผลทดสอบพีเอชของสบู่ที่ได้ พบว่ามี 5 กลุ่ม (รวมสองกลุ่มที่สบู่ไม่แข็งตัว) ที่ได้พีเอช 10 ส่วน อีก 7 กลุ่มที่เหลือได้พีเอช 9 เป็นไปตามหลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่ออนุญาตสำหรับผลิตภัณฑ์สบู่ตัว มาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 29-2545

นอกจากการสังเกตนักเรียนระหว่างการทำกิจกรรมแล้ว ผู้วิจัยยังได้สอบถามนักเรียนแต่ละกลุ่ม หลังจากทำกิจกรรมเสร็จแล้ว โดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการ พบว่านักเรียนเกิดการเรียนรู้ขั้นตอนการทำงานตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังจะเห็นได้จากบันทึกคำพูดจากการสัมภาษณ์นักเรียน ดังนี้

“...หนูคิดว่า การเรียนวิชาเคมีไม่น่าเบื่อ ได้ทำชิ้นงานที่ทำจากการได้เรียนหลายๆ วิชา...” (กลุ่ม 3)

“...หนูชอบการสอนแบบนี้ค่ะครู ทำให้รู้สึกว่าการเรียนวิทยาศาสตร์ไม่ยาก สามารถนำเอาวิชาคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ มาใช้ด้วยกันได้...” (กลุ่ม 4)

“...ผมชอบนะครู ได้ทำงานร่วมกับเพื่อนๆ ได้ช่วยกันแก้ปัญหา สร้างชิ้นงาน...” (กลุ่ม 9)

“...ทำให้ผมเป็นนักวางแผน ไม่อย่างนั้น เวลาแค่นี้คงทำไม่ทันเวลาแน่ๆ ...” (กลุ่ม 4)

สำหรับความพึงพอใจของนักเรียนต่อการร่วมกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ นักเรียนเป็นผู้ตอบแบบประเมินหลังเสร็จกิจกรรมค่าย โดยเป็นการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อตัวกิจกรรม จัดเป็นประสิทธิภาพของการสอนรายวิชาเคมี ด้านการจัดการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ย 4.42 อยู่ในระดับดี และประเมินประโยชน์ที่นักเรียนได้รับจากการร่วมกิจกรรม โดยรวมนักเรียนมีความพึงพอใจในระดับ ดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ย 4.53 และยังพบว่านักเรียนมีความสุขกับการทำงานร่วมกันเป็นทีม โดยผู้วิจัยได้เก็บภาพระหว่างกิจกรรมบางส่วนมาแสดง ดังในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์

สรุป

กิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง การทำสบู่สมุนไพรที่ออกแบบขึ้นมานี้ สามารถใช้เป็นแนวทางกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในรายวิชาเคมี เพื่อเป็นการนำร่องการจัดการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษาในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

สะเต็มศึกษาเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ใช้กระบวนการทางวิศวกรรมและกระบวนการทางเทคโนโลยี มาผนวกเข้ากับความรู้ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดยส่งเสริมให้นักเรียนได้ทำงานกลุ่มอย่างอิสระ มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ประสพการณ์ เกิดเป็นความรู้ ความเข้าใจ และมีความสามัคคีทำงานเป็นทีม ทำให้นักเรียนเกิดพัฒนาการด้านต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาคนให้มีคุณภาพในศตวรรษที่ 21 (Vasquez *et al.*, 2013)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยตามโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) และได้รับการสนับสนุนจากหน่วยบริการนวัตกรรมการทางวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา (SIF-IN-620574)

เอกสารอ้างอิง

จรัส อินทลาภาพร, มารุต พัฒนา, วิชัย วงษ์ใหญ่ และ ศรีสมร พุ่มสะอาด. 2558. การศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาสำหรับผู้เรียนระดับประถมศึกษา. วารสารอิเล็กทรอนิกส์ Veridian

มหาวิทยาลัยศิลปากร (มนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์และศิลปะ) 8(1): 61-74.

นัสนินทร์ ปือชา. 2558. ผลจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education) ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา ความสามารถในการแก้ปัญหาและความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นิตยา ภูผาบาง. 2559. การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา.

พรทิพย์ ศิริภักตราชัย. 2556. STEM Education กับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21. วารสารนักบริหาร 33(2): 49-56.

พลศักดิ์ แสงพรหมศรี. 2558. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และเจตคติต่อการเรียนวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษากับแบบปกติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ภัตสร ดิดมา, มลิวรรณ นาคขุนทด และ สิริณภา กิจเกื้อกูล. 2558. การจัดการเรียนรู้ตามแนวทาง STEM Education เรื่องระบบของร่างกายมนุษย์ เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. วารสารราชพฤกษ์ 13(3): 71-76.

- วิจารณ์ พานิช. 2555. **วิธีการสร้างการเรียนรู้เพื่อศิษย์ในศตวรรษที่ 21**. มูลนิธิสดศรี-สฤษดิ์วงศ์, กรุงเทพฯ.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์. 2556. **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 5 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6**. กรุงเทพมหานคร, กรุงเทพฯ.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2557. **คู่มือหลักสูตรอบรมครูสะเต็มศึกษา**. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, กรุงเทพฯ.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2558. **มาตรฐานสะเต็มศึกษา**. ชักเชสพับลิเคชัน, กรุงเทพฯ.
- สิรินภา กิจเกื้อกูล. 2558. สะเต็มศึกษา. **วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร** 17(2): 28-38.
- อโนดาต รัชเวทย์, จุฑินิปรณ์ สมแก้ว และ ปภาวี อุปธิ. 2560. การพัฒนาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 โดยชุดการเรียนรู้การสอนตามแนวสะเต็มศึกษา เรื่องการแยกสาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น** 11(3): 226-238.
- อภิสิทธิ์ ชงไชย. 2556. เทคโนโลยีและวิศวกรรมคืออะไร ในสะเต็มศึกษา. **วารสารสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.)** 42(185): 35-37.
- Botanie Natural Soap, Inc. 2000. **Recipe Calculator for Soap Making**. Available Source: <http://soapcalc.net/calc/SoapCalcWP.asp>, May 27, 2018.
- Mabrouk, S.T. 2005. Making Usable, Quality Opaque or Transparent Soap. **Journal of Chemical Education** 82(10): 1534-1537.
- Sutheimer, S., Caster, J.M. and Smith S.H. 2015. Green Soap: An Extraction and Saponification of Avocado Oil. **Journal of Chemical Education** 92(10): 1763-1765.
- Vasquez, J.A., Sneider, C. and Comer, M. 2013. **STEM Lesson Essentials: Grades 3-8: Integrating Science, Technology, Engineering and Mathematics**. Heinemann, New Hampshire.

ผลของการตัดยอดมันเทศในระยะการเจริญเติบโตที่ต่างกัน ต่อการให้ผลผลิต

Effects of Shoot Cutting in Different Growth Stage on Yield of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.)

สุชาดา บุญเลิศนรินทร์* ละอองศรี สิริเกษร และ กิตติ บุญเลิศนรินทร์

Suchada Boonlertnirun*, Laongsri Sirikesorn and Kitt Boonlertnirun

Received: 10 May 2018, Revised: 6 August 2018, Accepted: 6 September 2019

บทคัดย่อ

การตัดยอดมันเทศเพื่อใช้สำหรับปลูกในฤดูถัดไปเป็นการปฏิบัติที่เกษตรกรนิยมทำอยู่ทั่วไป ซึ่งการปฏิบัติดังกล่าวนี้อาจส่งผลกระทบต่อผลผลิตของมันเทศ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการตัดยอดมันเทศที่มีผลต่อการให้ผลผลิตหัวมันเทศขาวแดง การทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) ประกอบด้วยการตัดยอดมันเทศ 3 ระยะ คือ ระยะ establishment (4 สัปดาห์หลังปลูก) ระยะ storage root initiation (8 สัปดาห์หลังปลูก) และระยะ storage root bulking (12 สัปดาห์หลังปลูก) เปรียบเทียบกับการไม่ตัดยอด (ชุดควบคุม) ทำ 4 ซ้ำ ทำการทดลองที่แปลงทดลองของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัด พระนครศรีอยุธยา ระหว่างเดือน สิงหาคม ถึง ธันวาคม 2560 ผลการทดลองพบว่า การตัดยอดมันเทศ ที่ระยะการเจริญเติบโตที่ต่างกันมีผลทำให้น้ำหนักเฉลี่ยผลผลิตหัว และขนาดหัวของมันเทศ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการไม่ตัดยอด แต่ พื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลล์ ฟลูออเรสเซนซ์ และ จำนวนหัวต่อไร่ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม การตัดยอดมันเทศที่ระยะ establishment (4 สัปดาห์ หลังปลูก) ทำให้ผลผลิตหัวและขนาดหัวมันเทศลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่มีผลต่อจำนวนหัวต่อไร่ ขณะที่การตัดยอดที่ระยะการเจริญเติบโตระยะอื่นๆ ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตมันเทศ จากการทดลองนี้ สามารถสรุปได้ว่า การตัดยอดมันเทศที่อายุมากกว่า 4 สัปดาห์ หลังปลูกไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตหัวของมันเทศ

สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ เลขที่ 60 หมู่ 3 ตำบล หันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000.

Plant Science Section, Faculty of Agricultural Technology and Agro-industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabumi, 60 Moo 3, Huntra, Phranakhon Si Ayutthaya, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): suchada.b@rmutsb.ac.th

คำสำคัญ: การตัดยอดระยะการเจริญเติบโต, มันเทศ, ผลผลิต

ABSTRACT

Shoot cutting of sweet potato as plant materials for growing in the next season is general practice for farmers. This practice may negatively affect yield potential of sweet potato. Therefore, this study was aimed to examine the appropriate growth stages for shoot cutting unaffected tuber yield of sweet potato. A randomized complete block design (RCBD) with three treatments (growth stage of shoot cutting); establishment (4wks after planting-WAP), storage root initiation (8 WAP) and storage root bulking (12 WAP) compared with no shoot cutting (control), was employed as experimental design with four replications and conducted during September to December 2017 in field plots of Plant Science Section, Phranakorn Si Ayutthaya Province. The results indicated that shoot cutting at different growth stages significantly affected shoot dry weight, tuber yield and tuber size but did not affect leaf area, chlorophyll content, chlorophyll fluorescence and tuber numbers. Shoot cutting at establishment (4 WAP) significantly reduced tuber yield and size but no effect on tuber numbers/rai whereas shoot cutting at the other growth stages did not affect tuber yield. From this study, it can be concluded that cutting of sweet potato shoot at the age more than 4 weeks after planting did not affect yield of sweet potato.

Key words: shoot cutting, growth stage, sweet potato, yield potential

บทนำ

มันเทศ (sweet potato) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea batatas* (Linn.) Lamk เป็นพืชหัวที่สำคัญในการใช้เป็นอาหารของมนุษย์ มันเทศเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานสูงแก่นุ้ขร่วมทั้งวิตามินบี 2 และโฟเลตสูงรองลงมาจากผักใบเขียว มีวิตามินซีบำรุงเนื้อเยื่อในร่างกายและช่วยให้ร่างกายดูดซึมแคลโรทีนอยด์ได้ดีขึ้น สำหรับใบมันเทศเป็นแหล่งของธาตุอาหารหลายชนิดเช่น protein, fiber K, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu และอุดมไปด้วยสาร antioxidant (Sun *et al.*, 2014; Ishiguro and Yoshimoto, 2005) การปลูกมันเทศโดยทั่วไป นิยมตัดยอดเพื่อใช้เป็นท่อนพันธุ์ ซึ่งอายุท่อนพันธุ์ที่ตัดนี้ไม่แน่นอนอาจเป็น 1 หรือ 2 เดือนหลังปลูก ขึ้นอยู่กับความเคยชินของเกษตรกรแต่ละรายการตัดยอด

(shoot removal) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันเทศ แต่ยังไม่มียางานที่ชัดเจนว่า การตัดยอดที่ช่วงระยะการเจริญเติบโตใด จะมีผลหรือไม่มีผลกระทบต่อทำให้ผลผลิตมันเทศ Nwinyi (1992) พบว่าการตัดยอดมันเทศที่อายุมากส่งผลทำให้ผลผลิตมันเทศลดลง โดยพบว่า การตัดยอดมันเทศที่อายุ 2, 4, 6, 8 และ 10 สัปดาห์หลังปลูก ทำให้ผลผลิตรวมในช่วง 2 ปีลดลง 9.1, 13.5, 35.2, 52.5 และ 57.6% ตามลำดับ มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการตัดยอด (ใบ) ในพืชหลายชนิด เช่น Ulas *et al.* (2015) พบว่า การตัดใบใน oilseed rape ในช่วงแรกๆ ของการออกดอกทำให้ผลผลิตลดลง เพราะการตัดใบทำให้การ uptake ไนโตรเจนลดลงส่งผลให้มีการเคลื่อนย้ายสารอาหารไปยังผลผลิตลดลงนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับพันธุ์และ

ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (NUE) ของพันธุ์นั้นๆ อีกด้วยและยังพบว่า การตัดต้นกล้าข้าวสาลีในช่วง 30 วันหลังปลูกจะมีผลกระทบเล็กน้อยต่อผลผลิต แต่ถ้าตัดในช่วงที่มีใบ 2 - 4 ใบจะได้รับความเสียหายน้อยกว่า (Buntin, 1994; Baiano *et al.*, 2015) พบว่าอุนที่ปลูกตัดแต่งเถาจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ความเป็นกรดและปริมาณฟลาโวนอยด์ต่ำกว่าอุนที่ไม่ได้รับการตัดแต่งเถา แต่ไม่มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน จากรายงานดังกล่าวมานี้จะเห็นได้ว่า การตัดยอดในพืชแต่ละชนิด จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะการเจริญเติบโตที่เหมาะสมต่อการตัดยอดมันเทศที่ไม่มีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตหัวมันเทศ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำ 4 ซ้ำ

ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง

สิ่งทดลอง 1. การตัดยอดมันเทศที่ระยะ Establishment (4 สัปดาห์หลังปลูก)

สิ่งทดลอง 2. การตัดยอดมันเทศที่ระยะ Storage root initiation (8 สัปดาห์หลังปลูก)

สิ่งทดลอง 3. การตัดยอดมันเทศที่ระยะ Storage root bulking (12 สัปดาห์หลังปลูก)

สิ่งทดลอง 4. การไม่ตัดยอด (ควบคุม)

2. วิธีการทดลอง

ปลูกมันเทศพันธุ์ปากช่อง (เนื้อสีขาว) โดยใช้ส่วนยอดอายุ 2 เดือน ยาว 30 - 40 ซม ปลูกโดยใช้ระยะปลูก 30 × 100 ซม ขนาดแปลง 4 × 5 ม. ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-1 อัตรา 50 กก./ไร่ ที่อายุ 1 เดือน และใส่

สูตร 13-13-21 อัตรา 50 กก./ไร่ โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ที่อายุ 2 และ 3 เดือนส่วนการให้น้ำจะให้แบบพ่นฝอยเดือนละ 2 - 3 ครั้งทั้งนี้ขึ้นกับสภาพของดินการตัดยอดมันเทศจะเริ่มตัดที่อายุ 4, 8 และ 12 สัปดาห์หลังปลูก โดยตัดทุกต้นที่มีความยาว ½ ของยอดที่ใช้ปลูกจริง (30 ซม) (Olorunnisomo, 2007)

3. การเก็บข้อมูล

3.1 พื้นที่ใบที่อายุเก็บเกี่ยว โดยสุ่มวัดใบทั้งหมดของมันเทศ 5 ต้นต่อสิ่งทดลองต่อซ้ำ โดยการตัดออกจากแปลงมาวัด ด้วยเครื่อง leaf area meter แล้วเฉลี่ยเป็นพื้นที่ใบต่อต้น

3.2 น้ำหนักแห้งที่อายุเก็บเกี่ยวโดยนำส่วนเหนือดินทั้งหมด 5 ต้นต่อสิ่งทดลองต่อซ้ำโดยการตัดออกจากแปลง มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง แล้วเฉลี่ยเป็นน้ำหนักแห้งต่อต้น

3.3 chlorophyll fluorescence ที่อายุก่อนเก็บเกี่ยว 3 สัปดาห์สุ่มวัดในแปลงโดยไม่ได้ทำลายต้น 10 ต้นต่อสิ่งทดลองต่อซ้ำ โดยวัดใบที่คลี่เต็มที่และเป็นใบอยู่ในช่วงกลางๆ เถา (ไม่แก่ไม่อ่อนเกินไป) ด้วยเครื่อง chlorophyll fluorescence measurement (Handy-PEA, Hansatech Instrument)

3.4 วิเคราะห์คลอโรฟิลล์ที่อายุก่อนเก็บเกี่ยว 3 สัปดาห์โดยการตัดใบมาจาก 5 ต้นต่อสิ่งทดลองต่อซ้ำแล้วนำมารวมน้ำหนัก แล้วสกัดด้วยสารไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (N, N-Dimethyl formamine, DMF) (Moran and Porath, 1980)

3.5 ผลผลิตหัวมันเทศ เก็บเกี่ยวที่อายุ 120 วัน โดยการชั่งน้ำหนักหัวมันทั้งหมดในพื้นที่เก็บเกี่ยว 10 ตารางเมตร (2 × 5 เมตร) แล้วคำนวณเป็นผลผลิตต่อไร่

3.6 จำนวนหัวมันเทศต่อไร่ เก็บเกี่ยวที่อายุ 120 วันโดยการนับจำนวนหัวทั้งหมดในพื้นที่เก็บเกี่ยว

10 ตารางเมตร (2×5 เมตร) แล้วคำนวณเป็นจำนวนหัวต่อไร่

3.7 ความกว้างหัว และความยาวหัว โดยสุ่มวัด 20 หัวต่อสิ่งทดลองต่อซ้ำจากผลผลิตข้อ 3.5 โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์และไม้บรรทัดแล้วเฉลี่ยเป็นความกว้างและความยาวต่อหัวตามลำดับ

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variation) ตามแผนการทดลองที่ใช้แล้ว

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองโดยใช้ LSD (Least Significant Difference)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาผลของการตัดยอดมันเทศที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ต่อพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งต้น ปริมาณคลอโรฟิลล์และ chlorophyll fluorescence ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของการตัดยอดมันเทศที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ต่อพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งต้น ปริมาณคลอโรฟิลล์และ chlorophyll fluorescence

สิ่งทดลอง	พื้นที่ใบ (ตร.ซม./ต้น)	น้ำหนัก แห้งต้น (กรัม)	ปริมาณ คลอโรฟิลล์ (มก./กรัม นน.สด)	chlorophyll fluorescence (Fv/Fm)
การตัดยอดที่ระยะ Establishment (4 สัปดาห์หลังปลูก)	4761.42	327.50 ^a	3.01	0.429
การตัดยอดที่ระยะ Storage root initiation (8 สัปดาห์หลังปลูก)	4799.23	252.50 ^b	2.99	0.509
การตัดยอดที่ระยะ Storage root bulking (12 สัปดาห์หลังปลูก)	4898.25	222.50 ^b	2.84	0.504
การไม่ตัดยอด (ชุดควบคุม)	3587.57	300.00 ^a	2.73	0.441
F- test	ns	*	ns	ns
LSD.05	-	36.34	-	-
CV (%)	17.05	8.24	10.72	10.38

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1. พื้นที่ใบ

การตัดยอดมันเทศ ที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้พื้นที่ใบของมันเทศแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม มีแนวโน้มว่า การตัดยอดมันเทศทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโต มีผลทำให้พื้นที่ใบเพิ่มขึ้นสูงกว่า การไม่ตัดยอด โดยพบว่าการตัดยอดมันเทศที่ระยะ Storage root bulking มีค่าเฉลี่ย

พื้นที่ใบสูงสุด คือ 4898.25 ตารางเซนติเมตร ขณะที่การตัดยอดมันเทศที่ระยะ Storage root initiation, Establishment และการไม่ตัดยอด มีค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบ 4799.23, 4761.42 และ 3587.57 ตารางเซนติเมตรตามลำดับ (Table 1) ซึ่งใกล้เคียงกับงานทดลองของ Munyahali *et al.* (2017) ที่พบว่า การตัดใบมันสำปะหลังเมื่อมีใบเล็กน้อยที่ระดับ 2/3 ของต้นทุก 2 -

4 สัปดาห์ มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง

2. น้ำหนักแห้งต้น

น้ำหนักแห้งต้นของมันเทศทั้ง 4 สิ่งทดลองแตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการตัดยอดที่ระยะ Establishment มีค่าสูงสุด คือ 327.50 กรัม เมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งต้นของมันเทศที่ตัดยอดที่ระยะ Storage root initiation และ Storage root bulking แต่มีค่าใกล้เคียงกับการไม่ตัดยอด (ชุดควบคุม) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า การตัดยอดที่ระยะ Establishment ไม่มีผลกระทบต่อการสร้างอาหาร (สังเคราะห์แสง) เพราะใบยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่ เมื่อตัดแล้วจึงเกิดการแตกใบขึ้นมาใหม่อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีพื้นที่ใบเพิ่มมากขึ้นในการรับแสงจึงทำให้มีการสะสมน้ำหนักแห้งมากกว่า (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับงาน ของ Zue *et al.* (2004) ที่พบว่า การตัดใบข้าวสาลีมีผลทำให้เกิดการ re-growth ทำให้เกิดการรับแสงได้ดีขึ้นซึ่งเป็นผลดีต่อการสังเคราะห์แสงส่งผลทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งสูงขึ้น

3. ปริมาณคลอโรฟิลล์ และ chlorophyll fluorescence

การตัดยอดมันเทศ ที่ระยะการเจริญเติบโตที่ต่างกัน ไม่มีผลทำให้ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และ chlorophyll fluorescence แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า การตัดยอดที่ระยะ Establishment มีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ค่อนข้างสูงกว่าการ การตัดยอดมันเทศ ที่ระยะการเจริญเติบโตอื่นๆ และการไม่ตัดยอด ในขณะที่ การตัดยอดที่ระยะ Storage root initiation มีแนวโน้มให้ค่า chlorophyll fluorescence สูงกว่าการตัดยอดมันเทศ ที่ระยะการเจริญเติบโตอื่นๆ และการไม่ตัดยอด อย่างไรก็ตามไม่มีความ

แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเก็บข้อมูลนี้ เก็บที่ระยะก่อนเก็บเกี่ยว ซึ่งใบของมันเทศมีอายุมาก เริ่มเหลืองและแห้ง ฉะนั้นจึงไม่ทำให้ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และ chlorophyll fluorescence ในแต่ละสิ่งทดลองแตกต่างกัน (ตารางที่ 1) ซึ่งตรงข้ามกับงานทดลองของ Barry and Pinkard (2013) พบว่าการตัดใบของ *Eucalyptus nitens* และ *Eucalyptus globules* ที่อายุ 12 เดือน ออก 40 % ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงเมื่อเทียบกับการไม่ตัดใบ นอกจากนี้การตัดทั้งใบและตายอด จะทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงมากกว่าการตัดใบเพียงอย่างเดียว

4. จำนวนหัวมันต่อไร่

จำนวนหัวมันเทศต่อไร่ไม่ได้รับผลกระทบจากการตัดยอด นั่นคือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ อย่างไรก็ตาม มีแนวโน้มว่า การตัดยอดมันเทศในทุกๆระยะการเจริญเติบโต มีผลให้จำนวนหัวมันเทศมากกว่า การไม่ตัดยอดมันเทศ โดยพบว่าการตัดยอดมันเทศที่ระยะ Establishment phase, Storage root initiation และ Storage root bulking ให้จำนวนหัว 11748, 12082 และ 11681 หัว/ไร่ ในขณะที่การไม่ตัดยอดให้จำนวนหัวต่อไร่ 10346 หัว จากผลการทดลองนี้อาจอธิบายได้ว่า การตัดยอดอาจมีผลทำให้เกิดการแตกยอดและใบย่อยๆ ออกไป ทำให้เส้นทางการเคลื่อนย้ายสารอาหารจากใบย่อยๆ ไปที่รากสะสมอาหารมีหลายจุด จึงเกิดการสร้างจำนวนหัวมากขึ้น แต่หัวที่ได้มักมีขนาดเล็ก (ตารางที่ 2) การตัดยอดมันเทศบ่อยครั้ง มีผลทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงถูกขัดขวาง ส่งผลให้ปริมาณใบและการสะสมน้ำหนักแห้งของหัวลดลง (Dahniya, 1979; An *et al.*, 2003; Kiozya *et al.*, 2001; Ruiz *et al.*, 1980).

ตารางที่ 2 ผลของการตัดยอดมันเทศที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ต่อจำนวนหัวต่อไร่ ผลผลิตต่อไร่ ความกว้างหัว และความยาวหัวมันเทศ

สิ่งทดลอง	จำนวนหัว (หัว/ไร่)	ผลผลิตหัว (กก/ไร่)	ความกว้างหัวมัน (มม.)	ความยาวหัวมัน (ซม.)
การตัดยอดที่ระยะ Establishment (4 สัปดาห์หลังปลูก)	11748	1796 ^b	39.87 ^b	19.57 ^b
การตัดยอดที่ระยะ Storage root initiation (8 สัปดาห์หลังปลูก)	12082	1996 ^a	45.89 ^a	19.12 ^b
การตัดยอดที่ระยะ Storage root bulking (12 สัปดาห์หลังปลูก)	11681	2043 ^a	43.40 ^{ab}	20.05 ^b
การไม่ตัดยอด (ชุดควบคุม)	10346	2056 ^a	46.29 ^a	22.32 ^a
F-test	ns	*	*	*
LSD.05	-	154.56	4.04	2.009
CV (%)	10.32	4.9	8.36	6.2

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5. ผลผลิต (น้ำหนัก) หัวมันต่อไร่

ผลผลิตหัวมันเทศได้รับผลกระทบจากการตัดยอด โดยพบว่า การตัดยอดมันเทศที่ระยะ Establishment มีผลทำให้ผลผลิตหัวมันเทศลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยได้ผลผลิตเพียง 1796 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่ การตัดยอดที่ระยะ Storage root initiation, Storage root bulking และการไม่ตัดยอด ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือได้ค่าน้ำหนักหัวสดเป็น 1996, 2043 และ 2056 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับจากผลการทดลองนี้ สามารถอธิบายได้ว่าการตัดยอดที่ระยะมันเทศเพิ่งตั้งตัวอาจมีผลทำให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโต ส่งผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสง จึงทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายสารอาหารไปที่ส่วนของหัวมันเทศ ไม่สมบูรณ์ หัวมันจึงมีขนาดเล็กและน้ำหนักน้อย (ตารางที่ 2) Owen *et al.* (2013) พบว่าการตัดใบที่ทรงพุ่มด้านบนจะทำให้ผลผลิตหัวเหลืองลดลงมากกว่าการตัดที่ทรงพุ่มด้านล่างในช่วง R3 และ R5 แต่ไม่มีความแตกต่างกันถ้าตัดในช่วง R6

อย่างไรก็ตาม การสูญเสียผลผลิตไม่แตกต่างกันระหว่าง R3 และ R5 ถ้าเปอร์เซ็นต์การการตัดไม่เกิน 63% ในขณะที่ Zhu *et al.* (2004) พบว่าการตัดใบข้าวสาลีในช่วงท้ายของการแตกกอไม่มีผลทำให้ผลผลิตลดลง Nwinyi (1992) พบว่าการตัดยอดมันเทศที่อายุ 2, 4, 6, 8 และ 10 สัปดาห์หลังปลูก ทำให้ผลผลิตรวมในช่วง 2 ปีลดลง 9.1, 13.5, 35.2, 52.5 และ 57.6% ตามลำดับ

6. ขนาดของหัวมันเทศ

การตัดยอดมันเทศที่ระยะ Establishment มีผลทำให้ขนาดหัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับการตัดยอดที่ระยะอื่นๆ และการไม่ตัดยอด โดยมีความกว้าง 39.89 มิลลิเมตร และความยาว 19.57 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ การตัดยอดที่ระยะ Storage root initiation, Storage root bulking และการไม่ตัดยอดให้ค่าความกว้างหัวมันไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ความยาวของหัวมันของการตัดยอดทุกระยะการเจริญเติบโตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติเมื่อเทียบกับการไม่ตัดยอด โดยการตัดยอดที่ระยะ establishment ซึ่งยังเป็นการเจริญเติบโตเริ่มต้นอาจมีผลให้การเจริญเติบโตทางต้นและใบหยุดชะงักส่งผลกระทบต่อ การสังเคราะห์แสง ทำให้มีสารอาหารที่จะเคลื่อนย้ายไปสะสมที่หัวมันเทศไม่เพียงพอที่จะทำให้หัวมันมีขนาดใหญ่และสมบูรณ์เต็มที่สอดคล้องกับงานของ Muro *et al.* (1998) ซึ่งรายงานว่า การตัดใบที่ระยะเริ่มต้นของการสร้างหัวของต้นหอมจะทำให้ผลผลิตลดลงมากที่สุด และการลดลงของผลผลิตจะเพิ่มขึ้นตามการตัดใบที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ Kirkegaard *et al.* (2012) รายงานว่าระยะเวลาและระดับของการตัดใบ มีความสัมพันธ์กับการพัฒนาทาง phenological ของพืช นอกจากนี้ยังพบว่า สภาพแวดล้อมในขณะนั้นจะเป็นตัวกำหนดผลกระทบของตัดใบ ที่มีต่อผลผลิตของ spring canola (*Brassica napus*) ในขณะที่ Nwinyi (1992) พบว่า การตัดยอดมันเทศที่อายุ 10 สัปดาห์หลังปลูก ทำให้ผลผลิตลดลงมากที่สุดถึง 57.6%

สรุป

จากผลการทดลองตัดยอดมันเทศที่ระยะการเจริญเติบโตที่ต่างกันต่อศักยภาพการให้ผลผลิตสามารถสรุปผลได้ว่า

1. การตัดยอดมันเทศ ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกันมีผลทำให้ น้ำหนักเกาผลผลิตหัวต่อไร่ และขนาดของหัวมันเทศ แตกต่างกันทางสถิติ แต่ไม่มีผลทำให้ พื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ และ จำนวนหัวมันต่อไร่ แตกต่างกัน

2. การตัดยอดมันเทศที่ ระยะ Establishment (4 สัปดาห์ หลังปลูก) ทำให้ผลผลิตหัวและขนาดหัวมันเทศ ต่ำสุดเมื่อเทียบกับการตัดยอดที่ระยะ Storage root initiation, Storage root bulking และการไม่ตัดยอด

3. การตัดยอดมันเทศที่ระยะ Storage root bulking จะให้ผลผลิตหัวต่อไร่และขนาดความยาวหัวใกล้เคียงกับการไม่ตัดยอด (ชุดควบคุม) มากที่สุด ซึ่งน่าจะเป็นระยะที่เหมาะสมต่อการตัดยอดเพราะมีผลกระทบต่อผลผลิตมันเทศน้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่สนับสนุนเงินทุนเพื่อการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- An, L.V., Frankow-Lindberg, B.E. and Lindberg, J.E. 2003. Effect of harvesting interval and defoliation on yield and chemical composition of leaves, stems and tubers of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) cultivars. **Field Crops Research** 82: 49-58.
- Baiano, A., Gianni, A.D., Previtali, M.A., Del Nobile, M.A., Novello, V. and de Palma, L. 2015. Effects of defoliation on quality attributes of Nero di Troia (*Vitis vinifera* L.) grape and wine. **Food Research International** 75: 260-269.
- Barry, K.M. and Pinkard, E.A. 2013. Growth and photosynthetic responses following defoliation and bud removal in eucalypts. **Forest Ecology and Management** 293: 9-16.
- Buntin, G.D. 1994. Simulated insect defoliation of seedlings and productivity of winter small-grain crops. **Journal of Entomological Science** 29: 534-542.

- Dahniya, M.T. 1979. Defoliation and grafting studies of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.). PhD Thesis (Department of Agronomy), University of Ibadan.
- Ishiguro, K. and Yoshimoto, M. 2005. Content of the eye-protective nutrient lutein in sweetpotato leaves, pp. 213-214. In **Concise Papers of the Second International Symposium on Sweet Potato and Cassava**. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Kiozya, H.C., Mtunda, K., Kapinga, R., Chirimi, B. and Rwiza, E. 2001. Effect of leaf harvesting frequency on growth and yield of sweet potato in the Lake Zone of Tanzania. **African Crop Science Journal** 9: 97-103.
- Kirkegaard, J.A., Sprague, S.J., Lilley, J.M., McCormick, J.I., Virgona, J.M. and Morrison, M.J. 2012. Physiological response of spring canola (*Brassica napus*) to defoliation in diverse environments. **Field Crops Research** 125: 61-68.
- Moran, R. and Porath, D. 1980. Chlorophyll determination in intact tissue using N, N-Demethylformamide. **Plant Physiology** 65: 478-479.
- Munyahali, W., Pypers, P., Swennen, R., Walangululu, J., Vanlauwe, B. and Merckx, R. 2017. Responses of cassava growth and yield to leaf harvesting frequency and NPK fertilizer in South Kivu, Democratic Republic of Congo. **Field Crops Research** 214: 194-201.
- Muro, J., Irigoyen, I. and Lamsfus, C. 1998. Effect of defoliation on onion crop yield. **Scientia Horticulturae** 77: 1-10.
- Nwinyi, S.C.O. 1992. Effect of age at shoot removal on tuber and shoot yields at harvest of five sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) cultivars. **Field Crops Research** 29: 47-54.
- Olorunnisomo, O.A. 2007. Yield and quality of sweet potato forage pruned at different intervals for West African dwarf sheep. **Livestock Research for Rural Development** 19: 1-9.
- Owen, L.N., Catchot, A.L., Musser, F.R., Gore, J., Cook, D.C., Jackson, R. and Allen, C. 2013. Impact of defoliation on yield of group IV soybeans in Mississippi. **Crop Protection** 54: 206-212.
- Ruiz, M.E., Pezo, D. and Martinez, L. 1980. The use of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) in animal feeding. I. Agronomic aspects. **Tropical Animal Production** 5: 144-151.
- Sun, H.T.M., Zhang, L. Xi, M. and Chen, J. 2014. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves as nutritional and functional foods. **Food Chemistry** 156: 380-389.
- Ulas, A., Behrens, T., Wiesler, F. and Horst, W.J. 2015. Defoliation affects seed yield but not N uptake and growth rate in two oilseed rape cultivars differing in post-flowering N uptake. **Field Crops Research** 179: 1-5.
- Zhu, G.X., Midmore, D.J., Radford, B.J. and Yule, D.F. 2004. Effect of timing of

defoliation on wheat (*Triticum aestivum*)
in central Queensland. 1. Crop response
and yield. **Field Crops Research** 88:
211-226.

ต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิ ระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ

A Prototype of the Learning Outcome Recording System Based-on Thailand Qualifications Framework for Higher Education

บรรพต พิจิตรกำเนิด *

Bunpod Pijitkamnerd *

Received: 3 October 2018, Revised: 3 May 2019, Accepted: 10 June 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ และศึกษาการยอมรับต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ฯ สำหรับต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ฯ ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ได้นำไปประเมินประสิทธิภาพของระบบจากผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินผลการศึกษาและเทคโนโลยีสารสนเทศจำนวน 6 ท่าน หลังจากนั้นผู้วิจัยนำต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ฯ ไปดำเนินการฝึกอบรมและทดลองใช้งานกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอาจารย์ผู้สอนของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต จำนวน 28 คน หลังจากนั้นจึงเก็บรวบรวมข้อมูลการยอมรับต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ฯ ด้วยแบบสอบถาม โดยข้อมูลที่รวบรวมได้นำไปวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงบรรยาย ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างยอมรับต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ฯ ใน 4 ด้านหลักๆ ได้แก่ ด้านกระบวนการและความถูกต้อง ด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบและการจัดองค์ประกอบ และด้านคู่มือการใช้งาน อยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด

คำสำคัญ: ผลการเรียนรู้, ผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้, กรอบมาตรฐานคุณวุฒิ, อุดมศึกษา, ระบบสารสนเทศ

สาขาวิชาบรรณารักษศาสตร์และสารานเทศศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต เลขที่ 295 ถนนราชสิมา
เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

Program in Library and Information Science, Faculty of Humanities and Social Science, Suan Dusit University, 295 Ratchasima Road, Dusit,
Bangkok 10300, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, E-mail): bunpod_pij@dsu.ac.th

ABSTRACT

The aim of this research was to develop and study an acceptance level for a prototype of the constructed learning outcome recording system based-on Thailand qualifications framework in higher education. The system was evaluated by 6 experts in educational evaluation and information technology. After that, the prototype was implemented to train with 28 instructors from Suan Dusit University. Then, they answered the acceptance questionnaires. The collected data were analyzed by descriptive statistics. The findings revealed that the samples accepted the prototype of the learning outcome recording system based-on Thailand qualifications framework for higher education in 4 key aspects: process and accuracy, content validity, design and composition, and user manual from high levels to the highest level.

Key words: learning outcome, achievement of learning, qualifications framework, higher education, information system

บทนำ

พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 ได้ประกาศใช้ และมีการแก้ไขปรับปรุงฉบับที่ 2 ในปี พ.ศ. 2545 และฉบับที่ 3 ในปี พ.ศ. 2553 ตามลำดับ กำหนดจุดมุ่งหมายและหลักการของการจัดการศึกษาของประเทศที่มุ่งเน้นคุณภาพและมาตรฐาน โดยอาศัยกลไกต่างๆ อาทิ การกำหนดมาตรฐานการอุดมศึกษา การกำหนดมาตรฐานสถาบันอุดมศึกษา ตลอดจนการกำหนดกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ ซึ่งวิธีการประเมินคุณภาพทางการศึกษาได้อาศัยระบบการประกันคุณภาพการศึกษาภายในและภายนอก (พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542, 2542)

สำหรับการพิจารณาคุณภาพของผู้เรียนในระดับอุดมศึกษานั้น กระทรวงศึกษาธิการได้กำหนดกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2552 ขึ้น โดยอาศัยกระบวนการทวนสอบผลสัมฤทธิ์ผลการเรียนรู้ของผู้เรียน ซึ่งเป็นกระบวนการหาหลักฐานด้วยวิธีการใดๆ เช่น การสังเกต การตรวจสอบ การประเมิน การสัมภาษณ์ ฯลฯ

(สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, 2552) ที่ต้องเป็นไปตามมาตรฐานการเรียนรู้อย่างน้อย 5 ด้าน คือ ด้านคุณธรรมจริยธรรม ด้านความรู้ ด้านทักษะทางปัญญา ด้านทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ และด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลขการสื่อสาร (ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ เรื่อง กรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2552, 2552) การประเมินของผู้สอนที่ทำการมาส่วนใหญ่เป็นการให้คะแนนประเมินผลงานหรือชิ้นงานที่ผู้เรียนนำเสนอ ทว่าคะแนนที่เกิดขึ้นไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าเป็นผลมาจากการเรียนรู้ด้านใดบ้าง ซึ่งทำให้ผู้สอนไม่สามารถนำผลการประเมินผู้เรียนที่ได้กลับมาพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนในด้านที่ยังบกพร่องอยู่ได้อย่างแท้จริง

ทั้งนี้การศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ที่ผ่านมา มุ่งเน้นไปยังการการสร้าง การใช้ เครื่องมือ และการจัดการเรียนรู้เพื่อสร้างเสริมให้ผู้เรียนมีผลการเรียนรู้ในด้านต่างๆ เพิ่มขึ้น อาทิ การศึกษาของ กิ่งแก้ว (2550) ได้ทำการศึกษา

ผลการเรียนรู้เชิงพุทธิพิสัยของ นักศึกษาระดับอุดมศึกษา โดยใช้สื่อประสมประกอบดำเนินเรื่องผ่านคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เช่นเดียวกับการศึกษาของ จิตติ (2556) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้ทักษะผ่านสื่อสิ่งพิมพ์และสื่อมัลติมีเดีย ของนักศึกษาระดับอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แต่ยังไม่มีการศึกษาถึงการเตรียมข้อมูลหลักฐานที่เป็นพื้นฐานนำไปสู่การอธิบายผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ที่เกิดขึ้น และการรับรู้ข้อมูลหลักฐานเหล่านั้นของผู้เรียนที่อาจเป็นแรงกระตุ้นให้ผู้เรียนพัฒนาการเรียนรู้เพิ่มมากขึ้นได้อีกทางหนึ่ง

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความคิดว่าจะสามารถประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์พื้นฐานที่ผู้สอนทุกคนใช้งานได้มาพัฒนาเป็นระบบบันทึกผลการเรียนรู้ที่สามารถประเมินการเรียนรู้ของผู้เรียนในด้านต่างๆ ได้อย่างชัดเจน ผู้สอนสามารถประเมินผู้เรียนตามเกณฑ์ที่กำหนดขึ้น อีกทั้งสามารถแสดงข้อมูลผลการเรียนรู้ให้ผู้เรียนรับรู้ได้ถึงพัฒนาการของตนเองในการเรียนรายวิชานั้นได้เป็นระยะ ย่อมช่วยให้ผู้เรียนสามารถปรับปรุงและพัฒนาศักยภาพของตนเองได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้สนใจศึกษาพัฒนาต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ พร้อมกับศึกษาการยอมรับต้นแบบระบบดังกล่าวจากผู้สอนนี้ขึ้น แต่จำกัดขอบเขตการศึกษาที่มหาวิทยาลัยสวนดุสิตเท่านั้นเพื่อเลี่ยงผลกระทบต่อการจัดการเรียนการสอนของกลุ่มตัวอย่าง เนื่องจากการทดลองใช้ระบบจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 1 ภาคการศึกษา

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิจัยผสมผสานระหว่าง 1) การวิจัยประยุกต์ซึ่งเกิดจากการบูรณาการโดยนำแนวคิดการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐาน

การศึกษา การทวนสอบมาตรฐานผลการเรียนรู้ และหลักการพัฒนาระบบสารสนเทศมาพัฒนาต้นแบบระบบ และ 2) การวิจัยเชิงสำรวจเพื่อศึกษาการยอมรับต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ

กลุ่มตัวอย่างที่เลือกใช้ในการศึกษา 2 กลุ่มคือ

1) กลุ่มที่ 1 ผู้วิจัยได้ทำการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) ผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษา/การวัดผลการศึกษา จำนวน 3 คน และผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์/เทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 คน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบระบบ

2) กลุ่มที่ 2 ผู้วิจัยได้ทำการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง จากประชากรซึ่งเป็นผู้สอน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต จำนวนทั้งสิ้น 735 คน (ข้อมูล ณ วันที่ 31 มกราคม 2561) โดยเลือกจากผู้สอนที่อาสาเข้ารับการอบรม จำนวน 28 คน ซึ่งได้ทดลองใช้งานต้นแบบระบบ และตอบแบบสอบถามการยอมรับต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ

ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยโดยอาศัยวงจรการพัฒนาระบบสารสนเทศ (System Development Life Cycle - SDLC) เริ่มจาก

1) การวิเคราะห์ระบบ (system analysis) ได้ทำการค้นคว้าข้อมูลต่างๆ อาทิ พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ และกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ เพื่อทราบถึงแนวทางและข้อมูลที่สำคัญในการพัฒนาต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ พร้อมกับวิเคราะห์กระบวนการจัดการเรียนการสอนที่เกี่ยวกับการบันทึกผลการเรียน โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากประสบการณ์ของผู้วิจัยเองและสอบถามความต้องการจากผู้สอนคนอื่นๆ ขั้นตอนนี้ทำให้ทราบความต้องการพื้นฐานของ

ผู้สอนที่นำไปเป็นแนวคิดในการพัฒนาต้นแบบระบบ

2) การออกแบบและพัฒนาระบบ (system design and development) โดยการนำแนวคิดและข้อมูลที่ได้จากวิเคราะห์ระบบ มาพัฒนาต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ ที่สามารถจัดเก็บข้อมูลคะแนนผลการเรียนรู้ของผู้เรียนเป็นรายบุคคล สามารถแสดงผลสัมฤทธิ์ผลการเรียนรู้ สามารถประมวลผลการเรียนรายวิชาในภาคการศึกษานั้นๆ และสามารถทำรายงานสรุปผลการเรียนรู้ของรายวิชาได้ พร้อมกันนี้ผู้วิจัยได้จัดทำเอกสารคู่มือการใช้งาน แล้วนำไปสาธิตให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินผลการศึกษา จำนวน 3 คน และผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ จำนวน 3 คน เพื่อประเมินประสิทธิภาพ

ของระบบด้วยเทคนิคแบล็กบ็อกซ์ (black box technique) ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ด้านหลักๆ ได้แก่ ด้านการตอบสนองการใช้งาน (functional requirement test) ด้านความถูกต้อง (functional test) ด้านความง่ายในการใช้งาน (usability test) ด้านประสิทธิภาพ (performance test) และด้านการรักษาความปลอดภัยของระบบ (security test) โดยใช้เกณฑ์การประเมิน 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด เพื่อรับคำแนะนำไปปรับแก้ไขให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 6 คน มีความเห็นว่าต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ ในภาพรวมมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด โดยในขั้นตอนนี้ทำให้ได้ต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิแห่งชาติ



ภาพที่ 1 หน้าจอการทำงานต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิแห่งชาติส่วนเมนูหลักและการตั้งค่า

3) การนำระบบไปใช้งาน (system implement) โดยดำเนินการประชาสัมพันธ์ และจัดอบรมให้แก่ผู้สอนที่อาสาเป็นกลุ่มตัวอย่าง เพื่อเรียนรู้การใช้งานต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ หลังจากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างได้ทดลองใช้งานต้นแบบระบบฯ

4) การทดสอบ (system testing) หลังจากกลุ่มตัวอย่างได้ทดลองใช้งานต้นแบบระบบฯ แล้ว ได้ให้กลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถามการยอมรับต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติที่ผ่านการ

ตรวจสอบหาค่าดัชนีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษาด้านการวัดผลการศึกษา จำนวน 3 คน โดยผลการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 คน ในแต่ละประเด็นมีค่า IOC เท่ากับ 1 ซึ่งมีความเห็นด้วยแต่ให้ปรับแก้การใช้ข้อความในบางจุดก่อนที่จะนำไปใช้จริง

5) การบำรุงรักษาระบบ (system maintenance) หลังจากผู้วิจัยนำข้อมูลจากแบบสอบถามไปวิเคราะห์ผลการยอมรับในต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติแล้ว ผู้วิจัยได้นำข้อมูลไปปรับปรุงระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบ

มาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

หลังจากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนแล้ว ผู้วิจัยนำมาสรุปผลการวิจัยดังนี้

1. ประสิทธิภาพของต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ

ระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติได้มีการออกแบบและพัฒนาให้มีความสามารถสนับสนุนการทำงานของผู้อสอน ได้แก่ 1) สามารถเก็บข้อมูลการประเมินคะแนนผลการเรียนรู้ของผู้เรียนเป็นรายบุคคล 2) สามารถแสดงผลสัมฤทธิ์ผลการเรียนรู้ได้ในระดับบุคคลและภาพรวมของชั้นเรียน 3) สามารถประมวลผลการเรียนรายวิชาในภาคการศึกษานั้นๆ ได้อย่างรวดเร็ว 4) สามารถทำรายงานสรุปผลการเรียนรู้ของรายวิชาได้ทันที นอกจากนี้ยังสามารถสนับสนุนการทวนสอบผลการเรียนให้แก่ นักศึกษา โดยที่นักศึกษาสามารถทราบผลการเรียนรู้ และพัฒนาการของตนเองในระหว่างภาคการศึกษา ซึ่งข้อมูลนี้ นักศึกษาสามารถนำไปวางแผนหรือปรับปรุงตนเองให้มีผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ที่ดีขึ้นได้

หลังจากนั้นผู้วิจัยได้นำต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ สาธิตให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษา/การวัดผลการศึกษา และผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์/เทคโนโลยีสารสนเทศ โดยผลการประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษา/การวัดผลการศึกษา จำนวน 3 คน มีความเห็นว่าต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตาม

กรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ ในภาพรวมมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด และผลการประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติโดยผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์/เทคโนโลยีสารสนเทศ 3 คน มีความเห็นว่าต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ ในภาพรวมมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด เช่นเดียวกัน

ทั้งนี้ผู้เชี่ยวชาญได้ให้ข้อเสนอแนะว่า

1) การประเมินผลการเรียนรู้ด้วยเกณฑ์รูบริกส์ควรมีความยืดหยุ่นมากกว่านี้ กล่าวคือ ต้นระบบฯ ถูกกำหนดเกณฑ์ไว้ที่ 5 ระดับ แต่ผู้สอนบางคนอาจใช้เกณฑ์ประเมินผลการเรียนรู้ด้วยเกณฑ์รูบริกส์ที่ 3 ระดับ หรือ 7 ระดับ และ 2) หากสามารถพัฒนาให้เป็นระบบที่สามารถทำงานออนไลน์ได้จะมีประโยชน์มากยิ่งขึ้น

2. การยอมรับต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ

ภายหลังการอบรมการใช้งานต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ ให้แก่ผู้สอนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง เพื่อเรียนรู้การใช้งานต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ และผู้สอนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างได้ทดลองใช้งานระยะหนึ่ง (ประมาณ 1-2 สัปดาห์) แล้วจึงได้เข้าไปตอบแบบสอบถามการยอมรับต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ สามารถสรุปผลการยอมรับในประเด็นต่างๆ ดังนี้

1) ด้านกระบวนการและความถูกต้องของต้นแบบระบบฯ ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างยอมรับในประเด็น กลุ่มการใช้งานระบบใช้งานได้จริง ($\bar{X} = 4.75$) สามารถทำงานได้ถูกต้องมีประสิทธิภาพ ($\bar{X} = 4.71$) และระบบมีกระบวนการสอดคล้องกับการปฏิบัติงานของผู้ใช้ ($\bar{X} = 4.71$) ในระดับมากที่สุด รองลงมายอมรับในประเด็นระบบมีกระบวนการส่งเสริมให้การปฏิบัติงานรวดเร็วขึ้น ($\bar{X} = 4.39$) ระบบมีฟังก์ชันครอบคลุมการปฏิบัติงาน ($\bar{X} = 4.36$) และระบบมีขั้นตอนการใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน ($\bar{X} = 4.25$) ในระดับมาก

2) ด้านเนื้อหาของต้นแบบระบบฯ ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างยอมรับในประเด็นข้อมูลรายงานจากระบบสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ($\bar{X} = 4.82$) ข้อมูลในระบบที่ผ่านการประมวลผลแล้วมีความถูกต้อง ชัดเจน น่าเชื่อถือ ($\bar{X} = 4.71$) และการเชื่อมโยงข้อมูลภายในระบบช่วยให้การปฏิบัติงานสะดวกขึ้น ($\bar{X} = 4.64$) ในระดับมากที่สุด รองลงมาคือ ข้อมูลในระบบครบถ้วนครอบคลุมการปฏิบัติงานของผู้ใช้ ($\bar{X} = 4.36$)

3) ด้านการออกแบบและการจัดองค์ประกอบของต้นแบบระบบฯ ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างยอมรับในประเด็น ขนาดตัวอักษรและรูปแบบตัวอักษรอ่านง่าย ($\bar{X} = 4.82$) ระบบแสดงข้อมูลได้เหมาะสม เข้าใจได้ง่าย ($\bar{X} = 4.54$) และการออกแบบและจัดองค์ประกอบสนับสนุนการปฏิบัติงานให้ง่ายขึ้น ($\bar{X} = 4.64$) รองลงมาคือ สีสีนของระบบมีความสวยงาม น่าใช้ ($\bar{X} = 4.50$) และระบบมีความสวยงาม ทันสมัย และน่าสนใจ ($\bar{X} = 4.21$) ตามลำดับ

4) ด้านคู่มือการใช้งานของต้นแบบระบบฯ ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างยอมรับในประเด็น ตัวอักษรขนาดเหมาะสม อ่านง่าย ($\bar{X} = 4.75$) นำเสนอขั้นตอนการใช้งานได้ชัดเจน ปฏิบัติตามได้

จริง ($\bar{X} = 4.75$) และภาพประกอบมีความถูกต้องสื่อความหมาย ($\bar{X} = 4.75$) ในระดับมากที่สุด

จากผลการวิจัยข้างต้น ทำให้เห็นว่าต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติที่พัฒนาขึ้นนี้ได้รับการยอมรับในด้านกระบวนการและความถูกต้อง ด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบและการจัดองค์ประกอบ และด้านคู่มือการใช้งานของต้นแบบระบบฯ ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานในการพัฒนาออกแบบระบบสารสนเทศต่างๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เฉลิมพงศ์ (2557) ทำการศึกษาการประเมินผลการยอมรับการใช้ระบบสารสนเทศโรงพยาบาลของศูนย์ศรีพัฒน์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และการศึกษาของ ฉันทน์ (2557) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการใช้ระบบสารสนเทศทะเบียนทรัพยากรสิน หน่วยงานสังกัดสำนักงานสถิติธรรม พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับระบบสารสนเทศ คือ การรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับ ความง่ายต่อการใช้งาน ความเกี่ยวข้องกับงานและประสบการณ์ การเข้ากันได้ของระบบ และการฝึกอบรม

อย่างไรก็ตามผลการวิจัยดังที่รายงานข้างต้นเป็นการศึกษาจากผู้สอนภายใต้บริบทของมหาวิทยาลัยสวนดุสิตเท่านั้น ซึ่งหากจะนำไปใช้กับสถาบันอุดมศึกษาอื่น ควรมีการศึกษาและเก็บข้อมูลความต้องการของสถานศึกษานั้นๆ ก่อนเพื่อให้การใช้งานสามารถรองรับการปฏิบัติงาน และไม่เป็นการเพิ่มภาระให้ผู้สอน

ต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาตินี้จะช่วยให้ผู้สอนทราบได้ว่าผลสัมฤทธิ์ของการจัดการเรียนการสอนภาพรวมเป็นอย่างไร และยังสามารถทราบถึงผลการเรียนรู้แต่ละด้านของผู้เรียนเป็นรายบุคคล โดยเมื่อผู้สอนทราบว่าผู้เรียนคนใดมี

ความบกพร่องด้านใดบ้าง ก็จะสามารถนำข้อมูลนั้น มาวิเคราะห์และหาวิธีการส่งเสริมผู้เรียนให้บรรลุผลการเรียนรู้ได้ในภายหลัง ส่วนผู้เรียนเมื่อได้ทราบผลการประเมินจากผู้สอนในแต่ละสัปดาห์จะช่วยให้ทราบพัฒนาการการเรียนรู้ของตัวเอง ซึ่งสามารถนำไปปรึกษากับผู้สอนเพื่อขอคำแนะนำในการพัฒนาตนเองได้อีกทางหนึ่ง

อย่างไรก็ตามต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา แห่งชาติที่พัฒนาขึ้นนี้ เป็นระบบการทำงานแบบเดี่ยว

(stand alone) ถึงจะทราบผลการเรียนรู้ของผู้เรียนในแต่ละด้าน แต่เป็นเพียงผลการเรียนรู้เพียงรายวิชาใด รายวิชาหนึ่งเท่านั้น สุดท้ายนี้ผู้วิจัยเสนอว่าควรจะมีการศึกษาต่อยอดหรือพัฒนาระบบให้ทำงานในรูปแบบฐานข้อมูลออนไลน์ โดยเชื่อมโยงข้อมูลของรายวิชาต่างๆ เข้าด้วยกันซึ่งจะช่วยให้อาจารย์ผู้สอน หรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถทราบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักศึกษาแต่ละคนในภาพรวมของนักศึกษาที่ได้รับการศึกษาจากหลักสูตร

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์การยอมรับต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา แห่งชาติ

ประเด็นที่ศึกษา	$\bar{X}$	S.D.	ระดับการยอมรับ
ด้านกระบวนการและความถูกต้องของต้นแบบระบบฯ			
ระบบสามารถทำงานได้ถูกต้องมีประสิทธิภาพ	4.71	.460	มากที่สุด
ระบบมีกระบวนการสอดคล้องกับการปฏิบัติงานของผู้ใช้	4.71	.460	มากที่สุด
คู่มือการใช้งานระบบใช้งานได้จริง	4.75	.441	มากที่สุด
ระบบมีขั้นตอนการใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน	4.25	.799	มาก
ระบบมีฟังก์ชันครอบคลุมการปฏิบัติงาน	4.36	.678	มาก
ระบบมีกระบวนการส่งเสริมให้การปฏิบัติงานรวดเร็วขึ้น	4.39	.685	มาก
ด้านเนื้อหาของต้นแบบระบบฯ			
ข้อมูลในระบบครบถ้วนครอบคลุมการปฏิบัติงานของผู้ใช้	4.36	.678	มาก
การเชื่อมโยงข้อมูลภายในระบบช่วยให้การปฏิบัติงานสะดวกขึ้น	4.64	.678	มากที่สุด
ข้อมูลในระบบที่ผ่านการประมวลผลแล้วมีความถูกต้อง ชัดเจน น่าเชื่อถือ	4.71	.659	มากที่สุด
ข้อมูลรายงานจากระบบสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้	4.82	.390	มากที่สุด
ด้านการออกแบบและการจัดองค์ประกอบของต้นแบบระบบฯ			
ระบบแสดงข้อมูลได้เหมาะสม เข้าใจได้ง่าย	4.64	.678	มากที่สุด
ระบบมีความสวยงาม ทันสมัย และน่าสนใจ	4.21	.787	มาก
การออกแบบและจัดองค์ประกอบสนับสนุนการปฏิบัติงานให้ง่ายขึ้น	4.54	.838	มากที่สุด
ขนาดตัวอักษรและรูปแบบตัวอักษรอ่านง่าย	4.82	.390	มากที่สุด
สีสันทันของระบบมีความสวยงาม น่าใช้	4.50	.839	มาก

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ประเด็นที่ศึกษา	$\bar{X}$	S.D.	ระดับการยอมรับ
ด้านคู่มือการใช้งานของต้นแบบระบบฯ			
ตัวอักษรขนาดเหมาะสม อ่านง่าย	4.75	.646	มากที่สุด
นำเสนอขั้นตอนการใช้งานได้ชัดเจน ปฏิบัติตามได้จริง	4.75	.646	มากที่สุด
ภาพประกอบมีความถูกต้อง สื่อความหมาย	4.75	.646	มากที่สุด

หมายเหตุ: เกณฑ์การแปลความหมาย 4.51 - 5.00 มากที่สุด, 3.51 - 4.50 มาก, 2.51 - 3.50 ปานกลาง, 1.51 - 2.50 น้อย, 1.00 - 1.50 น้อยที่สุด

สรุป

ต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ ที่พัฒนาโดยโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล ผู้สอนสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือบันทึก และประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนในด้านต่างๆ ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดขึ้น อีกทั้งสามารถแสดงข้อมูลผลการเรียนรู้ให้ผู้เรียนรับรู้ได้ถึงพัฒนาการของตนเองในการเรียนรายวิชานั้นได้เป็นระยะ

ทั้งนี้ต้นแบบระบบฯ ดังกล่าว เมื่อนำไปประเมินการยอมรับจากอาจารย์ผู้สอนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง ทั้งในด้านกระบวนการและความถูกต้องของต้นแบบระบบฯ ด้านเนื้อหาของต้นแบบระบบฯ ด้านการออกแบบและการจัดองค์ประกอบของต้นแบบระบบฯ และด้านคู่มือการใช้งานของต้นแบบระบบฯ พบว่าได้รับการยอมรับอยู่ในระดับมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองอธิการบดี ฝ่ายวิชาการ, ผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน, คณะคณาจารย์ ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิตที่เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวคิด และสนับสนุนให้ผู้สอนจากคณะต่างๆ ได้รับรู้ข้อมูลโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทั้งด้านการศึกษา/การวัดผล

การศึกษา และด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์/เทคโนโลยีสารสนเทศ ทั้ง 6 คน ที่ตรวจประเมินประสิทธิภาพของระบบฯ และให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ยิ่งสุดทำนุขอบขอบคุณผู้สอนจากคณะต่างๆ ทั้ง 28 คน ที่อาสาทดลองใช้ต้นแบบระบบบันทึกผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ และให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กิ่งแก้ว จันทร์โถมศึก. 2550. ผลการเรียนรู้เชิงพุทธิพิสัยของนักศึกษาระดับอุดมศึกษา โดยใช้สื่อประสมประกอบดำเนินเรื่องผ่านคอมพิวเตอร์ช่วยสอน. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติศาสตร์, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- จิตติ วรวิทย์วิทยา. 2556. ประสิทธิภาพการเรียนรู้เชิงทักษะผ่านสื่อสิ่งพิมพ์และสื่อมัลติมีเดีย ของนักศึกษาระดับอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติศาสตร์, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ณิชนันท์ ปวงนิคม. 2557. ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการใช้ระบบสารสนเทศทะเบียนทรัพย์สิน หน่วยงานสังกัดสำนักงานศาล

- ยุติธรรม. วิทยานิพนธ์รัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เดชพงศ์ นาคเสวี. 2557. การประเมินผลการยอมรับการใช้ระบบสารสนเทศโรงพยาบาลของศูนย์ศรีพัฒน์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์รัฐศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ เรื่อง กรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2552. (2552, 31 สิงหาคม). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 126 ตอนพิเศษ 125 ง, น. 17-19.
- พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542. (2542, 19 สิงหาคม). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 116 ตอนที่ 74 ก, น. 1-23.
- สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา. 2552. ระกาศคณะกรรมการการอุดมศึกษา เรื่อง แนวทางการปฏิบัติตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2552. แหล่งที่มา: <http://www.mua.go.th/users/tqfhed/news/FilesNews/FilesNews3/News328072552.pdf>, 20 สิงหาคม 2561

ผลของเซฟราเรนทีนต่อความเป็นพิษของด็อกโซรูบิซิน

ในเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวในมนุษย์

Effect of Cepharanthine on the Cytotoxicity of Doxorubicin in Human B-Lymphoma Cells

สุนิษา กองทอง^{1*} วราลี กองทอง¹ และ ยงยุทธ เทพรัด²

Sunisa Khongthong^{1*}, Waralee Khongthong¹ and Yongyuth Theparat²

Received: 30 April 2018, Revised: 5 July 2018, Accepted: 6 September 2018

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อศึกษาฤทธิ์ของสาร cepharanthine (CEP) และ doxorubicin และการใช้ร่วมกันต่อความเป็นพิษและชักนำการตายแบบอะพอพโทซิสในเซลล์มะเร็งต่อมน้ำเหลือง โดยเซลล์ Ramos ได้รับยา doxorubicin หรือได้ร่วมกับสาร CEP (10, 20 และ 40 ไมโครโมลาร์) และประเมินความเป็นพิษและการตายของเซลล์หลังจากบ่มเซลล์ 24 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่าสาร CEP มีความเป็นพิษต่อเซลล์ โดยมีค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งได้ 50 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 13.77 ไมโครโมลาร์ และสาร CEP ที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 40 ไมโครโมลาร์ มีผลเพิ่มความเป็นพิษและสามารถชักนำให้เซลล์มะเร็งตายแบบอะพอพโทซิสเมื่อให้ร่วมกับยา doxorubicin และมีผลทำให้ค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งได้ 50 เปอร์เซ็นต์ลดลงจาก 2.55 ถึง 2.20, 1.85 และ 1.20 ตามลำดับ สาร CEP มีประสิทธิภาพเสริมฤทธิ์ความเป็นพิษของยา doxorubicin โดยชักนำการตายของเซลล์แบบอะพอพโทซิส ดังนั้นสรุปได้ว่าสาร CEP มีประโยชน์ต่อการรักษามะเร็งต่อมน้ำเหลืองที่ได้รับการรักษาเคมีบำบัด

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านมะเร็ง, ยาเคมีบำบัด, เซฟราเรนทีน, มะเร็งต่อมน้ำเหลือง

¹ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เลขที่ 133 หมู่ 5 ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

¹ Faculty of Veterinary Science, Rajamangala University of Technology Srivijaya, 133 Moo 5, Thungyai, Thungyai, Nakhon Si Thammarat 80240, Thailand.

² สถาบันวิจัยความเป็นเลิศระบบการนำส่งยา ภาควิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

² Drug Delivery Excellent System Center, Department of Pharmaceutical Technology, Faculty of Pharmaceutical Science, Prince of Songkla University, HatYai, Songkla 90110, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): Sunisa.p@rmutsv.ac.th Tel: 08 1145 4610

ABSTRACT

In this study, we investigated the activity of cepharanthine (CEP), doxorubicin, and combination on cytotoxicity and apoptosis using human lymphoma Ramos cells. Cells were treated with doxorubicin alone or in combination with CEP (10, 20 and 40 μ M). Cytotoxic and apoptosis studies were done after 24 h incubations. CEP had cytotoxicity on cells with an IC_{50} value of 13.77 μ M. CEP at concentrations of 10, 20 and 40 μ M additively increased the cytotoxic and the apoptotic effects of doxorubicin, leading to a decrease in IC_{50} (μ M) of the drug from 2.55 to 2.20, 1.85 and 1.20, respectively. CEP potentiated cytotoxicity of doxorubicin by increasing apoptotic effects. We conclude that CEP may have beneficial effects in patients with B cell lymphoma treated with chemotherapy.

Key words: anticancer, chemotherapeutic drugs, cepharanthine, lymphoma

บทนำ

มะเร็งต่อมน้ำเหลือง (Lymphoma) เป็นมะเร็งที่เกิดจากเม็ดเลือดขาวชนิดบีลิมโฟไซต์ที่มีการเพิ่มจำนวนและการเจริญเติบโตผิดปกติ ทำให้ต่อมน้ำเหลืองโตเร็วมาก ซึ่งหากไม่ได้รับการรักษา มะเร็งจะกระจายไปสู่ระบบต่างๆ ของร่างกาย และทำให้การทำงานของร่างกายล้มเหลวถึงแก่ชีวิตได้ โดยมะเร็งต่อมน้ำเหลืองแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ มะเร็งต่อมน้ำเหลืองชนิดฮอดกินส์ หรือ Hodgkin's lymphoma และมะเร็งต่อมน้ำเหลืองชนิดไม่ใช่ฮอดกินส์ หรือ Non-Hodgkin's lymphoma (NHL) ซึ่งเป็นชนิดที่พบมากที่สุด และเป็นมะเร็งทางระบบโลหิตวิทยาที่พบบ่อยที่สุดในผู้ป่วยไทย (Zhong, 2006) โดยพบอุบัติการณ์ของ NHL ในปี 2012 จำนวน 385,741 คน และเสียชีวิตจำนวน 199,630 โดยปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเพิ่มสูงขึ้นของโรคนั้นไม่ทราบแน่ชัด แต่พบว่ามีหลายปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการเกิด NHL เช่น การสัมผัสสารเคมี การปลูกถ่ายอวัยวะ การได้รับเชื้อไวรัส การถ่ายเลือด พันธุกรรม และปัจจัยอื่นเนื่องมาจากลักษณะการดำเนินชีวิต NHL สามารถแบ่งออกได้มากกว่า 30 ชนิดย่อย ซึ่งถ้าอาศัย

อัตราการเจริญของตัวมะเร็งแล้วจะสามารถแบ่ง NHL ออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดค่อยเป็นค่อยไป (indolent) ซึ่งจะมีอัตราการแบ่งตัวของมะเร็งค่อนข้างช้า และชนิดรุนแรง (aggressive) การรักษา NHL มีวิธีที่ใช้ในรักษาทั่วไป คือ การใช้ยาเคมีบำบัด ซึ่งการให้ยาเคมีบำบัดถือเป็นแนวทางการรักษาที่มีบทบาทสำคัญในปัจจุบัน โดยยาออกฤทธิ์ฆ่าเซลล์มะเร็งหรือยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์มะเร็ง ซึ่งยาเคมีบำบัดที่นิยมใช้ในการรักษามะเร็ง NHL จะมีสูตรยาหลายสูตร (drug regimen) โดยพบว่า CHOP regimen เป็น gold standard regimen สำหรับผู้ป่วยมะเร็งต่อมน้ำเหลืองชนิดรุนแรง (Aggressive Non-Hodgkin's lymphoma) (Hennessy *et al.*, 2004) ประกอบด้วยยา cyclophosphamide, doxorubicin, vincristine และ prednisolone โดยยา doxorubicin เป็นยาเคมีบำบัดที่นิยมใช้รักษาและให้ยาร่วมกันในสูตร แต่พบความเป็นพิษต่อระบบหัวใจและอาการไม่พึงประสงค์ และปัญหาการดื้อยาของเซลล์มะเร็ง (Soni *et al.*, 2011) ดังนั้นการหาแนวทางเพื่อลดความเป็นพิษและการดื้อยาของ doxorubicin สำหรับการรักษา มะเร็ง ดังนั้นการพัฒนารายการที่มีฤทธิ์ต้านมะเร็งและมีผลข้างเคียงต่ำ อีกทั้งช่วยเสริมฤทธิ์ของยาเคมีบำบัด

เซฟราเรนทีน (Cepharanthine, CEP) เป็นสารในกลุ่ม bisoclaurine alkaloid ที่พบได้ในรากของต้น *Stephania cepharantha* Hayata ที่พบมากในประเทศไทยญี่ปุ่น และสามารถพบได้ในหัวของต้นบอระเพ็ดพุงช้าง (*Stephania suberosa* L.L. Forman) และบัวบกหัว (*Stephania erecta* Craib) จากรายงานการศึกษาพบว่า CEP เป็นสารที่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาหลากหลาย เช่น ด้านการอักเสบ ด้านไวรัส ด้านอนุมูลอิสระและต้านมะเร็ง เป็นต้น (Rogosnitzky and Danks, 2011) CEP มีฤทธิ์ยับยั้งการสร้างสารสื่อกลางการอักเสบ pro-inflammatory cytokines (tumor necrosis factor (TNF)- α , interleukin (IL)-1 β , IL-6) และ nitric oxide ผ่านการยับยั้ง NF-KB (Kudo *et al.*, 2011) นอกจากนี้ CEP ยังมีฤทธิ์ต้านมะเร็งหลายชนิด เช่น มะเร็งช่องปากและลำคอ มะเร็งเม็ดเลือดขาว มะเร็งตับ และมะเร็งท่อน้ำดี เป็นต้น (Furusawa and Wu, 2007; Wu *et al.*, 2001; Seubwai *et al.*, 2010) จากการรายงานพบว่าสาร CEP ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งผ่านหลายกลไกประกอบด้วย เพิ่มการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน (immune response) (Ebina *et al.*, 1990) เหนี่ยวนาการตายของเซลล์มะเร็งแบบอะพอพโทซิส (apoptosis) โดยกระตุ้นการทำงานของ caspase-3 และ caspase-9 (Harada *et al.*, 2001; Biswas *et al.*, 2006) และยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์ในวัฏจักรของเซลล์ (cell cycle arrest) (Chen *et al.*, 2012) และจากการศึกษาของ Fang และคณะพบว่า CEP ยังสามารถกระตุ้นการตอบสนองของ cervical adenocarcinoma cell line ต่อการฉายรังสีโดยการลดการแสดงออกของ STAT3, Bcl-2, c-Myc และ cyclooxygenase-2 (COX-2) ทั้งในระดับ *in vitro* และ *in vivo* (Fang *et al.*, 2013) และมีผลชักนำให้เซลล์มะเร็งตายแบบอะพอพโทซิสและสามารถยับยั้งการแสดงออกของยีน COX-2 ในมะเร็งลำไส้ใหญ่ที่มีการแสดงออกของ COX-2 ในเซลล์

HT-29 cells (Rattanawong *et al.*, 2015) การศึกษาเบื้องต้นของงานวิจัยนี้พบว่า CEP มีฤทธิ์ทำลายเซลล์มะเร็งต่อมน้ำเหลือง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาฤทธิ์ของสาร CEP และ doxorubicin และการใช้ร่วมกันต่อความเป็นพิษและชักนำการตายแบบอะพอพโทซิสในเซลล์มะเร็งต่อมน้ำเหลือง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสารทดสอบ

ละลายสารทดสอบ CEP (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO) ใน DMSO เตรียมเป็น stock แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เมื่อทำการทดลองนำมาเจือจางโดยใช้อาหารเลี้ยงเซลล์เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของ CEP ที่ต้องการ โดยให้ความเข้มข้นสุดท้ายของ DMSO เป็น 0.2 เปอร์เซ็นต์

2. การเพาะเลี้ยงเซลล์

เซลล์ Ramos cells (Human Burkitt's lymphoma cell line) ชนิด aggressive type B-cell lymphoma จาก American Type Cell Culture (ATCC) (Rockville, MD) โดยเซลล์จะเลี้ยงในอาหาร RPMI 1640 medium ประกอบด้วย 10% (v/v) fetal bovine serum, 0.5% L-glutamine, 100 μ g/ml streptomycin และ 100 units/ml penicillin (Gibco BRL, Gaithersburg, MD) ที่อุณหภูมิ 37 °C ในสภาวะที่มี CO₂ 5%

3. การศึกษาผลการเสริมฤทธิ์ของ CEP ต่อความเป็นพิษของ doxorubicin ใน Ramos cell

การศึกษาความเป็นพิษของสารทดสอบต่อเซลล์ Ramos cell ด้วยวิธี Resazurin reduction assay โดยใช้สารละลาย resazurin ที่สามารถผ่านเข้าไปในเซลล์ เซลล์ที่มีชีวิตจะสามารถใช้เอนไซม์ในไมโทคอนเดรียเปลี่ยนสาร resazurin ที่มีสีน้ำเงินให้เป็นสีแดง โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร และ 600 นาโนเมตร ซึ่งความเข้มข้นของ

สีแดงที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับจำนวนเซลล์ที่ยังมีชีวิต (Vega-Avila and Pugsley, 2011)

เพาะเลี้ยงเซลล์ Ramos cell ใน 96-well plate จำนวน 1×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร บ่มใน CO₂ incubator เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เติมน้ำ CEP ที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 40 ไมโครโมลาร์ ที่ละลายในอาหารเลี้ยงเซลล์ที่มีความเข้มข้นสุดท้ายของ DMSO 0.2 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะที่เติมน้ำ CEP ที่ความเข้มข้น (10, 20, 40 ไมโครโมลาร์) ร่วมกับยา doxorubicin (0-2.5 ไมโครโมลาร์) ปริมาตร 150 ไมโครลิตรในแต่ละหลุม บ่มในสภาวะมาตรฐานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เติมน้ำละลาย resazurin ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 15 ไมโครลิตรในแต่ละหลุม บ่มในสภาวะมาตรฐานเป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร และ 600 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร (microplate reader) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เซลล์ที่มีชีวิตอยู่รอดจากสูตร (ค่าการดูดกลืนแสงของสารทดสอบ/ ค่าการดูดกลืนแสงของกลุ่มควบคุม $\times 100$) และคำนวณหาค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (half inhibitory concentration, IC₅₀) และวิเคราะห์ค่า Combination index จาก IC₅₀ ของสาร CEP และ doxorubicin ต่อความเป็นพิษใน Ramos cell จะวิเคราะห์โดยใช้ Probit analysis, SPSS version 10 เพื่อหาค่า IC₅₀ จากการใช้ยา cepharanthine-drug interaction โดยวิธี combination index (CI) (Chou, 2010) โดยค่า CI > 1.3 antagonism; CI 1.1-1.3 moderate antagonism; CI 0.9-1.1 additive effect; CI 0.8-0.9 slight synergism; CI 0.6-0.8 moderate synergism; CI 0.4-0.6 synergism; CI 0.2-0.4 strong synergism; CI < 0.1 very strong synergism (Chougule *et al.*, 2011)

4. การศึกษาผลของ CEP ต่อการเหนี่ยวนำการตายแบบอะพอพโทซิส (Induction of apoptosis)

เซลล์ระยะเริ่มเกิดอะพอพโทซิสจะมีการเปลี่ยนแปลงของพลาสมาเมมเบรนโดย phosphatidyl serine (PS) ซึ่งอยู่ที่เยื่อหุ้มด้านในจะเคลื่อนที่ออกด้านนอกซึ่ง annexin V-FITC สามารถจับกับประจุลบของ phosphatidyl serine ได้ ซึ่งในระยะนี้ propidium iodide (PI) ยังไม่สามารถผ่านพลาสมาเมมเบรนได้ แต่เมื่อพลาสมาเมมเบรนเสียคุณสมบัติ PI จะเข้าไปจับ ดีเอ็นเอ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้จำแนกการตายของเซลล์แบบ apoptosis หรือ necrosis ซึ่งจะสามารถตรวจสอบได้โดยใช้เครื่องโฟลไซโตมิเตอร์ (Flow cytometer)

เพาะเลี้ยงเซลล์ Ramos cell ใน 24-well plate จำนวน 1×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร บ่มใน CO₂ incubator เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เติมน้ำ CEP ที่ความเข้มข้น (10, 20, 40 ไมโครโมลาร์) ร่วมกับยา doxorubicin (1.5, 2, 2.5 มิลลิโมลาร์) ปริมาตร 150 ไมโครลิตรในแต่ละหลุม บ่มในสภาวะมาตรฐานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างเซลล์ด้วยสารละลาย phosphate buffer saline solution (PBS) และข้อมเซลล์ด้วย 200 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ของ annexin V-FITC ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (Invitrogen, USA) และข้อมด้วย 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ของ 40, 6 diamidino-2-phenylindole (DAPI) ในสารละลาย annexin V-binding buffer (0.1 M HEPES/ NaOH pH 7.4, 1.4 M NaCl, 25 mM CaCl₂) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (Invitrogen, Carlsbad, CA) ตรวจวัดปริมาณเซลล์ที่ย้อมติด annexin V-FITC และ DAPI ด้วย fluorescence flow cytometer (BD Biosciences, San Jose, CA, USA) นำผลจากโครมาโตแกรมที่แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของเซลล์ที่ติดสี single positive (annexin V-FITC or PI) และ double positive (annexin V-FITC and PI) ของเซลล์ที่ได้รับสารทดสอบเปรียบเทียบกับ untreated control และวิเคราะห์การเกิด apoptosis ประกอบด้วย viable cells (annexin V-, PI -) ล้างซ้ำ,

early apoptotic cells (annexin V +, PI -) ล่างขวา, late apoptotic cells (annexin V +, PI +) บนขวา และ necrotic cell (annexin V -, PI +) บนซ้าย

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้แสดงนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD) ระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มทดลองที่ได้รับสารสกัดใบรางจืดที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA) และทดสอบความแตกต่างระหว่างคู่โดยวิธี Duncan's test กำหนดค่า $p < 0.01$ จึงถือว่ามีความสำคัญทางสถิติ

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

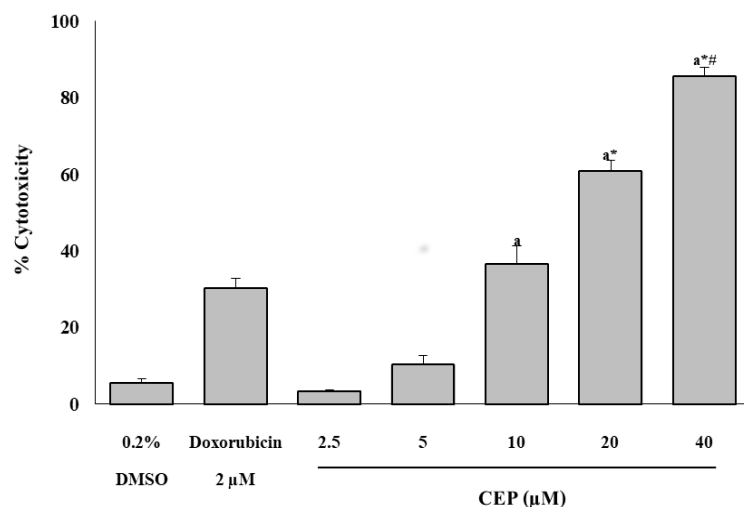
1. ผลของสาร CEP ต่อความเป็นพิษของยา doxorubicin

สาร CEP มีความเป็นพิษต่อ Ramos cells หลังจากได้รับสารทดสอบ 24 ชั่วโมงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ตามความเข้มข้นของสารที่เพิ่มขึ้น (concentration-dependent manner) โดยมีค่า IC_{50} 13.77 ± 1.25 ไมโครโมลาร์ (ภาพที่ 1) และผลของสาร CEP ที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 40 ไมโครโมลาร์ ที่ให้ร่วมกับยา doxorubicin (0-2.5 ไมโคร

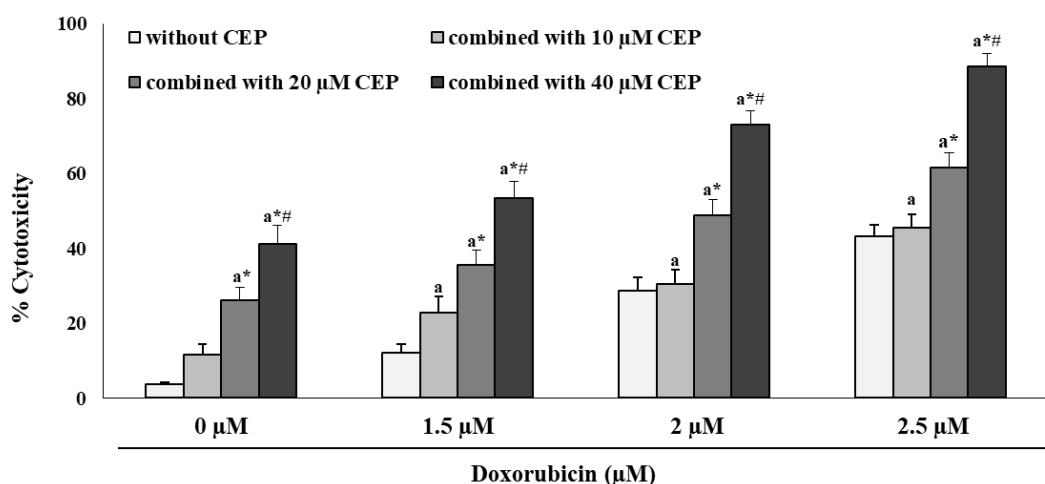
โมลาร์) ใน Ramos cell พบว่ามีความเป็นพิษต่อเซลล์ Ramos โดยมีค่า IC_{50} ของยา doxorubicin ลดลงจาก 2.55 ± 0.01 ถึง 2.20 ± 0.03 , 1.85 ± 0.04 , 1.20 ± 0.04 ไมโครโมลาร์ ดังนั้นผลจากการใช้สาร CEP ร่วมกับยา doxorubicin มีผลเพิ่มความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง Ramos cells แบบเสริมฤทธิ์กัน (additive effect) โดยมีค่า CI value ในช่วง 0.99 - 1.02 (ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 1 และ 2) การรักษาต่อเนื่องต่อเนื่องชนิดไม่ใช่ฮอดคินส์ หรือ Non-Hodgkin's Lymphoma (NHL) จะใช้ยาเคมีบำบัดในสูตร CHOP (ประกอบด้วยยา cyclophosphamide, doxorubicin, vincristine, prednisone) ซึ่งเป็นสูตรยาที่มีมาตรฐานดีสุด (gold standard regimen) และให้ผลสำเร็จสำหรับการรักษามะเร็ง (Hennessy *et al.*, 2004) สาร CEP เป็นสารกลุ่ม alkaloid ที่มีฤทธิ์ต้านมะเร็งหลายชนิดเหมือนกับยาเคมีบำบัดกลุ่ม vinca alkaloid คือ ยา vincristine และ vinblastine จากผลการศึกษาพบว่าสาร CEP ที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 40 ไมโครโมลาร์ มีผลเพิ่มความเป็นพิษของยา doxorubicin ต่อเซลล์มะเร็ง Ramos cell โดยมีค่า IC_{50} ต่อเซลล์มะเร็งต่อเนื่องต่อเนื่องเท่ากับ 13.77 ไมโครโมลาร์ และมีค่า IC_{50} ต่อเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่และทวารหนัก เท่ากับ 2.4 ไมโครโมลาร์ (Rattanawong *et al.*, 2015)

ตารางที่ 1 IC_{50} และค่า combination index (CI) values ของยา doxorubicin ที่ให้ร่วมกับสาร CEP ที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 40 ไมโครโมลาร์ ต่อเซลล์มะเร็ง Ramos หลังจากบ่มเซลล์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

Treatment	IC_{50} (μ M)	CI
Cepharanthine (CEP)	13.77 ± 1.25	-
Doxorubicin	2.55 ± 0.01	-
Doxorubicin plus 10 μ M CEP	2.20 ± 0.03	0.99
Doxorubicin plus 20 μ M CEP	1.85 ± 0.04	1.02
Doxorubicin plus 40 μ M CEP	1.20 ± 0.04	1.01



ภาพที่ 1 ผลของ CEP (2.5 - 40 ไมโครโมลาร์) ต่อความเป็นพิษต่อเซลล์ Ramos cell ที่เวลา 24 ชั่วโมง และประเมินความเป็นพิษด้วยวิธี resazurin reduction assay ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 3 ซ้ำ, $^a p < 0.01$ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับยา doxorubicin (without CEP), $^* p < 0.01$ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับ CEP 10 ไมโครโมลาร์, $^{\#} p < 0.01$ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับ CEP 20 ไมโครโมลาร์

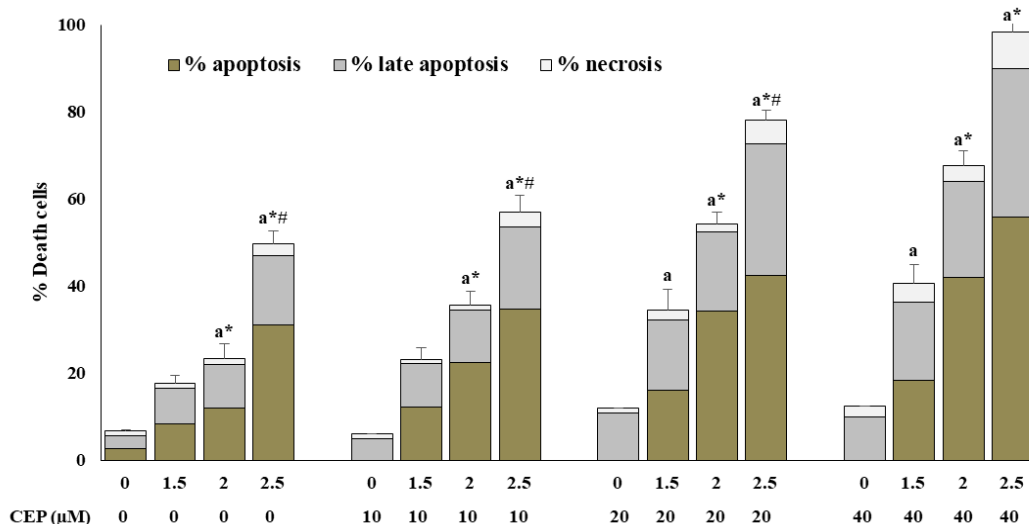


ภาพที่ 2 ผลของ CEP ต่อฤทธิ์ความเป็นพิษของยา doxorubicin ในเซลล์ Ramos cell ที่ได้รับยา doxorubicin (0-2.5 ไมโครโมลาร์) หรือการให้ร่วมกับสาร CEP ที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 40 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ประเมินความเป็นพิษด้วยวิธี resazurin reduction assay ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ $^a p < 0.01$ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับยา doxorubicin (without CEP), $^* p < 0.01$ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับ CEP 10 ไมโครโมลาร์, $^{\#} p < 0.01$ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับ CEP 20 ไมโครโมลาร์

2. ผลของ CEP ต่อการเหนี่ยวนำการตายแบบอะพอพโทซิสของเซลล์มะเร็งของยา doxorubicin

ยาเคมีบำบัด (chemotherapeutic drugs) มีฤทธิ์ต้านมะเร็งโดยเหนี่ยวนำการตายแบบอะพอพโทซิสของเซลล์มะเร็ง เซลล์ที่ตายแบบอะพอพโทซิสวิเคราะห์โดยการย้อมเซลล์ด้วย annexin V-FITC และ PI และตรวจวัดด้วย fluorescence flow cytometer ผลจากการศึกษาพบว่าสาร CEP มีผลเหนี่ยวนำการตายแบบอะพอพโทซิสตามเข้มข้นของสารที่เพิ่มขึ้น (concentration dependent manner) โดยสาร CEP ที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 40 ไมโครโมลาร์ มีผลเหนี่ยวนำการตายแบบอะพอพโทซิสรูปแบบ late apoptosis คิดเป็น 11.25 ± 2.66 , 30.47 ± 1.68 และ 45.36 ± 2.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และผลของยา doxorubicin ร่วมกับสาร CEP (10, 20, 40 ไมโครโมลาร์) มีผลเพิ่มการตายแบบอะพอพโทซิสต่อเซลล์มะเร็งชนิด early apoptosis ถึง late apoptosis (annexin V-FITC+/DAPI+cells) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับยา doxorubicin โดยสาร CEP และ doxorubicin มีผลเสริมฤทธิ์กัน (additive effect) ต่อการเหนี่ยวนำการตายแบบอะพอพโทซิสของเซลล์มะเร็ง (ดังแสดงในรูปที่ 3) จากการศึกษากลไกการออกฤทธิ์ของสาร CEP ต่อรูปแบบการตายของ

เซลล์มะเร็งพบว่า CEP ที่ความเข้มข้นต่างๆ มีผลเหนี่ยวนำการตายแบบอะพอพโทซิสและมีผลเพิ่มการตายของเซลล์รูปแบบ early และ late apoptosis เมื่อให้ร่วมกับยา doxorubicin โดยสาร CEP เหนี่ยวนำการตายแบบอะพอพโทซิสผ่านกระตุ้นการทำงานของ caspase-9 และ caspase-3 (Harada *et al.*, 2001; Biswas *et al.*, 2006) และกระตุ้น pro-apoptotic signaling pathways เช่น JNK, ERK และ p38 MAPK (Harada *et al.*, 2009) และยับยั้งการแสดงออก anti-apoptotic gene Bcl-xl (Fang *et al.*, 2013) จากการศึกษาพบว่าสาร CEP มีผลเหนี่ยวนำการตายแบบอะพอพโทซิสและยับยั้งการแสดงออกของเอนไซม์ cyclooxygenase 2 (COX-2) ของเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ HT-29 cells (Rattanawong *et al.*, 2015) และเหนี่ยวนำการตายแบบอะพอพโทซิสในเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวของหนู (P338) และเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวที่ถูกเหนี่ยวนำให้ติดต่อยา doxorubicin ให้เกิดโดยการเพิ่มปริมาณของอนุมูลอิสระและเพิ่มการแสดงออกของ Fas-antigen (Furusawa and Wu, 2007) ดังนั้นสาร CEP มีผลเสริมฤทธิ์ยา doxorubicin (additive effect) ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งและชักนำการตายแบบอะพอพโทซิสในเซลล์มะเร็งต่อมน้ำเหลือง



ภาพที่ 3 ผลของสาร CEP ต่อการเหนี่ยวนำการตายแบบอะพอพโทซิสของเซลล์มะเร็ง Ramos cell ของยา doxorubicin เซลล์ได้รับยา doxorubicin (1.5, 2 และ 2.5 ไมโครโมลาร์) หรือให้ร่วมกับสาร CEP (10, 20 และ 40 ไมโครโมลาร์) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ย้อมเซลล์ด้วย annexin V-FITC/DAPI ประเมินการตายของเซลล์มะเร็งจากการติดสี annexin V-FITC⁺ (apoptotic cells) และติดสี DAPI⁺ (necrotic cell) และติดสี annexin V-FITC⁺/DAPI⁺ cells (late apoptotic cells) ด้วยเครื่อง flow cytometer แสดงเปอร์เซ็นต์การตายของเซลล์ (apoptosis, late apoptosis, และ necrosis) โดยข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ, ^a $p < 0.01$ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับยา doxorubicin (without CEP), ^{*} $p < 0.01$ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับ CEP 10 ไมโครโมลาร์, [#] $p < 0.01$ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับ CEP 20 ไมโครโมลาร์

สรุป

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสาร CEP มีฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็งต่อมน้ำเหลือง และมีผลเพิ่มฤทธิ์ของยา doxorubicin ต่อการเกิดความเป็นพิษโดยออกฤทธิ์เหนี่ยวนำการตายแบบอะพอพโทซิสของเซลล์มะเร็ง ดังนั้นสรุปได้ว่าสาร CEP มีศักยภาพสูงต่อการเสริมฤทธิ์ของยา doxorubicin และสามารถลดขนาดการใช้ยา doxorubicin ที่มีผลเกิดการดี้อาและอาการไม่พึงประสงค์

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณพระคุณทูลวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และสถานที่

ในการทำวิจัย คือ ห้องปฏิบัติการชีวเคมีและเภสัชวิทยา ห้องปฏิบัติการไวรัสวิทยาทางสัตวแพทย์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช ทุ่งใหญ่

เอกสารอ้างอิง

Biswas, K.K., Tancharoen, S., Sarker, K.P., Kawahara, K., Hashiguchi, T. and Maruyama, I. 2006. Cepharanthine triggers apoptosis in a human hepatocellular carcinoma cell line (HuH-7) through the activation of JNK1/2 and the downregulation of Akt. **FEBS Letters** 580: 703-710.

- Chen, Z., Huang, C., Yang, Y.L., Ding, Y., Ou-Yang, H.Q., Zhang, Y.Y. and Xu, M. 2012. Inhibition of the STAT3 signaling pathway is involved in the antitumor activity of cepharanthine in SaOS2 cells. **Acta Pharmacologica Sinica** 33: 101-108.
- Chou, T.C. 2010. Drug combination studies and their synergy quantification using the Chou-Talalay method. **Cancer Research** 70: 440-446.
- Chougule, M.B., Patel, A., Sachdeva, P., Jackson, T. and Singh, M. 2011. Enhanced anticancer activity of gemcitabine in combination with nescapine via antiangiogenic and apoptotic pathway against non-small cell lung cancer. **PLoS One** 6(11): 1-11.
- Ebina, T., Ishikawa, K. and Murata, K. 1990. Antitumor effect of Cepharanthin in the double grafted tumor system. **Gan to Kagaku Ryoho Journal** 17(6): 1165-1171.
- Fang, Z., Li, Y., Chen, Z., Wang, J. and Zhu, L. 2013. Inhibition of Signal Transducer and Activator of Transcription 3 and Cyclooxygenase-2 Is Involved in Radiosensitization of Cepharanthine in HeLa Cells. **International Journal of Gynecological Cancer** 23(4): 608-614.
- Furusawa, S. and Wu, J. 2007. The effects of biscoclaurine alkaloid cepharanthine on mammalian cells: Implications for cancer, shock, and inflammatory diseases. **Life Sciences** 80: 1073-1079.
- Harada, K., Bando, T., Yoshida, H. and Sato, M. 2001. Characteristics of antitumor activity of cepharanthin against a human adenosquamous cell carcinoma cell line. **Journal of Oral Oncology** 37(8): 643-651.
- Harada, K., Ferdous, T., Itashiki, Y., Takii, M., Mano, T., Mori, Y. and Ueyama, Y. 2009. Cepharanthine inhibits angiogenesis and tumorigenicity of human oral squamous cell carcinoma cells by suppressing expression of vascular endothelial growth factor and interleukin-8. **International Journal of Oncology** 35(5): 1025-1035.
- Hennessy, B.T., Hanrahan, E.O. and Daly, P.A. 2004. Non-Hodgkin lymphoma: An update. **Lancet Oncology** 5: 341-353.
- Kudo, K., Hagiwara, S., Hasegawa, A., Kusaka, J., Koga, H. and Noguchi, T. 2011. Cepharanthine exerts anti-inflammatory effects via NF-KB Inhibition in a LPS-Induced rat model of systemic inflammation. **Journal of Surgical Research** 171(1): 199-204.
- Rattanawong, A., Limpanasithikul, W. and Wonganan, P. 2015. Anticancer Effects of Cepharanthine on Human Colon Cancer Cells. **KKU Research Journal** 15: 68-78.
- Rogosnitzky, M. and Danks, R. 2011. Therapeutic potential of the biscoclaurine alkaloid, cepharanthine, for a range of clinical conditions. **Pharmacological Reports** 63(2): 337-347.
- Seubwai, W., Vaeteewoottacharn, K., Hiyoshi, M., Suzu, S., Puapairoj, A., Wongkham, C., Okada, S. and Wongkham, S. 2010. Cepharanthine exerts antitumor activity on

- cholangiocarcinoma by inhibiting NF-kappa B. **Cancer Science** 101(7): 1590-1595.
- Soni, H., Pandya, G., Patel, P., Acharya, A., Jain, M. and Mehta, A.A. 2011. Beneficial effects of carbon monoxide-releasing molecule-2 (CORM-2) on acute doxorubicin cardiotoxicity in mice: Role of oxidative stress and apoptosis. **Toxicology and Applied Pharmacology** 253: 70-80.
- Vega-Avila, E. and Pugsley, M.K. 2011. An Overview of Colorimetric Assay Methods Used to Assess Survival or Proliferation of Mammalian Cells. **Proceedings of the Western Pharmacology Society** 54: 10-14.
- Wu, J., Suzuki, H., Zhou, Y.W., Liu, W., Yoshihara, M., Kato, M., Akhand, A.A., Hayakawa, A., Takeuchi, K., Hossain, K., Kurosawa, M. and Nakashima, I. 2001. Cepharanthine Activates Caspases and Induces Apoptosis in Jurkat and K562 Human Leukemia Cell Lines. **Journal of Cell Biology** 82(2): 200-214.
- Zhong, Y. 2006. Non-Hodgkin's lymphoma: What primary care professionals need to know?. **Journal for Nurse Practitioners** 2: 309-315.

พฤติกรรมของผู้บริโภคในจังหวัดตรังต่อผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

Consumer Behavior Toward Food Supplement in Trang Province

สุดคณิง ณ ระนอง^{1*} นพรัตน์ มะเห² และ รัตนาพร อนันตสุข³Sutkanung Na Ranong^{1*} Nopparat Mahae² and Rattanaorn Anantasuk³

Received: 2 January 2018, Revised: 10 July 2018, Accepted: 22 November 2018

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน โดยผู้บริโภคมีความคาดหวังถึงการป้องกันและรักษาโรค นอกเหนือจากประโยชน์ทางโภชนาการตามปกติเหมือนอาหารทั่วไป การบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารควรมีการศึกษาข้อมูลให้ละเอียดก่อนการบริโภค การศึกษาพฤติกรรมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคในจังหวัดตรัง เก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามโดยการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคจำนวน 400 คน ผลการศึกษาพบว่า พฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคส่วนใหญ่ (ร้อยละ 50) เลือกซื้อผลิตภัณฑ์กลุ่มบำรุงสุขภาพ รองลงมาคือ กลุ่มควบคุมน้ำหนัก (ร้อยละ 27.8) โดยส่วนใหญ่ผู้บริโภคจะได้รับทราบข้อมูลจากแพทย์/เภสัช (ร้อยละ 58.0) ส่วนในด้านการซื้อเพื่อรับประทานผู้บริโภคส่วนมากซื้อให้กับตนเอง (ร้อยละ 52.3) สำหรับเหตุผลที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่เลือกมากที่สุด คือ เพื่อบำรุงร่างกาย (ร้อยละ 57.0) เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร โดยตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์มี 16 ตัวแปร ผลการวิเคราะห์ได้ปัจจัย 3 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1 สามารถอธิบายความแปรปรวนทั้งหมดได้ร้อยละ 55.508 ประกอบด้วย 6 ตัวแปร ซึ่งผู้วิจัยตั้งชื่อปัจจัยที่ 1 ว่า “ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์” ปัจจัยที่ 2 สามารถอธิบาย

¹ สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

¹ Department of Physical Science, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang 92150, Thailand.

² สาขาอุตสาหกรรมอาหารและผลิตภัณฑ์ประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

² Department of Food Industry and Fishery Product, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang 92150, Thailand.

³ สาขาวิชาการจัดการประมงและธุรกิจสัตว์น้ำ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

³ Program in Fishery Management and Aquatic Business, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang 92150, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): sutkanung@hotmail.com

ความแปรปรวนทั้งหมดได้ ร้อยละ 12.269 ประกอบด้วย 7 ตัวแปร ซึ่งผู้วิจัยตั้งชื่อปัจจัยที่ 2 ว่า “ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขายและช่องทางจำหน่าย” ปัจจัยที่ 3 สามารถอธิบายความแปรปรวนทั้งหมดได้ ร้อยละ 6.462 ประกอบด้วย 3 ตัวแปร ซึ่งผู้วิจัยตั้งชื่อปัจจัยที่ 3 ว่า “ปัจจัยด้านราคา” การศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เพื่อทำการผลิตและกำหนดแนวทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์เสริมอาหารให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: พฤติกรรมของผู้บริโภค, ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร, จังหวัดตรัง

ABSTRACT

Nowadays, food supplement gets the attention from the consumers. Apart from nutritional benefit as general food, prophylactic and disease treatment are customer needs. However, information on dietary supplements should be studied thoroughly before consumption. The objectives of this study were to investigate consumer behavior in Trang province toward food supplement and factors affecting consumer behavior toward food supplement. The data were collected by interviewing 400 participants who represented as consumers sample of the study. The findings showed that majority of consumers purchased nourishment product (50.0%), followed by weight loss supplements product (27.8%). The majority of information source on food supplement was doctor/pharmacist (58.0%). Most of the consumers bought the product for themselves (52.3%). The reason for purchasing was for good physical well-being (57.0%). Factor analysis was used to examine factors affecting consumer behavior on food supplement. After analyzing 16 variables for factor analysis, three factors were gained. First factor consisted of six variables with 55.508% of variance. The factor was called “product factor”. The second factor consisted of seven variables with 12.269% of variance. The factor was called “sales promotion and distribution channel factor”. Third factor consisted of 3 variables with 6.462% of variance. The factor was called “price factor”. The finding from this study was useful for food supplement manufacturers in assigning and distributing pattern to meet consumer needs.

Key words: consumer behavior, dietary supplement, Trang province

บทนำ

ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (Dietary supplements) จัดเป็นอาหารประเภทหนึ่งตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่รับประทานโดยตรงนอกเหนือจากการรับประทานอาหารหลักตามปกติเพื่อเสริมสาร

บางอย่าง มักอยู่ในรูปแบบเม็ด แคปซูล ผง เกล็ด ของเหลว หรือลักษณะอื่น และมีจุดมุ่งหมายสำหรับบุคคลทั่วไปที่มีสุขภาพปกติ มิใช่สำหรับผู้ป่วย (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2546) ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากแนวโน้มของสินค้าเพื่อสุขภาพที่มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง อีกปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้อง

นอกเหนือจากปัจจัยด้านเศรษฐกิจแล้ว ยังมีปัจจัยด้านจำนวนประชากรผู้สูงอายุที่เพิ่มขึ้น กลุ่มประชากรอายุ 50 ปีขึ้นไป มีสัดส่วนมากกว่า 23% ของจำนวนประชากรทั้งหมด และจะเพิ่มเป็น 32% ในอีก 10 ปีข้างหน้า ในขณะที่กลุ่มอายุ 15-29 ปี จาก 24% จะลดลงเหลือ 21% และกลุ่มอายุ 30-39 ปี จาก 16% จะลดลงเหลือ 15% ส่งผลให้ตลาดสินค้าเพื่อสุขภาพยังมีการเติบโต โดยเฉพาะในกลุ่มผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อสุขภาพ (นาฏอนงค์, 2558) การบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารนั้นผู้บริโภคมีความหวังว่าผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจะช่วยบำบัดโรคหรือช่วยป้องกันโรคบางชนิด นอกเหนือจากการได้รับประโยชน์ตามโภชนาการตามปกติของสารอาหารทั่วไป อย่างไรก็ตาม การบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารอาจไม่ได้รับประโยชน์ตามคำกล่าวอ้างสรรพคุณครบถ้วนเนื่องจากความแตกต่างของร่างกายแต่ละบุคคล ซึ่งเป็นปัจจัยหลักของการออกฤทธิ์ของสารอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ (อัญชลี, 2555)

สิ่งที่สำคัญในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารคือ สารอาหารต่างๆ ที่ผู้บริโภคคาดหวังว่าจะมีในผลิตภัณฑ์นั้นๆ กลุ่มของสารอาหารสำหรับอาหารเพื่อสุขภาพนั้น อัญชลี (2555) ได้แบ่งออกเป็น 1) คาร์โบไฮเดรต เช่น โปรไบโอติก (probiotic) หมายถึง โยอาหารบางชนิดที่ทนต่อการย่อยโดยเอนไซม์ในลำไส้มนุษย์ สามารถถูกหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้มนุษย์ ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพของมนุษย์ (Slavin, 2013) ช่วยลดความเสี่ยงของโรคหัวใจและหลอดเลือด (Slavin, 2008) ลดความเสี่ยงจากโรคเบาหวาน (Hopping *et al.*, 2010) ควบคุมความอยากอาหาร (Slavin and Green, 2007) ช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันร่างกาย (Saavedra and Tschernia, 2002) 2) ไขมัน เช่น ผลิตภัณฑ์เสริมโอเมก้า 3 จากปลาทะเล ผลิตภัณฑ์เสริมโอเมก้า 6 จากน้ำมันสกัดรำข้าว น้ำมันสกัดอฟ

นิ่งพริมโรส และผลิตภัณฑ์เสริมโอเมก้า 9 จากน้ำมันมะกอก (อัญชลี, 2555) 3) โปรตีน เช่น เปปไทด์ (peptide) มีคุณสมบัติการออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ เช่น ยับยั้งโรคความดันโลหิตสูง (antihypertensive activities), ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activities), มีผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน (immunomodulatory activities), ยับยั้งมะเร็ง (anticancer activities), ยับยั้งจุลินทรีย์ (antimicrobial activities) และลดไขมันในเลือด (lipid-lowering activities) (Meisel, 2004; Wang and Gonzalez De Mejia, 2005; Korhonen and Pihlanto, 2006; Pihlanto, 2006; Aluko, 2008a; Aluko, 2008b) 4) พอลิฟีนอล มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและสารพอลิฟีนอลบางชนิด ได้แก่ สารสกัด procyanidins จากเมล็ดองุ่นและแอปเปิ้ล สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสที่หลังจากตับอ่อน ทำให้การดูดซึมไตรกลีเซอไรด์ลดลง (Moreno *et al.*, 2003) 5) โปรไบโอติก (probiotic) เป็นจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิต เมื่อรับประทานเข้าไปโดยมนุษย์หรือสัตว์ในปริมาณที่เพียงพอและเหมาะสมจะก่อให้เกิดผลดีต่อสุขภาพของร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้น (FAO/WHO, 2002) ประโยชน์ของโปรไบโอติก คือ ช่วยป้องกันโรคติดเชื้อ (Rolfe, 2000) รักษาการบวมของอาการลำไส้แปรปรวน บรรเทาอาการแพ้ ย่อยสลายแลคโตส และลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด (Andersson *et al.*, 2001) รวมทั้งป้องกันการเกิดมะเร็ง (Gibson and Macfarlane, 1994).

สิ่งสำคัญที่มีผลต่อการบริโภคผลิตภัณฑ์คือ พฤติกรรมผู้บริโภค (Consumer Behavior) ได้มีผู้ให้ความหมายของพฤติกรรมผู้บริโภคไว้หลากหลาย Schiffman and Kanuk (1994) กล่าวถึงพฤติกรรมผู้บริโภค หมายถึง พฤติกรรมซึ่งผู้บริโภคทำการค้นหาการซื้อ การใช้ การประเมินผล การใช้สอยผลิตภัณฑ์ และการบริการ ซึ่งคาดว่าจะสนองความต้องการของเขา ศิริวรรณ (2539) ได้ให้ความหมายไว้ว่า

พฤติกรรมผู้บริโภค หมายถึงพฤติกรรมซึ่งบุคคลทำการค้นหา (Searching) การซื้อ (Purchasing) การใช้ (Using) การประเมินผล (Evaluating) และการใช้จ่าย (Disposing) ในผลิตภัณฑ์และบริการ โดยคาดว่า จะตอบสนองความต้องการของเขา (Schiffman and Kanuk, 1994) หรืออาจหมายถึง กระบวนการตัดสินใจและลักษณะของกิจกรรมของแต่ละบุคคล เมื่อทำการประเมินผล การจัดหา การใช้ และการใช้จ่ายเกี่ยวกับสินค้าและบริการ อดุลย์ และ คลยา (2545) ได้ให้ความหมายพฤติกรรมผู้บริโภค หมายถึง กิจกรรมต่างๆ ที่บุคคลกระทำเมื่อได้รับบริการหรือบริโภคสินค้ารวมไปถึงการจัดสินค้าหรือบริการหลังการบริโภคด้วย

พฤติกรรมผู้บริโภคของคนไทยได้เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของภาวะเศรษฐกิจและสังคม สาเหตุของการเกิดโรคส่วนใหญ่เกิดจากการมีพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสม เช่น การรับประทานอาหารที่ไม่มีประโยชน์ มีรสหวาน มัน เก็มมากเกินไปหรือดื่มแอลกอฮอล์ เป็นต้น จากพฤติกรรมดังกล่าวส่งผลให้เกิดภาวะโรคอ้วน น้ำหนักเกิน ไขมันในเลือดสูง น้ำตาลในเลือดสูง แม้ว่าคนไทยส่วนใหญ่ทราบถึงสาเหตุและปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดโรค แต่ขาดความใส่ใจหรือตระหนักต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมด้านสุขภาพในทางที่ดีขึ้น (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2557) เพื่อแก้ปัญหาเรื่องสุขภาพที่เกิดขึ้น ผู้บริโภคบางส่วนจึงหันมารับประทานผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เพื่อเป็นทางออกของปัญหาดังกล่าว ดังนั้น ผู้ประกอบการด้านผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจึงควรทราบความต้องการของผู้บริโภค เพื่อให้สามารถตอบโจทย์ของผู้บริโภคได้ ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมของผู้บริโภคจึงมีความสำคัญในการรองรับการตอบโจทย์ของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร การศึกษครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภค

ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคในจังหวัดตรัง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์เสริมอาหารต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือ ผู้บริโภคทั่วไปของอำเภอต่างๆ ในจังหวัดตรัง สุ่มตัวอย่างตามสัดส่วนจำนวนประชากรในแต่ละอำเภอ โดยคำนวณขนาดตัวอย่างตามสูตรของยามานะ (Yamane, 1976) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สูตรคำนวณกลุ่มตัวอย่าง

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

เมื่อ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = จำนวนประชากร

e = ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0.05

จากการคำนวณได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 384 คน เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนในการเก็บตัวอย่าง จึงกำหนดกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้เท่ากับ 400 คน โดยใช้การสุ่มตัวอย่างตามความสะดวก (Convenience Sampling) และนำแบบสอบถามที่ได้ไปทำการเก็บข้อมูลในสถานที่ชุมชนในจังหวัดตรัง เช่น ตลาด ร้านค้า ห้างสรรพสินค้ามหาวิทยาลัย เป็นต้น จนได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างครบตามที่กำหนด

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้นจากแนวคิดทฤษฎีพฤติกรรมผู้บริโภค (Theory of Consumer Behavior) รวมถึงการทบทวน

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบบสอบถามมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค ประกอบด้วยข้อความจำนวน 7 ข้อ ได้แก่ เพศ ภูมิลำเนา อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษา รายได้เฉลี่ย ต่อเดือน และอาชีพ

ส่วนที่ 2 พฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ประกอบด้วยข้อความจำนวน 7 ข้อ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ผู้บริโภคเคยเลือกซื้อ แหล่งข้อมูลที่ผู้บริโภคได้รับทราบเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร การเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ความถี่ในการซื้อ สถานที่ที่เลือกซื้อ เหตุผลในการเลือกซื้อ และปัจจัยที่ใช้พิจารณาผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

ส่วนที่ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ประกอบด้วยข้อความแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) จำนวน 16 ข้อ โดยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน 5 ระดับ คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย และไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

การตรวจสอบคุณภาพแบบสอบถาม

ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) และตรวจสอบความสอดคล้องของข้อความด้วยค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC (Index of Item-Objective Congruence) จากนั้น นำไปปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ แล้วนำไปทดลองใช้ (Tryout) กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน ที่ไม่ซ้ำกับกลุ่มตัวอย่างจริง แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบสอบถามด้วยค่า

สัมประสิทธิ์แอลฟา (Coefficient Alpha) ของ Cronbach ได้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาเท่ากับ 0.794 ซึ่งถือว่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ได้ จากนั้นดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 ชุดตามที่กำหนดไว้

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแล้วนำไปวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยในส่วนข้อมูลทั่วไป และพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคในจังหวัดตรัง วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาเพื่อหาความถี่ (Frequency) และค่าร้อยละ (Percentage) ส่วนข้อมูลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Factor Analysis) ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis) ซึ่งเป็นการสกัดปัจจัย และหมุนแกนปัจจัยด้วยวิธีแวนแมกซ์ (Varimax) โดยมีเกณฑ์พิจารณาปัจจัยคือ ค่าไอเกน (Eigenvalues) ต้องมีค่ามากกว่า 1 และค่าน้ำหนักปัจจัย (Factor Loading) ต้องมีค่าสัมบูรณ์ (Absolute) มากกว่า 0.30 (Hair *et al.*, 2010)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย ตัวแปร เพศ ภูมิลำเนา อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษา รายได้เฉลี่ยต่อเดือน และอาชีพ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ		
หญิง	212	53.0
ชาย	188	47.0
ภูมิลำเนา		
อำเภอเมือง	70	17.5
อำเภอห้วยยอด	60	15.0
อำเภอกันตัง	57	14.3
อำเภอปะเหลียน	48	12.0
อำเภอย่านตาขาว	43	10.8
อำเภอนาโยง	31	7.8
อำเภอวังวิเศษ	31	7.8
อำเภอสิเกา	26	6.5
อำเภอรัชฎา	21	5.3
อำเภอหาดสำราญ	13	3.3
อายุ		
ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี	50	12.5
21-30 ปี	174	43.5
31-40 ปี	122	30.5
41-50 ปี	37	9.3
51-60 ปี	10	2.5
61 ปีขึ้นไป	7	1.8
สถานภาพ		
สมรส	214	53.5
โสด	129	32.3
หม้าย/ หย่าร้าง/ แยกกันอยู่	57	14.3
ระดับการศึกษา		
มัธยมศึกษาตอนต้นหรือต่ำกว่า	111	27.8
มัธยมศึกษาตอนปลาย/ ปวช.	102	25.5
อนุปริญญา/ ปวส.	77	19.3
ปริญญาตรีหรือสูงกว่า	110	27.5

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง	จำนวน (คน)	ร้อยละ
รายได้เฉลี่ยต่อเดือน		
น้อยกว่า 10,000 บาท	126	31.5
10,000 - 15,000 บาท	149	37.3
15,001 - 20,000 บาท	109	27.3
มากกว่า 20,000 บาท	3	0.8
อาชีพ		
เกษตรกร	143	35.8
ค้าขาย/ ธุรกิจส่วนตัว/ เจ้าของกิจการ	106	26.5
นักเรียน/ นักศึกษา	68	17.0
พนักงานบริษัท	47	11.8
รับราชการ/ รัฐวิสาหกิจ	32	8.0
อื่นๆ	4	1.0

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปพบว่า กลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคมลพิษสิ่งแวดล้อมเสริมอาหารในจังหวัดตรัง จำนวน 400 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีภูมิลำเนาอยู่ในอำเภอเมือง มีอายุ 21 - 30 ปี สถานภาพสมรส ส่วนใหญ่จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นหรือต่ำกว่า และระดับปริญญาตรีหรือสูงกว่า มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 10,000 - 15,000 บาท และประกอบอาชีพเกษตรกร จากการศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารประเภทวิตามินในกรุงเทพมหานครของเสกสรร และวรางคณา (2557) พบว่าปัจจัยส่วนบุคคลประกอบด้วย เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือนมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารประเภทวิตามิน โดยส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุระหว่าง 15 - 24 ปี มีระดับการศึกษาปริญญาตรี รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 10,001 - 20,000 บาท และสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุขุมาลัย (2550) ได้ศึกษาการตัดสินใจซื้อและพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคในเขตอุ้งจระ

กรุงเทพมหานคร พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุระหว่าง 18 - 30 ปี ระดับการศึกษาปริญญาตรี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพศหญิงมีการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารมากกว่าเพศชาย เนื่องจากเพศหญิงจะให้ความสนใจในการดูแลเรื่องสุขภาพและความสวยความงามมากกว่าเพศชาย และจากการศึกษาความต้องการการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคในร้านค้าเพื่อสุขภาพของนางนุช (2553) พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลด้านอายุ อาชีพ รายได้ต่อเดือน และสถานภาพครอบครัวที่แตกต่างกันมีความต้องการและมีพฤติกรรมการบริโภคที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์พฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

การวิเคราะห์พฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคในจังหวัดตรัง แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคในจังหวัดตรัง

พฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ผู้บริโภคเคยเลือกซื้อ*		
กลุ่มบำรุงสุขภาพ	200	50.0
กลุ่มควบคุมน้ำหนัก	111	27.8
กลุ่มป้องกันโรคบางชนิด	94	23.5
กลุ่มเสริมความงาม	84	21.0
กลุ่มให้พลังงานอย่างรวดเร็ว	73	18.3
แหล่งข้อมูลที่ผู้บริโภคได้รับทราบเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร*		
แพทย์/เภสัชกร	232	58.0
ญาติหรือเพื่อน	137	34.3
วิทยุ/โทรทัศน์/เคเบิลโทรทัศน์	104	26.0
ผู้แทนขาย	69	17.3
อินเทอร์เน็ต	51	12.8
หนังสือพิมพ์/วารสาร/นิตยสาร	39	9.8
แผ่นพับ/ใบปลิว/โปสเตอร์ปิดประกาศ	27	6.8
บูทแสดงสินค้า	10	2.5
ผู้บริโภคเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหารให้กับ		
ตนเอง	209	52.3
ผู้อื่น	100	25.0
ทั้งตนเองและผู้อื่น	91	22.8
ความถี่ในการซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร		
ทุกวัน	79	19.8
ทุกสัปดาห์	41	10.3
ทุกเดือน	34	8.5
นานกว่า 1 เดือน/ครั้ง	66	16.5
ไม่แน่นอน	180	45.0
สถานที่ที่เลือกซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร		
คลินิก/โรงพยาบาล	193	48.3
ร้านขายยา	110	27.5
ร้านสะดวกซื้อ	104	26.0
สั่งซื้อทางอินเทอร์เน็ต	89	22.3
ห้างสรรพสินค้า/ซูเปอร์มาร์เก็ต	76	19.0

ตารางที่ 2 (ต่อ)

พฤติกรรมกรบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เหตุผลที่เลือกซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร*		
เพื่อบำรุงร่างกาย	228	57.0
เพื่อลดคอเลสเตอรอล	99	24.8
เพื่อเสริมความงาม	68	17.8
เพื่อลดความอ้วน	67	16.8
เพื่อเสริมสร้างสมรรถภาพร่างกาย	56	14.0
เพื่อลดความดันโลหิต	46	11.5
เพื่อเสริมสร้างสมรรถภาพทางเพศ	21	5.3
ปัจจัยที่ใช้พิจารณาผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร*		
ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์	181	45.3
การได้รับการรับรอง (อย.)	131	32.8
รสชาติของผลิตภัณฑ์	109	27.3
รูปแบบของผลิตภัณฑ์ เช่น อัดเม็ด/ แคปซูล	86	21.5
ราคาของผลิตภัณฑ์	74	18.5
ชื่อเสียงของยี่ห้อ/ ตราผลิตภัณฑ์	50	12.5
ขนาดบรรจุของผลิตภัณฑ์	48	12.0

หมายเหตุ * หมายถึง ตอบได้มากกว่า 1 คำตอบ

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคในจังหวัดตรัง พบว่า ผู้บริโภคเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในกลุ่มบำรุงสุขภาพมากที่สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์กลุ่มควบคุมน้ำหนัก โดยได้รับทราบข้อมูลจากแพทย์หรือเภสัชกร ส่วนใหญ่ซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อรับประทานเอง มีความถี่ในการซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ไม่แน่นอน และเลือกผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจากคลินิกหรือโรงพยาบาล โดยให้ความสำคัญเรื่องส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์มากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาพฤติกรรมการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพของประชากรในอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานีของวิภาวี (2550) พบว่า ผู้บริโภคอาหารเพื่อสุขภาพส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง

ซึ่งเป็นเพศที่ให้ความสนใจในการดูแลตัวเอง และจากการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้ออาหารเพื่อสุขภาพของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครของสุภาพร (2551) พบว่า เหตุผลในการเลือกซื้ออาหารเพื่อสุขภาพเพื่อบำรุงสุขภาพให้สมบูรณ์แข็งแรง จากผลการศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่อยู่ในช่วงวัยรุ่นและวัยทำงาน ซึ่งเป็นช่วงวัยที่เริ่มใส่ใจในการดูแลสุขภาพของตนเอง จึงให้ความสนใจในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร โดยพิจารณาจากส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์มากที่สุด ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อสุขภาพชนิดแคปซูลของคนวัยทำงานในกรุงเทพมหานครของอุบลรัตน์ (2558)

พบว่า ผู้บริโภคตัดสินใจเลือกผลิตภัณฑ์จากคุณสมบัติของสินค้าและประโยชน์ที่ได้รับตรงกับความต้องการ โดยตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ตรงต่อความต้องการของตนเองมากที่สุด

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคในจังหวัดตรัง ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Factor Analysis) ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก Principal Component Analysis (PCA) และหมุนแกนปัจจัยด้วยวิธี Varimax นำเสนอผลการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

ตารางที่ 3 ค่า KMO และ Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy		.925
Approx. Chi-Square		5563.881
Bartlett's Test of Sphericity	df	120
	Sig.	.000

ขั้นตอนที่ 2 การสกัดปัจจัย (Factor Extraction) จากตัวแปรทั้งหมด 16 ตัวแปร (A1 - A16) ใช้การสกัดปัจจัยด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นการหาจำนวนปัจจัย (Factor) ที่สามารถใช้แทนตัวแปรทั้งหมดทุกตัวได้ แสดงผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาค่าไอเกน ร้อยละของค่าความแปรปรวน และร้อยละของค่าความ

ขั้นตอนที่ 1 การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแปร เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแปรที่จะนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจโดยใช้ค่าสถิติ KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) และ Bartlett's Test (กัลยา, 2551) ผลการวิเคราะห์ พบว่าค่า KMO มีค่าเท่ากับ 0.925 ซึ่งมากกว่า 0.50 และเข้าสู่ 1 และผลการทดสอบด้วย Bartlett's Test พบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และมีค่าไคสแควร์เท่ากับ 5563.881 ที่องศาเสรี 120 ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคในจังหวัดตรังได้ดังตารางที่ 3

แปรปรวนสะสมแล้ว พบว่า สามารถสกัดปัจจัยได้ 3 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1 อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้มากที่สุด ร้อยละ 55.508 ปัจจัยที่ 2 อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 12.269 และปัจจัยที่ 3 อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 6.462 ตามลำดับ โดยทั้ง 3 ปัจจัย สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 74.239

ตารางที่ 4 ค่าไอเกน ร้อยละของค่าความแปรปรวน และร้อยละของค่าความแปรปรวนสะสม

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared			Rotation Sums of Squared		
				Loadings			Loadings		
	Total	% of variance	cumulative %	Total	% of variance	cumulative %	Total	% of variance	cumulative %
1	8.881	55.508	55.508	8.881	55.508	55.508	4.734	29.590	29.590
2	1.963	12.269	67.776	1.963	12.269	67.776	4.459	27.868	57.458
3	1.034	6.462	74.239	1.034	6.462	74.239	2.685	16.781	74.239
4	.933	5.832	80.071						
5	.526	3.288	83.359						
6	.426	2.663	86.022						
7	.360	2.250	88.271						
8	.303	1.894	90.165						
9	.261	1.631	91.796						
10	.257	1.608	93.404						
11	.238	1.485	94.889						
12	.207	1.294	96.183						
13	.185	1.159	97.341						
14	.158	.990	98.332						
15	.144	.899	99.231						
16	.123	.769	100.000						

ตารางที่ 5 น้ำหนักองค์ประกอบเมื่อหมุนแกนปัจจัยด้วยวิธี Varimax

	Component		
	1	2	3
A2	.860	.163	.197
A6	.837	.199	.166
A1	.833	.251	.255
A5	.802	.227	.211
A4	.725	.203	.221
A3	.703	.297	.249
A14	.185	.776	.364
A13		.764	.393
A16	.145	.752	.333

ตารางที่ 5 (ต่อ)

	Component		
	1	2	3
A15	.128	.738	.446
A9	.401	.730	.108
A7	.420	.717	
A8	.425	.704	
A11	.345	.245	.799
A10	.313	.329	.783
A12	.346	.376	.728

ขั้นตอนที่ 3 การหมุนแกนปัจจัย (Factor Rotation) เมื่อสกัดปัจจัยแล้วทำการหมุนแกนปัจจัยด้วยวิธี Varimax เพื่อจัดตัวแปรทั้ง 16 ตัวแปร ว่าควรอยู่ในปัจจัยใด โดยพิจารณาน้ำหนักองค์ประกอบจากค่า Factor loading เมื่อหมุนแกนปัจจัยด้วยวิธี Varimax พบว่า สามารถจัดได้ 3 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ประกอบด้วย 6 ตัวแปร ได้แก่ การได้รับเครื่องหมาย ออ. (A2), ความสะดวกในการรับประทาน (A6), คุณประโยชน์ที่ได้รับจากสินค้า (A1), บรรจุภัณฑ์น่าเชื่อถือ ปลอดภัย (A5), ลักษณะรูปแบบ สีสันทนของสินค้า (A4) และชื่อเสียงของยี่ห้อ/ตราสินค้า (A3)

ปัจจัยที่ 2 ประกอบด้วย 7 ตัวแปร ได้แก่ บริการจากพนักงานขายตรง/ตัวแทนขายตรง (A14), การโฆษณาผ่านสื่อ เช่น โทรทัศน์ วิทยุ นิตยสาร แผ่นพับ (A13), มีข้อมูลสินค้าหรือสั่งซื้อสินค้าทางอินเทอร์เน็ต (A16), รายการส่งเสริมการขาย เช่น แจกสินค้าตัวอย่าง การแถม (A15), การจัดแสดงสินค้า (A9), การซื้อง่ายมีจำหน่ายทั่วประเทศ (A7) และความน่าเชื่อถือของร้านค้าปลีก/ตัวแทนขายตรง (A8)

ปัจจัยที่ 3 ประกอบด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่ ราคาเหมาะสมกับปริมาณ (A11), ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ (A10) และราคาถูกเมื่อเทียบกับยี่ห้ออื่น (A12)

สรุปผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคในจังหวัดตรัง พบว่า ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 16 ตัวแปร ผลการวิเคราะห์ได้ 3 ปัจจัย โดยทั้ง 3 ปัจจัย สามารถอธิบายความแปรปรวนทั้งหมดได้ ร้อยละ 74.239 ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ประกอบด้วย 6 ตัวแปร สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ ร้อยละ 55.508 ผู้วิจัยตั้งชื่อปัจจัยที่ 1 ว่า “ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์”

ปัจจัยที่ 2 ประกอบด้วย 7 ตัวแปร สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ ร้อยละ 12.269 ผู้วิจัยตั้งชื่อปัจจัยที่ 2 ว่า “ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขายและช่องทางจำหน่าย”

ปัจจัยที่ 3 ประกอบด้วย 3 ตัวแปร สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ ร้อยละ 6.462 ผู้วิจัยตั้งชื่อปัจจัยที่ 3 ว่า “ปัจจัยด้านราคา” โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 องค์ประกอบปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคในจังหวัดตรัง

ปัจจัย	ร้อยละของ		Commuality
	ความแปรปรวน ที่สามารถอธิบายได้	ชื่อตัวแปร/ตัวแปร	
1. ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์	55.508	- การได้รับเครื่องหมาย อย.	0.860
		- ความสะดวกในการรับประทาน	0.837
		- คุณประโยชน์ที่ได้รับจากสินค้า	0.833
		- บรรจุภัณฑ์น่าเชื่อถือปลอดภัย	0.802
		- ลักษณะ รูปแบบ สีสันทนของสินค้า	0.725
		- ชื่อเสียงของยี่ห้อ/ตราสินค้า	0.703
2. ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขายและช่องทางจำหน่าย	12.269	- บริการจากพนักงานขายตรง/ ตัวแทนขายตรง	0.776
		- การโฆษณาผ่านสื่อ	0.764
		- มีข้อมูลสินค้าหรือสั่งซื้อสินค้าทางอินเทอร์เน็ต	0.752
		- รายการส่งเสริมการขาย เช่น แจกสินค้าตัวอย่าง	0.738
		- การจัดแสดงสินค้า	0.730
		- การซื้อง่ายมีจำหน่ายทั่วประเทศ	0.717
		- ความน่าเชื่อถือของร้านค้าปลีก/ ตัวแทนขายตรง	0.704
3. ปัจจัยด้านราคา	6.462	- ราคาเหมาะสมกับปริมาณ	0.799
		- ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ	0.783
		- ราคาถูกเมื่อเทียบกับยี่ห้ออื่น	0.728

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร พบว่า ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารมากที่สุด รองลงมาคือ ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขายและช่องทางจำหน่าย และปัจจัยด้านราคา ตามลำดับ ในด้านผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภคจะให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเครื่องหมาย อย. คุณประโยชน์ที่ได้รับจากสินค้า ชื่อเสียงหรือยี่ห้อของตราสินค้า ลักษณะรูปแบบและบรรจุภัณฑ์ที่น่าเชื่อถือ ส่วนในด้านการส่งเสริมการขายและช่องทางจำหน่าย ผู้บริโภค

จะสนใจผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจากการบริการของตัวแทนหรือพนักงานขายตรง เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีการโฆษณาผ่านสื่อและมีข้อมูลสินค้าหรือสามารถสั่งซื้อสินค้าผ่านทางระบบอินเทอร์เน็ตได้ รวมถึงมีการส่งเสริมการขาย เช่น การแจกสินค้าตัวอย่าง การจัดแสดงสินค้า และสามารถหาซื้อได้ง่ายมีจำหน่ายทั่วไป ส่วนด้านราคา ผู้บริโภคในจังหวัดตรังจะให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีราคาเหมาะสมกับปริมาณคุณภาพ และมีราคาถูกเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เสริมอาหารยี่ห้ออื่น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ

เสกสรร และ วรางคณา (2557) พบว่า ผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารประเภทวิตามินในกรุงเทพมหานครให้ความสำคัญกับส่วนประสมทางการตลาด (Marketing Mix) ในด้านผลิตภัณฑ์ ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย และด้านการส่งเสริมการตลาดอยู่ในระดับสูง และให้ความสำคัญในด้านราคาในระดับปานกลาง และการศึกษาของ สุภาพร (2551) พบว่า ผู้บริโภคอาหารเพื่อสุขภาพในเขตกรุงเทพมหานครจะให้ความสำคัญกับปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในด้านผลิตภัณฑ์ ด้านราคา ด้านการจัดจำหน่าย และด้านการส่งเสริมการขายตามลำดับ

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบพฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของผู้บริโภคในจังหวัดตรัง จะเห็นได้ว่าการศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งทั้งในด้านเศรษฐกิจ ด้านการผลิต และการบริการเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคให้ได้สูงสุด (ดำรงศักดิ์ และ สุณี, 2546) นอกจากนี้ การศึกษาปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์ (Product) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่เสนอขายโดยธุรกิจ เพื่อตอบสนองความต้องการจำเป็นและความพึงพอใจของลูกค้า ควรได้รับการพัฒนาให้มีสรรพประโยชน์และมีคุณค่าในสายตาของลูกค้า จึงจะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความสนใจและมีโอกาสสร้างยอดขายได้ (เพลินทิพย์, 2546) การจัดจำหน่าย (Place) เป็นช่องทางที่ธุรกิจต้องพัฒนาเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีโอกาสเข้าถึงลูกค้ามากที่สุด โดยพยายามคำนึงถึงทางเลือกของช่องทางที่เป็นไปได้ และพิจารณาว่าช่องทางใดสามารถเป็นผู้นำในการกระจายผลิตภัณฑ์ได้จำนวนมาก เพื่อหาแนวทางในการผสมผสานกับช่องทางอื่นๆ ซึ่งจะช่วยให้

การกระจายและการเข้าถึงผลิตภัณฑ์ของลูกค้าเพิ่มมากขึ้น (James *et al.*, 2007) ราคา (Price) เป็นอีกปัจจัยที่ลูกค้าให้ความสำคัญและพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณค่าของผลิตภัณฑ์ที่จะได้รับ ดังนั้นการกำหนดราคาจึงต้องคำนึงถึงการยอมรับของลูกค้าในคุณค่าของผลิตภัณฑ์ และพยายามสร้างการรับรู้ถึงคุณค่าที่สูงกว่าราคาในสายตาของลูกค้าให้ได้ (อดุลย์, 2542) และการส่งเสริมการตลาด (Promotion) เป็นปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญในการทำให้สามารถขายผลิตภัณฑ์ได้ กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการตลาดสามารถสร้างอิทธิพลต่อความรู้สึก ความเชื่อ และพฤติกรรม การซื้อของลูกค้า (ปณิศา, 2548) ซึ่งควรได้รับการพัฒนาอย่างเหมาะสม ตั้งแต่กระบวนการติดต่อสื่อสารไปยังตลาดเป้าหมาย ตลอดจนการรักษาทัศนคติและความสัมพันธ์ที่ดีกับลูกค้าในระยะยาว โดยส่วนประสมทางการตลาดดังกล่าวเป็นเครื่องมือสำคัญในการดำเนินงานทางการตลาด และเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ซึ่งธุรกิจสามารถนำเครื่องมือเหล่านี้มาใช้เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการและสร้างความพึงพอใจให้แก่กลุ่มลูกค้าเป้าหมาย ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญกับพฤติกรรมของผู้บริโภคและส่วนประสมการตลาด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการดำเนินงานทางด้านธุรกิจที่สามารถตอบสนองได้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค

สรุป

จากการศึกษาพฤติกรรมของผู้บริโภคในจังหวัดตรังต่อผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร พบว่า พฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารนั้น ผู้บริโภคส่วนใหญ่เลือกซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในกลุ่มบำรุงสุขภาพ โดยส่วนใหญ่ได้รับทราบข้อมูลจากแพทย์หรือเภสัชกร และเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหารให้กับตนเอง ส่วนเหตุผลที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่

เลือกซื้อผลิตภัณฑ์ คือเพื่อบำรุงร่างกาย และปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารมากที่สุด รองลงมาคือ ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขายและช่องทางจำหน่าย และปัจจัยด้านราคาศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เพื่อทำการผลิตและกำหนดแนวทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์เสริมอาหารให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2551. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows. พิมพ์ครั้งที่ 6. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- คำรงค์ดี ชัยสนิพ และ สุณี เลิศแสวงกิจ. 2546. เศรษฐศาสตร์ผู้บริโภค. พิมพ์ครั้งที่ 2. วังอักษร, กรุงเทพฯ.
- นงนุช โกสิยรัตน์. 2553. ความต้องการการบริโภคผักปลอดสารพิษของผู้บริโภคในร้านค้าเพื่อสุขภาพ. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- นาฏอนงค์ นามนุดดี. 2558. อนาคตของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและการปรับกลยุทธ์การตลาดในไทย. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 18: 353-374.
- ปณิศา ลัญจนาพันธ์. 2548. หลักการตลาด. ไคมอนด์ อิน บิซิเนส เวิลด์, กรุงเทพฯ.
- เพลินทิพย์ โกเมศโสภณ. 2546. การวางแผนการตลาด. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วิภาวี ปั่นนพศรี. 2550. พฤติกรรมการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพของประชากรในอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิตสาขาการตลาด, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.
- ศิริวรรณ เสรีรัตน์. 2539. พฤติกรรมผู้บริโภค ฉบับสมบูรณ์. ไคมอนด์ อิน บิซิเนส เวิลด์, กรุงเทพฯ.
- เสกสรร วีระสุข และ วรางคณา อติสรประเสริฐ. 2557. การศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารประเภทวิตามินในกรุงเทพมหานคร. วารสารบริหารธุรกิจศรีนครินทรวิโรฒ 5(1): 65-79.
- สุพมาลย์ ชีระสมบูรณ์. 2550. การตัดสินใจซื้อและพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อการควบคุมน้ำหนักของผู้บริโภค ในเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทั่วไป, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.
- สุภาพร ทุมพร. 2551. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้ออาหารเพื่อสุขภาพของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร. การค้นคว้าอิสระ หลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยรังสิต.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. 2557. NCDs : โรคภัยที่เราสร้างเอง. แหล่งที่มา : <http://www.thaihealth.or.th/Content/23880-NCDs.html#sthash.MsE4G3rM.dpuf>, 10 ธันวาคม 2559.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2546. ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร. แหล่งที่มา : <http://webnotes.fda.moph.go.th/consumer/csmb/csmb2546.nsf/723dc9fee41b850847256e5c00332fb4/f5c1b62bb1f1a177c7256d180006a6d6?OpenDocument>, 26 เมษายน 2560.

- อดุลย์ จาตุรงคกุล. 2542. **การบริหารการตลาด: กลยุทธ์และยุทธวิธี**. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อดุลย์ จาตุรงคกุล และ คลยา จาตุรงคกุล. 2545. **พฤติกรรมผู้บริโภค**. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อัญชลี ศรีจำเริญ. 2555. **อาหารเพื่อสุขภาพ : สารอาหารเชิงพันธุภาพและกลไกการทำงาน**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- อุบลรัตน์ ชมรัตน์. 2558. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อสุขภาพชนิดแคปซูลของคนวัยทำงานในกรุงเทพมหานคร. การค้นคว้าอิสระหลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.
- Aluko, R.E. 2008a. Determination of nutritional and bioactive properties of peptides in enzymatic pea, chickpea, and mung bean protein hydrolysates. **Journal of AOAC International** 91: 947-1956.
- Aluko, R.E. 2008b. Antihypertensive properties of plant-derived inhibitors of angiotensin I-converting enzyme activity: a review, pp. 541-561. In Govil, J.N. and Singh, V.K., eds. **Recent Progress in Medicinal Plants-Phytopharmacology and Therapeutic Values IV, Vol. 22**. Stadium Press, Houston, Texas.
- Andersson, H., Asp, N.G., Bruce, A., Roos, A., and Wold, A.E. 2001. Health effects of probiotics and prebiotics. A literature review on human studies. **Scandinavian Journal of Nutrition** 45: 58-75.
- FAO/WHO. 2002. **Guidelines for the evaluation of probiotics in food**. Joint FAO/WHO Working Group Report on Drafting Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food. Available source: www.who.int/foodsafety/fs_management/en/probiotic_guidelines.pdf, November 17, 2017.
- Gibson, G.R. and Macfarlane, G.T. 1994. Intestinal bacteria and disease, pp. 53-62. In Gibson, S.A., ed. **Human health The contribution of micro-organisms**. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J. and Anderson, R.E. 2010. **Multivariate Data Analysis, (7th ed.)**. Pearson Education, New Jersey.
- Hopping, B.N., Erber, E., Grandinetti, A., Park, S.Y., Kolonel, L.N. and Maskarinec, G. 2010. Dietary fiber, magnesium, and glycemic load alter risk of type 2 diabetes in a multiethnic cohort in Hawaii. **Journal of Nutrition** 140: 68-74.
- James, R.V., Jan, L.D. and Joseph, L.P. 2007. **The Agricultural Marketing System**. Holcomb Hathaway, Arizona.
- Korhonen, H. and Pihlanto, A. 2006. Bioactive peptides: production and functionality. **International Dairy Journal** 16: 945-960.
- Meisel, H. 2004. Multifunctional peptides encrypted in milk proteins. **BioFactors** 21: 55-61.
- Moreno, D.A., Llic, N., Poulev, A., Brasaemle, D.L., Fried, S.K. and Raskin, I. 2003. Inhibitory effects of grape seed extract on lipases. **Nutrition** 19: 876-879.

- Pihlanto, A. 2006. Antioxidative peptides derived from milk proteins. **International Dairy Journal** 16: 1306-14.
- Rolfe, R.D. 2000. The role of probiotic cultures in the control of gastro-intestinal health. **Journal of Nutrition** 130(2): 396-402.
- Saavedra, J.M. and Tschernia, A. 2002. Human studies with probiotics and prebiotics: clinical implications. **British Journal of Nutrition** 87: 241-246.
- Schiffman, L.G. and Kanuk, L.L. 1994. **Consumer Behavior, (5th ed).** Prentice-Hall, New Jersey.
- Slavin, J. 2008. Position of the American Dietetic Association: Health implications of dietary fiber. **Journal of The American Dietetic Association** 108: 1716-1731.
- Slavin, J. 2013. Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. **Nutrients** 5(4): 1417-1435.
- Slavin, J. and Green, H. 2007. Dietary fibre and satiety. **Nutrition Bulletin** 32: 32-42.
- Wang, W. and Gonzalez de Mejia, E. 2005. A new frontier in soy bioactive peptides that may prevent age-related chronic diseases. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety** 4: 63-78.
- Yamane, T. 1976. **Statistics: An introductory analysis.** Harper and Row, New York.

การสังเคราะห์อนุพันธ์ของกรดแกลลิกและคุณสมบัติการต้านออกซิเดชัน

Synthesis of Gallic Acid Derivatives and Anti-Oxidation Properties

มูฮัมหมัด นิยมเดชา^{1*} และ สรชัย แซ่ลิ้ม²

Muhammad Niyomdecha^{1*} and Sorachai Saelim²

Received: 1 January 2019, Revised: 1 May 2019, Accepted: 6 September 2019

บทคัดย่อ

หนึ่งในตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในกระบวนการผลิต การเตรียมอาหาร คือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางโภชนาการของอาหารนั้น เช่น ความปลอดภัย สี กลิ่น และเนื้อสัมผัสของอาหารจะเสื่อมไป ทำให้ความปลอดภัยในอาหารลดลง จึงมีการนำกรดแกลลิก ซึ่งพบมากในธรรมชาติมาใช้ กรดแกลลิกมีคุณสมบัติสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ด้านการอักเสบ เชื้อไวรัส ยับยั้งมะเร็ง และมีคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันได้ดี ในงานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์อนุพันธ์ของกรดแกลลิกได้ทั้งหมด 11 สาร ผ่านปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์ด้วยเปอร์เซนต์ผลผลิตที่สูง นำกรดแกลลิก และอนุพันธ์ที่ทำการสังเคราะห์ได้ทั้งหมดพิสูจน์โครงสร้างโดยเทคนิคอินฟราเรด และ เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ และยังนำมาทดสอบคุณสมบัติการต้านออกซิเดชัน โดยใช้วิธีดักจับอนุมูลอิสระ 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) พบว่ากรดแกลลิก มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด และอนุพันธ์ *n*-Butyl 3,4,5-trihydroxybenzoate (NbG) มีค่าต่ำสุด ส่วนอนุพันธ์ตัวอื่นๆ ที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี

คำสำคัญ: กรดแกลลิก, อนุพันธ์ของกรดแกลลิก, ต้านออกซิเดชัน

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ตำบลสนามจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

¹Department of Chemistry, Silpakorn University, Sanam Chan, Muang, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

²สาขาวิชาเคมี โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

²Department of Chemistry, Mahidol Wittayanusorn School, Salaya, Puthamolton, Nakhon Pathom 73170, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): momoniyom@yahoo.com

ABSTRACT

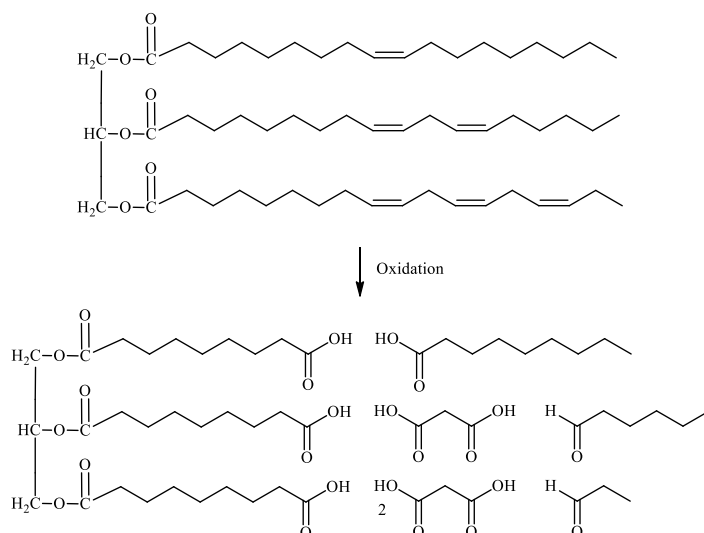
One of the major changes that occur during processing, distribution, and final preparation of food is oxidation. Oxidation of fat initiates other changes in the food systems that affect its nutrition quality, wholesomeness, safety, color, odor, and texture. Gallic acid (GA) has been reported to provide anti-bacterial, anti-fungal, anti-inflammatory and anti-cancer activity and also is a strong antioxidant. In this research, eleven derivatives of gallic acid were synthesized by using esterification reaction in high yields from gallic acid. Their structures were elucidated on the basis of IR and NMR spectroscopic data. Gallic acid (GA) and derivatives were tested for their anti-oxidative activity by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) free radical scavenging assay. Gallic acid (GA) was found to have the highest free radical scavenging ability and *n*-Butyl 3,4,5-trihydroxybenzoate (NbG) was found to have the lowest free radical scavenging ability. The other pure compounds examined showed strong activity.

Key words: gallic acid, gallic acid derivatives, anti-oxidative activity

บทนำ

การเสื่อมสภาพของอาหาร (Food spoilage) คือการเสื่อมหรือลดลงของคุณภาพอาหารนั้น เช่น สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการ ของอาหาร ทำให้อาหารไม่เป็นที่ต้องการ ไม่ปลอดภัย หรือไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การเสื่อมของอาหารมีสาเหตุได้ทั้งทางกายภาพ จุลินทรีย์ และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาหารจำพวกไขมันหรือน้ำมัน รวมถึงอาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบ โดยปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระ (Free radical) และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอื่นๆ ต่อไป การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารจะส่งผลต่อคุณภาพของไขมันหรือน้ำมันดังนี้คือ ส่งผลให้เกิดการเหม็นหืนหรือเปลี่ยนแปลง สี กลิ่น

รส ของไขมันหรือน้ำมัน ซึ่งจะทำให้เสียคุณค่าทางโภชนาการของกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย และอาจส่งผลให้เป็นอันตรายต่อการบริโภค ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันในอาหารมีหลายปัจจัย เช่น ชนิดของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) เช่นกรดโอเลอิก (Oleic acid) กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) และไลโนเลนิก (Linolenic acid) เป็นต้น โดยกรดไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่มากจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็ว และถ้าใช้ออกซิเจนปริมาณมากในปฏิกิริยาจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วมากขึ้น กลายเป็นสารอนุมูลอิสระออกไซด์ ของกลุ่มอัลดีไฮด์ และกรดไขมันขนาดสั้น นำไปสู่สาเหตุของการมีกลิ่นเหม็นหืน และรสเปรี้ยวของไขมันที่เก็บไว้นาน (นิธิยา, 2557) ตามลำดับ ดังสมการ

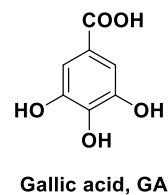
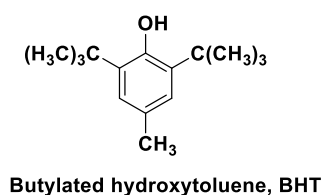
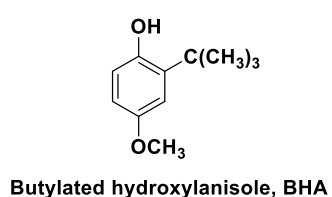


ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว ผ่านสารประกอบอัลดีไฮด์ และกรดอินทรีย์

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหารที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระนั้นสามารถควบคุมได้โดยอาศัย “สารต้านออกซิเดชัน” หรือ “สารแอนติออกซิแดนท์” (Anti-oxidants) เป็นสารที่ทำหน้าที่ต่อต้านหรือป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยสารต้านออกซิเดชัน เช่น แทนนิน (Tannin) วิตามินเอ (Vitamin A) วิตามินซี (Vitamin C) วิตามินอี (Vitamin E) และสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) สามารถพบมากตามธรรมชาติในพืช ผัก ผลไม้ และสมุนไพรต่างๆ เช่น ใบชา ใบฝรั่ง ใบพลู หรือในองุ่น และที่สำคัญในปัจจุบัน เรานิยมใช้ สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants) เช่น บิเอชเอ (Butylated hydroxyanisole, BHA) และ บิเอชที (Butylated hydroxytoluene, BHT) เป็นวัตถุกันกลิ่นที่นิยมใช้กัน

บิเอชเอ และบิเอชทีเป็นสารประกอบที่เป็นฟีนอลิกสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในแอลกอฮอล์ นิยมใช้ในอาหารประเภทไขมันสัตว์ น้ำมันพืช ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์เนื้อ ผลิตภัณฑ์ปลา และน้ำมันหอมระเหย (โอภา, 2550; พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2556)

กรดแกลลิก (Gallic acid, GA) หรือ 3,4,5-hydroxybenzoic acid เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุลทางเคมีคือ $C_7H_6O_5$ โดย Gallic acid เป็นส่วนประกอบของแทนนิน พบมากในองุ่น ใบชา เปลือกไม้โอ๊ก และพืชอื่นๆ โดยทั่วไปมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันที่ดีในอุตสาหกรรมอาหาร สามารถยับยั้งเชื้อรา เชื้อไวรัส และเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ดี (นิธิยา, 2548)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ BHA, BHT และ GA

ได้มีการสังเคราะห์อนุพันธ์ของสารกลุ่มนี้มี เมทิลแกลเลต (MG) เอทิลแกลเลต (EG) โพรพิลแกลเลต (NpG) ออกทิลแกลเลต (NoG) และ ลอริลแกลเลต (NIG) และนำอนุพันธ์ที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดไปทดสอบการต้านออกซิเดชัน (Antioxidants) และต้านพาร์กินสัน (Antiparkinson) พบว่าให้ผลการต้านที่ดี (Kasture *et al.*, 2009) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจใช้กรดแกลลิก (Gallic acid; GA) เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์อนุพันธ์ของกรดแกลลิก (Gallic acid derivatives) ชนิดต่างๆ ผ่านปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์ (Esterification reaction) โดยทำการปรับเปลี่ยนหมู่ที่จะทำให้ละลายในอาหารได้ดีขึ้น และนำสารที่สังเคราะห์ได้ไปศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (Antioxidation activity) เพื่อใช้เป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ในด้านสารต้านออกซิเดชัน เพื่อพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

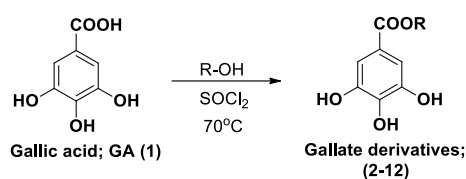
1. อุปกรณ์และสารเคมี

การวิเคราะห์โปรตอนโดยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ($^1\text{H-NMR}$) ที่ความถี่ 300 เมกะเฮิร์ตซ์ และคาร์บอนโดยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเร

โซแนนซ์ ($^{13}\text{C-NMR}$) ที่ความถี่ 75 เมกะเฮิร์ตซ์ ของบริษัทบรูเกอร์ไบโอสปิน (Bruker Biospin NMR-300 MHz) ทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างโดยเตรียมด้วยตัวทำละลายดีวเทอโรคลอโรฟอร์ม ($d_3\text{-CDCl}_3$) วัดในหน่วย (δ , ppm) และศึกษาแถบการยืดและสั้นของหมู่ฟังก์ชัน โดยเทคนิคฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรด (FTIR) จากเครื่องของเปอร์กิน-เอลเมอร์รุ่น GX FT-IR (Perkin-Elmer GX FT-IR) ทำการวัดด้วย NaCl-cell วัดในหน่วย cm^{-1} และวิเคราะห์ปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสงโดยการตรวจสอบกับคลื่นรังสีอุลตราไวโอเลต (UV) ด้วยหลอด Philips TL-G13 Ultraviolet ที่ความยาวคลื่น 254 nm ส่วนการแยกสารให้บริสุทธิ์แต่ละขั้นตอนด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโตกราฟี (Column chromatography) ใช้ซิลิกาเจล (silica gel 60) ขนาด 230-400 mesh และรีเอเจนต์ (reagents) ต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัยเลือกของบริษัท เมริก ซิกมา-อัลดิช และฟลูกา (Merck, Sigma-Aldrich และ Fluka)

2. การสังเคราะห์อนุพันธ์ของกรดแกลลิก

วิธีดำเนินการการสังเคราะห์สารต้านออกซิเดชันอนุพันธ์ของกรดแกลลิก (MG, EG, PG, IpG, NbG, IbG, NpG, NhG, IhG, NoG และ NnG)



MG; R = Me (2)
EG; R = Et (3)
PG; R = *n*-propyl (4)
IpG; R = *i*-propyl (5)
NbG; R = *n*-butyl (6)
IbG; R = *i*-butyl (7)
NpG; R = *n*-pentyl (8)
NhG; R = *n*-hexyl (9)
IhG; R = *i*-hexyl (10)
NoG; R = *n*-octyl (11)
NnG; R = *n*-nonyl (12)

ภาพที่ 3 แผนภาพการสังเคราะห์อนุพันธ์ของกรดแกลลิก (Gallate derivatives)

การสังเคราะห์อนุพันธ์ Methyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; MG (2)

นำกรดแกลลิก (Gallic acid) (0.1005 g, 0.58 mmol) ละลายในเมทานอล (Methanol) (5 mL) จากนั้นนำไปกวนในอ่างน้ำแข็ง และค่อยๆ หยดไทโอนิลคลอไรด์ (Thionyl chloride) (0.207 g, 1.74 mmol) ลงไปที่ละน้อยและทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นนำไปรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไประเหยเมทานอล (Methanol) ออกให้มากที่สุดโดยใช้เครื่องระเหยแบบลดความดัน (Rotary evaporator) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลอ่อน ทำให้ง่ายต่อการสกัดด้วยการแยกผ่านคอลัมน์ (Column chromatography) โดยใช้ซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นเฟสคงที่ (Stationary phase) และใช้เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) เป็น (EtOAc: Hexane, (2:1)) จะได้สารผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว (0.0967g, 96.2%) ค่า R_f chromatogram = 0.61 (EtOAc : Hexane, (2:1)) และอนุพันธ์ของกรดแกลลิก (Gallic derivatives) (3-12) ได้ทำการสังเคราะห์ในสภาวะการทดลองทำนองเดียวกัน

3. การทดสอบการออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกรดแกลลิก

วิธีดำเนินการทดสอบการออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของอนุพันธ์ของกรดแกลลิก (MG, EG, PG, IpG, NbG, IbG, NpG, NhG, IhG, NoG, และ NnG) โดยใช้วิธีดักจับอนุมูลอิสระ 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radicals หรือ DPPH radical scavenging

ซึ่งสารบริสุทธิ์ของอนุพันธ์ของกรดแกลลิกและกรดแกลลิก จำนวน 10.0 mg ละลายในเอทานอล 1.0 mL แล้วเปิดสารละลายของสารสังเคราะห์มา 30.0 μ L ผสมกับสารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) เข้มข้น 0.050 M จำนวน 3.0 mL จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 100.0 μ g/mL หลังจากนั้นนำสารละลายที่มีความเข้มข้น 100.0 μ g/mL ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Visible spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่นแสง 517 nm ทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งสารละลายผสม DPPH จะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี และทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนเป็นความเข้มข้นต่างๆ เช่น 25.0, 12.5, 6.25, 5.0, 2.5, 2.0 และ 1.25 μ g/mL ตามลำดับ เพื่อที่จะนำไปหาค่าค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (% inhibition) สูตรการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (% inhibition) ดังนี้

$$\%inhibition = \frac{A_{control} - A_{sample}}{A_{control}} \times 100$$

$A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างว่างเปล่า (DPPH อย่างเดียว)

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายของสารอนุพันธ์กรดแกลลิก

และค่า IC_{50} ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่แสดงถึงความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถหาได้โดยการนำมาเขียนกราฟ

เส้นตรงระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (% inhibition) กับความเข้มข้นของสารที่ใช้ทดสอบ

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. อนุพันธ์ของกรดแกลลิก (2-12) ที่สังเคราะห์

ผลที่ได้จากการสังเคราะห์สารด้านออกซิเดชันอนุพันธ์ของกรดแกลลิก (MG, EG, PG, IpG, NbG, IbG, NpG, NhG, IhG, NoG และ NnG)

จากการสังเคราะห์สารด้านออกซิเดชันของอนุพันธ์ของกรดแกลลิก (Gallic derivatives) ทั้ง 11

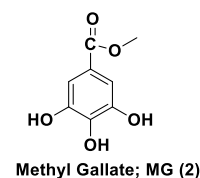
สาร (2-12) ดังนี้ (MG, EG, PG, IpG, NbG, IbG, NpG, NhG, IhG, NoG และ NnG) พบว่ามี 5 ตัวที่เป็นสารใหม่ IpG, IbG, NhG, IhG และ NnG แสดงผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลที่ได้จากสภาวะการทดลองที่เหมาะสม

สารอนุพันธ์ที่สังเคราะห์ได้	สภาวะการทดลอง °C : hrs	ลักษณะสารที่ได้	% yield	EtOAc:Hexane; R _f
Methyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (MG) (2)	70 : 4	ผลึกสีขาว	96.2	2:1; 0.61
Ethyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (EG) (3)	80 : 4	ผลึกสีขาว	93.7	2:1; 0.60
<i>n</i> -Propyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (PG) (4)	100 : 6	ผลึกสีขาว	90.3	2:1; 0.65
<i>iso</i> -Propyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (IpG) (5)	90 : 9	ผลึกสีขาว	81.6	2:1; 0.70
<i>n</i> -Butyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (NbG) (6)	100 : 8	ผลึกสีเหลืองอ่อน	91.1	1:2; 0.74
<i>iso</i> -Butyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (IbG) (7)	100 : 12	น้ำมันสีเหลือง	89.0	1:3; 0.30
<i>n</i> -Pentyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (NpG) (8)	135 : 10	ผลึกสีเหลืองอ่อน	73.3	1:3; 0.13
<i>n</i> -Hexyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (NhG) (9)	150 : 12	ผลึกสีเหลืองอ่อน	77.3	1:2; 0.23
<i>Iso</i> -Hexyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (IhG) (10)	135 : 24	น้ำมันสีน้ำตาล อ่อน	80.9	1:2; 0.31
<i>n</i> -Octyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (NoG) (11)	150 : 24	ผลึกสีเหลือง	56.0	1:3; 0.25
<i>n</i> -Nonyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (NnG) (12)	150 : 24	ผลึกสีเหลือง	60.4	2:1; 0.15

และได้นำสารอนุพันธ์ของกรดแกลลิก (Gallic derivatives) ทั้ง 11 สาร (2-12) (MG, EG, PG, IpG, NbG, IbG, NpG, NhG, IhG, NoG และ NnG) ทำการพิสูจน์โครงสร้าง โดยเทคนิค Nuclear Magnetic Resonance (NMR; ¹H-NMR และ ¹³C-NMR) และ Infrared Spectroscopy (FTIR) ดังนี้

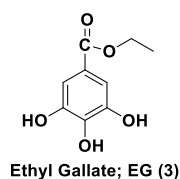
1. อนุพันธ์ Methyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (MG) (2)



¹H NMR (D₂O): (δ, ppm): 3.88 (s, 3H, (-O-CH₃)), 7.13 (s, 2H, (-C=(CH)-)₂ in ring); ¹³C NMR (D₂O): (δ, ppm): 52.18 (-O-CH₃), 109.38 (-C=(CH)-)₂ in ring, 120.02 (-C-COO-), 137.59 (C-4), 143.99 (-CH=COH-) x2 in ring, 168.46 (-COO-) และ FTIR, cm⁻¹: 3473.39 (OH), 2955.54 (C=C-H) in ring,

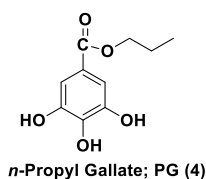
1694.44 (C=O), 1621.24 (C=C)in ring, 1439.20 (C-C)in ring, 1197.51(C-O) ข้อมูลที่สามารถยืนยันโครงสร้างเนื่องจากพบตำแหน่งของ ^1H NMR ที่ 3.88 (s, 3H, (-O-CH₃)); ^{13}C NMR ที่ 52.18 (-O-CH₃), 168.46 (-COO-) และ FTIR, cm⁻¹ ที่ 1694.44 (C=O), 1197.51(C-O) เป็นการยืนยันว่าเป็นโครงสร้างสาร MG ถูกต้องจริง เนื่องจากสารนี้พบในธรรมชาติของดอกเสลาใบใหญ่ (มธุรส และคณะ, 2006)

2. อนุพันธ์ Ethyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (EG) (3)



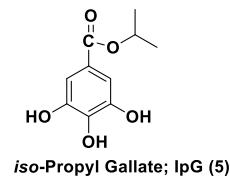
^1H NMR (D₂O): (δ , ppm): 1.35 (t, $J=7.2$ Hz, 3H, (-CH₂-CH₃)), 4.31 (q, $J_1=7.2$ Hz, $J_2=14.4$ Hz, 2H, (-O-CH₂-)), 7.13 (s, 2H, (-C=(CH-)₂) in ring); ^{13}C NMR (D₂O): (δ , ppm): 13.10 (-CH₂-CH₃), 61.70 (-O-CH₂-), 109.53 (-C=(CH-)₂) in ring, 102.32 (-C-COO-), 137.54 (C-4), 143.97 (-CH=COH-) x 2 in ring, 168.00 (-COO-) และ FTIR, cm⁻¹: 3448.27 (OH), 2982.75 (C=C-H)in ring, 1694.49 (C=O), 1615.52 (C=C)in ring, 1532.26 (C-C) 1448.23 (C-C) in ring, 1193.82 (C-O) ข้อมูลที่สามารถยืนยันโครงสร้างเนื่องจากพบตำแหน่งของ ^1H NMR ที่ 4.31 (q, $J_1=7.2$ Hz, $J_2=14.4$ Hz, 2H, (-O-CH₂-)); ^{13}C NMR ที่ 61.70 (-O-CH₂-), 168.00 (-COO-) และ FTIR, cm⁻¹ ที่ 1694.49 (C=O), 1193.82 (C-O) เป็นการยืนยันว่าเป็นโครงสร้างสาร EG ถูกต้องจริง

3. อนุพันธ์ n-Propyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (PG) (4)



^1H NMR (D₂O): (δ , ppm): 0.98 (t, $J=7.2$ Hz, 3H, (-CH₂-CH₃)), 1.75 (sextet, $J_1=7.2$ Hz, $J_2=14.1$ Hz, 2H, (-CH₂-CH₃)), 4.22 (t, $J=6.6$ Hz, 2H, (-O-CH₂-)), 7.13 (s, 2H, (-C=(CH-)₂) in ring) ^{13}C NMR (D₂O): (δ , ppm): 9.53 (-CH₂-CH₃), 21.31 (-CH₂-CH₂-), 67.01 (-O-CH₂-), 109.01 (-C=(CH-)₂) in ring, 122.62 (-C-COO-), 137.78 (C-4), 144.24 (-CH=COH-) x 2 in ring, 168.30 (-COO-) และ FTIR, cm⁻¹: 3452.04 (OH), 2970.67 (C=C-H)in ring, 1693.79 (C=O), 1615.49 (C=C)in ring, 1538.82 (C-C) 1468.65 (C-C)in ring, 1198.84 (C-O) ข้อมูลที่สามารถยืนยันโครงสร้างเนื่องจากพบตำแหน่งของ ^1H NMR ที่ 4.22 (t, $J=6.6$ Hz, (-O-CH₂-)); ^{13}C NMR ที่ 67.01 (-O-CH₂-), 168.30 (-COO-) และ FTIR, cm⁻¹ ที่ 1693.79 (C=O), 1198.84(C-O) เป็นการยืนยันว่าเป็นโครงสร้างสาร PG ถูกต้องจริง

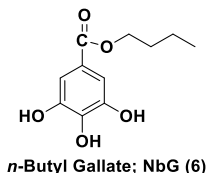
4. อนุพันธ์ iso-Propyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (IpG) (5)



^1H NMR (D₂O): (δ , ppm): 1.24 (d, 6H, (-CH-(CH₃)₂)), 5.04 (quintet, $J_1=6.3$ Hz, $J_2=12.6$ Hz, H, (-O-CH-)), 7.14 (s, 2H, (-C=(CH-)₂) in ring); ^{13}C NMR (D₂O): (δ , ppm): 20.42 (-CH-(CH₃)₂), 69.92 (-O-CH-), 109.01 (-C=(CH-)₂) in ring, 121.25 (-C-COO-), 137.79 (C-4), 144.32 (-CH=COH-) x2 in ring, 168.90 (-COO-) และ FTIR, cm⁻¹: 3321.90 (OH), 2984.57 (C=C-H)in ring, 1682.84 (C=O), 1614.92 (C=C)in ring, 1537.70 (C-C) 1447.63 (C-C)in ring, 1108.12 (C-O) ข้อมูลที่สามารถยืนยันโครงสร้างเนื่องจากพบตำแหน่งของ ^1H NMR ที่ 5.04 (quintet, $J_1=6.3$ Hz, $J_2=12.6$ Hz, (-O-CH-)) ^{13}C

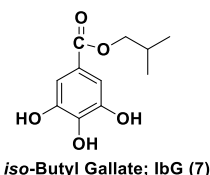
NMR ที่ 69.92 (-O-CH-), 167.92 (-COO-) และ FTIR, cm^{-1} ที่ 1682.84 (C=O), 1108.12 (C-O) เป็นการยืนยันว่าเป็นโครงสร้างสาร IpG ถูกต้องจริง

5. อนุพันธ์ *n*-Butyl 3,4,5-trihydroxy benzoate; (NbG) (6)



^1H NMR (D_2O): (δ , ppm): 0.93 (t, 3H, $J=7.2$ Hz, (-CH₂-CH₃)), 1.44 (sextet, $J_1=7.2$ Hz, $J_2=14.4$ Hz, 2H, (-CH₂-CH₃)), 1.70 (quintet, 2H, (-CH₂-(CH₂)₂)), 4.24 (t, $J=6.6$ Hz, 2H, (-O-CH₂-)), 7.10 (s, 2H, (-C=(CH)₂) in ring); ^{13}C NMR (D_2O): (δ , ppm): 13.54 (-CH₂-CH₃), 18.73 (-CH₂-CH₃), 30.29 (-CH₂-(CH₂)₂), 63.61 (-O-CH₂-), 108.41 (-C=(CH)₂) in ring, 119.52 (-C-COO-), 138.32 (C-4), 145.50 (-CH=COH-) x2 in ring, 165.82 (-COO-) และ FTIR, cm^{-1} : 3330.10 (OH), 2966.04 (C=C-H) in ring, 1690.70 (C=O), 1615.87 (C=C) in ring, 1538.80 (C-C) 1469.03 (C-C) in ring, 1197.71 (C-O) ข้อมูลที่สามารถยืนยันโครงสร้างเนื่องจากพบตำแหน่งของ ^1H NMR ที่ 4.24 (t, $J=6.6$ Hz, (-O-CH₂-)); ^{13}C NMR ที่ 63.61 (-O-CH₂-), 165.82 (-COO-); FTIR, cm^{-1} ที่ 1690.70 (C=O), 1197.71 (C-O) เป็นการยืนยันว่าเป็นโครงสร้างสาร NbG ถูกต้องจริง

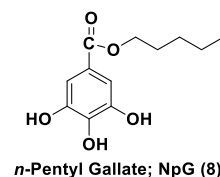
6. อนุพันธ์ *iso*-Butyl 3,4,5-trihydroxy benzoate; (IbG) (7)



^1H NMR (CDCl_3): (δ , ppm): 0.92 (t, $J=7.5$ Hz, 6H, (-CH-(CH₃)₂), 1.28 (d, H, (-CH-(CH₃)₂), 4.99, (sextet,

$J=6.0$ Hz, H, (-O-CH₂-)), 7.10 (s, 2H, (-C=(CH)₂) in ring); ^{13}C NMR (CDCl_3): (δ , ppm): 9.45 (-CH₂-CH₃), 19.20 (-CH₂-CH₃), 28.70 (-CH-CH₃), 76.8 (-O-CH-), 110.11 (-C=(CH)₂) in ring, 121.74 (-C-COO-), 137.21 (C-4), 143.89 (-CH=COH-) x2 in ring, 167.71 (-COO-) และ FTIR, cm^{-1} : 3288.64 (OH), 2975.91 (C=C-H) in ring, 1682.32 (C=O), 1614.23 (C=C) in ring, 1536.71 (C-C) 1448.15 (C-C) in ring, 1114.50 (C-O) ข้อมูลที่สามารถยืนยันโครงสร้างเนื่องจากพบตำแหน่งของ ^1H NMR ที่ (sextet, $J_1=6.0$ Hz, H, (-O-CH₂-)); ^{13}C NMR ที่ 76.8 (-O-CH-), 167.71 (-COO-) และ FTIR, cm^{-1} ที่ 1682.32 (C=O), 1114.50 (C-O) เป็นการยืนยันว่าเป็นโครงสร้างสาร IbG ถูกต้องจริง

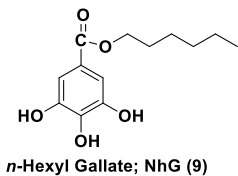
7. อนุพันธ์ *n*-Pentyl 3,4,5-trihydroxy benzoate; (NpG) (8)



^1H NMR (CDCl_3): (δ , ppm): 0.92 (m, 3H, (-CH₂-CH₃)), 1.40 (t, $J_1=3.6$ Hz, 4H, (-CH₂(CH₂)₂-CH₃)), 1.73 (m, 2H, (-CH₂-(CH₂)₂-)), 4.26 (t, $J=6.6$ Hz, 2H, (-O-CH₂-)), 7.10 (s, 2H, (-C=(CH)₂) in ring); ^{13}C NMR (CDCl_3): (δ , ppm): 13.86 (-CH₂-CH₃), 22.29 (-CH₂-CH₃), 28.10 (-CH₂-(CH₂)₂-CH₂-), 65.73 (-O-CH₂-), 110.14 (-C=(CH)₂) in ring, 121.27 (-C-COO-), 137.09 (C-4), 143.80 (-CH=COH-) x2 in ring, 167.97 (-COO-) และ FTIR, cm^{-1} : 3355.44 (OH), 2959.32 (C=C-H) in ring, 1682.93 (C=O), 1614.08 (C=C) in ring, 1535.23 (C-C) 1450.88 (C-C) in ring, 1098.63 (C-O) ข้อมูลที่สามารถยืนยันโครงสร้างเนื่องจากพบตำแหน่งของ ^1H NMR ที่ 4.26 (t, $J=6.6$ Hz, 2H, (-O-CH₂-)); ^{13}C NMR ที่ 65.73 (-O-CH₂-), 167.97 (-COO-)

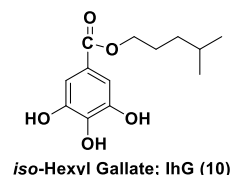
และ FTIR, cm^{-1} ที่ 1682.93 (C=O), 1098.63 (C-O) เป็นการยืนยันว่าเป็นโครงสร้างสาร NpG ถูกต้องจริง

8. อนุพันธ์ *n*-Hexyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (NhG) (9)



^1H NMR (CDCl_3): (δ , ppm): 0.82 (m, 3H, ($-\text{CH}_2-\text{CH}_3$)), 1.22 (s, 6H, ($-\text{CH}_2(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$)), 1.59 (t, $J=7.2$ Hz, 2H, ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_3-$)), 4.12 (t, $J=6.6$ Hz, 2H, ($-\text{O}-\text{CH}_2-$)), 7.20 (s, 2H, ($-\text{C}=(\text{CH})_2$) in ring); ^{13}C NMR (CDCl_3): (δ , ppm): 13.89 ($-\text{CH}_2-\text{CH}_3$), 22.46 ($-\text{CH}_2-\text{CH}_3$), 25.54 ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{CH}_3$), 28.42 ($-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}_3$), 31.41 ($-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$), 65.77 ($-\text{O}-\text{CH}_2-$), 110.64 ($-\text{C}=(\text{CH})_2$) in ring, 121.13 ($-\text{C}-\text{COO}-$), 137.18 (C-4), 143.83 ($-\text{CH}=\text{COH}-$) x2 in ring, 168.06 ($-\text{COO}-$) และ FTIR, cm^{-1} : 3356.05 (OH), 2956.06 (C=C-H) in ring, 1682.68 (C=O), 1611.38 (C=C) in ring, 1548.98 (C-C) 1453.29 (C-C) in ring, 1101.38 (C-O) ข้อมูลที่สามารถยืนยันโครงสร้าง เนื่องจากพบตำแหน่งของ ^1H NMR ที่ 4.12 (t, $J=6.6$ Hz, 2H, ($-\text{O}-\text{CH}_2-$)); ^{13}C NMR ที่ 65.77 ($-\text{O}-\text{CH}_2-$), 168.06 ($-\text{COO}-$) และ FTIR, cm^{-1} ที่ 1682.68 (C=O), 1101.38 (C-O) เป็นการยืนยันว่าเป็นโครงสร้างสาร NhG ถูกต้องจริง

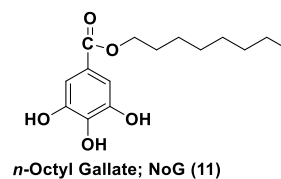
9. อนุพันธ์ *iso*-Hexyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (IhG) (10)



^1H NMR (CDCl_3): (δ , ppm): 0.88 (q, $J=3.9$ Hz, 6H, ($-\text{CH}-(\text{CH}_3)_2$)), 1.32 (m, H, ($-\text{CH}-(\text{CH}_3)_2$)), 1.65 (m,

4H, ($-\text{OCH}-(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$)), 5.13 (m, 2H, ($-\text{O}-\text{CH}_2-$)), 7.20 (s, 2H, ($-\text{C}=(\text{CH})_2$) in ring); ^{13}C NMR (CDCl_3): (δ , ppm): 19.80 ($-\text{OCH}-\text{CH}_3$), 21.46 ($-\text{CH}-\text{CH}_3$), 22.28 ($-\text{CH}-\text{CH}_3$), 24.70 ($-\text{CH}-(\text{CH}_3)$), 71.20 ($-\text{O}-\text{CH}_2-$), 44.97 ($-\text{OCH}-\text{CH}_2$) 110.22 ($-\text{C}=(\text{CH})_2$) in ring, 121.82 ($-\text{C}-\text{COO}-$), 136.98 (C-4), 143.77 ($-\text{CH}=\text{COH}-$) x2 in ring, 167.65 ($-\text{COO}-$) และ FTIR, cm^{-1} : 3322.75 (OH), 2959.84 (C=C-H) in ring, 1681.94 (C=O), 1613.94 (C=C) in ring, 1534.12 (C-C) 1448.54 (C-C) in ring, 1124.22 (C-O) ข้อมูลที่สามารถยืนยันโครงสร้าง เนื่องจากพบตำแหน่งของ ^1H NMR ที่ 5.13 (m, H, ($-\text{O}-\text{CH}_2-$)); ^{13}C NMR ที่ 71.20 ($-\text{O}-\text{CH}_2-$), 167.65 ($-\text{COO}-$) และ FTIR, cm^{-1} ที่ 1681.94 (C=O), 1124.22 (C-O) เป็นการยืนยันว่าเป็นโครงสร้างสาร IhG ถูกต้องจริง

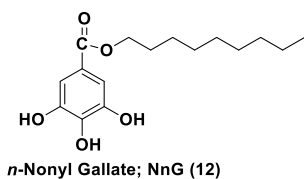
10. อนุพันธ์ *n*-Octyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (NoG) (11)



^1H NMR (CDCl_3): (δ , ppm): 0.86 (t, $J=6.9$ Hz, 3H, ($-\text{CH}_2-\text{CH}_3$)), 1.24 (s, 10H, ($-\text{CH}_2(\text{CH}_2)_5-\text{CH}_3$)), 1.65 (quintet, $J_1=7.2$ Hz, $J_2=14.1$ Hz, 2H, ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_5-$)), 4.17 (t, $J=6.6$ Hz, 2H, ($-\text{O}-\text{CH}_2-$)), 7.14 (s, 2H, ($-\text{C}=(\text{CH})_2$) in ring); ^{13}C NMR (CDCl_3): (δ , ppm): 14.01 ($-\text{CH}_2-\text{CH}_3$), 22.60 ($-\text{CH}_2-\text{CH}_3$), 25.91 ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{CH}_3$), 28.52 ($-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}_3$), 29.19 ($-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$), 29.28 ($-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_3$), 31.78 ($-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}_3$), 65.68 ($-\text{O}-\text{CH}_2-$), 110.06 ($-\text{C}=(\text{CH})_2$) in ring, 121.14 ($-\text{C}-\text{COO}-$), 137.18 (C-4), 143.89 ($-\text{CH}=\text{COH}-$) x2 in ring, 167.94 ($-\text{COO}-$) และ FTIR, cm^{-1} : 3382.71 (OH), 2931.54 (C=C-H) in ring, 1686.63 (C=O), 1613.91 (C=C) in ring, 1548.54

(C-C) 1447.43 (C-C)in ring , 1217.47 (C-O) ข้อมูลที่สามารถยืนยันโครงสร้าง เนื่องจากพบตำแหน่งของ ^1H NMR ที่ 4.17 (t, $J=6.6$ Hz, 2H, (-O-CH₂-)) ^{13}C NMR ที่ 65.68 (-O-CH₂-), 167.94 (-COO-) และ FTIR, cm⁻¹ ที่ 1686.63 (C=O), 1217.47 (C-O) เป็นการยืนยันว่าเป็นโครงสร้างสาร NoG ถูกต้องจริง

11. อนุพันธ์ *n*-Nonyl 3,4,5-trihydroxybenzoate; (NnG) (12)



^1H NMR (CDCl₃): (δ , ppm): 0.85 (m, 3H, (-CH₂-CH₃)), 1.22 (s, 12H, (-CH₂(CH₂)₆-CH₃)), 1.61 (quintet, $J_1=6.9$ Hz, $J_2=13.2$ Hz, 2H, (-CH₂-CH₂-(CH₂)₆-)), 4.15 (t, $J=6.6$ Hz, 2H, (-O-CH₂-)), 7.13 (s, 2H, (-C=(CH)₂) in ring); ^{13}C NMR (CDCl₃): (δ , ppm): 14.04 (-CH₂-CH₃), 22.63 (-CH₂-CH₃), 25.95 (-CH₂-CH₂CH₃), 28.54 (-CH₂-(CH₂)₂-CH₃), 29.27 (-CH₂-(CH₂)₃-CH₃), 29.33 (-CH₂-(CH₂)₄-CH₃), 29.50 (-CH₂-(CH₂)₅-CH₃), 31.84 (-CH₂-(CH₂)₆-CH₃), 65.76 (-O-CH₂-), 110.13 (-C=(CH)₂) in ring, 121.29 (-C-COO-), 137.03 (C-4), 143.78 (-CH=COH-) x 2

in ring, 167.97 (-COO-) และ FTIR, cm⁻¹ : 3316.23 (OH), 2955.64 (C=C-H)in ring, 1683.01 (C=O), 1621.57 (C=C)in ring, 1544.81 (C-C) 1469.64 (C-C)in ring, 1203.26 (C-O) ข้อมูลที่สามารถยืนยันโครงสร้าง เนื่องจากพบตำแหน่งของ ^1H NMR ที่ 4.15 (t, $J=6.6$ Hz, 2H, (-O-CH₂-)) ^{13}C NMR ที่ 65.76 (-O-CH₂-), 167.97 (-COO-) และ FTIR, cm⁻¹ ที่ 1683.01 (C=O), 1203.26 (C-O) เป็นการยืนยันว่าเป็นโครงสร้างสาร NnG ถูกต้องจริง

2. ผลการทดสอบการออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของอนุพันธ์ของกรดแกลลิก (2-12)

ผลที่ได้จากการทดสอบการออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของอนุพันธ์ของกรดแกลลิก (MG, EG, PG, IpG, NbG, IbG, NpG, NhG, IhG, NoG และ NnG)

นำกรดแกลลิก (GA) และอนุพันธ์ของกรดแกลลิก (Gallic derivatives) ทั้ง 11 สาร คือ MG, EG, PG, IpG, NbG, IbG, NpG, NhG, IhG, NoG และ NnG มาทดสอบคุณสมบัติการต้านออกซิเดชัน โดยใช้วิธีดักจับอนุมูลอิสระ 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radicals หรือ DPPH radical scavenging มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของอนุพันธ์ของกรดแกลลิกและอนุพันธ์ (1-12) ที่สังเคราะห์

กรดแกลลิก และอนุพันธ์ของกรดแกลลิก	เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง ณ ความเข้มข้น 2.5 $\mu\text{g/mL}$	IC ₅₀ ($\mu\text{g/mL}$) (30 นาที อุณหภูมิห้อง)
GA, (R = -H) (1)	69.55 $\pm$ 1.19	1.63
MG, (R = -Me) (2)	57.46 $\pm$ 0.77	2.14
EG, (R = -Et) (3)	65.30 $\pm$ 0.19	2.10
PG, (R = - <i>n</i> -propyl) (4)	67.65 $\pm$ 0.88	1.91
IpG, (R = - <i>iso</i> -propyl) (5)	58.91 $\pm$ 1.19	2.46

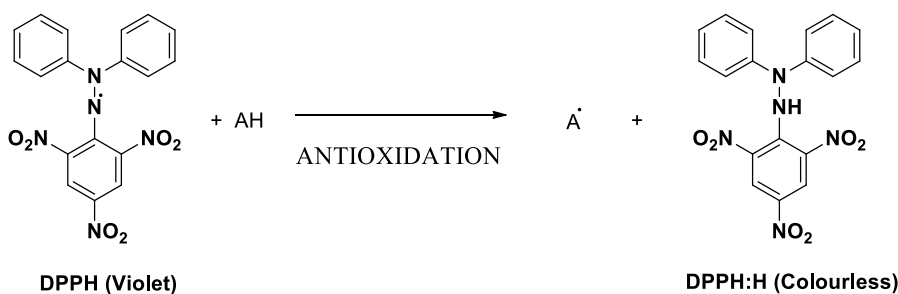
ตารางที่ 2 (ต่อ)

กรดแกลลิก และอนุพันธ์ของกรดแกลลิก	เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง ณ ความเข้มข้น 2.5 $\mu\text{g/mL}$	IC ₅₀ ($\mu\text{g/mL}$) (30 นาที อุณหภูมิห้อง)
NbG, (R = <i>-n</i> -butyl) (6)	33.74 $\pm$ 0.65	3.81
IbG, (R = <i>-iso</i> -butyl) (7)	57.98 $\pm$ 1.06	2.33
NpG, (R = <i>-n</i> -pentyl) (8)	67.04 $\pm$ 1.77	2.24
NhG, (R = <i>-n</i> -hexyl) (9)	45.73 $\pm$ 1.42	2.79
IhG, (R = <i>-iso</i> -hexyl) (10)	43.49 $\pm$ 0.02	2.62
NoG, (R = <i>-n</i> -octyl) (11)	47.48 $\pm$ 0.99	3.02
NnG, (R = <i>-n</i> -nonyl) (12)	62.98 $\pm$ 1.36	2.23

กรดแกลลิก (GA) (1) มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดและสาร *n*-Butyl 3,4,5-trihydroxybenzoate (NbG) (6) มีค่าต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด แต่อนุพันธ์ทุกตัวยังคงแสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดี

การทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Assay เป็นการทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยให้สาร

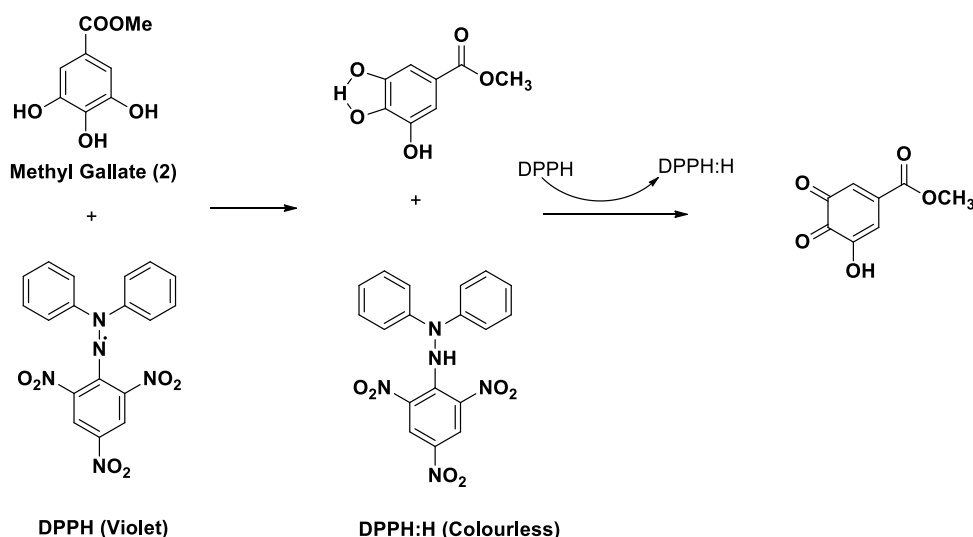
ตัวอย่างทำปฏิกิริยากับ DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่เสถียรมีสีม่วง เมื่อ DPPH ได้รับอิเล็กตรอนหรืออนุมูลอิสระไฮโดรเจน จะเปลี่ยนเป็น DPPH:H ติดตามผลการทดลองโดยวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH (Elena *et al.*, 2002; Molyneux, 2003)



ภาพที่ 4 กระบวนการเกิดแอนติออกซิเดนต์

การหาขีดความสามารถในการเป็นตัวต้านอนุมูลอิสระ การที่จะเป็นสารต้านปฏิกิริยาที่คั้นนั้นจะต้องเป็นสารประกอบโพลีฟีนอลิก (Polyphenolics) เช่นฟลาโวนอยด์ (flavonoids) กรดฟีนอลิกต่างๆ ที่สำคัญ ซึ่งได้มีการอธิบายกลไกของสารจำพวกฟีนอลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อย่างน้อย

2 หมู่ติดกัน (Nathan and Julia, 2009; ระวีวรรณ และทรงพร, 2549) ก็คือกรดแกลลิก (GA) เมื่อพิจารณาโครงสร้างกรดแกลลิกพบว่าจะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่จำนวน 3 หมู่ที่อยู่ติดกัน ตัวอย่างของกลไกการเกิดปฏิกิริยาด้านออกซิเดชันของเมทิลแกลเลท (Methyl Gallate, 2) เป็นดังนี้



ภาพที่ 5 กลไกการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเมทิลแกลเลต (Methyl Gallate, 2)

เมื่อทำการเปลี่ยนหมู่คาร์บอกซิล(-ROOH) เป็นหมู่แอลคอกซิลคาร์บอนิล(-ROOR) พบว่าอนุพันธ์ของแกลลิกที่สังเคราะห์ขึ้นมาทุกตัว มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่น้อยกว่ากรดแกลลิก (GA) (1) ดังนั้นหมู่ที่เติมลงไปจะทำให้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมาไม่เสถียร ถูกกบดบังทำให้ฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลง เช่น กรดแกลลิก (GA) มีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง = 69.55% แต่ถ้าเติมหมู่ methyl ลงไปจะได้สารเมทิลแกลเลต (MG) พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง = 57.46 และพบว่าสารเมทิลแกลเลต (MG) ในธรรมชาติของดอกเสลาใบใหญ่ที่แยกได้ (มธุรส และคณะ, 2006) กลับให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสูงถึง 95.77% และเมื่อนำสารที่สังเคราะห์ทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งพบว่าหมู่ที่เติมลงไปทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งลดลง แต่อย่างไรก็ตามสารทั้งหมดที่สังเคราะห์ขึ้นมาได้เป็นสารต้านปฏิกิริยาที่ดีมาก ดังนั้นยังสามารถนำไปใช้เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี และที่สำคัญสารทุกตัวจะมีคุณสมบัติในการละลายได้ในตัวทำละลายที่แตกต่างกัน เพราะผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่โดยเฉพาะกลุ่มไขมันและน้ำมันจะไม่มีขั้วซึ่งสารอนุพันธ์ที่สังเคราะห์ทั้ง 11 สารมีขั้วลดลงเมื่อ

เทียบกับกรดแกลลิก เช่น โพรพิลแกลเลต (Propyl gallate; PG) (พัชรภา, 2562) เป็นเอสเทอร์ที่ละลายในไขมันและน้ำมันได้จึงมีบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านออกซิเดชันให้แก่ ไขมัน น้ำมัน เนยเทียม และเครื่องสำอาง เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2556) ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้

สรุป

ผู้วิจัยสามารถสังเคราะห์อนุพันธ์กรดแกลลิก (Gallate derivatives) ได้ทั้งหมด 11 สาร คือ MG, EG, PG, IpG, NbG, IbG, NpG, NhG, IhG, NoG และ NnG ซึ่งให้ผลผลิตที่มีเปอร์เซ็นต์ค่อนข้างสูง ดังนี้ 96.2%, 93.7%, 90.3%, 81.6%, 91.1%, 89.0%, 73.3%, 77.3%, 62.1% และ 56.0% ตามลำดับ และเมื่อนำอนุพันธ์ทั้ง 11 ตัวไปทดสอบการต้านออกซิเดชันเปรียบเทียบกับกรดแกลลิก (GA) ให้ค่า IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$) คือ 2.04, 2.10, 1.91, 2.46, 3.81, 2.33, 2.24, 2.79, 2.62, 3.02, 2.23 และ 1.63 ตามลำดับ และมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง ที่ความเข้มข้น $2.5 \mu\text{g/mL}$ ณ อุณหภูมิห้อง เวลา 30 นาที เป็น 57.46, 65.30, 67.65, 58.91, 33.74, 57.98, 67.04,

45.73, 43.49, 47.48, 62.98 และ 69.55 ตามลำดับพบว่ากรดแกลลิกมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด และอนุพันธ์ *m*-Butyl 3,4,5-trihydroxybenzoate (NbG) มีค่าต่ำสุด ส่วนอนุพันธ์ตัวอื่นๆ ที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี สามารถนำไปเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ในกลุ่มสารต้านออกซิเดชัน และเพื่อพัฒนาไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่สนับสนุน เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- นิธิยา รัตนานนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2557. เลมีอาหาร. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- พัชรภา เสรีดำรงค์. 2562. โพรฟิลแกลเลตคืออะไร ข้อมูลส่วนผสมในครีมเครื่องสำอาง. แหล่งที่มา: <http://www.Pacharapa.com>, 13 กุมภาพันธ์ 2562.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2556. ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1232/food-spoilage.html>, 12 กรกฎาคม 2561.

มธุรส มาลัยศรี, รุ่งฤดี ศรีสำอางค์ และ สุรัตน์ บุญผ่อง. 2006. องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของดอกเสลาใบใหญ่. **NU Science Journal** 2(2): 231-240.

ระวีวรรณ แก้วอมตะวงศ์ และ ทรงพร จึงมั่นคง. 2549. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และปริมาณสารฟีนอลรวมของสารสกัดพืชสมุนไพรไทยบางชนิด. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี** 8(2): 76-88.

โอภา วัชรคุปต์. 2550. สารต้านอนุมูลอิสระ. นิเวศมิตรการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

Elena, N.H., Mihaela, H., Miron, T.C., Horia, C., Titus, C. and Alexandru, T.B. 2002. Scavenging the hydroxyl radical by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl. **ARKIVOC Journal** 2: 123-132.

Kasture, V.S., Katti, S.A., Mahajan, D., Wagh, R., Mohan, M. and Kasture, S.B. 2009. Antioxidant and Antiparkinson Activity of Gallic Acid Derivatives. **Pharmacology Online** 1: 385-395.

Molyneux, P. 2003. The use of stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating natioxidant activity. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 26(2): 211-219.

Nathan, R.P. and Julia, L.B. 2009. A Review of the Antioxidant Mechanisms of Polyphenol Compounds Related to Iron Binding. **Cell Biochem Biophys** 53: 75-100.

การจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนในจังหวัดตรัง สตูล และกระบี่

Community-Based Tourism Management in Trang, Satun and Krabi Provinces

จุติมา บุญมี* และ คุลิกา ธนะเสวตร

Jutima Boonmee* and Kuliga Tanasavate

Received: 12 December 2018, Revised: 6 June 2019, Accepted: 10 June 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนในจังหวัดตรัง สตูล และกระบี่ ตามเกณฑ์การพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทย 2) ศึกษาแนวทางการพัฒนาศักยภาพในการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนอย่างยั่งยืนในจังหวัดตรัง สตูล และกระบี่ เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) เลือกผู้ให้ข้อมูลสำคัญ 1 กลุ่มตัวอย่าง คือ ตัวแทนสมาชิกของกลุ่มท่องเที่ยวโดยชุมชนต้นแบบในจังหวัดตรัง สตูล และกระบี่ จำนวน 18 คน ใช้วิธีการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง เก็บข้อมูลโดยการสังเกตร่วมกับการสัมภาษณ์เชิงลึก และการสนทนากลุ่มย่อย วิเคราะห์ข้อมูลโดยผู้วิจัยนำข้อมูลมาจำแนกประเภทของข้อมูล เปรียบเทียบข้อมูล และสร้างข้อสรุปเพื่อตีความข้อมูลให้เชื่อมโยงความสัมพันธ์กับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผลการวิจัยพบว่า 1) การจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนในจังหวัดตรัง สตูล และกระบี่ เป็นไปตามเกณฑ์การพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทย ทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ ด้านที่ 1 ด้านการบริหารจัดการการท่องเที่ยวโดยชุมชน ด้านที่ 2 ด้านการจัดการเศรษฐกิจ สังคม และคุณภาพชีวิตที่ดี ด้านที่ 3 ด้านการอนุรักษ์และส่งเสริมมรดกทางวัฒนธรรมชุมชน ด้านที่ 4 ด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติหรือสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบและยั่งยืน และด้านที่ 5 ด้านคุณภาพการบริการการท่องเที่ยวโดยชุมชน และ 2) แนวทางการพัฒนาศักยภาพของการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนในจังหวัดตรัง สตูล และกระบี่ ได้แก่ แนวทางที่ 1 การพัฒนาความร่วมมือผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง แนวทางที่ 2 การบูรณาการทักษะความรู้ แนวทางที่ 3 การวางแผนและออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ แนวทางที่ 4 ระบุกลุ่มเป้าหมายทางการตลาด และพัฒนากลยุทธ์ทางการตลาด และแนวทางที่ 5 ดำเนินการและตรวจสอบประสิทธิภาพ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ชุมชนได้รับประโยชน์จากการท่องเที่ยวกระแสหลักและยังคงไว้ซึ่งอัตลักษณ์ของชุมชน ตลอดจนการอนุรักษ์ทรัพยากรต่างๆ ซึ่งเป็นต้นทุนทางการท่องเที่ยวไว้ได้อย่างยาวนาน

คำสำคัญ: การจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชน, จังหวัดตรัง, จังหวัดสตูล, จังหวัดกระบี่

วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

College of Hospitality and Tourism, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus, Sikao, Trang 92150, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, email): Jutima.b@rmutsv.ac.th Tel: 09 5429 7754

ABSTRACT

This study aimed to 1) investigate community-based tourism management in Trang, Satun and Krabi Provinces regarding Thailand Community-based Tourism Development Criteria, and 2) explore guidelines for developing sustainable community-based tourism management in Trang, Satun and Krabi Province. The study employed qualitative research. One sample group of 18 representatives from model community-based tourism groups in Trang, Satun and Krabi Province participated in the study. They were selected based on a purposive sampling method. The data was collected by observation, in-depth interview, and focus group. The data was categorized, compared, and summarized to connect related theories.

The resulted revealed as follows: 1) Community-based tourism management in Trang, Satun and Krabi Province meets the Thailand Community-based Tourism Development Criteria for all five aspects which are 1) Community-based Tourism Management, 2) Economic, Society and Good Quality of Life, 3) Local Cultural Heritage Conservation and Promotion, 4) Systemic and Sustainable Natural Resources and Environment, and 5) Community-based Tourism Service Quality. 2) The concept of community-based tourism development was used as a guideline to improve the capacity of community-based tourism in Trang, Satun and Krabi Province. They are 1) Developing Partnerships, 2) Adopting an Integrated Approach, 3) Planning and Designing Quality Products, 4) Identifying Market Demand and Developing Marketing Strategy, and 5) Implementing and Monitoring Performance. These aimed at helping the community gain advantages from mass tourism as well as preserving identity and resources of the community.

Key words: community-based tourism management, Trang Province, Satun Province, Krabi Province

บทนำ

จากสถานการณ์การท่องเที่ยวของประเทศไทย อุตสาหกรรมท่องเที่ยวมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยรายได้จากการท่องเที่ยว มีความสำคัญต่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) โดยในปี พ.ศ. 2559 มีรายได้จากการท่องเที่ยว คิดเป็นมูลค่า 1.29 ล้านล้านบาท หรือร้อยละ 9.20 (กรมการท่องเที่ยว, 2561) ภาครัฐเล็งเห็นความสำคัญในการพัฒนาให้การท่องเที่ยวเป็นเครื่องมือในการลดความเหลื่อมล้ำ สร้างการกระจายรายได้สู่ชุมชน ให้ประชาชนได้รับประโยชน์จากการขยายตัวของอุตสาหกรรมท่องเที่ยวของประเทศ

การพัฒนาชุมชนในมิติการท่องเที่ยวจึงเกิดขึ้นเนื่องจากภาครัฐมองถึงประโยชน์จากการท่องเที่ยวโดยชุมชน ที่จะเป็เครื่องมือสำคัญในการช่วยสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชน ประกอบกับกระแสการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของโลก 3 ประการ ได้แก่ 1) กระแสการพัฒนาอย่างยั่งยืนโดยมีชุมชนเป็นศูนย์กลาง 2) กระแสกลุ่มตลาดที่ใหม่และกว้างขึ้น และ 3) กระแสที่เน้นความรับผิดชอบต่อและจิตสำนึกของนักท่องเที่ยวในการท่องเที่ยว การท่องเที่ยวโดยชุมชน (Community-based Tourism) จึงเป็นรูปแบบ ที่เปิดโอกาสสู่ชุมชนในการจัดการด้านการท่องเที่ยวที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมและสถานการณ์ของชุมชนนั้นๆ

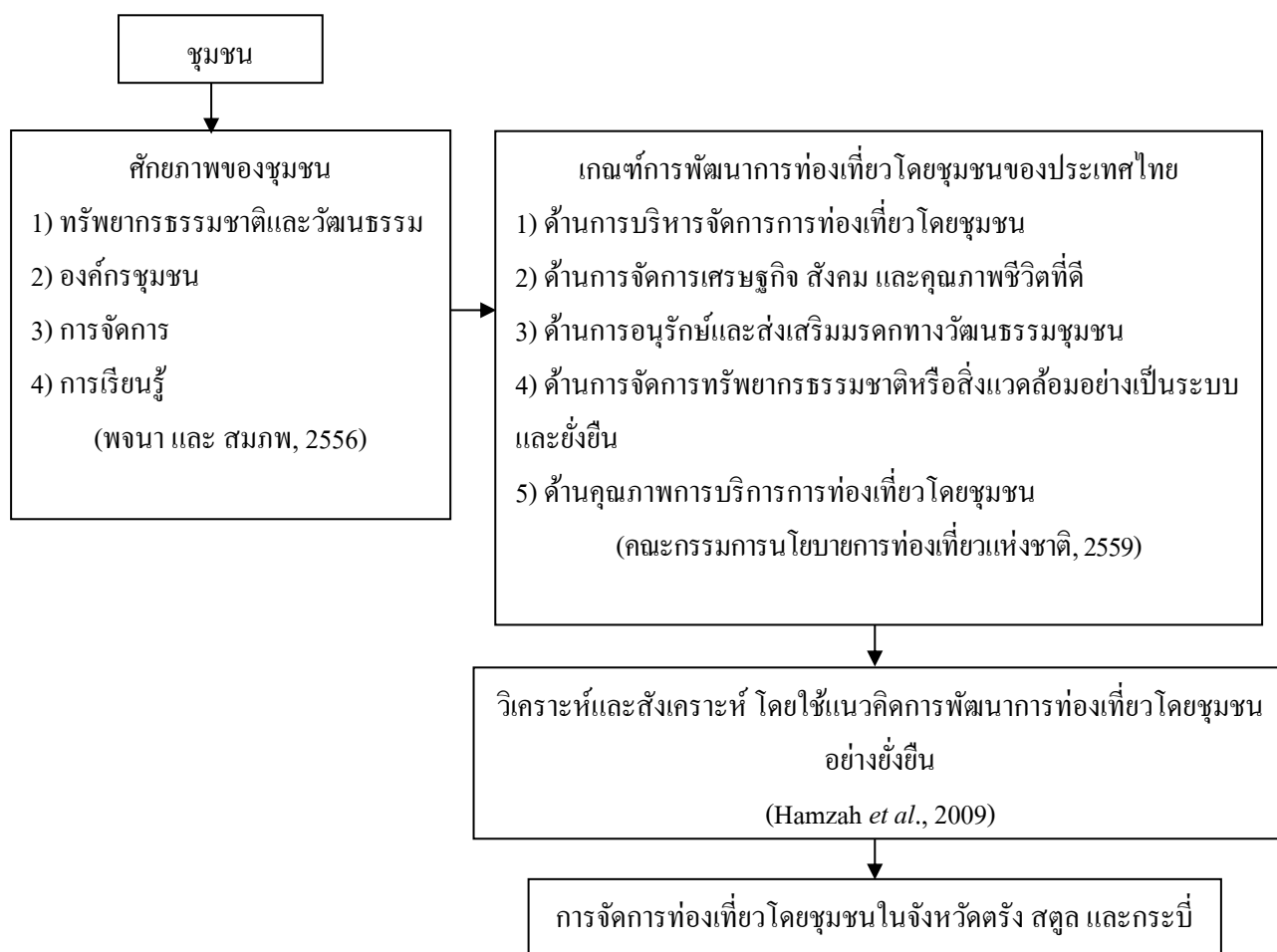
(พิมพ์ระวี, 2553) แต่การจะสร้างรายได้ให้กับชุมชนและพัฒนาคุณภาพชีวิตของชุมชนให้ดีขึ้นตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ ศักยภาพของชุมชนซึ่งมีส่วนสำคัญต่อกระบวนการในการจัดการ ที่ต้องอาศัยการพึ่งตนเอง การเรียนรู้ และการปรับตัวต่อสถานการณ์ หรือการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆ โดยเฉพาะด้านการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของชุมชนท้องถิ่น ในการตอบสนองต่อสิ่งที่นักท่องเที่ยวและบริษัทนำเที่ยวคาดหวัง โดยเฉพาะการบริการและการท่องเที่ยวที่ยั่งยืนครบทุกมิติ ทั้งด้านสังคม วัฒนธรรม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม (พจนา และ สมภพ, 2556) ทั้งนี้ ในเชิงการปฏิบัติกลับพบว่า ประเทศไทยยังขาดการบูรณาการด้านการท่องเที่ยวโดยชุมชนอย่างชัดเจน และเป็นรูปธรรม ยังขาดเรื่องของงบประมาณสนับสนุน และยังมีข้อจำกัดในการดำเนินงาน ตลอดจนบุคลากรยังขาดความรู้และทักษะที่จะเข้าไปทำงาน เพื่อเสริมความเข้มแข็งและเกิดความต่อเนื่องในการจัดการท่องเที่ยว แนวทางการพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนให้เป็นไปตามเป้าหมาย จึงมีการจัดทำแผนยุทธศาสตร์การท่องเที่ยวโดยชุมชนอย่างยั่งยืน พ.ศ. 2559-2563 เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทยให้ชัดเจนมากขึ้น (การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 2561) โดยเน้นการพัฒนาการท่องเที่ยวให้เกิดความเชื่อมโยงกับพื้นที่การพัฒนาของกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬาใน 5 กลุ่มจังหวัดท่องเที่ยว หรือคลัสเตอร์ ประกอบด้วย 1) เขตพัฒนาการท่องเที่ยวอารยธรรมล้านนา (เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปางและพะเยา) 2) เขตพัฒนาการท่องเที่ยวอันดามัน (ภูเก็ต กระบี่ พังงา ตรัง และสตูล) 3) เขตพัฒนาการท่องเที่ยวอารยธรรมอีสานใต้ (นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ และอุบลราชธานี) 4) เขตพัฒนาการท่องเที่ยวฝั่งทะเลตะวันออก (ชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด) และ

5) เขตพัฒนาการท่องเที่ยวฝั่งทะเลตะวันตก (เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และระนอง) โดยในแผนมีความมุ่งหวังในการแก้ไขปัญหาของชุมชนท้องถิ่นยกระดับมาตรฐานและการพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนให้เป็นรูปธรรม ทำให้การพัฒนาสามารถกระจายลงสู่พื้นที่ภาคและเมืองต่างๆ จากแหล่งท่องเที่ยวกระแสหลักซึ่งมีจำนวนนักท่องเที่ยวมากไปสู่พื้นที่เมืองรองที่ยังมีจำนวนนักท่องเที่ยวน้อย โดยเฉพาะในเขตพัฒนาการท่องเที่ยวอันดามัน 5 จังหวัด ได้แก่ ภูเก็ต กระบี่ พังงา ตรัง และสตูล มีแนวทางในการพัฒนาโดยใช้ชุมชนต้นแบบที่มีศักยภาพนำร่องในการพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางให้กับชุมชนอื่นๆ ในการกระจายรายได้จากการท่องเที่ยวกระแสหลักไปสู่พื้นที่ชุมชน (กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, 2558) การเตรียมความพร้อม เพื่อให้ชุมชนมีแนวปฏิบัติในการจัดการกับฐานทรัพยากรที่มีอยู่ของชุมชนอย่างมีอัตลักษณ์จึงมีความสำคัญ โดยสามารถนำเกณฑ์การพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทย มาใช้เป็นเครื่องมือสำคัญในการวางแผน การดำเนินการ เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาการท่องเที่ยวในชุมชนต้นแบบ หรือในพื้นที่พิเศษต่างๆ เพื่อให้ชุมชนได้มีส่วนร่วมในการตรวจสอบและบริหารจัดการแหล่งท่องเที่ยวของชุมชนได้เอง (คณะกรรมการนโยบายการท่องเที่ยวแห่งชาติ, 2559) การศึกษาการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนในจังหวัดตรัง สตูล และกระบี่ จึงคำนึงถึงบริบททางท่องเที่ยวกระแสหลักของจังหวัด กระบี่ และความเหมาะสมด้านพื้นที่ของทั้ง 3 จังหวัดที่มีความใกล้เคียงกัน โดยสามารถพัฒนาให้ชุมชนมีรูปแบบและกิจกรรมการท่องเที่ยว ที่สามารถเชื่อมโยงและรับผลประโยชน์จากการท่องเที่ยวกระแสหลักร่วมกันได้ ทั้งนี้ จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่พบว่ามีการศึกษาในเรื่องการนำเกณฑ์

การพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทย มาใช้เพื่อวัดศักยภาพของชุมชนในพื้นที่ดังกล่าว

การศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงนำเกณฑ์การพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทย มาวิเคราะห์กับชุมชนต้นแบบในกลุ่มจังหวัดอันดามัน 3 จังหวัด โดยเลือกชุมชนต้นแบบนำร่องด้านการท่องเที่ยวโดยชุมชนในปี พ.ศ. 2560 จังหวัดละ 2 ชุมชน ได้แก่ 1) จังหวัดตรัง คือ ชุมชนบ่อหินฟาร์มสเตย์ และชุมชนบ้านลำขนุน 2) จังหวัดสตูล คือ ชุมชนบ้านบ่อเจ็ดลูก และชุมชนบ้านวังสายทอง และ 3) จังหวัดกระบี่ คือ ชุมชนบ้านทุ่งหยีเพ็ง และชุมชนแหลมสัก (สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดภูเก็ต, 2560) โดยศึกษา ศักยภาพการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนจากองค์ประกอบพื้นฐานในด้าน

ทรัพยากรธรรมชาติและวัฒนธรรม ด้านองค์กรชุมชน ด้านการจัดการ และด้านการเรียนรู้ (พจนา และ สมภพ, 2556) ร่วมกับการใช้เกณฑ์ ในการประเมินศักยภาพ ผลจากการวิจัย สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดแนวทางการพัฒนาศักยภาพการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนอย่างยั่งยืนในพื้นที่จังหวัดตรัง สตูล และกระบี่ ให้มีการจัดการที่ก่อให้เกิดคุณค่า การเพิ่มมูลค่า และสร้างรายได้ให้กับชุมชนอย่างยั่งยืน โดยคงไว้ซึ่งรูปแบบการท่องเที่ยวของชุมชน ที่คงความเป็นอัตลักษณ์และความเป็นมาตรฐาน ทั้งในแง่ของการให้บริการ และการจัดการที่ยั่งยืนตามความคาดหวังของนักท่องเที่ยว ทั้งยังนำไปปรับประยุกต์ให้เหมาะสมกับพื้นที่อื่นๆ ได้อีกในอนาคต



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) มาทำความเข้าใจปรากฏการณ์ที่สนใจ สืบค้นแก่นสาร และความหมายของปรากฏการณ์ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์สร้างข้อสรุป (องค์อาจ, 2551)

ขอบเขตด้านพื้นที่ ผู้วิจัยได้กำหนดพื้นที่ในการศึกษาแบบเจาะจง จำนวน 6 ชุมชน ใน 3 จังหวัด ประกอบด้วย จังหวัดตรัง ได้แก่ ชุมชนบ่อหิน พาร์มสเคย์ และชุมชนบ้านลำขนุน จังหวัดสตูล ได้แก่ ชุมชนบ้านบ่อเจ็ดลูก และชุมชนบ้านวังสายทอง จังหวัดกระบี่ ได้แก่ ชุมชนบ้านทุ่งหยีเพ็ง และชุมชนแหลมสัก ซึ่งทั้ง 6 ชุมชน เป็นสมาชิกเครือข่ายการท่องเที่ยวโดยชุมชนอันดามัน เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ติดต่อกัน จัดอยู่ในเขตพัฒนาการท่องเที่ยวนำร่องอันดามัน และได้รับการคัดเลือกให้เป็นชุมชนต้นแบบนำร่องในการพัฒนาด้านการท่องเที่ยวโดยชุมชน ประจำปี พ.ศ. 2560 (สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดภูเก็ต, 2560)

ขอบเขตด้านประชากร ผู้วิจัยเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้ เป็นผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (เบญจา และ กาญจนา, 2552) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สอดคล้องต่อการสัมภาษณ์ จำนวน 1 กลุ่มตัวอย่าง โดยเป็นตัวแทนสมาชิกของกลุ่มท่องเที่ยวโดยชุมชนต้นแบบนำร่องในจังหวัดตรัง สตูล และกระบี่ จำนวน 18 คน จาก 6 ชุมชน แบ่งเป็นตัวแทนชุมชนละ 3 คน ซึ่งเป็นผู้ที่มีส่วนร่วมในการจัดการด้านการท่องเที่ยวและได้รับผลกระทบจากการท่องเที่ยวทั้งเชิงบวกและเชิงลบ

ขอบเขตด้านเครื่องมือวิจัย ผู้วิจัยอาศัยการสังเกตการณ์ (Observation) ร่วมกับแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-Structured Interview) โดยกำหนดประเด็นคำถามหลักไว้ (วรรณดี, 2556) ซึ่งเกี่ยวข้องกับศักยภาพของชุมชน โดยศึกษาจากองค์ประกอบเบื้องต้นของการท่องเที่ยวโดยชุมชน และเกณฑ์

พัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทย ก่อนการลงพื้นที่เก็บข้อมูล มีการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ โดยนำเสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความสอดคล้อง และความถูกต้องเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาที่มีข้อคำถามครอบคลุมครบถ้วน และสามารถตอบวัตถุประสงค์ของการวิจัย

ขอบเขตด้านการรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสังเกต ร่วมกับการสัมภาษณ์ จำนวน 22 ครั้ง รวมเวลาทั้งสิ้น 120 ชั่วโมง แบ่งออกเป็น 8 ช่วงเวลา ได้แก่ 1) วันที่ 16-18 มิถุนายน 2560 2) วันที่ 23-26 มิถุนายน 2560 3) วันที่ 1-2 กรกฎาคม 2560 4) วันที่ 15-17 กรกฎาคม 2560 5) วันที่ 18 กรกฎาคม 2560 6) วันที่ 21-23 กรกฎาคม 2560 7) วันที่ 4-6 สิงหาคม 2560 และ 8) วันที่ 8 สิงหาคม 2560 จนได้ข้อมูลครบทุกพื้นที่ จากนั้นนำข้อมูลมาจำแนกประเภทของข้อมูล เปรียบเทียบข้อมูล และสร้างข้อสรุป เพื่อตีความข้อมูลให้เชื่อมโยงความสัมพันธ์กับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนมาช่วยวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ เช่น แนวคิดศักยภาพของชุมชน ศึกษาองค์ประกอบเบื้องต้นในการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชน (พจนา และ สมภพ, 2556) แนวคิดเกณฑ์การพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทย (คณะกรรมการนโยบายการท่องเที่ยวแห่งชาติ, 2559) และแนวคิดกระบวนการพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนอย่างยั่งยืน (Hamzah *et al.*, 2009) และตรวจสอบสามเส้าด้านวิธีรวบรวมข้อมูล (Triangulation) ซึ่งใช้วิธีเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ กันมาให้ผู้ให้ข้อมูลสำคัญทั้งหมดอ่านทบทวนว่าข้อมูลนั้น มีความเที่ยงตรงตามที่เป็นอย่างจริง นอกจากนี้จัดสนทนากลุ่มย่อย (Focus Group) เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้และคืนกลับข้อมูลแก่ชุมชน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ข้อมูลจากการสังเกตร่วมกับการสัมภาษณ์เชิงลึกกับตัวแทนชุมชน 6 ชุมชน ชุมชนละ 3 คน รวมทั้งสิ้น 18 คน เป็นผู้ให้ข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับศักยภาพของชุมชน และการดำเนินงานตามเกณฑ์การพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทย

ผลการวิจัยจากการสังเกต พบว่า ผู้ให้สัมภาษณ์ทุกรายมีความกระตือรือร้นในการให้สัมภาษณ์ มีสื่อน้ำยิ้มแย้มและเป็นมิตรตลอดระยะเวลาการสัมภาษณ์ สามารถตอบคำถามได้อย่างมั่นใจ และผลการวิจัยจากการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยสรุปข้อมูลที่สำคัญจากการสัมภาษณ์ของผู้ให้ข้อมูล โดยแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลจากการสัมภาษณ์

ชื่อชุมชน	ข้อมูลที่ให้สัมภาษณ์เหมือนกัน	ข้อมูลที่ให้สัมภาษณ์ต่างกัน
1) ชุมชนบ่อหินฟาร์มสเตย์	- ความโดดเด่นของทรัพยากรทางทะเล และระบบนิเวศป่าชายเลนที่อุดมสมบูรณ์ - สมาชิกเคารพเงื่อนไขและกติกาของกลุ่ม ร่วมแสดงความคิดเห็น รับรู้หน้าที่และผลประโยชน์ร่วมกัน - สมาชิกได้พัฒนาความรู้และทักษะต่างๆ เพื่อให้บริการนักท่องเที่ยว	- ภาระหน้าที่ความรับผิดชอบ - ความถี่ในการเข้าอบรมเพื่อเพิ่มพูนความรู้ - สัดส่วนการแบ่งปันรายได้
2) ชุมชนบ้านลำขนุน	- ความโดดเด่นของทรัพยากรธรรมชาติ ป่าเขา และแหล่งต้นน้ำที่อุดมสมบูรณ์ - การทำเกษตรแบบเศรษฐกิจพอเพียง และการใช้พลังงานทดแทนในครัวเรือน - การมีส่วนร่วมของกลุ่มสมาชิก	- ทักษะการให้บริการ - รูปแบบการทำเกษตร - สัดส่วนการแบ่งปันรายได้
3) ชุมชนบ้านบ่อเจ็ดลูก	- ความโดดเด่นของทรัพยากรทางทะเล และหมู่เกาะ - เครือข่ายความร่วมมือในกลุ่ม และการสร้างจิตสำนึกในการดูแลทรัพยากรร่วมกัน	- ภาระหน้าที่ความรับผิดชอบ - ทักษะการให้บริการ - สัดส่วนการแบ่งปันรายได้
4) ชุมชนบ้านวังสายทอง	- ความโดดเด่นของทรัพยากรธรรมชาติ ป่าเขา และสายน้ำที่อุดมสมบูรณ์ - ความร่วมมือของสมาชิกในการจัดการทรัพยากร - การจัดกิจกรรมท่องเที่ยว และระบบหมุนเวียนบ้านพัก	- ภาระหน้าที่ความรับผิดชอบ - ทักษะในการนำชม - สัดส่วนการแบ่งปันรายได้
5) ชุมชนบ้านทุ่งหยีเพ็ง	- ความโดดเด่นของทรัพยากรทางทะเล และระบบนิเวศป่าชายเลนที่อุดมสมบูรณ์ - วิถีอาชีพการทำประมง - การให้บริการนักท่องเที่ยว	- ภาระหน้าที่ความรับผิดชอบ - สัดส่วนการแบ่งปันรายได้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อชุมชน	ข้อมูลที่ให้สัมภาษณ์เหมือนกัน	ข้อมูลที่ให้สัมภาษณ์ต่างกัน
6) ชุมชนแหลมสั๊ก	- ความโดดเด่นทรัพยากรทางทะเล และหมู่เกาะ - เรื่องราวทางประวัติศาสตร์ และภาพเขียนสี - การบริหารจัดการภายในกลุ่ม	- ภาระหน้าที่ความรับผิดชอบ - ทักษะความรู้ ความสามารถ

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นข้อมูลที่ผู้ให้ข้อมูลให้สัมภาษณ์เหมือนกันของทั้ง 6 ชุมชน คือ แต่ละชุมชนมีทรัพยากรที่โดดเด่น เอื้อต่อการสร้างสรรค์กิจกรรมการท่องเที่ยว ทั้งนี้ สมาชิกมีการรวมกลุ่มสร้างกฎกติการ่วมกันในการบริหารจัดการ ส่วนข้อมูลที่ผู้ให้ข้อมูลให้สัมภาษณ์ต่างกัน คือ การแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบที่หลากหลายโดยใช้ทักษะความรู้ ความสามารถและประสบการณ์ของแต่ละบุคคล ในการเข้ามามีส่วนร่วมภายในกลุ่ม โดยได้รับมอบหมายหน้าที่ที่แตกต่างกัน เช่น มีหน้าที่ในการต้อนรับ การนำชม การทำอาหาร การดูแลบ้านพัก หรือโฮมสเตย์ เป็นต้น มีการเข้าอบรมกับหน่วยงานต่างๆ เพื่อพัฒนาทักษะความรู้ในเรื่องการเป็นเจ้าบ้าน

ที่ดี การพัฒนาศักยภาพบุคลากร การเป็นนักสื่อความหมาย และทักษะภาษาอังกฤษสำหรับการสื่อสารและงานบริการ เป็นต้น ส่งผลให้การแบ่งปันสัดส่วนรายได้ให้แก่สมาชิกแต่ละบุคคลแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขอบเขตหน้าที่และข้อตกลงร่วมของกลุ่ม ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตและการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยนำมาสรุปตามวัตถุประสงค์การวิจัยได้ ดังนี้

1) การจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนในจังหวัดตรัง สตูล และกระบี่ ตามเกณฑ์การพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทย โดยแสดงข้อมูลของจังหวัดตรังในตารางที่ 2 ข้อมูลของจังหวัดสตูลในตารางที่ 3 และข้อมูลของจังหวัดกระบี่ในตารางที่ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ข้อมูลการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนในจังหวัดตรัง

การดำเนินงานตามเกณฑ์การพัฒนา	ชุมชนบ่อหินฟาร์มสเตย์	ชุมชนบ้านลำขนุน
ด้านที่ 1 ด้านการบริหารจัดการการท่องเที่ยวโดยชุมชน	- การรวมกลุ่มมาอย่างยาวนาน - ใช้กฎกติกาในการจัดการร่วมกัน - จัดการประชุมพูดคุยอย่างสม่ำเสมอ	- สมาชิกในชุมชนเข้ามามีส่วนร่วม - จัดการประชุมพูดคุยอย่างต่อเนื่อง
ด้านที่ 2 ด้านการจัดการเศรษฐกิจ สังคม และคุณภาพชีวิตที่ดี	- แบ่งปันรายได้คืนกลับให้สมาชิกและส่วนรวม	- แบ่งปันรายได้ให้สมาชิกและส่วนรวม
ด้านที่ 3 ด้านการอนุรักษ์และส่งเสริมมรดกทางวัฒนธรรมชุมชน	- วิถีชีวิตของชุมชนริมฝั่งคลอง - การละเล่นลิเกป่า	- วิถีชีวิตของชุมชนพื้นบ้าน - การละเล่นมโนราห์
ด้านที่ 4 ด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติหรือสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบและยั่งยืน	- ทรัพยากรทางทะเล และระบบนิเวศป่าชายเลน - การทำประมงชายฝั่ง และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	- ทรัพยากรธรรมชาติป่าเขา และแหล่งต้นน้ำ - การทำเกษตรกรรม

ตารางที่ 2 (ต่อ)

การดำเนินงานตามเกณฑ์การพัฒนา	ชุมชนบ่อหินฟาร์มสเตย์	ชุมชนบ้านลำขนุน
		- การใช้พลังงานทดแทนในครัวเรือน
ด้านที่ 5 ด้านคุณภาพการบริการการท่องเที่ยวโดยชุมชน	- กิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศและกิจกรรมท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ระบบนิเวศป่าชายเลน	- กิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรและกิจกรรมท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ป่าไม้ และแหล่งต้นน้ำ

ตารางที่ 3 ข้อมูลการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนในจังหวัดสตูล

การดำเนินงานตามเกณฑ์การพัฒนา	ชุมชนบ้านบ่อเจ็ดลูก	ชุมชนบ้านวังสายทอง
ด้านที่ 1 ด้านการบริหารจัดการการท่องเที่ยวโดยชุมชน	- การร่วมกลุ่มเป็นเครือข่าย - ใช้กฎกติกาและรวมกลุ่มกันในการสร้างจิตสำนึกความรับผิดชอบ	- สมาชิกในชุมชน รวมกลุ่มจัดการทรัพยากรที่มีให้เกิดประโยชน์ - สร้างข้อตกลงร่วมกัน
ด้านที่ 2 ด้านการจัดการเศรษฐกิจสังคม และคุณภาพชีวิตที่ดี	- สร้างอาชีพเสริม ให้ชุมชนมีรายได้	- แบ่งปันผลประโยชน์ตามสัดส่วน
ด้านที่ 3 ด้านการอนุรักษ์และส่งเสริมมรดกทางวัฒนธรรมชุมชน	- วิถีชีวิตของชุมชนชาวเล	- วิถีชีวิตชุมชนและประเพณีพื้นบ้าน
ด้านที่ 4 ด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติหรือสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบและยั่งยืน	- ทรัพยากรทางทะเล และหมู่เกาะ - การทำประมงชายฝั่ง และการจับสัตว์น้ำ	- ทรัพยากรธรรมชาติแนวป่าเขาและสายน้ำ - การทำการเกษตร และการเพาะปลูก
ด้านที่ 5 ด้านคุณภาพการบริการการท่องเที่ยวโดยชุมชน	- กิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศและการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ใช้การสื่อความหมายตามตำนาน	- กิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศและการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ศึกษาพืชพรรณธรรมชาติ

ตารางที่ 4 ข้อมูลการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนในจังหวัดกระบี่

การดำเนินงานตามเกณฑ์การพัฒนา	ชุมชนบ้านทุ่งหยีเพ็ง	ชุมชนแหลมสัก
ด้านที่ 1 ด้านการบริหารจัดการการท่องเที่ยวโดยชุมชน	- สมาชิกรวมกลุ่มกันมีความเข้าใจกระบวนการทำงาน	- การรวมกลุ่มของสมาชิก - การบริหารจัดการภายในกลุ่ม
ด้านที่ 2 ด้านการจัดการเศรษฐกิจสังคม และคุณภาพชีวิตที่ดี	- แบ่งปันรายได้ และร่วมรับผลประโยชน์	- จัดสรรและแบ่งปันรายได้ตามสัดส่วน
ด้านที่ 3 ด้านการอนุรักษ์และส่งเสริมมรดกทางวัฒนธรรมชุมชน	- วิธีการทำประมง - ศิลปะการแสดงพื้นบ้านรองเง็ง	- วิถีประมงพื้นบ้าน - ความหลากหลายของวัฒนธรรม

ตารางที่ 4 (ต่อ)

การดำเนินงานตามเกณฑ์การพัฒนา	ชุมชนบ้านทุ่งหยีเพ็ง	ชุมชนแหลมสัก
		ชาวไทยพุทธ จีน และมุสลิม
ด้านที่ 4 ด้านการจัดการ ทรัพยากรธรรมชาติหรือสิ่งแวดล้อม อย่างเป็นระบบและยั่งยืน	- ทรัพยากรธรรมชาติทางทะเล และระบบนิเวศป่าชายเลน	- ทรัพยากรธรรมชาติทางทะเล และ หมู่เกาะ
ด้านที่ 5 ด้านคุณภาพการบริการการ ท่องเที่ยวโดยชุมชน	- กิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ และการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ ระบบนิเวศป่าชายเลน	- กิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศและ การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ระบบนิเวศ ทางทะเล

ผลจากการวิจัย พบว่า ทั้ง 6 ชุมชน มีศักยภาพในการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชน โดยมีองค์ประกอบครบทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านทรัพยากรธรรมชาติและวัฒนธรรม พบว่า ในแต่ละชุมชนมีความโดดเด่นด้านทรัพยากรทางธรรมชาติและวัฒนธรรมที่สามารถนำมาสร้างสรรค์เป็นกิจกรรมการท่องเที่ยวที่มีเอกลักษณ์ของชุมชนได้ 2) ด้านองค์กรชุมชน พบว่า ในแต่ละชุมชนมีการรวมกลุ่มสมาชิกเพื่อบริหารจัดการทรัพยากรในชุมชนร่วมกัน 3) ด้านการจัดการ พบว่า ในแต่ละชุมชนมีกฎและกติกาของกลุ่ม ที่เป็นระบบเพื่อนำมาจัดการกระบวนการที่เกี่ยวข้องในชุมชน ทั้งด้านทรัพยากร ด้านบุคลากร ด้านกิจกรรมการท่องเที่ยวให้เกิดประโยชน์ และเกิดรายได้ให้แก่สมาชิกในชุมชน และ 4) ด้านการเรียนรู้ พบว่า ในแต่ละชุมชนมีกิจกรรมการท่องเที่ยวที่สร้างการเรียนรู้ แลกเปลี่ยนประสบการณ์ และสร้างจิตสำนึกที่ดีให้แก่นักท่องเที่ยว และการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชน ทั้ง 6 ชุมชน มีการดำเนินงานเป็นไปตามเกณฑ์การพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทย โดยพบว่า แต่ละชุมชนนำองค์ประกอบทั้ง 4 ด้านมาบริหารจัดการให้สอดคล้องตามเกณฑ์ ในแต่ละด้าน ดังนี้ ด้านที่ 1 ด้านการบริหารจัดการการท่องเที่ยวโดยชุมชน พบว่า ในแต่ละชุมชน มีการรวมกลุ่มของสมาชิก สร้างกฎกติกาของกลุ่มในการบริหารจัดการร่วมกัน ด้านที่ 2 ด้านการจัดการเศรษฐกิจ

สังคม และคุณภาพชีวิตที่ดี พบว่า ในแต่ละชุมชน มีการแบ่งปันรายได้และจัดสรรผลประโยชน์ร่วมกัน ด้านที่ 3 ด้านการอนุรักษ์และส่งเสริมมรดกทางวัฒนธรรม ชุมชนพบว่า ในแต่ละชุมชน มีการอนุรักษ์และถ่ายทอดภูมิปัญญาซึ่งเป็นมรดกของชุมชน ด้านที่ 4 ด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติหรือสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบและยั่งยืน พบว่า ในแต่ละชุมชน มีทรัพยากรทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่นำมาจัดการเป็นกิจกรรมการท่องเที่ยว พร้อมกับสร้างแนวทางในการอนุรักษ์ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมเหล่านั้น ผ่านกิจกรรมการท่องเที่ยว และด้านที่ 5 ด้านคุณภาพการบริการการท่องเที่ยวโดยชุมชน พบว่า ในแต่ละชุมชน มีกิจกรรมการท่องเที่ยวของชุมชนที่ให้บริการแก่นักท่องเที่ยว โดยจัดให้มีผู้นำชมและสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในกิจกรรม ซึ่งผลการวิจัยสอดคล้องกับพจนาน และ สมภพ (2556) ที่กล่าวถึง องค์ประกอบหลักของการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนว่า ชุมชนต้องมีให้ครบทั้ง 4 ด้าน และพัฒนาองค์ประกอบเหล่านั้นให้มีความพร้อมมีศักยภาพต่อการรองรับนักท่องเที่ยว โดยที่ชุมชนเองไม่สูญเสียความเป็นอัตลักษณ์ หรือต้องเปลี่ยนแปลงอะไรทั้งหมด เพียงแต่ใช้กระบวนการ เข้ามาจัดการกับต้นทุนที่ชุมชนมีอยู่ และสอดคล้องกับศุภวรรษ และคณะ (2556) ที่ชี้ให้เห็นว่า การศึกษาศักยภาพของชุมชนนับเป็นจุดเริ่มต้นและเป็นการ

วางรากฐานการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชน ที่ทำให้ชุมชนมีทิศทางที่แน่นอน และสามารถพัฒนาต่อไปในอนาคต

2) แนวทางการพัฒนาศักยภาพในการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนอย่างยั่งยืนในจังหวัดตรัง สตูล และกระบี่

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลศักยภาพของชุมชนโดยศึกษาจากองค์ประกอบเบื้องต้นในการจัดการการท่องเที่ยวโดยชุมชน ประกอบกับการใช้แนวคิดกระบวนการพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนอย่างยั่งยืน ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ส่วน A และ B ซึ่งส่วนที่ 1 ส่วน A ให้ความสำคัญต่อการพัฒนาในระยะเริ่มต้นมี 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การประเมินความต้องการและความพร้อมของชุมชนเพื่อการท่องเที่ยว 2) การให้ความรู้และเตรียมชุมชนเพื่อการท่องเที่ยว 3) ระบุผู้นำและผู้ประสานงานในชุมชน และ 4) การเตรียมพร้อมและพัฒนาองค์กรชุมชน ผลจากการวิจัย พบว่า ทั้ง 6 ชุมชนมีการดำเนินงานในส่วนที่ 1 ส่วน A ระยะของการพัฒนาเริ่มต้นเป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยมีการดำเนินงานครบทั้ง 4 ขั้นตอน ตั้งแต่การสำรวจความต้องการของชุมชน และรวมกลุ่มสมาชิก มีการศึกษาข้อมูลด้านทรัพยากรในชุมชน ที่สามารถนำมาจัดเป็นกิจกรรมเพื่อรองรับการท่องเที่ยว มีการคัดเลือกผู้นำและผู้ประสานงานฝ่ายต่างๆ รวมถึงกำหนดโครงสร้างขององค์กรเพื่อดำเนินงาน และเพื่อให้เกิดความยั่งยืน ชุมชนจำเป็นต้องดำเนินการต่อในส่วนที่ 2 ส่วน B มี 5 ขั้นตอน ซึ่งให้ความสำคัญต่อการสร้างความยั่งยืน ในชุมชน โดยจากผลการวิจัย ชุมชนสามารถปรับใช้แนวทางที่เหมาะสมกับบริบทของชุมชนตาม 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การพัฒนาความร่วมมือผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง โดยให้ความร่วมมือทั้งภายในกลุ่ม และกับหน่วยงานอื่นๆ ให้ความช่วยเหลือและเป็นพี่เลี้ยงให้กับชุมชนอื่นอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนให้ความสำคัญต่อการเรียนรู้ หรือ

เปิดรับองค์ความรู้ใหม่ๆ อาจเข้าไปมีส่วนร่วมในกลุ่มหรือเครือข่ายอื่นๆ เพื่อนำความรู้และแนวทางที่มีประโยชน์ต่อชุมชน มาปรับใช้ให้เหมาะสมและเท่าทันต่อการเปลี่ยนแปลง 2) การบูรณาการทักษะความรู้ โดยนำความรู้ที่เหมาะสมมาพัฒนา หรือต่อยอดเพื่อให้เกิดการสร้างคุณค่า และเพิ่มมูลค่าต่อทรัพยากรที่มีอยู่ในชุมชน เช่น ความรู้ด้านการตลาดสมัยใหม่ ความรู้ด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมต่างๆ 3) การวางแผนและออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ โดยการกำหนดเป้าหมายและจุดมุ่งหมายของการสร้างสรรค์กิจกรรมการท่องเที่ยวและบริการต่างๆ โดยคำนึงถึงความเป็นเอกลักษณ์ และความต้องการของนักท่องเที่ยว ให้เกิดความสมดุลระหว่างคุณค่าและประโยชน์ที่จะได้รับ และให้ความสำคัญต่อการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างชุมชนและนักท่องเที่ยว 4) ระบุกลุ่มเป้าหมายทางการตลาด และพัฒนากลยุทธ์ทางการตลาด โดยสร้างรูปแบบการท่องเที่ยวภายในชุมชนให้นักท่องเที่ยวรับรู้ผ่านการสื่อสาร หรือการสร้างภาพลักษณ์ที่เป็นเอกลักษณ์ มีการจัดเก็บข้อมูลของนักท่องเที่ยวอย่างเป็นระบบ โดยออกแบบเครื่องมือที่สามารถจัดเก็บข้อมูลของนักท่องเที่ยวได้หลากหลายช่องทาง เช่น การเก็บข้อมูลการลงทะเบียนเยี่ยมชม หรือการเข้าพัก การเก็บข้อมูลแบบสอบถามความพึงพอใจ หรือการชักชวนให้นักท่องเที่ยวติดตามข่าวสารของชุมชนผ่านสื่อออนไลน์ต่างๆ และ 5) ดำเนินการและตรวจสอบประสิทธิภาพ โดยมีการทบทวนกระบวนการดำเนินงานอยู่เสมอ นอกจากมีการประชุมติดตามผลตามรอบระยะเวลาโดยผู้นำหรือสมาชิกในชุมชน แล้วอาจใช้รูปแบบการประเมินโครงการแบบ CIPP Model ของสตัฟเฟิลบีม (Stufflebeam) ประกอบด้วย 1) การประเมินสถานะแวดล้อม (Context Evaluation: C) 2) การประเมินปัจจัยนำเข้า (Input Evaluation: I) 3) การประเมินกระบวนการ (Process Evaluation: P)

และ 4) การประเมินผลผลิต (Product Evaluation: P) ซึ่งเป็นรูปแบบการประเมินที่มีความต่อเนื่องกันในการดำเนินงานอย่างครบวงจร และครอบคลุมมิติเศรษฐกิจ สังคม การบริหารจัดการ ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม มาร่วมในการประเมินผลได้ ดังนั้นศักยภาพของชุมชน จึงมีความสำคัญต่อการจัดการและการพัฒนาต่อไปในระดับที่ยังขาด เพื่อพัฒนาปรับปรุงและยกระดับการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งเกณฑ์การพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทย ถือเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ชุมชนสามารถใช้ตรวจสอบเพื่อติดตาม หรือตรวจสอบประเมินการทำงานของตนเองได้อย่างต่อเนื่องสอดคล้องกับ บุญเลิศ และ เพ็ญศิริ (2557) ในเรื่องการมีส่วนร่วมทางการท่องเที่ยวแบบยั่งยืนของชุมชนท้องถิ่น ซึ่งประชาชนสามารถกำหนดแนวทางการพัฒนาการท่องเที่ยวในพื้นที่ของตนเอง และสอดคล้องกับ Sriupayo (2017) ในการเสริมสร้างการมีส่วนร่วมของชุมชนในรูปแบบต่างๆ ให้สามารถบริหารจัดการการท่องเที่ยวให้มีประสิทธิภาพ

สรุป

ชุมชนทั้ง 6 ชุมชน มีศักยภาพในการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชน โดยมีองค์ประกอบในการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชน ครบทั้ง 4 ด้าน ซึ่งนำมาเป็นต้นทุนในการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนได้เป็นอย่างดี ในด้านทรัพยากรธรรมชาติและวัฒนธรรม ทุกชุมชนมีทรัพยากรธรรมชาติ และวิถีชีวิต ตลอดจนวัฒนธรรมและประเพณีที่สืบทอดต่อกันมา ในด้านองค์กรชุมชนมีการรวมกลุ่มกัน ด้วยความสมัครใจ ด้านการจัดการมีการแบ่งงานตามภาระหน้าที่ และมีส่วนร่วมต่อการรับผลประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ภายใต้กฎกติกาและเงื่อนไข ซึ่งเป็นที่ยอมรับของกลุ่มด้านการเรียนรู้มีกิจกรรมการท่องเที่ยวที่สามารถเชื่อมโยงให้นักท่องเที่ยวเกิดการเรียนรู้ร่วมกันกับชุมชนได้ ทั้งนี้

ชุมชนมีการบริหารจัดการในแต่ละองค์ประกอบให้เป็นไปตามเกณฑ์การพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทย ครบทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ ด้านที่ 1 ด้านการบริหารจัดการการท่องเที่ยวโดยชุมชน ด้านที่ 2 ด้านการจัดการเศรษฐกิจ สังคม และคุณภาพชีวิตที่ดี ด้านที่ 3 ด้านการอนุรักษ์และส่งเสริมมรดกทางวัฒนธรรมชุมชน ด้านที่ 4 ด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ หรือสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบและยั่งยืน และด้านที่ 5 ด้านคุณภาพการบริการการท่องเที่ยว

โดย ทั้ง 6 ชุมชน สามารถนำกระบวนการพัฒนาในส่วน B ไปปรับใช้ในการพัฒนาต่อยอดศักยภาพที่มีอยู่ โดยดำเนินการต่อในกระบวนการสร้างความยั่งยืน ได้แก่ 1) การพัฒนาความร่วมมือผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง 2) การบูรณาการทักษะความรู้ 3) การวางแผนและออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ 4) ระบุกลุ่มเป้าหมายทางการตลาด และพัฒนากลยุทธ์ทางการตลาด และ 5) ดำเนินการและตรวจสอบประสิทธิภาพ โดยอาจปรับเปลี่ยนวิธีการบริหารจัดการให้มีความเหมาะสมกับบริบทชุมชนของตนเอง และคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ฐานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม วัฒนธรรม และประเพณี ระบบโครงสร้างขององค์กร การบริหารงานภายในกลุ่ม ความรู้และทักษะของบุคลากร รวมไปถึงการวางแผนในระยะยาว เพื่อกำหนดทิศทางการดำเนินงาน และการพัฒนาเรื่องของเส้นทางการท่องเที่ยว โปรแกรมการท่องเที่ยว และการวางแผนทางการตลาดร่วมกันของทั้ง 6 ชุมชนในอนาคต โดยมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อให้ชุมชนได้รับประโยชน์จากการท่องเที่ยวกระแสหลัก และยังคงไว้ซึ่งอัตลักษณ์ของชุมชน ตลอดจนการอนุรักษ์ทรัพยากรต่าง ๆ ซึ่งเป็นต้นทุนทางการท่องเที่ยวไว้ได้อย่างยาวนาน

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

ผลจากการวิจัย พบว่า ทั้ง 6 ชุมชน มีศักยภาพในการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชน ควรได้รับการพัฒนาเพื่อยกระดับคุณภาพการบริการและสร้างความยั่งยืนอย่างต่อเนื่องโดย

1. ควรมีการพัฒนากิจกรรมการท่องเที่ยวให้เกิดการเรียนรู้ต่อผู้มาเยือน ผ่านเทคนิคและวิธีการต่างๆ อย่างสร้างสรรค์ เพื่อให้เกิดความหลากหลาย เช่น ลักษณะของกิจกรรมที่สะท้อนอัตลักษณ์ วิธีการสื่อความหมาย หรือการเล่าเรื่องราวระหว่างการนำชม เนื่องจากการแลกเปลี่ยนเรียนรู้เป็นประเด็นที่สำคัญของการท่องเที่ยวโดยชุมชน ที่ช่วยสร้างความประทับใจและดึงดูดใจแก่นักท่องเที่ยว

2. ควรให้ความสำคัญต่อการพัฒนากิจกรรมทางการตลาดอย่างต่อเนื่อง ผ่านช่องทางที่หลากหลาย เช่น การจัดกิจกรรมการท่องเที่ยวจิตอาสา การประชาสัมพันธ์ข้อมูลข่าวสารของชุมชนผ่านสื่อออนไลน์ไปยังกลุ่มนักท่องเที่ยวเป้าหมาย เนื่องจากกิจกรรมทางการตลาดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างชุมชนและนักท่องเที่ยวในการตอบสนองความต้องการทางการท่องเที่ยว

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับระบบการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนที่เป็นรูปแบบเฉพาะ เนื่องจากบริบทของชุมชน แต่ละชุมชนมีความเป็นอัตลักษณ์ จำเป็นต้องมีเครื่องมือ หรือตัวชี้วัดที่เหมาะสมกับชุมชนนั้นๆ

2. ควรมีการศึกษาความพึงพอใจ หรือความคาดหวังของนักท่องเที่ยวในการเข้ามาท่องเที่ยวในชุมชน ว่าสิ่งที่นักท่องเที่ยวรับรู้สอดคล้องกับความต้องการ หรือการยอมรับร่วมกันของชุมชนหรือไม่

3. ควรมีการศึกษารูปแบบ หรือช่องทางในการเชื่อมโยงผลประโยชน์จากการท่องเที่ยวกระแสหลัก ให้มาสู่ชุมชน ด้วยวิธีการต่างๆ ที่มีความเหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้มีส่วนร่วมจากทุกภาคส่วนในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยโครงการนี้ ในงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2560

เอกสารอ้างอิง

- กรมการท่องเที่ยว. 2561. แผนยุทธศาสตร์พัฒนาการท่องเที่ยว พ.ศ. 2561 - 2564 ของกรมการท่องเที่ยว . แหล่งที่มา : <https://www.dot.go.th/storage/%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B8%99/5V7jtvCF7hvNiPXPU7MOdT7giHiF1ZbRokN8nBVx.pdf>, 20 สิงหาคม 2561.
- กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. 2558. ยุทธศาสตร์การท่องเที่ยวไทย พ.ศ. 2558-2560. แหล่งที่มา : https://www.mots.go.th/ewt_dl_link.php?nid=7114, 20 สิงหาคม 2561.
- การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. 2561. การท่องเที่ยวโดยชุมชนอย่างยั่งยืน. แหล่งที่มา: <https://www.tatreviewmagazine.com/article/cbt-thailand/>, 20 สิงหาคม 2561.
- คณะกรรมการนโยบายการท่องเที่ยวแห่งชาติ. 2559. แผนพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนของประเทศไทย . แหล่งที่มา :

- <https://data.go.th/DatasetDetail.aspx?id=db41976b-78b5-4c3d-b13d-223414de8c2b>, 20 สิงหาคม 2561.
- บุญเลิศ จิตตั้งวัฒนา และ เพ็ญศิริ ศรีอำภา. 2557. การพัฒนาการท่องเที่ยวแบบยั่งยืน. ธรรมสาร, นนทบุรี.
- เบญจา ยอดดำเนิน-แอ๊ดติ๊ก และ กาญจนา ตั้งชลทิพย์. 2552. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ: การจัดการข้อมูลการตีความ และการหาความหมาย. ซีโน่พับลิชชิง, กรุงเทพฯ.
- พิมพ์ระวี โรจน์รุ่งสัจย์. 2553. การท่องเที่ยวชุมชน. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- พจนา สวนศรี และ สมภพ ยี่จอหอ. 2556. **คู่มือมาตรฐานการท่องเที่ยวโดยชุมชน**. สถาบันการท่องเที่ยวโดยชุมชน มหาวิทยาลัยพายัพ, หจก. วนิศาการพิมพ์, เชียงใหม่.
- วรรณดี สุทธินรากร. 2556. การวิจัยเชิงคุณภาพ การวิจัยในกระบวนการตัดสินใจ. สยามปริทัศน์, กรุงเทพฯ.
- ศุภวรรณ เชื้อเมืองพาน, ปารณีย์ เผ่าภูธร, สังคม แสนบุตรดี และ จักรพงษ์ พวงงามชื่น. 2556. การศึกษาเพื่อพัฒนาศักยภาพการท่องเที่ยวโดยชุมชน กรณีศึกษาร้านไร่ทองจิง ตำบลหนองควม อำเภอลำดอง จังหวัดเชียงใหม่. **วารสารแก่นเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น** 41(1): 678-684.
- สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดภูเก็ต. 2560. **โครงการพัฒนาศักยภาพเครือข่ายการท่องเที่ยวโดยชุมชน (CBT) เขตพัฒนาการท่องเที่ยวอันดามัน**. แหล่งที่มา: https://phuket.mots.go.th/ewt_dl_link.php?nid=395&fbclid=IwAR1kSqGIP2XsVnw96mhDQz019-f9QV9eWyv8I4bcrqaI51gy8EAEMLdvwko, 20 สิงหาคม 2561.
- องค์อาจ นัยพัฒน์. 2551. **วิธีวิทยาการวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์**. ห้างหุ้นส่วนจำกัด สามลดา, กรุงเทพฯ.
- Hamzah, A., Khalifah, Z., Ismail, H.N., Baharudin, N.H., Bhaskaran, L. and Nooruddin, R. 2009. **Handbook on Community Based Tourism “How to Develop and Sustain CBT”**. Asia-Pacific Economic Cooperation Secretariat, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Sriupayo, S. 2017. Community Based Tourism in Sustainable Dimension, Case study: Baan Muanggluang Community Kaper District Ranong Province, pp. 67-69. **In Academics World 74th International Conference**. Oslo, Norway.

การใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และใบมะรุมในอาหารไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งปล่อย

The Uses of Broken Riceberry and Moringa Leaf Meal in Semi-Free-Range Layer Diets

ณัฐมา เฉลิมแสน* จินดารัตน์ ไทรอินทรีย์ วรณรัตน์ จันตระกูล ศศิธรณ์ ทองคำ กฤษฎา อูลิต
และ ทัณรัตน์ จาริ

Nitima Chalermasan*, Jindarat Chaiinsee, Wannarat Jantrakul, Sasitron Tongkum, Krisada Urit
and Tanyarat Jaree

Received: 20 May 2018, Revised: 3 August 2018, Accepted: 6 September 2019

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และใบมะรุม ในอาหารไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งปล่อยต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ คุณภาพไข่ และจำนวนจุลินทรีย์ในมูลไก่ ใช้แผนการทดลองแบบ 2×2 Factorial in CRD โดย Factor A คือ รูปแบบของโรงเรือนที่เลี้ยงไก่แบบกึ่งปล่อย ได้แก่ โรงเรือนมีแสงแดดส่องถึง และโรงเรือนมีร่มเงา Factor B คือ อาหารทดลอง ได้แก่ อาหารไก่ไข่ที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักไม่ผสมใบมะรุม และผสมใบมะรุม 6 เปอร์เซ็นต์ แบ่งคอกทดลองโรงเรือนละ 4 คอก แต่ละคอกเลี้ยงไก่ไข่พันธุ์ อีซ่าบราวน์ (อายุ 40 สัปดาห์) 23 ตัว รวม 184 ตัว สุ่มไก่ให้ได้รับอาหารทดลอง 2 สูตรๆ ละ 4 คอก เก็บข้อมูลด้านสมรรถภาพการผลิตไข่ และคุณภาพไข่ 2 ช่วงๆ ละ 28 วัน ช่วงท้ายของการทดลองสุ่มเก็บมูลไก่มาเพาะเชื้อ และตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์รวม โคลิฟอร์ม ซัลโมเนลลา และจุลินทรีย์กรดแลกติก และสุ่มไข่ไก่แต่ละคอกส่งตรวจหาปริมาณคอเลสเตอรอล และเบต้า-แคโรทีน ผลการทดลองปรากฏว่า การใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักร่วมกับผสมใบมะรุมในอาหารไก่ไข่ 6 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เปอร์เซ็นต์การผลิตไข่ต่ำกว่า อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัม และต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัมต่ำกว่าอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักแต่ไม่ผสมใบมะรุม ($p < 0.05$) ส่วนปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักไข่ ความสูงไข่ขาว ค่า Haugh unit ความหนาเปลือกไข่ จำนวนจุลินทรีย์รวม โคลิฟอร์ม ซัลโมเนลลา และจำนวนจุลินทรีย์กรดแลกติกในมูลไก่ รวมทั้งปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามการใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักร่วมกับผสมใบมะรุมในอาหารทำให้ไข่มีค่าสีของไข่แดงและปริมาณเบต้า-แคโรทีนใน

สาขาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก เลขที่ 52 หมู่ 7 ตำบลบ้านกร่าง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

Department of Animal science and Fishery, Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok Campus, 52 Moo 7, Ban Krang, Mueang, Phitsanulok 65000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): nokgapood@gmail.com

ไข่แดงสูงขึ้น ส่วนโรงเรือนที่มีร่มเงาส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ดีกว่าที่มีแสงแดดส่องทั่วถึง ทั้งนี้โรงเรือนทั้ง 2 รูปแบบไม่มีอิทธิพลต่อคุณภาพไข่ และจำนวนจุลินทรีย์ในมูลไก่

คำสำคัญ: ไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งปล่อย, ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่, ใบมะรุม

ABSTRACT

The aim of this research was to study the effect of using Riceberry broken rice and moringa leaf meal in semi-free-range layer diets. 2×2 Factorial in completely randomized block design was used in this experiment. Factor A was Semi-free-range Housing Model (sunshine and shade). Factor B was experimental diets (Diet 1: control diet that used Riceberry broken rice as energy source without adding moringa leaf meal, Diet 2: control diet that used Riceberry broken rice as energy source mixed with 6 % of moringa leaf meal). One hundred eighty-four laying hens (Isa Brown breed, 40 weeks of age) were divided into 4 groups in each house (23 birds of each group). The laying hens in each house were randomly assigned to 4 combination treatments. There were 2 periods (28 days per period) to collect data of egg production and egg quality. In the last period, the feces of each group were randomly collected to determine the number of microorganism (total plate count, coliform, salmonella and lactic acid bacteria); in addition, egg of each group were randomly collected for cholesterol and β -carotene analysis. The results showed that egg production percentage, feed conversion ratio per 1 kilogram of egg weight, and feed cost per 1 kilogram of egg weight of the laying hens fed with Diet 2 were poorer than Diet 1. However, there were no statistical difference between 2 diet groups of daily feed intakes. In addition, there were no statistical difference among 2 groups of 2 factors on egg quality (egg weight, albumen height, Haugh unit, eggshell thickness and cholesterol) and the number of total plate count, coliform salmonella and lactic acid bacteria in feces ($p>0.05$). However, the color of the egg yolk and β -carotene in egg yolk of the group that fed with Diet 2 was higher than Diet 1 ($p < 0.01$ and $p < 0.05$, respectively). Besides, productive performance of layers reared in shade house were higher than sunshine house. However, there were no influence of housing model on the number of microorganisms in feces and egg quality.

Key words: semi-free-range layer, Riceberry broken rice, moringa leaf meal

บทนำ

ปัจจุบันมีแนวโน้มผู้บริโภคทั่วโลกให้ความสำคัญกับการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ที่มาจาก การเลี้ยง ด้วยการคำนึงถึงสวัสดิภาพสัตว์ (Animal welfare) โดยเฉพาะการเลี้ยงตามวิถีธรรมชาติเพราะ

ทัศนคติของผู้บริโภค คือนุรักษ์นำสัตว์มาเลี้ยงเป็นอาหารจำเป็นต้องปฏิบัติต่อสัตว์อย่างมีมนุษยธรรม มีความเมตตาต่อสัตว์โดยเฉพาะไข่ไก่ที่บริโภคกันแทบทุกคน ซึ่งในปัจจุบันมาจากการเลี้ยงไก่ไข่ในกรงลวด แคบๆ ที่ให้ไก่ยืนตลอดเวลาไม่สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ หรือไม่สามารถแสดงพฤติกรรมทาง

ธรรมชาติได้เช่น การคลุกฝุ่น การขี้เย็บ การไชรี้ปัก และการไจในรัง เป็นต้น ประกอบกับการเลี้ยงไก่ไข่เชิงอุตสาหกรรมจะมีการเร่งให้ไก่ผลิตไข่ ทำให้ไข่แคลเซียมจากกระดูกมากกว่าปกติรวมทั้งไก่ไม่ได้ออกกำลังกาย ทำให้ไก่ป่วยเกิดภาวะการขาดแคลเซียม อาทิ เท้าและเล็บผิดปกติ ขี้เข้า ขี้ขาผิดปกติ คำนึงชีวิตด้วยความทรमान มีผลต่อการให้ไข่ทั้งปริมาณและคุณภาพของไข่ ดังนั้น หลายประเทศที่พัฒนาแล้วจึงให้ความสำคัญด้านสวัสดิภาพของไก่โดยเลือกซื้อไข่ไก่ที่ได้จากการเลี้ยงไก่แบบปล่อย

การเลี้ยงไก่แบบปล่อยเป็นระบบการเลี้ยงไก่ที่ปล่อยให้ไก่ได้ออกมาภายนอกกรงหรือโรงเรือนได้อย่างอิสระ เพื่อให้ไก่สามารถแสดงพฤติกรรมได้ตามธรรมชาติมีผลทำให้ไก่มีสุขภาพแข็งแรง จึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้ยาป้องกันและรักษาโรค ส่งผลต่อการลดต้นทุนในการเลี้ยงให้กับเกษตรกรและเพิ่มรายได้ด้วยไข่ไก่ปลอดภัยซึ่งจะมีราคาที่สูงกว่าไข่ไก่ปกติและที่สำคัญคือดีต่อสุขภาพทั้งผู้เลี้ยงและผู้บริโภคด้วย นอกจากนี้การเลี้ยงไก่แบบปล่อยที่คำนึงถึงสวัสดิภาพสัตว์แล้ว ในการให้อาหารไก่ไข่ที่ชาวผู้เลี้ยงจากธรรมชาติที่มีในท้องถิ่นเป็นอีกทางหนึ่งของการเลี้ยงไก่ไข่เพื่อผลิตไข่แบบปลอดภัยและยังเป็นการลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์ได้อีกด้วย (จินตนา, 2553)

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เป็นข้าวที่ได้รับคัดเลือกและพัฒนาจากข้าวหอมนิลกับข้าวขาวหอมมะลิ 105 ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากสถาบันวิจัยข้าวมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลักษณะเมล็ดเป็นรูปปร่างเรียวยาว มีสีม่วงดำ (ชื่นจิต, 2558) กำลังได้รับความนิยมในบรรดาคนรักสุขภาพเหมาะกับคนทุกวัย โดยผู้สูงวัยควรรับประทานเพราะช่วยบำรุงร่างกาย เสริมสร้างประสิทธิภาพการไหลเวียนของโลหิตชะลอความแก่ บำรุงสายตาและระบบประสาท ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง ทางกรมแพทย์ยัง

นำไปทำผลิตภัณฑ์อาหารโภชนาบำบัดอีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติเด่นของข้าวไรซ์เบอร์รี่ คือมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี แทนนิน โอเมก้า 3 และโฟเลตสูง อีกทั้งยังมีดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลาง ดังนั้นข้าวไรซ์เบอร์รี่จึงจัดเป็นทางเลือกใหม่เพื่อสุขภาพที่ดีของทุกคนในระยะยาว (กองบรรณาธิการการเกษตร, 2557)

มะรุมน ถือเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และเป็นสมุนไพรที่สามารถรักษาโรคต่างๆ ได้มากมาย ใบมะรุมนมีโปรตีนสูงถึง 23.2-29.0 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง (ณัฐมา และคณะ, 2557) ซึ่งมะรุมนอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด มีวิตามินเอ ซี แคลเซียม ฟอสฟอรัสและธาตุเหล็กในปริมาณที่สูงมาก (นิคดา และคณะ, 2548) นอกจากนี้ใบมะรุมนยังมีสารแคโรทีนอยด์ คือเบต้า-แคโรทีน ซึ่งเป็นโปรวิตามินเอ และสารแซนโทโรฟิลล์ซึ่งเป็นสารให้สีเหลืองในระดับสูง (พนินันท์ และคณะ, 2559; Zanu *et al.*, 2012) ดังนั้นใบมะรุมนจึงเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีศักยภาพทั้งการเป็นแหล่งของโปรตีน วิตามิน และสารสี รวมทั้ง สารต้านอนุมูลอิสระ และด้านจุลินทรีย์ ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของโปรตีน และสารเคมีเสริมอาหาร ซึ่งมีราคาแพงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีปัญหาเรื่องการตกค้างในผลิตภัณฑ์สัตว์ ซึ่งมีงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้ใบมะรุมนในสูตรอาหารไก่ไข่ทำให้สีไข่แดงเพิ่มขึ้น (ภูงค์ และ ไพโชค, 2558; ณัฐมา และคณะ, 2558) เช่นเดียวกันกับในอาหารนกกระทาไข่ (ณัฐมา และคณะ, 2559; ณัฐมา และคณะ, 2560)

ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งเป็นข้าวสุขภาพที่มีการปลูกแบบไม่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชจำนวนมาก จึงทำให้มีผลพลอยได้จากการสีข้าวไรซ์เบอร์รี่ คือปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่มากขึ้นด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ มะรุมนซึ่งเป็นพืชที่มีการปลูกโดยทั่วไป และในส่วนของใบ มีโปรตีนสูง

และมีสารสีแซนโทฟิวส์ และเบต้า-แคโรทีนในระดับสูงด้วย วัตถุประสงค์จากธรรมชาติทั้ง 2 ชนิดนี้จึงน่าจะนำมาใช้ในการเลี้ยงไก่ไข่แบบปลอดภัยที่มีการเลี้ยงแบบปล่อย และกึ่งปล่อยได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะสอดคล้องกับการผลิตปศุสัตว์อินทรีย์ สำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ในอนาคต ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักร่วมกับใบมะรุมในอาหารไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งปล่อยที่มีรูปแบบโรงเรือนแตกต่างกันต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และจำนวนจุลินทรีย์ในมูลไก่ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตไข่ไก่ปลอดภัยต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุอุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง ไก่ไข่พันธุ์ช้าวขาวนัย อายุประมาณ 40 สัปดาห์ จำนวน 184 ตัว
2. วัตถุดิบอาหารทดลอง ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ได้จากการสีข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่มีการปลูกแบบไม่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช) ใบมะรุมตากแห้ง บด และวัตถุดิบอาหารสัตว์อื่นๆ เช่น ข้าวโพด รำละเอียด กากถั่วเหลือง ปลาป่น ไคแคลเซียม ฟอสเฟต เปลือกหอยป่น เกลือ และฟิรเม็กซ์ เป็นต้น

คอกที่ 5 $a_2b_1r_1$	คอกที่ 6 $a_2b_2r_1$	คอกที่ 7 $a_2b_1r_2$	คอกที่ 8 $a_2b_2r_2$
คอกที่ 4 $a_1b_2r_2$	คอกที่ 3 $a_1b_2r_1$	คอกที่ 2 $a_1b_1r_2$	คอกที่ 1 $a_1b_1r_1$

ภาพที่ 1 ผังการทดลอง

อาหารทดลองทุกสูตรได้คำนวณให้มีโภชนะ ได้แก่ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ แคลเซียม ฟอสฟอรัส กรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น ไลซีน และเมทไอโอนีน ตรงตามความต้องการของไก่ไข่ที่แนะนำ

3. โรงเรือนทดลอง เป็นโรงเรือนเปิดแบบกึ่งปล่อย โดยมีหลังคา และมีพื้นที่ปล่อยโล่งแต่กันตาข่ายเพื่อให้ไก่ได้มีโอกาสเดินคุ้ยเขี่ยดินได้ ทั้งนี้แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือแบบที่มีแสงแดดส่องถึง กับแบบที่มีร่มเงา

2. แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ 2×2 Factorial in CRD ดังนี้

Factor A คือ รูปแบบของโรงเรือน ประกอบด้วย 2 รูปแบบ

a1 โรงเรือนมีแสงแดดส่องถึง

a2 โรงเรือนมีร่มเงา (แสงแดดส่องถึงได้น้อย)

Factor B คือ อาหารทดลอง ประกอบด้วย 2 สูตร

b1 อาหารไก่ไข่ที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักไม่ผสมใบมะรุม

b2 อาหารไก่ไข่ที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักผสมใบมะรุมแห้งบด 6 เปอร์เซ็นต์

แบ่งคอกทดลองเป็น 8 คอกๆ ละ 23 ตัว รวม 184 ตัว สุ่มไก่ให้ได้รับอาหารทดลอง 2 สูตรๆ ละ 4 คอก โดยมีผังการทดลอง ดังภาพที่ 1

โดย NRC (1994) ทั้งนี้สูตรอาหารไก่ไข่ทดลองแต่ละสูตรแสดงในตารางที่ 1 ไก่ไข่ทุกคอกจะได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ (ad libitum) โดยให้วันละ 2 มื้อ (เช้า และ บ่าย)

ตารางที่ 1 สูตรอาหารไก่ไข่ทดลอง

วัตถุดิบอาหาร (กก.)	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่	58.53	54.30
รำละเอียด	10.00	10.00
กากถั่วเหลือง	16.92	14.59
ปลาป่น	4.00	4.00
ไบมะรุม	0.00	6.00
ไคแคลเซียมฟอสเฟต	0.10	0.10
เปลือกหอยป่น	8.68	8.36
เมทไธโอนีน	0.15	0.15
น้ำมัน	0.87	1.75
เกลือ	0.50	0.50
พรีมิกซ์	0.25	0.25
รวม (กก.)	100.00	100.00
<u>โภชนาที่ได้จากการคำนวณ</u>		
โปรตีน (%)	16.00	16.00
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Kcal/kg)	2,900	2,900
แคลเซียม (%)	3.75	3.75
ฟอสฟอรัส (%)	0.36	0.36
เยื่อใย (%)	3.62	3.91
ไลซีน (%)	1.03	1.19
เมทไธโอนีน (%)	0.64	0.61
ทริปโตเฟน (%)	0.31	0.31
ทรีโอนีน (%)	0.59	0.56
ราคา/กก.	13.18	13.05

หมายเหตุ: ราคาไบมะรุมแห้งกิโลกรัมละ 5 บาท ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ กิโลกรัมละ 11.00 บาท

3. การบันทึกข้อมูล

เลี้ยงไก่ไข่ทดลองเป็นเวลา 2 ช่วงๆ ละ 28 วัน การบันทึกผลการทดลองจะทำการเป็นช่วงๆ โดยแบ่งเป็น 4 ช่วง (period) ช่วงละ 28 วัน คือช่วงที่ไก่ไข่อายุ 40-43 และ 44-47 สัปดาห์ ในแต่ละช่วงมีการเก็บข้อมูลปริมาณอาหารที่กินผลผลิตไข่แต่ละวัน และ

อัตราการตายของไก่ไข่ ทุก 3 วันสุดท้ายของแต่ละช่วง สุ่มไข่ไก่ของแต่ละเช้าๆ ละ 4 ฟอง นำมาตรวจวัดคุณภาพไข่ไก่ ได้แก่ น้ำหนักไข่ ความสูงไข่ขาว ค่า Haugh unit ด้วยเครื่องตรวจสอบคุณภาพไข่อัตโนมัติของบริษัท technical services and supplied (TSS) ประเทศอังกฤษ วัดความหนาของเปลือกไข่ด้วย

เครื่องวัดความหนาเปลือกไข่แบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ Mitutoyo ประเทศญี่ปุ่น และวัดสีของไข่แดงโดยใช้พัลส์ของบริษัท Roche ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ในช่วงสุดท้ายของการทดลองสุ่มไข่ไก่ไข่ละ 5 ฟอง ส่งตรวจปริมาณโคเลสเตอรอล และ สารเบต้าแคโรทีนในไข่แดง ที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลางประเทศไทย จำกัด สาขาเชียงใหม่

นอกจากนี้ในช่วงท้ายของการทดลองสุ่มเก็บมูลไก่ไข่ในแต่ละกลุ่มมาศึกษาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์รวม (Total plate count) จุลินทรีย์ที่ก่อโรค ได้แก่ จุลินทรีย์กลุ่มโคลิฟอร์ม (coliform) หรือ อี โคไล (*E. Coli*) และ ซัลโมเนลลา (*salmonella*) และ จุลินทรีย์ ที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ จุลินทรีย์ในกลุ่ม lactic acid bacteria ตามคำแนะนำของ Downes and Ito (2001) โดยในการเก็บมูลจะเก็บจากกันไก่หลังจากให้อาหารทดลองในช่วงเช้า

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

คำนวณสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การผลิตไข่ (hen day production และ hen house production) ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัม อัตราการรอดชีวิต และ ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม แล้วนำข้อมูลด้านสมรรถภาพการผลิต และ คุณภาพไข่มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) สำหรับจำนวนจุลินทรีย์ ทำการแปลงข้อมูลเป็นค่า log แล้ววิเคราะห์ความแปรปรวน จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาการใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ และใบมะรุมในอาหารไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งปล่อย โดยเปรียบเทียบอาหารไก่ไข่สูตรที่ 1 อาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักไม่ผสม

ใบมะรุม กับ สูตรที่ 2 คืออาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักผสมใบมะรุมในระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ และเลี้ยงในโรงเรือนทดลองที่ได้รับแสงแดด กับ โรงเรือนในร่ม ผลการทดลองปรากฏดังนี้

1. สมรรถภาพการผลิต

สมรรถภาพการผลิตเฉลี่ยตลอดการทดลองของไก่ไข่ที่ได้รับอิทธิพลของปัจจัยด้านอาหารทดลอง (Factor B) พบว่าไก่ที่กินอาหารทดลองที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักไม่ผสมใบมะรุม กับ อาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักผสมใบมะรุมในระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ และเลี้ยงในโรงเรือนทดลองที่ได้รับแสงแดด กับ โรงเรือนในร่ม แสดงในตารางที่ 2 พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การผลิตไข่สูงกว่า อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัมดีกว่า และต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม ต่ำกว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักผสมใบมะรุมในระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) สำหรับปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารทั้ง 2 สูตรมีปริมาณการกินอาหารไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีการผสมใบมะรุม 6 เปอร์เซ็นต์ มีการกินอาหารน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่ไม่มีการผสมใบมะรุม ต่างจากรายงานของฉนิธิมา และคณะ (2558) ที่ทดลองใช้ใบมะรุมผสมอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 2, 4, 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ทุกกลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นปริมาณอาหารที่กิน ไก่ที่กินอาหารผสมใบมะรุมมีการกินอาหารน้อยกว่าไก่ที่กินอาหารที่ไม่มีการผสมใบมะรุม อย่างไรก็ตามจากการรายงานของ Kakengi *et al.* (2007) ที่ได้ศึกษาการใช้ใบมะรุมแห้งปนทดแทนกากเมล็ดทานตะวันในระดับ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์

ในสูตรอาหาร พบว่าการเสริมไบโอมะรุมในระดับที่สูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์การให้ไข่ลดลง แต่ทำให้ปริมาณอาหารที่กินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะไก่ที่ได้รับอาหารผสมไบโอมะรุม 20 เปอร์เซ็นต์มีอัตราเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ค้อยที่สุด นอกจากนี้ รายงานของฉันทิมา และคณะ (2560) ได้กล่าวว่านกกระทาที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักผสมไบโอมะรุม 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์มีการกินอาหารน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักแต่ไม่ผสมไบโอมะรุม ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การผลิตไข่ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัม และต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัมมีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมไบโอมะรุม

จากผลการทดลองด้านสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งปล่อยและกินอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักร่วมกับการผสมไม่ผสม และผสมไบโอมะรุมครั้งนี้ สอดคล้องกับรายงานของฉันทิมา และคณะ (2560) ที่พบว่านกกระทาที่ได้รับอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักโดยไม่มีการผสมไบโอมะรุมมีแนวโน้มให้ผลผลิตไข่สูงกว่ากลุ่มที่มีการผสมไบโอมะรุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ซึ่งเป็นปลายข้าวกล้อง ที่เป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญหลายชนิด ที่ส่งเสริมสุขภาพของสัตว์ให้ดีขึ้น ทำให้กินอาหารได้มากขึ้น และให้ผลดีต่อผลผลิตไข่ ส่วนในเรื่องการผสมไบโอมะรุมทำให้สมรรถภาพการผลิตโดยรวมต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่มีการผสมไบโอมะรุมอาจเนื่องมาจาก ไบโอมะรุมมีเยื่อใยค่อนข้างสูง และมีรสชาติ รวมทั้งกลิ่นไม่ชวนกินทำให้ไก่กินอาหารน้อยลง ส่งผลต่อการให้ผลผลิตไข่ลดลง

สำหรับอิทธิพลของรูปแบบ โรงเรือน (Factor A) ต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ ปรากฏว่าไก่ที่

เลี้ยงในโรงเรือนที่มีร่มไม้ มีเปอร์เซ็นต์การผลิตไข่ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัม และต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัมมีค่าต่ำกว่าในโรงเรือนที่มีแสงแดดส่องทั่วถึง ($p < 0.01$) ซึ่งโรงเรือนที่มีแสงแดดส่องถึงเป็นด้านที่ติดถนน และมีเสียงรบกวนจึงส่งผลต่อการให้ผลผลิตของไก่ อย่างไรก็ตามการกินอาหารของไก่ทั้งสองกลุ่มมีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ในกรณีของอิทธิพลร่วมระหว่าง รูปแบบโรงเรือน กับ อาหารทดลอง (interaction of Factor A and B) จากตารางที่ 2 พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างลักษณะโรงเรือน กับ อาหารทดลอง ต่อสมรรถภาพการผลิตไข่โดยส่วนใหญ่ (ยกเว้นปริมาณอาหารที่กิน) ซึ่งปรากฏว่า ไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนในร่ม และได้รับอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยไม่มีการผสมไบโอมะรุม มีเปอร์เซ็นต์การผลิตไข่สูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับไก่ที่เลี้ยงในร่ม และได้รับอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมไบโอมะรุม และไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนที่มีแสงแดด และได้รับอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยไม่มีการผสมไบโอมะรุม ($p > 0.05$) ส่วนไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนที่มีแสงแดด และได้รับอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และมีการผสมไบโอมะรุม มีเปอร์เซ็นต์การผลิตไข่ต่ำที่สุด ส่วนอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กก. พบว่าไก่ที่เลี้ยงในร่มและได้รับอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมไบโอมะรุมมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กก. ดีที่สุดแต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับไก่ที่เลี้ยงในร่มและได้รับอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่ผสมไบโอมะรุม และไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนที่มีแสงแดด และได้รับอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่ผสมไบโอมะรุม ($p > 0.05$) ส่วนไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนที่มีแสงแดด และได้รับอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และมีการผสมไบโอมะรุม มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กก. ค้อยที่สุด เช่นเดียวกัน

กับต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม พบว่าไก่ที่เลี้ยงในร่มและได้รับอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมไบโแมรุมมีต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัมต่ำที่สุดแต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับไก่ที่เลี้ยงในร่มและได้รับอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่ผสมไบโแมรุม ($p>0.05$) ส่วนไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนที่มีแสงแดด และได้รับอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และมีการผสมไบโแมรุม

มีต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัมสูงที่สุด ทั้งนี้ไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนที่มีแสงแดด และใช้อาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และไบโแมรุมมีปัญหาเกิดสภาวะโรคผิวหนังต้องฉีดยาไก่ทุกตัวในคอก ทำให้ไม่มีการให้ผลผลิตลดลงมากในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ไม่ปรากฏไก่ตายในแต่ละคอกทดลองทำให้อัตราการรอดชีวิตของไก่ไข่ทั้ง 2 กลุ่มเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2 สมรรถภาพการผลิตเฉลี่ยตลอดการทดลองของไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งปล่อยและได้รับอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผสม และผสมไบโแมรุม

โรงเรือน	อาหาร (ปัจจัย B)		เฉลี่ย	P-Value		
(ปัจจัย A)	RB	RB+MG		A	B	AxB
เปอร์เซ็นต์การผลิตไข่ (Hen day and Hen house)				0.008	0.015	0.028
ได้รับแสงแดด	70.03±2.40 ^m	52.56±2.30 ⁿ	61.30±10.27 ^x			
ในร่ม	73.43±3.68 ^m	71.87±4.42 ^m	72.65±3.44 ^w			
เฉลี่ย	71.73±3.21 ^a	62.22±11.52 ^b				
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว/วัน)				0.522	0.123	0.941
ได้รับแสงแดด	113.00±7.07	107.00± 4.24	110.00 ±5.89			
ในร่ม	111.00±1.41	104.50± 3.53	107.75±4.35			
เฉลี่ย	112.00±4.32	105.75±3.50				
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กก.				0.002	0.027	0.009
ได้รับแสงแดด	2.85 ±0.09 ^s	3.62±0.20 ^r	3.24±0.46 ^w			
ในร่ม	2.62±0.14 ^s	2.50 ±0.06 ^s	2.56±0.11 ^x			
เฉลี่ย	2.74±0.17 ^b	3.06±0.66 ^a				
ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัมกรัม (บาท)				0.002	0.034	0.009
ได้รับแสงแดด	37.51±1.21 ^s	47.24±2.58 ^r	42.38±1.90 ^w			
ในร่ม	34.43±1.86 st	32.56±0.83 ^t	33.50±1.35 ^x			
เฉลี่ย	35.97±1.54 ^b	39.90±1.71 ^a				

หมายเหตุ ^{wx} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยแตกต่างกันในปัจจัย A แสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.01$)

^{ab} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยแตกต่างกันในปัจจัย B แสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$)

^{rst} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยแตกต่างกันในปัจจัย AxB แสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.01$)

^{mn} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยแตกต่างกันในปัจจัย AxB แสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$)

RB = อาหารทดลองที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลัก

RB+MG = อาหารทดลองที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักและเสริมด้วยไบโแมรุมแห้งบด

2. คุณภาพไข่

อิทธิพลของปัจจัยด้านอาหารทดลองต่อคุณภาพไข่ พบว่าคุณภาพไข่ ได้แก่ น้ำหนักไข่เฉลี่ย ความสูงไข่ขาว ค่าสอฟูนิต และความหนาเปลือกไข่ของไก่ที่กินอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3 อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 3 กรณีของสีไข่แดง พบว่าไก่ที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักและผสมไบโमेรุม 6 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนสีไข่แดงสูงกว่าไข่แดงของไก่ที่อาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลัก แต่ไม่ผสมไบโमेรุม ($p<0.01$) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ (Abou-Elezz *et al.*, 2011) ได้ศึกษาผลการใช้ไบโमेรุมผสมในอาหารไก่ไข่ ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ไก่ ช่วงอายุ 36 สัปดาห์ ทดลองโดยอาหาร 4 สูตร ในระดับ 0 (ควบคุม) 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่า น้ำหนักไข่ไม่มีความแตกต่าง แต่สีของไข่แดงมีสีที่เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามการเพิ่มในแต่ละระดับ เช่นเดียวกันกับรายงานของ กุซงค์ (2557); นิธิมา และคณะ (2558); กุซงค์ และ ไพโชค (2558) ที่กล่าวว่าคะแนนสีของไข่แดงเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมไบโमेรุมที่สูงขึ้น ทั้งนี้ รัฐศักดิ์ (2552) ได้รายงานว่าไบโमेรุมอุดมไปด้วยสารเบต้า-แคโรทีนซึ่งเป็นสารสีตามธรรมชาติ จึงส่งผลต่อสีของไข่แดงเพิ่มมากขึ้น

การทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร่วมกับไบโमेรุมในอาหารไก่ไข่ ทำให้คุณภาพไข่ไก่โดยรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นไก่ที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักและไม่ผสมไบโमेรุมมีคะแนนสีของไข่แดงต่ำ แต่เมื่อมีการผสมไบโमेรุมทำให้ไข่แดงมีคะแนนสีเพิ่มขึ้น ทั้งนี้แม้ว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ชินจิต, 2558) เป็นข้าวกล้องที่มีสีม่วงแดง จากสารแอนโทไซยานินมีธาตุเหล็กและสารต้านอนุมูลอิสระสูง

ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน แกมมาโอโรซานอล วิตามินอี เทนินิน สังกะสี โอเมก้า 3 และโฟเลต มีใยอาหารที่อยู่ในรำข้าวสูง สารแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วงแดงมีคุณสมบัติในการละลายน้ำ และในตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้งเช่น แอลกอฮอล์ได้ดี (Karladee *et al.*, 2003) ดังนั้นจึงไม่สามารถสะสมอยู่ในไข่แดงซึ่งมีส่วนประกอบของไขมันอยู่สูงได้จึงทำให้ไก่ที่กินอาหารผสมปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่มีคะแนนสีไข่แดงในระดับต่ำ หรือไข่แดงมีสีซีด

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาปริมาณคอเลสเตอรอล และสารเบต้า-แคโรทีน ในไข่แดงของไก่ไข่ทดลองที่กินอาหารทั้ง 2 สูตร จากตารางที่ 4 แม้ว่าปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของไก่ที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตรไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าไข่ของไก่ที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักและผสมไบโเมรุม 6 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลง และพบว่าไก่ที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักและผสมไบโเมรุม 6 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีน สูงกว่าในไข่แดงของไก่ที่อาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักแต่ไม่ผสมไบโเมรุม ($p<0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ กุซงค์ (2557) กล่าวว่า ไบโमेรุมสามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงและในเลือดได้ ในทำนองเดียวกันกับรายงานของ พินสนันท์ และคณะ (2559) ได้กล่าวว่า ไบโमेรุมมีสารแคโรทีนอยด์ คือ เบต้า-แคโรทีน ซึ่งเป็นโปรวิตามินเอ และสารแซนโทโรฟิฟส์ซึ่งเป็นสารให้สีเหลืองในระดับสูง จึงส่งผลให้มีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีน ในไข่แดงที่เพิ่มขึ้น

ในกรณีอิทธิพลของรูปแบบโรงเรือนเลี้ยงไก่ พบว่าไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนที่มีแสงแดดส่องถึง และโรงเรือนในร่มให้ไข่ที่มีคุณภาพไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในทำนองเดียวกันไม่มีอิทธิพล

ร่วมระหว่างลักษณะโรงเรือนเลี้ยงไก่ กับอาหาร

ทดลองต่อคุณภาพไข่โดยรวม

ตารางที่ 3 คุณภาพไข่เฉลี่ยตลอดการทดลองของไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งปล่อยและได้รับอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผสมและผสมไบมะรุม

โรงเรือน (ปัจจัย A)	อาหาร (ปัจจัย B)		เฉลี่ย	P-Value		
	RB	RB+MG		A	B	AxB
น้ำหนักไข่ (ก)				0.432	0.164	0.809
ได้รับแสงแดด	58.21± 1.07	57.05± 0.20	58.15±0.92			
ในร่ม	58.58± 0.24	57.72± 1.25	57.63±0.89			
เฉลี่ย	58.40 ± 0.67	57.39±0.83				
ความสูงไข่ขาว (มม.)				0.778	0.530	0.778
ได้รับแสงแดด	6.23± 0.67	6.49± 0.74	6.36±0.60			
ในร่ม	5.83± 0.30	6.49± 1.59	6.16±1.01			
เฉลี่ย	6.03 ± 0.48	6.49± 1.01				
คะแนนสีไข่แดง				0.605	<0.0001	0.979
ได้รับแสงแดด	1.83 ± 0.02	6.05 ± 0.08	3.94 ± 0.46			
ในร่ม	1.99 ± 0.72	6.19 ± 0.16	4.09 ± 0.51			
เฉลี่ย	1.91 ± 0.43 ^z	6.12 ± 0.54 ^y				
ค่า Haugh unit						
ได้รับแสงแดด	77.69± 5.61	79.63± 4.45	78.66±4.28	0.635	0.558	0.789
ในร่ม	73.30± 5.43	78.38± 12.69	75.84±8.49			
เฉลี่ย	75.50 ± 5.17	79.01± 7.80				
ความหนาของเปลือกไข่ (มม.)				0.901	0.544	0.711
ได้รับแสงแดด	0.57±0.03	0.57±0.03	0.57±0.03			
ในร่ม	0.56±0.03	0.58±0.00	0.57±0.02			
เฉลี่ย	0.56±0.02	0.58±0.02				

หมายเหตุ ^{yz} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยแตกต่างกันในปัจจัย B แสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.01$)

RB = อาหารทดลองที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลัก

RB+MG = อาหารทดลองที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักและเสริมด้วยไบมะรุมแห้งบด

ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของไก่ไข่ที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักผสมไบมะรุมในระดับ 0 (ควบคุม) และ

6 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันทางค่าสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนคอเลสเตอรอลในไข่แดงของไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนทั้ง 2 รูปแบบ ซึ่งได้แก่โรงเรือนที่มีแสงแดด

ส่องถึง กับ โรงเรือนที่มีร่มเงาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างรูปแบบของโรงเรือนกับอาหารทดลอง ต่อคอเลสเตอรอลในไข่แดง แต่มีแนวโน้มว่าไข่ของไก่ไข่ที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักและผสมใบมะรุม 6 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลง (ตารางที่ 4)

สำหรับอิทธิพลของปัจจัยด้านอาหารทดลอง ต่อปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนในไข่แดง พบว่าไข่แดงของไก่ไข่ที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักผสมใบมะรุมในระดับ 6 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนสูงกว่าในไข่แดงของไก่ไข่ที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักแต่ไม่ผสม

ใบมะรุม ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4 สอดคล้องกับรายงานของ ภูซังค์ (2557) ที่กล่าวว่า ใบมะรุมสามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงและในเลือดได้ในทำนองเดียวกันกับรายงานของ พนิสนันท์ และคณะ (2559) ได้กล่าวว่า ใบมะรุมมีสารแคโรทีนอยด์ คือเบต้า-แคโรทีน ซึ่งเป็นโปรวิตามินเอ และสารแซนโทฟิลล์ซึ่งเป็นสารให้สีเหลืองในระดับสูง จึงส่งผลให้มีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีน ในไข่แดงที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนในไข่แดงของไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนทั้ง 2 รูปแบบ ซึ่งได้แก่โรงเรือนที่มีแสงแดดส่องถึง กับโรงเรือนที่มีร่มเงาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างรูปแบบของโรงเรือนกับอาหารทดลองต่อสารเบต้า-แคโรทีนในไข่แดง

ตารางที่ 4 ปริมาณคอเลสเตอรอล และเบต้า-แคโรทีน ในไข่ของไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งปล่อยและได้รับอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผสมและผสมใบมะรุม

โรงเรือน	อาหาร (ปัจจัย B)		เฉลี่ย	P-Value		
(ปัจจัย A)	RB	RB+MG		A	B	AxB
คอเลสเตอรอล (mg/100 g)				0.291	0.178	0.213
ได้รับแสงแดด	646.92± 20.07	643.79± 20.14	645.36 ± 20.10			
ในร่ม	652.31± 46.92	588.59± 18.55	620.45±32.74			
เฉลี่ย	649.62±33.49	616.19±19.35				
เบต้า-แคโรทีน (µg/100 g)				0.660	0.042	0.409
ได้รับแสงแดด	22.10± 11.13	32.17± 2.86	27.14 ± 6.99			
ในร่ม	15.17± 5.35	34.39± 6.04	24.78± 5.70			
เฉลี่ย	18.64±8.24 ^a	33.28±4.45 ^b				

หมายเหตุ ^{ab} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยแตกต่างกันในปัจจัย B แสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$)

RB = อาหารทดลองที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลัก

RB+MG = อาหารทดลองที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักและเสริมด้วยใบมะรุมแห้งบด

3. จำนวนจุลินทรีย์ในมูล

ผลการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ในมูลของไก่ไข่ทุกกลุ่มแสดงในตารางที่ 5 พบว่าไก่ที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร มีจำนวนจุลินทรีย์รวม จุลินทรีย์โคลิฟอร์ม จุลินทรีย์ซัลโมเนลลา และจุลินทรีย์กรดแลคติกในมูลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักผสมไบโमะรุมแห้งบด 6 เปอร์เซ็นต์มีจำนวนจุลินทรีย์โคลิฟอร์มในมูลน้อยกว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักแต่ไม่ผสมไบโमะรุมแห้งบด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะไบโमะรุมมีสารสำคัญหลายชนิด ได้แก่ สารเบนซิลไทโอไซยานเนตโคไซด์ และเบนซิลกลูโคซิโนเลตที่มีฤทธิ์ต้านจุลชีพได้ (สุรชาติพิศ, 2550) และมีรายงานว่าอาหารที่ผสมไบโमะรุมทำให้ภูมิคุ้มกันของสัตว์เพิ่มขึ้น และลดจำนวน *E. coli* รวมทั้งเพิ่มจำนวน *Lactobacillus* ในลำไส้เล็กตอนปลายได้อีกด้วย (Yang *et al.*, 2006) นอกจากนี้ Rahman *et al.* (2010) รายงานว่าสารสกัดจากไบโमะรุมมีศักยภาพในการควบคุมเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์มได้ในระดับสูงใกล้เคียงกับยาปฏิชีวนะเตตราไซคลิน จากการศึกษาของวรยุทธ และคณะ (2555) พบว่า

สารสกัดจากเมล็ดมะรุมด้วยเอทานอล สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในกลุ่ม *Staphylococcus aureus* ได้ แต่ไม่มีผลต่อเชื้อ *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* และเชื้ออื่นๆ ซึ่งการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของณิฐมา และคณะ (2560) ที่รายงานว่า การใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักทั้งที่ไม่เสริม และเสริมด้วยไบโमะรุมในสูตรอาหารนกกระทาไข่ไม่ส่งผลต่อจำนวนจุลินทรีย์รวม จุลินทรีย์โคลิฟอร์ม จุลินทรีย์ซัลโมเนลลา และจุลินทรีย์กรดแลคติกในมูลนกกระทา

ในกรณีของลักษณะของโรงเรือนเลี้ยงไก่พบว่าไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนที่มีแสงแดดส่องถึง และโรงเรือนในร่มมีจำนวนจุลินทรีย์รวม จุลินทรีย์โคลิฟอร์ม จุลินทรีย์ซัลโมเนลลา และจุลินทรีย์กรดแลคติกในมูลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าไก่ที่เลี้ยงในร่มมีจำนวนจุลินทรีย์โคลิฟอร์มในมูลน้อยกว่าไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนที่มีแสงแดดส่องถึง ในทำนองเดียวกันไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างลักษณะโรงเรือนเลี้ยงไก่ กับอาหารทดลองต่อจำนวนจุลินทรีย์รวม จุลินทรีย์โคลิฟอร์ม จุลินทรีย์ซัลโมเนลลา และจุลินทรีย์กรดแลคติกในมูลของไก่

ตารางที่ 5 จำนวนจุลินทรีย์ในมูลไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งปล่อยและได้รับอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผสม และผสมไบโमะรุม (log of cfu/g)

โรงเรือน (ปัจจัย A)	อาหาร (ปัจจัย B)		เฉลี่ย	P-Value		
	RB	RB+MG		A	B	AxB
total plate count				0.713	0.713	0.599
ได้รับแสงแดด	16.67± 0.75	16.25± 0.05	16.46±0.49			
ในร่ม	16.25± 0.95	16.33± 0.07	16.29±0.56			
เฉลี่ย	16.46± 0.74	16.29±0.07				
coliform				0.081	0.148	0.564
ได้รับแสงแดด	10.74± 0.40	9.60 ± 1.06	10.17±0.93			

ตารางที่ 5 (ต่อ)

โรงเรือน (ปัจจัย A)	อาหาร (ปัจจัย B)		เฉลี่ย	P-Value		
	RB	RB+MG		A	B	AxB
ในร่ม	9.35± 0.68	8.81± 0.00	9.08±0.50			
เฉลี่ย	10.05 ±0.92	9.21±0.77				
salmonella				0.646	0.811	0.178
ได้รับแสงแดด	4.97± 0.46	5.64± 0.20	5.31±0.48			
ในร่ม	5.37± 0.37	4.89± 0.78	5.13±0.57			
เฉลี่ย	5.17±0.41	5.26±0.64				
lactic acid bacteria				0.940	0.833	0.980
ได้รับแสงแดด	13.86± 0.76	13.80± 0.01	13.83±0.44			
ในร่ม	13.89± 0.20	13.82± 0.01	13.85±0.12			
เฉลี่ย	13.87±0.46	13.81±0.01				

หมายเหตุ RB = อาหารทดลองที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลัก

RB+MG = อาหารทดลองที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักและเสริมด้วยโคมะรุหมแห้งบด

สรุป

จากการศึกษาการใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และโคมะรุหมในอาหารไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งปล่อยสรุปได้ว่า แม้ว่าการใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักร่วมกับผสมโคมะรุหมในอาหารไก่ไข่ 6 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สมรรถภาพการผลิตไข่โดยรวมต่ำกว่าอาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักแต่ไม่ผสมโคมะรุหม และคุณภาพไข่ในด้านน้ำหนักไข่ ความสูงไข่ขาว ค่า Haugh unit และความหนาเปลือกไข่ รวมทั้งจำนวนจุลินทรีย์ในมูลไก่ ได้แก่จุลินทรีย์รวม จุลินทรีย์ที่ก่อโรค (โคลิฟอร์มและซัลโมเนลลา) และจำนวนจุลินทรีย์กรดแลคติกไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่การให้โคมะรุหมในอาหารทำให้ไข่มีค่าสีของไข่แดง และปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนสูงขึ้น และมีแนวโน้มทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง และจำนวนจุลินทรีย์โคลิฟอร์มลดลง

ส่วนลักษณะการเลี้ยงไก่ไข่แบบกึ่งปล่อยที่เลี้ยงในโรงเรือนที่มีร่มเงาจะส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตไข่โดยรวมได้ดีกว่าการเลี้ยงในสภาพที่มี

แสงแดดส่องได้ทั่วถึง ทั้งนี้การเลี้ยงไก่ในโรงเรือนที่มีร่มเงาทั้งที่ใช้อาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักไม่ผสม และผสมโคมะรุหมทำให้สมรรถภาพการผลิตไข่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยการใช้อาหารที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักผสมโคมะรุหมทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัมต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามลักษณะของโรงเรือนทั้ง 2 แบบไม่มีอิทธิพลต่อคุณภาพไข่และจำนวนจุลินทรีย์ในมูลไก่

ดังนั้นการใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานหลักผสมโคมะรุหมที่ระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งปล่อยโดยใช้รูปแบบของโรงเรือนที่มีร่มเงาจะส่งผลดีต่อการเลี้ยงไก่ไข่แบบกึ่งปล่อย ซึ่งจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการผลิตไข่ไก่ปลอดภัยได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจาก “งบประมาณแผ่นดิน ภายใต้โครงการพัฒนาความเป็นเลิศสู่สวนนวัตกรรม ประจำปี 2559” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ปี 2559 คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- กองบรรณาธิการการเกษตร. 2557. **ไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมสายพันธุ์ใหม่ พลิกชีวิตชาวนาไทย.** สำนักพิมพ์ปัญญาชน, กรุงเทพฯ.
- จินตนา อินทรมงคล. 2553. **การเลี้ยงไก่ไข่อินทรีแบบปล่อย.** เอกสารเผยแพร่, ศูนย์ปศุสัตว์อินทรี กรมปศุสัตว์.
- ชื่นจิต สีพญา. 2558. **ไรซ์เบอร์รี่ ข้าวดีมีประโยชน์.** แหล่งที่มา : <http://www.sininrice.com/insight.html>, 26 กรกฎาคม 2560.
- ณัฐมา เกลิมแสน, บุญชู นาวานุเคราะห์, ธัญรัตน์ จารี, สมเพชร สุริยวงษ์, สุชาดา พูลเกตุ และ สุธามาศ ผลมา. 2557. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของใบมะรุมนเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับไก่กระตัง. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร** (ฉบับพิเศษ): 42-47.
- ณัฐมา เกลิมแสน, บุญชู นาวานุเคราะห์, อรรถพล ดันไสว และ ธัญรัตน์ จารี. 2558. การใช้ใบมะรุมนในอาหารไก่ไข่, น. 275-282. ใน **รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6 (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาขาเกษตรศาสตร์ และอุตสาหกรรมอาหาร).** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา, พระนครศรีอยุธยา.

ณัฐมา เกลิมแสน, บุญชู นาวานุเคราะห์, จุฑารักษ์ กิตยานุภาพ, สมยศ หมั่นวัง และ สุชาติ มันทาธรรม. 2559. การใช้ใบมะรุมนในอาหารนกกระทาไข่. **วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย** 8(2): 137-146.

ณัฐมา เกลิมแสน, สมศรี ขจิตเพชรจรัส, กรณิศ ขจิตเพชรจรัส และ ธัญรัตน์ จารี. 2560. การใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร่วมกับใบมะรุมนในอาหารนกกระทาไข่. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 4(2) ฉบับพิเศษ: 128-129.

นิตดา หงษ์วิวัฒน์, ทวีทอง หงษ์วิวัฒน์ และ สุภาพรรณ เข้มชัยภูมิ. 2548. **ผัก 333 ชนิด คุณค่าอาหารและการกิน.** บริษัทสำนักพิมพ์แสงแดด จำกัด, กรุงเทพฯ.

พนินันท์ เล็กมาก, กนกพร อยู่สถาน, วิริยวิญญ์ ทรัพย์ประเสริฐ และ สารวย มะลิลอด. 2559. การเสริมใบมะรุมนผงเพื่อลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มคุณภาพไข่ของไก่อายุ 40-52 สัปดาห์, น. 405-410. ใน **รายงานการประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 14.** มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ภูงค์ วีรดิษฐกิจ. 2557. อิทธิพลของการเสริมใบมะรุมนในอาหารต่อการผลิตไข่ คุณภาพไข่คลอเลสเตอรอลในไข่แดงและในเปลือก และผลทางโลหิตวิทยาในไก่ไข่. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.**

ภูงค์ วีรดิษฐกิจ และ ไพโชค ปัญจะ. 2558. อิทธิพลของการเสริมใบมะรุมนผงในอาหารไก่ไข่ ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 23(2): 293-305.

- รัฐศักดิ์ พลสิงห์. 2552. มะรุม พืชมหรรศจรรย์สมุนไพรครอบจักรวาล. **วารสารกสิกรรม** 82(2): 61-68.
- วรายุทธ ยอดบุญ, ประเวทย์ ดุ้ยเต็มวงศ์ และ มรณิ ดุ้ยเต็มวงศ์. 2555. รายงานการวิจัย ผลของสารสกัดจากพืชสมุนไพร ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุชาติพิทย์ ภมรประวัติ. 2550. มะรุม ลดไขมัน ป้องกันมะเร็ง. แหล่งข้อมูล: <http://www.doctor.or.th/node/1245>, 2 กรกฎาคม 2553.
- Abou-Elezz, F.M.K., Sarmiento-Franco, L., Santos-Ricalde, R. and Solorio-Sanchez, F. 2011. Nutritional effects of dietary inclusion of *Leucaena leucocephala* and *Moringa oleifera* leaf meal on Rhode Island Red hens' performance. **Cuban Journal of Agricultural Science** 45: 163-169
- Downes, F.P. and Ito, K. 2001. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**, 4th ed. America Public Health Association, Washington D.C.
- Kakengi, A.M.V., Kaijage, J.T., Sarwatt, S.V.S., Mutayoba, K., Shem, M.N. and Fujihara, T. 2007. **Livestock research rural development**. Available Source: <http://www.lrrd.org/lrrd/19/8/cont1908.htm>, July 4, 2010.
- Karladee, D. and Pongpiachan, P., Taltachum, T. and Gavilo, A. 2003. **Accumulation of GammaOryzanol in Purple Rice Grain**. Conference on Rice Biotechnology 2003. Available Source: <http://www.phtnet.org/download/phtic-research/82.pdf>, June 20, 2019.
- Rahman, M.M., Rahman, M.M., Akhter, S., Jamal, M.A.H.M., Pandeya, D.R., Haque, M.A., Alam, M.F. and Rahman, A. 2010. Control of coliform bacteria detected from diarrhea associated patients by extracts of *Moringa oleifera*. **Nepal Medical College Journal** 12(1): 12-19.
- NRC. 1994. **Nutrient Requirements of Poultry 9th Revised Edition**. National Academy Press, Washington D.C.
- Yang, R.Y., Chang, L.C., Hsu, J.C., Weng, B.B.C., Palada, M.C., Chadha, M.L. and Levasseur, V. 2006. Nutritional and Functional Properties of Moringa Leaves - From Germplasm, to Plant, to Food, to Health, pp 1- 8. **In Moringa and Other Highly Nutritious Plant Resources: Strategies, Standards and Markets for a Better Impact on Nutrition in Africa**. Accra, Ghana.
- Zanu, H.K., Asiedu, P., Tampuori, M., Abada, M. and Asante, I. 2012. Possibilities of using moringa (*Moringa oleifera*) leaf meal as a partial substitute for fishmeal in broiler chickens diets. **Online Journal Animal Feed Research** 2(1): 70-75.

ผลของสารสกัดหยาบจากลูกใต้ใบ (*Phyllanthus urinaria* Linn.) ต่อการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์จากอาหาร และอัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไม

(*Litopenaeus vannamei* Boone)

Effects of Crude Extract of *Phyllanthus urinaria* Linn. on Growth Performance, Feed Utilization and Survival Rate of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone)

อุทร เจริญเดช* และ วรวุฒิ เกิดปราง

Uton Charoendat* and Worawut Koedprang

Received: 10 May 2018, Revised: 19 October 2018, Accepted: 15 January 2019

บทคัดย่อ

ลูกใต้ใบชนิด *Phyllanthus urinaria* Linn. เป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีสรรพคุณทางเภสัชอย่างหลากหลาย ได้ถูกนำมาผสมกับอาหารกุ้งเพื่อศึกษาประสิทธิภาพที่มีต่อการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์จากอาหาร และอัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei* Boone) โดยเริ่มการทดลองด้วยการให้กุ้งกินอาหารที่มีสารสกัดหยาบจากลูกใต้ใบในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0, 1, 10, 100, 1,000 และ 10,000 ppm เป็นระยะเวลา 56 วัน จากนั้นพิจารณาผลของปัจจัยชี้วัดที่สนใจ ซึ่งหลังจากสิ้นสุดการทดลอง พบว่ากุ้งที่กินอาหารผสมสารสกัดหยาบจากลูกใต้ใบที่ความเข้มข้น 10,000 ppm แสดงค่าของปัจจัยชี้วัดทางการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารมากกว่ากุ้งที่กินอาหารทดลองอื่นเล็กน้อย แต่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เฉพาะกับชุดควบคุมเท่านั้น ในส่วนของอัตราการรอดตายของกุ้งที่กินอาหารในแต่ละชุดการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าสารสกัดหยาบจากลูกใต้ใบชนิด *P. urinaria* มีผลในการเสริมการเจริญเติบโตได้เล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อการเพิ่มอัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไม

คำสำคัญ: สารสกัดหยาบ, ลูกใต้ใบชนิด *Phyllanthus urinaria*, กุ้งขาวแวนนาไม, การเจริญเติบโต, อัตราการรอดตาย

ABSTRACT

Phyllanthus urinaria Linn., one of the medicinal plants possessing various biomedical effects, had been applied in shrimp feed in order to study its efficacy on growth performance, feed utilization and survival rate of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). Initially, the experiment was carried out by feeding shrimp for 56 days with diets containing *P. urinaria* crude extract at the levels of 0, 1, 10, 100, 1,000 and 10,000 ppm, and then the results of interested parameters were investigated. At the end of the feeding trial, the obtained results indicated that shrimp fed with the diet containing 10,000 ppm of *P. urinaria* crude extract slightly showed higher rate of growth performance and feed utilization than the others; however, the significant difference ($p < 0.05$) was only found on the controlled group. In case of survival rate of shrimp ingesting on each experimental diet, there were no significant differences ($p \geq 0.05$) among various treatments evaluated in this parameter. All in all, it can be concluded that *P. urinaria* crude extract has a slight effect on growth promotion, but it does not affect to increment in the survival rate of Pacific white shrimp.

Key words: crude extract, *Phyllanthus urinaria*, *Litopenaeus vannamei*, growth performance, survival rate

INTRODUCTION

Nowadays, Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone) is one of economically penaeid shrimp usually cultured in several countries, especially in South America and Southeast Asia. Because of its economic value, this shrimp species has been cultured, overspreading the coastal area and mangrove swamp, bringing about environmental problems. Moreover, the intensified condition of this shrimp aquaculture causes crowding stress stimulation, leading to malfunction of immunity and subsequent occurrence of disease outbreak which is a major constraint of shrimp aquaculture, resulting in significant socio-economic losses in affected areas (Kumar *et al.*, 2014).

To protect from infectious disease and promote shrimp growth, chemicals and drugs usage has proliferated among shrimp farms. This practice leads to diverse problems due to the use of drugs and chemicals results in generation of toxic residues causing risks to the environment, animals and consumers (Jones *et al.*, 2004). Moreover, the over-usage of antibiotic drugs causes the appearance of antibiotic-resistant strains of bacteria, leading to subsequent diverse problems which are complicated to handle (Waldvogel, 2004). Besides, shrimp products may be rejected

during export due to the accumulation of antibiotics is over-regulated levels (Alderman and Hasting, 1998).

To decrease aforementioned problems, the alternative natural ways for shrimp aquaculture should be actualized, for instance, the replacement of antibiotics with bioactive compounds derived from medicinal plants and algae for bacteriostatic and bactericidal purposes. In this case, some herbal plants possess the biological substances which can officiate as growth promoters, immunostimulants, antioxidants, antiviral agents and so on (Direkbusarakom, 1998; Citarasu, 2010; Chitmanat, 2013). Interestingly, one of the medicinal plants in the Phyllanthaceae family such as the *Phyllanthus* plants possess numerous bioactive phytochemicals including tannins, flavonoids and lignans. Tannins present in the form of gallotannin such as amariin, phyllanthusiin D, geraniin, corilagin and elecarpusin. Flavonoids present in the form of rutin and quercetin-3-O-glucoside. Lignans present in the form of phyllantin and hypophyllanthin (Gruenwald *et al.*, 2000). Furthermore, the plants in this genus also contain alkaloids, saponins and glycosides (Akin-Osanaiye *et al.*, 2011). The phytochemicals in *Phyllanthus* plants can present the properties of anti-hepatitis (Wang *et al.*, 1995; Ram, 2001; Ahmed *et*

al., 2002), antioxidant (Raphael *et al.*, 2002; Pinitsoontorn *et al.*, 2012; Maity *et al.*, 2013), anti-inflammation (Kierner *et al.*, 2003; Dang *et al.*, 2011), and apoptosis in tumor cells (Huang *et al.*, 2003).

Consequently, the purpose of this investigation was to evaluate the efficacy of *P. urinaria*, one of the *Phyllanthus* plants, on growth performance, feed utilization and survival rate of Pacific white shrimp (*L. vannamei*) in order to acquire a natural alternative approach for sustainable shrimp aquaculture in Thailand.

MATERIALS AND METHODS

1. Experimental animals

Healthy Pacific white shrimp (*L. vannamei*) in post larvae 15 stage were obtained from a commercial farm in Thailand, acclimated in 8,000-L concrete ponds (250 shrimp/m³) with suitable condition of ambient environment, and fed with commercial controlled diet, 4 meals daily for 3 months in order to increase shrimp size to around 7-8 g used in this trial. When grown to the usable size, shrimp were graded and transferred to black plastic tanks containing 400-L of brackish water (15 ppt) for setting the experiment.

2. Plant material and extraction

P. urinaria was collected from the planting grounds in Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao district, Trang province, Thailand. Then, whole plants were thoroughly washed with distilled water to remove dirt and contaminants, and then oven-dried at 50 °C. The dried plant was chopped into small pieces, finely ground with an electric blender, and then macerated in 99.9 % ethanol for 7 days. The derived crude extract was filtered and concentrated at 40 °C by using a rotary evaporator under low pressure, then stored at -20 °C until used (modified method of Poompachee and Chudapongse, 2012).

3. Experimental diet preparation

The commercially formulated feed was thoroughly mixed with *P. urinaria* crude extract in different evaluated levels by top-coating, then air-dried and re-coated

with fish oil at 1.5 % of shrimp feed so as to protect dissolution of effective substance from pellets and to enhance shrimp palatability. The diets were air-dried once again and stored at -20 °C until used. All experimental diets were prepared weekly.

4. Experimental design for feeding trial

The experiment was conducted as complete randomized design (CRD) in which every treatment was randomly assigned to different plastic tanks. In this trial, six treatments with triplicate, divided through various levels of *P. urinaria* crude extract supplemented to commercial diet at the concentration levels of 0 ppm (control), 1 ppm (0.001 g/kg diet), 10 ppm (0.01 g/kg diet), 100 ppm (0.1 g/kg diet), 1,000 ppm (1 g/kg diet) and 10,000 ppm (10 g/kg diet). In each replicate, 50 shrimp of equal size were stocked in black plastic tanks containing 400 L of seawater and fed with experimental diets, 4 meals daily for 56 days. At first, daily feeding rate was 6% of total body weight, after that it was daily re-adjusted according to feed intake of shrimp in each tank. In regard to trial system management, the cultured water was monitored and adjusted to maintain an appropriate condition through an installation of aeration and water circulation system which was cleaned daily. At last, all data from feeding trials were recorded for assessment of growth performance, feed utilization and survival rate of experimental shrimp.

5. Parameters assessment from feeding trial

After 56-days feeding period, there are three parts of data collection for evaluating the efficacy of *P. urinaria* crude extract on shrimp growth performance, feed utilization and survival rate. The first part, individual weight of shrimp in each treatment was recorded at the beginning and the end of the feeding trial in order to determine growth parameters including average body weight (g), percent weight gain (%), specific growth rate (%/day), and average daily growth (g/individual/day). The second part, amount of diet used in each treatment was daily recorded for calculation of feed conversion ratio, feed efficiency

ratio and feed intake (g/individual). In the final part, the survival rate of shrimp was calculated through enumeration of remaining shrimp in the tank. In brief, all parameters were calculated using the equations as follows:

$$\begin{aligned} &\text{Average body weight (g)} \\ &= \text{final biomass} / \text{final shrimp} \\ &\text{number} \\ &\text{Specific growth rate (\%/day)} \\ &= [\text{natural log (final mean biomass)} \\ &- \text{natural log (initial mean biomass)}] / \\ &\text{duration of feeding (days)} \times 100 \\ &\text{Weight gain (\%)} \\ &= [(\text{final mean biomass} - \text{initial} \\ &\text{mean biomass}) / \text{initial mean biomass}] \times \\ &100 \\ &\text{Average daily growth} \\ &(\text{g/individual/day}) \\ &= (\text{final mean biomass} - \text{initial} \\ &\text{mean biomass}) / \text{duration of feeding (days)} \\ &\text{Feed conversion ratio} \\ &= \text{total feed intake} / \text{shrimp weight} \\ &\text{gain} \\ &\text{Feed efficiency ratio} \\ &= \text{shrimp weight gain} / \text{total feed} \\ &\text{intake} \\ &\text{Feed intake (g/individual)} \\ &= \text{total feed intake} / \text{number of} \\ &\text{shrimp} \\ &\text{Survival rate (\%)} \\ &= (\text{initial shrimp number} / \text{final} \\ &\text{shrimp number}) \times 100 \end{aligned}$$

6. Statistical analysis

All data obtained from this experiment were statistically analyzed using a one-way analysis of variance (ANOVA) in the statistical program (IBM SPSS Statistics 21), and Duncan's multiple range test (DMRT) was used to determine the significant differences between the means. The comparisons were done at a significant level of 0.05 (Duncan, 1995).

RESULTS AND DISCUSSION

To date, the research steps of medicinal plants applied in aquaculture comprise of *in vitro* studies focused on an

investigation of plant biological activities and bioactive molecules, and *in vivo* studies focused on plant effect on aquatic animal physiology and potential treatment in aquaculture (Reverter *et al.*, 2017). Many scientific studies have revealed that herbal plants containing various active compounds could be used in aquaculture because they produce several effects providing benefits for aquatic animals such as disease agents elimination, growth promotion, immunostimulation, and so on (Citarasu, 2010; Chakraborty and Hancz, 2011). In case of the effects on growth performance of aquatic animals, diverse medicinal plants have been studied, for instance, the study of Punitha *et al.* (2008) revealed that diet supplemented with a mixture of methanolic herb extracts including *Cynodon dactylon*, *Piper longum*, *Phyllanthus niruri*, *Tridax procumbens* and *Zingiber officinalis*, could increase the final weight result of grouper (*Epinephelus tauvina*) at 41% higher than controlled fish. Then, Prasad and Mukthiraj (2011) reported that the diet containing *Andrographis paniculata* extract could increase growth and immune functions of *Oreochromis mossambicus*. In addition, the report of Putra *et al.* (2013) specified that grouper (*Epinephelus coioides*) fed with a diet containing ethanolic extract of *Sauropus androgynous* exhibited the results on increment of growth and feed utilization. These aforementioned results may be caused by active compounds of medicinal plant extract which could improve digestibility and availability of nutrients, resulting in feed conversion increment, leading to more protein synthesis which is necessary for growth.

In this study, *P. urinaria*, one of beneficial medicinal plants, was used for studying its effects on growth performance, feed utilization and survival rate of Pacific white shrimp (*L. vannamei*), and the derived results revealed that the use of this medicinal plant could slightly promote growth of tested shrimp, but it did not affect to increment of shrimp survival rate.

As specified in Table 1, the obtained results revealed that shrimp fed with the experimental diet containing 10,000 ppm (10 g/kg diet) of *P. urinaria* crude extract exhibited the highest values of all growth parameters analyzed when compared to shrimp fed with the other experimental diets. In this case, the shrimp fed with this diet showed a significant difference ($p < 0.05$) in average body weight (g) when compared to shrimp fed with controlled diet and diets containing 1 and 100 ppm of *P. urinaria* crude extract. Moreover, it also showed significant differences ($p < 0.05$) in percent weight gain (%), specific growth rate (%/day) and average daily growth (g/individual/day) when compared to shrimp fed with controlled diet.

In terms of the parameters for estimation of feed utilization of shrimp fed with several experimental diets containing graded levels of *P. urinaria* crude extract, the derived results specified in Table 2 revealed that feed conversion ratio and feed efficiency ratio of all treatments evaluated had presented a similar trend with indication of significant differences ($p < 0.05$) when the results obtained from shrimp fed with experimental diet containing 10,000 ppm of *P. urinaria* crude extract compared to the results got from shrimp fed with controlled diet. In case of feed intake, there were no significant differences ($p \geq 0.05$) among controlled and treatment groups in this parameter estimated.

Moreover, shrimp fed with diet containing 10,000 ppm of *P. urinaria* crude extract had shown the survival rate higher than shrimp fed with controlled and the other experimental diets; however, the significant differences ($p \geq 0.05$) among various treatments evaluated did not present in this parameter (Table 2).

In shrimp, the growth performance depends on the fitness of hepatopancreas because this organ contains fibrillar cells (F-cells) and blister-like cells (B-cells) which produce and secrete the enzymes essential for digestion in shrimp foregut (Gibson and Barker, 1979; Icely and Nott, 1992; Sousa and Petriella, 2000; Sousa *et al.*, 2005).

Then, the nutrients obtained from digestion have been absorbed and stored as lipid droplet in the cytoplasm of resorption cell (R-cells) located in hepatopancreas (Loizzi, 1971; Vogt *et al.*, 1989; Johnston *et al.*, 1998). Therefore, this organ is a source of energy and nutrients which are necessary for the growth of shrimp through ecdysis. Moreover, this organ is responsible for detoxification and metabolic waste excretion carried out by F-cells (Vogt and Qunitio, 1994).

As above informations, shrimp fed with the diet containing 10,000 ppm of this herbal plant extract had shown the results of all parameters investigated slightly better than shrimp fed with the diet containing the other concentration levels tested and controlled. This is because *P. urinaria* crude extract possesses anti-hepatotoxic properties contributing to hepatocyte nourishment and hepatitis protection (Wang *et al.*, 1995). It is beneficial for a function of hepatopancreas on production of enzymes used for supporting digestibility. Furthermore, the extract of this medicinal plant could protect shrimp hepatopancreas from pathogenic infection, for example, previous research of Direkbusarakom *et al.* (1995) found that 1 mg/ml of *P. urinaria* crude extract possessed antiviral properties against Yellow head virus (YHV) causing necrosis of shrimp lymphoid organ. Moreover, 10 ppm of this medicinal extract showed the antibacterial activity against *Vibrio* spp. usually infected in shrimp (Direkbusarakom, 1998). Therefore, abovementioned properties may promote shrimp health and fitness, resulting in promotion of growth performance.

All in all, *P. urinaria* may be a potential source of natural growth promoter for sustainable shrimp aquaculture. Nevertheless, its phytochemicals concerning growth enhancement should be further studied and separated from crude extract so that it can be more effectively used with lower concentration which is more worthwhile.

Table 1 Effect of *P. urinaria* extract-supplemented diets on growth performance of Pacific white shrimp after 56-days feeding period (Mean $\pm$ SD).

Concentrations of <i>P. urinaria</i> extract	Average body weight (g)		Weight gain (%)	Specific growth rate (%/day)	Average daily growth (g/individual/day)
	Initial	Final			
0 ppm	7.56 $\pm$ 0.65 ^a	23.75 $\pm$ 2.41 ^c	213.96 $\pm$ 3.17 ^b	2.04 $\pm$ 0.02 ^b	0.29 $\pm$ 0.01 ^b
1 ppm	7.57 $\pm$ 0.66 ^a	24.05 $\pm$ 2.40 ^{bc}	217.92 $\pm$ 5.25 ^{ab}	2.07 $\pm$ 0.03 ^{ab}	0.29 $\pm$ 0.01 ^{ab}
10 ppm	7.56 $\pm$ 0.63 ^a	24.22 $\pm$ 2.30 ^{abc}	220.26 $\pm$ 13.12 ^{ab}	2.08 $\pm$ 0.07 ^{ab}	0.30 $\pm$ 0.02 ^{ab}
100 ppm	7.57 $\pm$ 0.66 ^a	24.17 $\pm$ 2.43 ^{bc}	219.36 $\pm$ 4.41 ^{ab}	2.07 $\pm$ 0.02 ^{ab}	0.30 $\pm$ 0.01 ^{ab}
1,000 ppm	7.56 $\pm$ 0.66 ^a	24.44 $\pm$ 2.41 ^{ab}	223.14 $\pm$ 4.32 ^{ab}	2.09 $\pm$ 0.02 ^{ab}	0.30 $\pm$ 0.01 ^a
10,000 ppm	7.57 $\pm$ 0.65 ^a	24.77 $\pm$ 2.08 ^a	227.36 $\pm$ 5.11 ^a	2.12 $\pm$ 0.03 ^a	0.31 $\pm$ 0.01 ^a

Note: Mean values within the same column sharing the different superscript were significantly different at $p < 0.05$.

Table 2 Effect of *P. urinaria* extract-supplemented diets on feed utilization and survival rate of Pacific white shrimp after 56-days feeding period (Mean $\pm$ SD).

Concentrations of <i>P. urinaria</i> extract	Feed conversion ratio	Feed efficiency ratio	Feed intake	Survival rate (%)
0 ppm	1.84 $\pm$ 0.16 ^b	0.55 $\pm$ 0.05 ^b	28.63 $\pm$ 1.26 ^a	92.67 $\pm$ 4.16 ^a
1 ppm	1.78 $\pm$ 0.20 ^{ab}	0.57 $\pm$ 0.06 ^{ab}	28.34 $\pm$ 2.14 ^a	94.00 $\pm$ 6.93 ^a
10 ppm	1.71 $\pm$ 0.09 ^{ab}	0.58 $\pm$ 0.03 ^{ab}	28.87 $\pm$ 0.17 ^a	95.33 $\pm$ 1.15 ^a
100 ppm	1.75 $\pm$ 0.07 ^{ab}	0.57 $\pm$ 0.03 ^{ab}	28.15 $\pm$ 0.47 ^a	94.00 $\pm$ 2.00 ^a
1,000 ppm	1.62 $\pm$ 0.07 ^{ab}	0.62 $\pm$ 0.03 ^a	27.13 $\pm$ 0.68 ^a	98.00 $\pm$ 2.00 ^a
10,000 ppm	1.59 $\pm$ 0.06 ^a	0.63 $\pm$ 0.03 ^a	27.05 $\pm$ 0.66 ^a	98.00 $\pm$ 2.00 ^a

Note: Mean values within the same column sharing the different superscript were significantly different at $p < 0.05$.

CONCLUSION

P. urinaria crude extract with the concentration level of 10,000 ppm can slightly promote growth performance of Pacific white shrimp, but it does not affect to increment of shrimp survival rate. This medicinal plant may be a promising source of bioactive compounds acting as growth promoters. The use of this plant extract may be an alternative way for sustainable shrimp aquaculture without chemical and drug usage leading to further negative effects.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors gratefully acknowledge Rajamangala University of Technology Srivijaya for supporting the research fund.

REFERENCES

- Ahmed, B., Al-Howiriny, T.A. and Mathew, R. 2002. Antihepatotoxic activity of *Phyllanthus fraternus*. **Pharmazie** 57(12): 855-856.
- Akin-Osanaiye, C.B., Gabriel, A.F. and Alebiosu, R.A. 2011. Characterization and antimicrobial screening of ethyl oleate isolated from *Phyllanthus amarus* (Schum and Thonn). **Annals of Biological Research** 2(2): 298-305.
- Alderman, D.J. and Hasting, T.S. 1998. Antibiotic use in aquaculture: development of antibiotic resistance potential for consumer health risks. **International Journal of Food**

- Science and Technology** 33(2): 139-155.
- Chakraborty, S.B. and Hancz, C. 2011. Application of phytochemicals as immunostimulant, antipathogenic and antistress agents in finfish culture. **Reviews in Aquaculture** 3(3): 103-119.
- Chitmanat, C. 2013. Effects of herbal products on fish immunity. **KKU Research Journal** 18(2): 257-269
- Citarasu, T. 2010. Herbal biomedicines: a new opportunity for aquaculture industry. **Aquaculture International** 18(3): 403-414.
- Dang, G.K., Parekar, R.R., Kamat, S.K., Scindia, A.M. and Rege, N.N. 2011. Anti-inflammatory activity of *Phyllanthus emblica*, *Plumbago zeylanica* and *Cyperus rotundus* in acute models of inflammation. **Phytotherapy Research** 25(6): 904-908.
- Direkbusarakom, S., Herunsalee, A., Boonyaratpalin, S., Danayadol, Y. and Aekpanithanpong, U. 1995. Effect of *Phyllanthus* spp against yellow-head baculovirus infection in black tiger shrimp, *Penaeus monodon*, pp. 81-88. In Shariff, M, Arthur, J.R. and Subasinghe, R.P. eds. **Diseases in Asian Aquaculture II. Fish Health Section**. Asian Fisheries Society, Manila.
- Direkbusarakom, S. 1998. Studies on the Antiviral and antibacterial activity of Thai traditional herbs and application to prevent the viral and bacterial diseases in aquatic animals. PhD Thesis, Faculty of Fisheries, Hokkaido University.
- Duncan, D.W. 1995. Multiple-range and multiple F-test. **Biometrics** 1: 1-42.
- Gibson, O. and Barker, P.L. 1979. The decapod hepatopancreas. **Oceanography and Marine Biology Annual Review** 17(1): 285-346.
- Gruenewald, J., Bredler, T. and Jaenicke, C. 2000. **PDR for herbal medicines** 2nd ed. Medical Economics Company, Inc. Montvale, New Jersey.
- Huang, S.T., Yang, R.C., Yang, L.J., Lee, P.N. and Pang, J.H. 2003. *Phyllanthus urinaria* triggers the apoptosis and Bcl-2 down-regulation in Lewis lung carcinoma cells. **Life Sciences** 72(15): 1705-1716.
- Icely, J.D. and Nott, J.A. 1992. Digestion and absorption: digestive system and associated organs, pp. 529-617. In Harrison, F.W and Humes, A.G, eds. **Microscopic Anatomy of Invertebrates, vol 10**. Decapod Crustacea, Wily-Liss Inc., New York.
- Johnston, D.J., Alexanderand, C.G. and Yellowlees, D. 1998. Epithelial cytology and function in the digestive gland of *Thenus orientalis* (Decapoda, Scyllaridae). **Journal of Crustacean Biology** 18 (12): 271-278.
- Jones, O.A.H., Voulvoulis, N. and Lester, J.N. 2004. Potential ecological and human health risks associated with the presence of pharmaceutically active compounds in the aquatic environment. **Critical Reviews in Toxicology** 34(4): 335-350.
- Kiemer, A.K, Hartung, T., Huber, C. and Vollmar, A.M. 2003. *Phyllanthus amarus* has anti-inflammatory potential by inhibition of iNOS, COX-2, and cytokines via the NF-kappaB pathway. **Journal of Hepatology** 38(3): 289-297.
- Kumar, B.K., Deekshit, V.K., Raj, J.R.M., Rai, P., Shivanagowda, B.M., Karunasagar, I and Karunasagar, I. 2014. Diversity of *Vibrio parahaemolyticus* associated with disease outbreak among cultured *Litopenaeus vannamei* (Pacific white shrimp) in India. **Aquaculture** 433(1): 247-251.
- Loizzi, R.F. 1971. Interpretation of crayfish hepatopancreatic function on fine structural analysis of epithelia cell lines and muscle

- network. **Zeitschrift für Zellforschung und mikroskopische Anatomie (Vienna, Austria)** 113: 420-440.
- Maity, S., Chatterjee, S., Variyar, P.S., Sharma, A., Adhikari, S. and Mazumder, S. 2013. Evaluation of antioxidant activity and characterization of phenolic constituents of *Phyllanthus amarus* root. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 61(14): 3443-3450.
- Poompachee, K. and Chudapongse, N. 2012. Comparison of the antioxidant and cytotoxic activities of *Phyllanthus virgatus* and *Phyllanthus amarus* Extracts. **Medical Principles and Practice** 21(1): 24-29.
- Pinitsoontorn, C., Suwantrai, S. and Boonsiri, P. 2012. Antioxidant activity and oxalate content of selected Thai herbal teas. **KKU Research Journal** 17(1): 162-168.
- Prasad, G. and Mukthiraj, S. 2011. Effect of methanolic extract of *Andrographis paniculata* (Nees) on growth and haematology of *Oreochromis mossambicus* (Peters). **World Journal of Fish and Marine Sciences** 3(6): 473-479.
- Punitha, S.M.J., Babu, M.M., Sivaram, V., Shankar, V.S., Dhas, S.A., Mahesh, T.C., Immanuel, G. and Citarasu, T. 2008. Immunostimulating influence of herbal biomedicines on nonspecific immunity in Grouper *Epinephelus tauvina* juvenile against *Vibrio harveyi* infection. **Aquaculture International** 16(1): 511-523.
- Putra, A.A.S, Santoso, U., Lee, M.C. and Nan, F.H. 2013. Effects of dietary katuk leaf extract on growth performance, feeding behavior and water quality of grouper *Epinephelus coioides*. **Aceh International Journal of Science and Technology** 2(1): 17-25.
- Ram, V.J. 2001. Herbal preparations as a source of hepatoprotective agents. **Drug News and Perspectives** 14(4): 353-363.
- Raphael, K.R., Ajith, T.A., Joseph, S. and Kuttan, R. 2002. Anti-mutagenic activity of *Phyllanthus amarus* Schum & Thonn *in vitro* as well as *in vivo*. **Teratogenesis, Carcinogenesis, and Mutagenesis** 22(4): 285-291.
- Reverter, M., Tapissier-Bontemps, N., Sasal, P. and Saulnier, D. 2017. Use of medicinal plants in aquaculture, pp.223-261. In Austin, B. and Newaj- Fyzul A., eds. **Diagnosis and control of diseases of fish and shellfish**. Wiley, United States.
- Sousa, L.G. and Petriella, A.M. 2000. Histology of the hepatopancreas of the freshwater prawn *Palaemonetes argentinus* (Crustacea, Caridea). **Biocell** 24(3): 189-195.
- Sousa, L.G., Cuartas, E.I. and Petriella, A.M. 2005. Fine structural analysis of the epithelial cells in the hepatopancreas of *Palaemonetes argentinus* (Crustacea, Decapoda, Caridea) in intermoult. **Biocell** 29(1): 25-31.
- Vogt, G., Stöcker, W., Storch, V. and Zwilling, R. 1989. Biosynthesis of *Astacus* protease, a digestive enzyme from crayfish. **Histochemistry** 91(5): 373-381.
- Vogt, G. and Quintio, E.T. 1994. Accumulation and excretion of metal granules in the prawn, *Penaeus monodon*, exposed to water-borne copper, lead, iron and calcium. **Aquatic Toxicology** 28(3-4): 223-241.
- Waldvogel, F.A. 2004. Infectious diseases in the 21st century: old challenges and new opportunities. **International Journal of Infectious Diseases** 8(1): 5-12.
- Wang, M, Cheng, H., Li, Y., Meng, L., Zhao, G. and Mai, K. 1995. Herbs of the genus *Phyllanthus* in the treatment of chronic hepatitis B:

observations with three preparations from different geographic sites. **The Journal of Laboratory and Clinical Medicine** 126(4): 350-352.

ความเต็มใจจะจ่ายในการกำจัดขยะพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่

Willingness to Pay for Waste at Klongprasong, Meuang, Krabi Province

มนาลี ศรีเปารยะ เพ็ญพงษ์* สราวุธ ทองเนื้อห้า สินีนาท โชคดีแกม และ สมศรี พิวดดี

Manolee Sripaoraya Penpong*, Sarawut Thongnuaha, Sineenart Chockdumgerg and Somsri Pewdee

Received: 2 February 2018, Revised: 9 November 2018, Accepted: 10 June 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าความเต็มใจจะจ่ายและศึกษาปัจจัยในการกำหนดค่าความเต็มใจจะจ่ายในการกำจัดขยะของพื้นที่ องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่ ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นข้อมูลขั้นต้นที่ได้จากการสัมภาษณ์โดยใช้แบบสอบถามที่มีขนาดตัวอย่างจำนวน 310 ราย สถิติที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ มัธยฐาน และการวิเคราะห์สมการถดถอย เทคนิคที่ใช้ในการศึกษาคือ วิธีสถานการณ์สมมติ (contingent valuation method) ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของความเต็มใจที่จะจ่ายเท่ากับ 72.82 บาท ต่อเดือนต่อครัวเรือน ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยของค่าความเต็มใจจะจ่าย ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 อยู่ระหว่าง 59.68 - 90.51 บาท ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเต็มใจจะจ่ายเพื่อการจัดการขยะ มีดังนี้ คือ ระดับรายได้ แปรผันตรงที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 ส่วนการศึกษา แปรผกผันที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 และได้รับผลกระทบจากขยะแปรผันตรงที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยผลจากการวิจัยองค์การบริหารส่วนตำบลสามารถเริ่มต้นจากการเก็บค่าขยะจากครัวเรือนเพื่อสนับสนุนการดำเนินการกำจัดขยะที่ถูกต้อง และมุ่งสู่กระบวนการวางแผนบริหารจัดการขยะต่อไป

คำสำคัญ: เต็มใจจะจ่าย, ขยะ, สิ่งแวดล้อม, ครัวเรือน

ABSTRACT

This research aims to study willingness to pay and to study the factors affecting the willingness to pay for waste disposal at Klongprasing, Meuang, Krabi Province. Data used in this research is primary data derived from interview by using questionnaire with 310 sample sizes. The statistics used in the analysis are mean, percentage, median and regression analysis.

The data used in this research is primarily derived from interviews by questionnaire were 310 samples. The statistics used for analysis were median, percentage, median and regression analysis. The technique used contingent valuation method. The study results show that mean of willingness to pay is 72.82 baht per household. The confidence intervals for the mean of willingness will be at 0.05 significant level between 59.68 - 90.51 baht. Factors affecting willingness to pay for waste management are as follows. The income level is proportional to the significance level of 0.10. The study inversely proportional to the significance level of 0.10 and affected by garbage. That is proportional to the significance level of 0.01. The result of the research district administrative organization can start by collecting household waste to support the proper disposal of waste and to management planning process.

Key words: willingness to pay, waste, environment, household

บทนำ

ขยะมูลฝอยนับว่าเป็นปัญหาสำคัญที่อยู่คู่กับสังคมไทยมาเป็นเวลายาวนาน อีกทั้งยังเป็นปัญหาระดับโลก หากมีการกำจัดที่ไม่หมดสิ้น หรือไม่ถูกวิธี จะกลายเป็นภัยอันตรายที่ประชากรต้องเผชิญ ก่อให้เกิดผลกระทบทั้งทางตรง ทางอ้อมต่อประชาชน และสิ่งแวดล้อมสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2559 พบว่าประเทศไทยผลิตขยะออกมามากกว่าจำนวน 74,130 ตัน ประมาณ 27.06 ล้านตันต่อวัน คิดเป็นอัตราการเกิดขยะมูลฝอย 1.14 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน โดยพบว่าปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกกำจัดอย่างถูกต้องเพียง 9.75 ล้านตันต่อวัน หรือคิดเป็นร้อยละ 62 ของปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บขนได้ ส่วนที่เหลือนำไปกำจัดไม่ถูกต้อง 6.01 ล้านตันต่อวัน หรือคิดเป็นร้อยละ 38 ของปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บขนได้ และมีตกค้างในพื้นที่กำจัดไม่ถูกต้องอีก 6.22 ล้านตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 22 ของปริมาณ

ขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่สามารถคัดแยก เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ทั้งหมดประมาณ 5.81 ล้านตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 21 ของปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2559)

สำหรับประเทศไทย ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั่วประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกๆ ปี รวมทั้งปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ และปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ก็มีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและประชาชนมีความใส่ใจในการดำเนินการคัดแยกขยะมูลฝอยเพิ่มมากขึ้น วิกฤตปัญหาขยะมูลฝอย จึงถือเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน เนื่องจากปัญหาทวีความรุนแรงมากขึ้นทั้งด้านปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มมากขึ้น รวมทั้งสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ดำเนินการไม่

ถูกต้องยังคงไม่ได้รับการปรับปรุง รวมทั้งใน สังคมเมืองที่มีการขยายตัวสูงตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น และการพัฒนาด้านเศรษฐกิจ สังคม รวมทั้งเทคโนโลยีส่งผลให้เกิดการบริโภคเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยในสังคมเมืองเพิ่มขึ้นตามไป ทั้งนี้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้กำหนดแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในทางปฏิบัติโดยมุ่งเน้นให้ท้องถิ่นมีการดำเนินการร่วมกันและการมีส่วนร่วมของประชาชนโดยใช้รูปแบบศูนย์การจัดการขยะมูลฝอยอย่างครบวงจร การดำเนินการเพื่อกำจัดขยะมูลฝอยในหลายๆพื้นที่ของประเทศไทยท้องถิ่นส่วนใหญ่สามารถให้บริการเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยได้มากขึ้น ทำให้ปัญหาของขยะตกค้างน้อยลงแต่ยังมีปัญหากำจัดขยะมูลฝอยไม่ถูกสุขลักษณะอยู่มากแม้จะมีการจัดสรรงบประมาณเพื่อสร้างระบบกำจัดที่ถูกสุขลักษณะ และบางพื้นที่ได้รับการต่อต้านคัดค้านจากประชาชนจนไม่สามารถดำเนินการในการจัดการขยะในพื้นที่ได้ อนึ่งเมื่อวันที่ 15 ม.ค. 2560 ได้ลงประกาศพระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2560 และให้มีผลบังคับใช้นับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป โดยระบุว่า การจัดการสิ่งปฏิกูลและมูลฝอย เป็นปัญหาสำคัญระดับประเทศ แต่ปัจจุบันการบริหารจัดการสิ่งปฏิกูลและมูลฝอยมีบัญญัติไว้ในกฎหมายหลายฉบับ และมีหน่วยงานที่รับผิดชอบหลายหน่วยงาน ทำให้ขาดการบูรณาการร่วมกัน โดยเฉพาะการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการเก็บ ขน และกำจัดสิ่งปฏิกูลและมูลฝอย แต่ละประเภท อีกทั้งอัตราค่าธรรมเนียมในการให้บริการจัดการสิ่งปฏิกูลและมูลฝอยที่ราชการส่วนท้องถิ่นจัดเก็บยังไม่สอดคล้องกับค่าใช้จ่ายจริง ดังนั้น เพื่อให้การบริหารจัดการสิ่งปฏิกูลและมูลฝอย เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด สมควร

กำหนดให้ราชการส่วนท้องถิ่น มีหน้าที่และอำนาจในการเก็บ ขน และกำจัดสิ่งปฏิกูลและมูลฝอย กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการในการคัดแยก เก็บ ขน และกำจัดสิ่งปฏิกูลและมูลฝอย กำหนดอัตราค่าธรรมเนียมการให้บริการ รวมทั้งกำหนดให้ราชการส่วนท้องถิ่น มีอำนาจนำสิ่งปฏิกูลและมูลฝอยที่จัดเก็บได้ ไปใช้ประโยชน์หรือหาประโยชน์ได้โดยพระราชบัญญัติรักษาความสะอาดฯ ฉบับแก้ไขเพิ่มเติมนี้ได้กำหนดอัตราการจัดเก็บมูลฝอยแยกเป็น 2 เรื่องอย่างชัดเจน เรื่องแรกคือ การเก็บและขนมูลฝอย ประเด็นที่ 2 เป็นเรื่องการจัดมูลฝอย เป็นเรื่อง queกระทรวงมหาดไทยต้องไปออกกฎกระทรวงว่ามีอัตราเท่าใด โดยในพระราชบัญญัติรักษาความสะอาดฯ ฉบับแก้ไขเพิ่มเติมนี้ ได้กำหนดอัตราการจัดเก็บไว้ที่ครัวเรือนละ 150 บาทต่อเดือน ซึ่งน่าจะเป็นอัตราสูงสุดที่จะกำหนดไว้ในกฎกระทรวงได้ นอกจากนี้ยังมีการกำหนดค่ากำจัดมูลฝอยแยกออกไปต่างหากที่ครัวเรือนละไม่เกิน 200 บาทต่อเดือน ซึ่งก็น่าจะเป็นอัตราที่กำหนดไว้สูงสุด นั่นหมายความว่าแต่ละครัวเรือนจะต้องจ่ายเป็นค่าจัดเก็บ และค่ากำจัดเป็นรายเดือนสูงสุดไม่เกินเดือนละ 350 บาทต่อครัวเรือน (พระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง, 2560)

สำหรับพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่มีสภาพพื้นที่เป็นเกาะ ตั้งอยู่ฝั่งซ้ายของแม่น้ำกระบี่หรือทางฝั่งตะวันออกของเทศบาลเมือง ทิศใต้อยู่ติดปากอ่าวส่วนทิศตะวันออกติดเขตตำบลเหนือคลองโดยมีลำคลองไม่มีลำคลองเขมาเป็นเส้นทางแบ่งเขตแดน ด้านทิศเหนือเท่านั้นที่ไม่มีลำคลองและอยู่ติดเขตตำบลกระบี่น้อย (องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์, 2560) สืบเนื่องจากลักษณะของพื้นที่เป็นเกาะดังกล่าว ส่งผลให้พื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ได้ประสบปัญหาในการดำเนินการ

เรื่องการจัดการขยะ ตั้งแต่เริ่มกระบวนการจัดเก็บขยะเพื่อไปกำจัดไม่มีรูปแบบการจัดเก็บหรือการจัดการด้านขยะที่ชัดเจน โดยครัวเรือนเป็นผู้ที่ต้องดำเนินการกำจัดขยะเอง โดยทั้งถูกวิธีและไม่ถูกวิธีตามหลักสาธารณสุข ส่งผลให้เกิดปัญหาในพื้นที่ในประเด็นการจัดการขยะคือ ครัวเรือนไม่มีแหล่งที่จะทิ้งขยะ วิธีการที่ครัวเรือนกำจัด คือ ใช้วิธีการเมื่อเดินทางจากพื้นที่ (เกาะ) จะนำขยะทิ้งในพื้นที่ขององค์การบริหารส่วนจังหวัดซึ่งเกิดปัญหาเรื่องการทับซ้อนของสถานที่ในการกำจัดขยะ หรือบางครั้งครัวเรือนจะใช้วิธีการเผา เพื่อให้ขยะในครัวเรือนที่มีอยู่หมดไป หากพิจารณาถึงการขับเคลื่อนองค์การบริหารส่วนตำบลในการกำจัดขยะได้มีการดำเนินการในอดีต คือจ้างรถสามล้อพ่วงข้างเก็บขยะจากครัวเรือนและหาแหล่งทิ้งขยะที่เหมาะสมแต่ทว่าในปัจจุบันไม่ได้ดำเนินการดังกล่าวเนื่องจากไม่คุ้มทุนในการจัดการด้านขยะ แม้ว่าจะมีพระราชบัญญัติรักษาความสะอาดฯ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น องค์การบริหารส่วนตำบลยังไม่ได้ดำเนินการชัดเจนในการเก็บค่าธรรมเนียมเนื่องจากจำนวนเงินดังกล่าวไม่สามารถกำหนดค่าที่ชัดเจนในการเรียกเก็บค่าธรรมเนียมจากประชาชนเพื่อมาบริหารจัดการรวมถึงในปัจจุบันประชาชนในพื้นที่บางครัวเรือนต้องจ้างเรือข้ามฟากนำขยะมาทิ้งบนฝั่ง หรือบางส่วนใช้วิธีการจัดการขยะในเกาะแต่ไม่ถูกวิธี จึงเป็นการสร้างความกังวลว่าอนาคตอาจเกิดปัญหาขยะล้นเกาะหรือการจัดการขยะที่สิ้นเปลืองไม่ได้สร้างมูลค่าเพิ่มจากประเด็นปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นองค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ ได้ร่วมมือกับมหาวิทยาลัย

ราชภัฏสุราษฎร์ธานี ในการแก้ไขปัญหา กำหนดรูปแบบที่เหมาะสมในการกำจัดขยะในพื้นที่ การวิจัยนี้นำไปสู่การตอบโจทย์การแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยเป็นจุดเริ่มต้นถึงความสามารถของครัวเรือนในการที่จะจ่ายค่าธรรมเนียมเพื่อเข้าสู่กระบวนการกำจัดขยะที่ถูกวิธี ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเป็นการนำเสนอถึงเรื่องมูลค่าที่ความเต็มใจจะจ่ายที่ครัวเรือนยินดีจ่ายเพื่อจัดการขยะและปัจจัยที่จะช่วยส่งเสริมในการจ่าย ผลจากการวิจัยดังกล่าวจะนำเข้าสู่เวทีขององค์การบริหารส่วนตำบลเพื่อหาแนวทาง รูปแบบการจัดการขยะที่ถูกวิธีและเกิดความยั่งยืนในพื้นที่ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ประชาชน (ครัวเรือน) ที่อาศัยในพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ อ.เมือง จ.กระบี่ จำนวน 1 2 6 4 ครัวเรือน (กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย, 2559)

กลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ในการวิจัยนั้นผู้วิจัยได้กำหนดเป็นตัวแทนของครัวเรือน สามารถนำคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรการคำนวณตัวอย่าง คือ สูตรทาโร ยามาเน่ ใช้ค่าคลาดเคลื่อนทางสถิติ 0.05 ได้จำนวนตัวอย่างจำนวน 310 ทั้งนี้ในการเก็บแบบสอบถามใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างกำหนดสัดส่วน ของหมู่บ้านในพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ในการวิจัย

พื้นที่	ประชากร	สัดส่วนตัวอย่าง
บ้านเกาะกลาง	522	128
บ้านคลองประสงค์	203	50
บ้านคลองกำ	321	79
บ้านบางขนุน	218	53
รวม	1264	310

ที่มา: กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย (2559)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือแบบสอบถาม ได้นำแบบสอบถามไปทดสอบ จำนวน 100 ชุด เพื่อทดสอบหาข้อบกพร่องและสามารถนำมาหาค่าฐานนิยมนำมาสู่ค่าขอบบนและขอบล่างของค่ายินดีจะจ่าย ปรับปรุงแบบสอบถามให้มีความสมบูรณ์ และมีความชัดเจน ก่อนนำไปเก็บข้อมูลตัวอย่าง และเมื่อพบข้อบกพร่องผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงแบบสอบถาม และปรึกษาจากผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อที่ในการจัดเก็บแบบสอบถามลดข้อบกพร่องของแบบสอบถาม และลดระยะเวลาในการหาคำตอบของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยข้อมูลของแบบสอบถามประกอบด้วย 5 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ลักษณะของการผลิตขยะมูลฝอยและรูปแบบการจัดการขยะ

ส่วนที่ 3 ผลกระทบจากปัญหาขยะมูลฝอย

ส่วนที่ 4 มูลค่าความเต็มใจจะจ่ายค่าธรรมเนียมในการกำจัดขยะมูลฝอย

ส่วนที่ 5 ปัญหาและอุปสรรคในการกำจัดขยะมูลฝอย

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูล 2 ส่วน ได้แก่ข้อมูลปฐมภูมิ การเก็บรวบรวมข้อมูลโดย

การสัมภาษณ์ครัวเรือน และวิธีการประชุมกลุ่มย่อย และข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีผู้ได้ทำการรวบรวม ศึกษาค้นคว้าไว้แล้ว เช่น ตำรา บทความวิชาการ หนังสือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ ใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และมัธยฐาน (Median) เพื่อหาค่าของความเต็มใจจะจ่ายรวมถึงในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเต็มใจจะจ่ายในการกำจัดขยะนั้น โดยใช้วิธีการทดสอบสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (multicollinearity) ก่อนการวิเคราะห์ โดยมูลค่าความเต็มใจจะจ่ายค่าธรรมเนียมในการกำจัดขยะมูลฝอยโดยใช้แบบจำลองของคามรอน

แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยของคามรอน

เป็นฟังก์ชันลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าความเต็มใจจะจ่ายได้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นแบบจำลอง เรียกว่า “Censored Logistic Regression Model : CLR Model” ทั้งนี้ค่าความเต็มใจจะจ่ายนั้นไม่สามารถทราบค่าที่แท้จริงทราบแต่ค่าขอบเขตล่าง (Lower) และค่าขอบเขตบน (Upper) สามารถเขียนเป็นสมการ (เรณู, 2541) คือ

$$WTP = X\beta + e$$

e คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

โดยที่ WTP คือ ค่าความเต็มใจที่จะจ่าย

X คือ ตัวแปรอิสระที่กำหนดขนาด
ของค่าความเต็มใจจะจ่าย

β คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปร
อิสระ

จากสมการดังกล่าวสามารถประมาณค่าด้วย

วิธี Maximum Likelihood estimation โดยโปรแกรม
คอมพิวเตอร์ จะได้ค่า B และ σ ต่อมาใช้ค่าทั้งสอง
คำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของ WTP ได้
ข้อมูลออกมา 4 เหตุการณ์ ดังตารางดังนี้

ตารางที่ 2 ความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ของข้อมูลจากคำถามแบบ Double Bound

Bid ครั้งที่ 1	Bid ครั้งที่ 2	ความเป็นไปได้	Lower	Upper
xx	2xx	Pr(Yes, Yes)	2xx	∞
		Pr(Yes, No)	xx	2xx
	1/2xx	Pr(No, Yes)	1/2xx	xx
		Pr(No, No)	0	1/2xx

สมการที่จะนำมาประมาณค่าความน่าจะเป็นสูงสุด คือฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วมกันทุกเหตุการณ์ เป็นผลคูณความน่าจะเป็นของทุกเหตุการณ์แสดงได้ดังนี้

$$L = \text{Pr}(\text{yes}, \text{yes}) \text{Pr}(\text{Yes}, \text{No}) \text{Pr}(\text{No}, \text{Yes}) \text{Pr}(\text{No}, \text{No})$$

โดยที่

$\text{Pr}(\text{yes}, \text{yes})$ คือ ค่าความน่าจะเป็นของผู้ตอบ
ยินดีจะจ่าย ณ ราคาเสนอครั้งแรกและราคาเสนอครั้งที่
สอง

$\text{Pr}(\text{Yes}, \text{No})$ คือ ค่าความน่าจะเป็นของผู้ตอบ
ยินดีจะจ่าย ณ ราคาเสนอครั้งแรก แต่ไม่มีความเต็มใจ
จะจ่ายราคาเสนอครั้งที่สอง

$\text{Pr}(\text{No}, \text{Yes})$ คือ ค่าความน่าจะเป็นของผู้ตอบ
ไม่มีความเต็มใจจะจ่าย ณ ราคาเสนอครั้งแรก แต่มี
ความเต็มใจจะจ่ายราคาเสนอครั้งที่สอง

$\text{Pr}(\text{No}, \text{No})$ คือ ค่าความน่าจะเป็นของผู้ตอบ
ไม่มีความเต็มใจจะจ่าย ณ ราคาเสนอครั้งแรก และ
ราคาเสนอครั้งที่สอง

ทั้งนี้สามารถแปลงสมการข้างต้นเป็น
สมการ Log likelihood Function เพื่อนำไปประมาณ
ค่าความน่าจะเป็นสูงสุดด้วยวิธี Maximum Likelihood
Estimation ดังสมการต่อไปนี้

$$\ln L = \sum_{i=1}^n [l_{yy} \ln P_i^{yy} + l_{yn} \ln P_i^{yn} + l_{ny} \ln P_i^{ny} + l_{nn} \ln P_i^{nn}]$$

โดยที่ $l_{yy}, l_{yn}, l_{ny}, l_{nn}$ คือตัวแปรที่ชี้วัดค่า WTP ที่แท้จริง

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลด้านความเต็มใจจะจ่ายและช่องทางในการจะจ่ายจากครัวเรือนเพื่อกำจัดขยะเพื่อได้ประเด็น

ด้านการจัดเก็บค่าธรรมเนียมจากภาคประชาชนเพื่อนำมาบริหารจัดการกำจัดขยะให้เกิดประสิทธิภาพ ผลการวิเคราะห์ได้ ดังนี้

ตารางที่ 3 ผลด้านความเต็มใจจะจ่ายและช่องทางในการจะจ่ายจากครัวเรือนเพื่อกำจัดขยะ

ประเด็น		จำนวน	ร้อยละ
ความเต็มใจจะจ่าย	เต็มใจ	200	64.5
	ไม่เต็มใจ	110	35.5
	รวม	310	100
ช่องทางในการจะจ่าย	จ่ายเป็นเงินสดเก็บรายเดือน	262	84.6
	หักจากเงินเดือน ณ ที่จ่าย	2	0.6
	เก็บรวมกับบิลค่าน้ำประปา	4	1.3
	เก็บรวมกับบิลค่าไฟฟ้า	2	0.6
	เก็บบิลแยกเฉพาะ	35	11.3
	อื่นๆ	5	1.6
	รวม	310	100

จากตารางที่ 3 พบว่า ครัวเรือนมีความเต็มใจจะจ่าย ร้อยละ 64.5 และ ไม่เต็มใจจะจ่ายร้อยละ 35.5 โดยช่องทางในการจะจ่ายค่าจัดการขยะ คือจ่ายเป็นเงินสดเก็บรายเดือนร้อยละ 84.6 รองลงมาคือ เก็บบิลแยกเฉพาะ ร้อยละ 11.3 และ อื่นๆ ร้อยละ 1.6 ซึ่งหากองค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ดำเนินการ

จัดเก็บค่าธรรมเนียมขยะมูลฝอยครัวเรือนในพื้นที่ได้ให้ความร่วมมือ

2. ผลของจำนวน และร้อยละของกลุ่มตัวอย่างตามจำนวนเงินราคาเริ่มต้นที่เสนอและการตอบสนองราคาเสนอครั้งที่สองที่สนใจจะจ่ายเป็นดังนี้

ตารางที่ 4 จำนวน และร้อยละกลุ่มตัวอย่างตามจำนวนเงินราคาเริ่มต้นที่เสนอและการตอบสนองราคาเสนอครั้งที่สอง

จำนวนเงินราคาเสนอเริ่มต้น	จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามและการตอบสนอง (ราคาเสนอครั้งที่สอง)				
	จำนวนทั้งหมด	Yes,Yes	Yes,No	No,Yes	No,No
20 บาท/เดือน	75	7	19	42	7
	(100)	(9.3)	(25.4)	(56.0)	(9.3)
30 บาท/เดือน	76	18	22	25	11
	(100)	(23.7)	(28.9)	(32.9)	(14.5)
90 บาท/เดือน	75	4	9	32	30
	(100)	(5.3)	(12.0)	(42.7)	(40.0)
100 บาท/เดือน	84	4	25	13	42
	(100)	(4.7)	(29.8)	(15.5)	(50.0)

จากตารางที่ 4 การหาค่าความเต็มใจจะจ่ายนั้นใช้วิธีการสมมติเหตุการณ์ให้ประเมินมูลค่าโดยใช้การเก็บจากกลุ่มตัวอย่าง 400 ตัวอย่าง จำแนกตามจำนวนเงินเริ่มต้นของค่าความเต็มใจจะจ่ายเป็น 4 ชุด คือ 20 บาทต่อเดือน 30 บาทต่อเดือน 90 บาทต่อเดือน และ 100 บาทต่อเดือน ซึ่งเป็นค่าจากการทดสอบแบบสอบถาม (Pre-test) จำนวน 100 ชุด ในการคำนวณนิยามของค่าความเต็มใจจะจ่าย พบว่าจำนวนเงินราคาเสนอเริ่มต้น 20 บาท/เดือน มีผู้ตอบแบบสอบถาม 75 ตัวอย่าง จำนวนเงิน 30 บาท/เดือน จำนวน 76 ตัวอย่าง จำนวน 90 บาท/เดือน จำนวน 75 ตัวอย่าง และ 100 บาท/เดือน จำนวน 84 ตัวอย่าง แบบสอบถามเสนอราคาเริ่มต้นจำนวน 4 ชุด หากผู้ตอบแบบสอบถามยอมรับราคาเริ่มต้นผู้สัมภาษณ์จะเพิ่มจำนวนเงินขึ้นเป็นสองเท่าของราคาเสนอเริ่มต้น โดยจากการสำรวจแบบสอบถาม พบว่า เมื่อจำนวนเงินเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ผู้ตอบแบบสอบถามจะยอมรับราคาเสนอขึ้นที่สองเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ผู้ตอบแบบสอบถามยอมรับราคาเสนอเริ่มต้นเป็น 20 บาท/

เดือน และยอมรับราคาเสนอขึ้นที่ 2 คือ 40 บาท/เดือน คิดเป็น ร้อยละ 25.4 และเมื่อราคาเสนอเริ่มต้นเป็น 30 บาท/เดือน 90 บาท/เดือน และ 100 บาทต่อเดือน ผู้ตอบแบบสอบถามจะยอมรับราคาเสนอขึ้นที่สองลดลง คิดเป็นร้อยละ 28.9, 12.0 และ 29.8 ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามกัน ในกรณีที่ผู้ตอบแบบสอบถามปฏิเสธราคาเสนอเริ่มต้น เมื่อจำนวนราคาเสนอเริ่มต้นมีจำนวนมากขึ้น จะมีแนวโน้มทำให้ผู้ตอบแบบสอบถามปฏิเสธราคาเสนอขึ้นที่สองมากกว่าที่จะยอมรับราคาเสนอขึ้นที่สองเพิ่มขึ้น และก็เป็นไปตามกฎของอุปสงค์ โดยมีค่าเป็นร้อยละ 9.3, 14.5, 40.0 และ 50.0 ตามลำดับ

3. ผลการประมาณค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของความเต็มใจจ่ายในการจัดการขยะ

เพื่อให้ได้คำตอบของค่าความเต็มใจจะจ่ายเพื่อการจัดการกำจัดขยะนั้น จึงทำการประมวลผลทางสถิติ เพื่อคำนวณหาเฉลี่ยค่าความเต็มใจจะจ่ายที่เหมาะสม (MeanWTP) และค่ามัธยฐานของของค่าความเต็มใจจะจ่าย (Median WTP) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐานของความเต็มใจจะจ่ายเพื่อการจัดการกำจัดขยะ

ค่าสถิติ	ผลค่าสถิติกรณีค่าขอบบนเป็นค่าสูงสุด ($UP_{yy} = \text{Infinity}$)
Intercept (β)	3.8952
Scale (σ)	0.8864
Mean WTP	72.82
95% Confidence Interval for Mean WTP	59.68 - 90.51
Median WTP	49.17
95% Confidence Interval for Median WTP	43.48 - 55.60
Pseudo R^2	49.60

ค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐานของความเต็มใจจะจ่ายเพื่อการจัดการกำจัดขยะ พบว่า เมื่อแทนค่า Intercept (β) และ Scale (σ) เพื่อหาค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐาน สามารถหาค่าเฉลี่ยของความเต็มใจที่

จะจ่ายเท่ากับ 72.82 บาท ต่อเดือนต่อครัวเรือน และมีช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยของค่าความเต็มใจจะจ่าย ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 อยู่ระหว่าง 59.68 - 90.51 บาทต่อเดือนต่อครัวเรือน สำหรับค่ามัธยฐาน

ของความเต็มใจจะจ่ายเท่ากับ 49.17 บาทต่อเดือนต่อครัวเรือน และมีช่วงความเชื่อมั่นของค่ามัธยฐานของค่าความของค่าความเต็มใจที่จะจ่าย ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 อยู่ระหว่าง 43.48 - 55.60 บาท ต่อเดือนต่อครัวเรือน ส่วนค่า Pseudo R^2 เมื่อแทนค่าในสมการ มีค่าเท่ากับ 9.60 แสดงว่า ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ทางด้านเศรษฐกิจและสังคม และด้านผลกระทบที่ได้รับ ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ สามารถอธิบายตัวแปรตาม คือมูลค่าของความเต็มใจที่จะจ่ายได้ร้อยละ 49.60 ที่เหลืออาจจะเป็นตัวแปรอิสระอื่นๆ นอกเหนือจากที่ไม่ได้ทำการศึกษา

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเต็มใจจะจ่ายในการจัดการขยะครัวเรือนมีความยินดีที่จะจ่ายเท่ากับ 72.82 บาท ต่อเดือนต่อครัวเรือน หรือประมาณ 73 บาท ซึ่งเมื่อคำนวณตามจำนวนของครัวเรือน 1,264 ครัวเรือนได้เท่ากับ 92,272 บาท เงินส่วนนี้จะเป็นในการช่วยสนับสนุนองค์การบริหารส่วนตำบลในการจัดการขยะให้ถูกวิธีต่อไป ทั้งนี้องค์การบริหารส่วนตำบลต้องศึกษาเพิ่มเติมในการวิเคราะห์หาวิธีการกำจัดขยะที่คุ้มค่ากับการลงทุน เช่น จำนวนวันในการจัดเก็บขยะจากครัวเรือนในแต่ละครั้ง ระยะเวลาหนึ่งเดือนควรมีการจัดเก็บขยะกี่วัน ผลการวิจัยของมโนลี และคณะ (2560) พบว่าจำนวนขยะของครัวเรือนของการผลิตขยะมูลฝอยต่อสัปดาห์ พบว่า ต่ำกว่า 2 กิโลกรัม ร้อยละ 54.5 รองลงมา 2 - 4 กิโลกรัม ร้อยละ 28.4 และ มากกว่า 7 กิโลกรัม ร้อยละ 4.2 และการขนส่งจากพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ไปยังยังแหล่งที่เหมาะสมใช้ยานพาหนะประเภทใด หรือหากมีการแปรรูปขยะ องค์การบริหารส่วนตำบลควรมีการดำเนินโครงการไปยังครัวเรือนในการสร้างมูลค่าเพิ่มจากขยะ ทั้งนี้จากค่าความเต็มใจจะจ่ายของครัวเรือน พบว่า สอดคล้องกับพระราชบัญญัติการจัดเก็บขยะที่องค์การบริหารส่วนตำบลสามารถเรียกเก็บจากครัวเรือนได้นั้นคือ

อัตราสูงสุดที่สามารถเก็บได้จากครัวเรือนละ 150 บาทต่อเดือน โดยจากค่าความเต็มใจจะจ่ายของครัวเรือนในพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์นั้นพบว่า มีค่าค่อนข้างสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ ที่ใช้วิธีการเทคนิค CVM ในการประเมินมูลค่าความเต็มใจจะจ่าย ยกเว้นพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวเกาะเสม็ด จังหวัดระยอง โดย ทินกร (2552) ศึกษาพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวเกาะเสม็ด จังหวัดระยอง นักท่องเที่ยวที่มีความเต็มใจจะจ่ายเท่ากับ 160.85 บาทต่อคนต่อครั้ง และที่ค่าต่ำกว่า นิติวัฒน์ และคณะ (2547) ทำการศึกษาในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่มีความเต็มใจที่จะจ่ายค่าจัดการขยะมูลฝอยที่ราคา 47.52 บาทต่อเดือน ขนิษฐา และ ศักรินทร์ (2559) ศึกษาในแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติพญา 2 อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น มีค่าเท่ากับ 20.11 ส่วนบุษกร และศุภวรรณ (2556) การศึกษาพบว่าขยะมูลฝอยประเภทขยะทั่วไป/ขยะแห้ง ครัวเรือนมีความเต็มใจจ่ายค่ากำจัดขยะเท่ากับ 30.70 บาท/เดือน และ ปัญจมา (2542) ทำการศึกษาจังหวัดนครปฐม เท่ากับ 42.86 บาทต่อเดือน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาสาเหตุที่ค่าความเต็มใจจะจ่ายในการกำจัดขยะค่อนข้างสูง ผลการวิจัยด้านปัญหาในพื้นที่ของครัวเรือน ของมโนลี และคณะ (2560) พบว่า ที่ครัวเรือนประสบปัญหาด้านการขาดสถานที่กำจัดขยะและการขาดแคลนงบประมาณมากที่สุด จึงเป็นส่วนในการสนับสนุนให้ครัวเรือนมีความต้องการในการจ่ายเงินเพื่อสนับสนุนในการหาสถานที่หรือเกิดกระบวนการในการจัดการขยะที่ถูกต้อง

4. การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเต็มใจจ่ายในการจัดการขยะ

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเต็มใจจะจ่ายในการจัดการขยะนั้น ได้มีการทดสอบค่าสหสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ เพื่อป้องกันปัญหา

Multicollinearity ทั้งนี้หากพบต้องเลือกตัวแปรนั้นๆ
ออกจากสมการ ดังนั้นในการวิเคราะห์งานวิจัยนี้ จึง

ใช้ตัวแปร คือ รายได้ (Income) ระดับการศึกษา (Edu)
และผลกระทบที่ได้รับจากขยะ (Effect)

ตารางที่ 6 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเต็มใจจ่ายในการจัดการขยะ

ตัวแปรศึกษา	Coef.	Std.Err.	z	$p > z $	[95% Conf. Interval]	
Income2	.4962026	.2591012	1.92	0.055**	-.0116264	1.004032
Edu1	-1.253992	.9755329	-1.29	0.199	-3.166001	.6580174
Edu2	-1.090276	.5740367	-1.90	0.058**	-2.215367	.0348153
Edu3	-.5000541	.5987602	-0.84	0.404	-1.673602	.6734943
Edu4	-.8487148	.6145561	-1.38	0.167	-2.053223	.355793
Edu5	.133844	.9156957	0.15	0.884	-1.660887	1.928575
Edu6	-.1899421	.7380773	-0.26	0.797	-1.636547	1.256663
Effect	1.522348	.2964133	5.14	0.000***	.9413882	2.103307
_cons	.0767962	.61125	0.13	0.900	-1.121232	1.274824

Prob>chi2 =0.0000 Pseudo R2 =0.1106

หมายเหตุ: *** ณ ระดับนัยสำคัญ 0.01

** ณ ระดับนัยสำคัญ 0.10

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการจัดการขยะ ในการศึกษาพบว่า ระดับรายได้ แปรผันตรงที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 นั่นคือ ถ้ารายได้เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการจัดการขยะเพิ่มสูงขึ้นด้วยและหากรายได้ลดลงจะส่งผลให้ค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการจัดการขยะลดลงตามมาด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ นิติวัดน์ และคณะ (2547) ศึกษาในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ และบุญกร และ ศุภวรรณ (2556) เช่นเดียวกัน ส่วนการศึกษา แปรผกผันที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 โดยในการวิเคราะห์ผลของการศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาในระดับที่ต่ำ (ระดับการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น) ดังนั้นหากมีการศึกษาที่ระดับสูง ครวเรือนจะยินดีจ่ายค่าจัดการขยะที่สูงขึ้น ตรงกับข้ามหากมีการศึกษาที่ต่ำ คือมัธยมศึกษาตอนต้นและประถมศึกษาจะจ่ายค่าจัดการขยะที่ต่ำลงมา ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษา

ของ นิติวัดน์ และคณะ (2547) ศึกษาในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ส่วนปัจจัยที่ได้รับผลกระทบจากขยะแปรผันตรงที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 นั่นคือหากครัวเรือนใดได้รับผลกระทบจากขยะ เช่นกลิ่นเหม็น การเจ็บป่วย สัตว์ที่มาจากขยะ ขยะอันตราย เป็นต้น ครัวเรือนนั้นจะมีความเต็มใจจ่ายค่าจัดการกับขยะที่เพิ่มสูงขึ้น เพราะขยะเป็นปัญหาสำหรับการดำรงชีวิตของครัวเรือนซึ่งอยากที่จะจัดการกับปัญหาให้หมดไป

สรุป

การวิจัยความเต็มใจจ่ายในการกำจัดขยะพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าความเต็มใจจ่ายและปัจจัยที่ส่งผลต่อความเต็มใจจ่ายในการกำจัดขยะ ผลการวิจัย พบว่า

ครัวเรือนมีความเต็มใจจะจ่าย ร้อยละ 64.50 มีค่าเฉลี่ยค่าความเต็มใจจะจ่ายที่เหมาะสมเท่ากับ 72.82 บาท ต่อเดือนต่อครัวเรือน โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการจัดการขยะ มีดังนี้ คือ ระดับรายได้ ที่แปรผันตรงที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 ส่วนการศึกษา แปรผกผันที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 และ ได้รับผลกระทบจากขยะแปรผันตรงที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ในการบริหารจัดการขยะ องค์การบริหารส่วนตำบลจะเริ่มโครงการจัดการขยะ โดยเริ่มจากการเก็บค่าธรรมเนียมจากครัวเรือนในการจัดการขยะ (อิงกับผลการวิจัยเบื้องต้น) รวมถึงการบริหารจัดการขององค์การบริหารส่วนตำบลในการสร้างความยั่งยืนให้กับการจัดการขยะ เช่น การสร้างองค์ความรู้ในครัวเรือนเริ่มจากเด็กนักเรียนและให้ถูกต้องในการเก็บขยะ แยกขยะต้นทาง เพื่อสร้างมูลค่าให้กับขยะให้เกิดขึ้นด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการวิจัยองค์การบริหารส่วนตำบลสามารถเริ่มต้นจากการเก็บค่าธรรมเนียมกำจัดขยะจากครัวเรือนเพื่อสนับสนุนการดำเนินการกำจัดขยะที่ถูกวิธี โดยอาจจัดเวทีชาวบ้านเพื่อหาข้อสรุปเพิ่มเติมในกระบวนการจัดเก็บค่าธรรมเนียม และการนำไปบริหารจัดการต่อไป

2. องค์การบริหารส่วนตำบลควรมีการจัดทำแผนการจัดการขยะ รวมถึงจัดกิจกรรมกับครัวเรือนในด้านการจัดการขยะที่ถูกวิธีเพื่อมุ่งสู่กระบวนการจัดการขยะที่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2. ข้อเสนอแนะวิจัยครั้งต่อไป

1. ศึกษาการวิเคราะห์โครงการด้านการจัดการขยะที่คุ้มค่าในการกำจัด เพื่อเกิดประสิทธิภาพสูงสุดในพื้นที่ตำบลคลองประสงค์ อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่

2. ควรศึกษาด้านการสร้างมูลค่าเพิ่มของการจัดการขยะในพื้นที่ตำบลคลองประสงค์ อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) ภายใต้งานโครงการวิจัยและพัฒนาเครือข่ายต้นแบบบูรณาการพันธกิจมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานีกับชุมชนท้องถิ่นและภาคีชุมชนคุณสมศรี ผลิตและทีมงานในการให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลและผู้บริหาร เจ้าหน้าที่ขององค์การบริหารส่วนคลองประสงค์ทุกท่านที่ช่วยเหลือให้งานวิจัยคล่องไปด้วยดี อีกทั้งผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่านที่สละเวลาในการให้ข้อมูล รวมถึงผู้ทรงคุณวุฒิและผู้ช่วยนักวิจัยทุกท่านที่ทำให้งานสำเร็จคล่องไปด้วยดี ขอพระคุณบิดามารดาที่ให้อุปการะที่ดีสำหรับชีวิต รวมทั้งกำลังใจที่แสนดีจากครอบครัวจำเอนจันท์วัฒน์ เพ็ญพงษ์ลูกสาวน้องฟอร์จูนและลูกชายน้องจอมทัพ

เอกสารอ้างอิง

- กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย. 2559. ครัวเรือนในพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่. ระบบสถิติทางทะเบียน. แหล่งที่มา: http://WWW.stat.dopa.go.th/stat/statnew/upstat_age.php, 16 มีนาคม 2560.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2559. ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นทั้งประเทศปี พ.ศ. 2559. รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของ

- ประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559. แหล่งที่มา: http://WWW.infotrash.deqp.go.th/wpcontent/uploads/2017/06/wst haz _annual2559.pdf, 16 มีนาคม 2560.
- ชนิษฐา สิงห์อำ และ ศักรินทร์ นนทพจน์. 2559. ความเต็มใจที่จะจ่ายค่าจัดการขยะมูลฝอยในแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติพิทยา 2 อำเภอ ภูเก็ต จังหวัดขอนแก่น. ใน รายงานการประชุมวิชาการการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา “อาเซียน : โอกาสและความท้าทายของบัณฑิตไทย”. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- ทินกร เหล่าปรีชาชาญ. 2552. การประเมินมูลค่าความเต็มใจจะจ่ายของนักท่องเที่ยวเพื่อวิธีการแก้ไขปัญหาขยะมูล ฝอยบนเกาะเสม็ด จังหวัดระยอง. วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหาร.
- นิติวัฒน์ ปาณสมบุรณ์, ศศิเพ็ญ พวงสายใจ, สุวรรณ์ ยิบมันตะศิริ และ ไพรัช กาญจนการณ. 2547. การศึกษาความเต็มใจที่จะจ่ายค่าจัดการขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่. วารสารเศรษฐศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 8(1-2): 89-107.
- บุษกร ถาวรประสิทธิ์ และ ศุภวรรณ ฮ่อชี. 2556. การประเมินมูลค่าความเต็มใจจ่ายค่าจัดขยะมูลฝอยจากบ้านเรือน: กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดสงขลา. วารสารวิจัย มสค สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 9(1): 1-16.
- ปัญจมา วงษ์พาณิชย์. 2542. การศึกษาความเต็มใจที่จะจ่ายค่าจัดการขยะมูลฝอย กรณีศึกษาจังหวัดนครปฐม. วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง. 2560. (2560, 14 มกราคม). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 134 ตอนที่ 5 ก, น. 1-10.
- มนิณี ศรีเปารยะ เพ็ญพงษ์, ศราวุธ ทองเนื้อห้า, สนิหนาท โชคดี และ สมศรี ผิวดี. 2560. รายงานการวิจัย รูปแบบและแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยอย่างยั่งยืน องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่. มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
- เรณู สุขารมณ์. 2541. วิธีการสมมติเหตุการณ์ให้ประเมินค่าสินค้าที่ไม่ผ่านตลาด. วารสารเศรษฐศาสตร์ธรรมศาสตร์ 16(4): 89-117.
- องค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์. 2560. ข้อมูลพื้นฐานองค์การบริหารส่วนตำบลคลองประสงค์ อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่. ข้อมูลพื้นฐาน. แหล่งที่มา: <http://WWW.klongprasong.go.th>, 16 มีนาคม 2560.

การผลิตและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ในลังโฟม

Production and Properties of Compost from Organic Waste in Foam Box

วรรณวิภา ไชยชาณู* ฌานิกา แซ่เง่ ชูกลิ้น กัตตินาฏ สกุสสวัสดิพันธุ์
เจ๊ะอุยี้ เปาะเลาะ และ ทัพพสาร แท้มประสิทธิ์

Wanvipa Chaichan*, Chanika Saenge Chooklin, Kattinat Sagulsawasdiapan

Jeh-uyee Pohloh and Tappasarn Tamprasit

Received: 11 May 2018, Revised: 7 August 2018, Accepted: 30 January 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ในลังโฟม มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้ ผู้วิจัยเลือกใช้ขยะอินทรีย์ในชุมชน ได้แก่ กากกาแฟ จี๊เค็กจากโรงงานปาล์มน้ำมัน และจี๊ดินจากโรงงานแปรรูปยางพารา ทำการศึกษาอัตราส่วนกากกาแฟ:จี๊เค็ก:จี๊ดิน 7 อัตราส่วน คือ 3:0:0 0:3:0 0:0:3 1.5:1.5:0 0:1.5:1.5 1.5:0:1.5 และ 1:1:1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบพบว่า กากกาแฟ จี๊เค็ก และจี๊ดินมีธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักปุ๋ย กระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจนจะเสร็จสมบูรณ์ใช้เวลาในการหมักประมาณ 30 วัน โดยพิจารณาจากอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า สำหรับธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ยหมักทั้ง 7 อัตราส่วน มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.42-3.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 0.26-1.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 0.07-2.17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยอัตราส่วนของปุ๋ยหมักที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนกากกาแฟ:จี๊เค็ก:จี๊ดิน เท่ากับ 0:3:0 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณธาตุอาหารหลักในการเจริญเติบโตของพืชสูงที่สุด ผลการศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร นอกจากนี้ ผู้วิจัยทำการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด (Germination Index) พบว่า ปุ๋ยหมักไม่เป็นพิษกับเมล็ดที่นำมาทดสอบ ดังนั้น ปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากการหมักกากกาแฟ จี๊เค็กจากโรงงานปาล์มน้ำมัน และจี๊ดินจากโรงงานแปรรูปยางพาราในลังโฟม สามารถผลิตเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินได้

สาขาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

Department of Environment, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus, Mai Fad, Sikao, Trang 92150, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): wanvipa.kk@gmail.com

คำสำคัญ: ปุ๋ยหมัก, ขยะอินทรีย์, ลังโฟม, วัสดุปรับปรุงคุณภาพดิน

ABSTRACT

This research investigated production and properties of compost from organic waste in foam box. The objectives were determined the properties of raw materials and compost. Researchers especially focus on domestic organic waste such as coffee ground, decanter cake from palm oil industry and residue from rubber processing plant. This experiment investigated 7 different ratios of coffee ground: decanter cake: residue from rubber processing plant as 3:0:0 0:3:0 0:0:3 1.5:1.5:0 0:1.5:1.5 1.5:0:1.5 and 1:1:1. The results of raw materials properties showed that coffee ground, decanter cake and residue from rubber processing plant have the major nutrient for plant growth. Then, they are possible to use as raw material for composting. Aerobic composting process achieved maturing at approximately 30 days observed from temperature pH and EC. The major nutrients for plantation namely; nitrogen, phosphorus and potassium were 0.42-3.20% (w/v), 0.26-1.20% (w/v) and 0.07-2.17% (w/v), respectively. The optimal ratio of 0:3:0 because this ratio has the highest major nutrient for plantation. The characterization of the compost produced in this research was found to be within the acceptable limit of standard from Department Agriculture of Thailand. In addition, researchers were tested Germination Index. It found that the compost is non-toxic for seeds. Then, the compost from coffee ground, decanter cake and residue from rubber processing plant fermented in foam box can produce compost could be used as a soil amendment.

Key words: compost, organic waste, foam box, soil amendment

บทนำ

ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์จากพืชและสัตว์ทางการเกษตรและจากชุมชนมาผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ บด ร่อน และผ่านกรรมวิธีหมักอย่างสมบูรณ์ ปุ๋ยเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตพืชด้านการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต โดยปกติพืชจะได้รับธาตุอาหารต่างๆ จากดิน แต่เนื่องจากพื้นที่ทำการเกษตรของประเทศไทยได้ใช้ทำการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวผลผลิตประสบปัญหาดิน มีปริมาณธาตุอาหารที่ลดลงและเสียสภาพสมดุล ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน (จิรพงษ์ และคณะ, 2548) แนวทางหนึ่งของการช่วยปรับปรุงและเพิ่ม

ความอุดมสมบูรณ์ของดิน คือ การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือใช้จากภาคการค้า การเกษตร และภาคอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ ผู้วิจัยพบว่าในท้องถิ่นมีวัสดุเหลือใช้ที่ยังสามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักได้คือ กากกาแฟ กากสัลด์ปาล์มน้ำมัน (กากตะกอนปาล์มน้ำมัน, ขี้เค้ก หรือดีแคนเตอร์เค้ก) จากโรงงานปาล์มน้ำมัน และขี้ดินจากโรงงานแปรรูปยางพารา ซึ่งกากกาแฟเป็นส่วนที่ผ่านการคั่วบด ผ่านการชง หรือผ่านน้ำร้อนจากการชงเพื่อรีดน้ำของกาแฟออก ซึ่งในปัจจุบันธุรกิจร้านกาแฟมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากผู้บริโภคหันมาบริโภคเครื่องดื่มที่ได้จากกาแฟคั่วบดแทนกาแฟสำเร็จรูป ทำให้ธุรกิจร้านกาแฟได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้

ปริมาณของกากกาแฟเพิ่มขึ้นตามไปด้วย การนำกากกาแฟไปใช้ประโยชน์ยังไม่มีเท่าที่ควร ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จัดการกากกาแฟโดยทิ้งกากกาแฟรวมไปกับขยะมูลฝอยประเภทอื่นๆ ซึ่งเป็นการสูญเสียคุณค่าของกากกาแฟไปโดยเปล่าประโยชน์ (วรรณวิภา และ เอนก, 2559) ในส่วนของกากสัจจปาล์มน้ำมัน (กากตะกอนปาล์มน้ำมัน, จีเค้ก หรือคิแคนเตอร์เค้ก) จากโรงงานปาล์มน้ำมันคือ ส่วนที่ผ่านกระบวนการหีบน้ำมันก่อนที่จะได้เป็นน้ำมันผ่านการกรองอีกครั้งหนึ่งด้วยเครื่องจักรซึ่งเป็นเศษเหลือจากโรงงานปาล์มน้ำมัน และมีปริมาณมากโดยเฉพาะในภาคใต้ วัสดุดังกล่าวเป็นผลพลอยได้ที่ไม่เป็นที่ต้องการของโรงงานปาล์มน้ำมัน หากไม่มีการจัดการที่ดีจะเป็นภาระของโรงงานในการจัดการและกำจัดต่อไป (พรศิลป์ และคณะ, 2557) สำหรับจีคินได้จากโรงงานแปรรูปยางพารา เป็นดินที่ติดมากับจียางที่โรงงานรับซื้อ ซึ่งก่อนเข้าในกระบวนการผลิตจะผ่านการล้างในบ่อวนเพื่อแยกสิ่งแปลกปลอมออก เช่น เศษไม้ยาง เศษดิน ทราย และหิน เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบที่กล่าวมาข้างต้นมีการศึกษาเบื้องต้นพบว่าปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชหลงเหลืออยู่ จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ย

การวิจัยในครั้งนี้เล็งเห็นความสำคัญของการทำปุ๋ยหมักโดยใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้ที่หาได้ในท้องถิ่นมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วัสดุร่วมกันระหว่างกากกาแฟ จีเค้ก และจีคิน มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้ได้จริง และอยู่ในคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ทำการหมักปุ๋ยในถังโฟม เนื่องจากถังโฟมมีคุณสมบัติพิเศษ คือ ผนังของถังโฟมเป็นฉนวนความร้อน สามารถรักษาอุณหภูมิของปุ๋ยหมักให้อยู่

ในช่วงเทอร์โมฟิลิก (45-75 องศาเซลเซียส) ได้นาน (นิติ และคณะ, 2552) นอกจากนี้ ผู้วิจัยมีการออกแบบถังโฟมโดยมีการติดตั้งท่อระบายอากาศ ช่วยให้วัสดุหมักมีการระบายอากาศได้ดี และติดตั้งตะแกรงพลาสติก เพื่อลดการขังของน้ำชะและไม่ส่งกลิ่นรบกวน การผลิตปุ๋ยหมักจากวัตถุดิบที่สามารถย่อยสลายเป็นปุ๋ยได้ เป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้กับดิน และช่วยปรับปรุงดินอีกด้วย นอกจากนี้เป็นการนำวัสดุอินทรีย์เหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ เป็นทางเลือกสำหรับชุมชนและอุตสาหกรรมในการผลิตปุ๋ยหมักที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบและการออกแบบถังโฟม

วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ กากกาแฟ กากสัจจปาล์มน้ำมัน (จีเค้ก) จากโรงงานปาล์มน้ำมัน และจีคินจากโรงงานแปรรูปยางพารา ในส่วนของกากกาแฟจะทำการรวบรวมจากร้านขายกาแฟสด จีเค้กได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานพิทักษ์ปาล์ม ออยล์ ตำบลกะลาเส อำเภอสีเกา จังหวัดตรัง และจีคินได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทศรีตรังแอโกร อินดัสทรี จำกัด ตำบลนาเมืองเพชร อำเภอสีเกา จังหวัดตรัง วัตถุดิบที่ต้องทำการลดความชื้น ได้แก่ กากกาแฟ และจีเค้ก โดยจะลดความชื้น ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2-3 วัน สำหรับจีคินไม่ต้องทำการลดความชื้น จากนั้นทำการคัดแยกขนาดโดยร่อนผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 2 มิลลิเมตร สำหรับภาชนะที่ใช้สำหรับหมักปุ๋ย จะใช้ถังโฟมขนาด 20 กิโลกรัม สำหรับรูปแบบของถังโฟมผู้วิจัยมีการอ้างอิงการออกแบบถังโฟม จากงานวิจัยของนิติ และคณะ (2552) แต่ได้ออกแบบให้มีความแตกต่างออกไป กล่าวคือ บริเวณทั้งสองข้างของถังโฟมจะเจาะรูแถวล่างขนาด 0.5 นิ้ว ด้านละ 3 รู เพื่อใส่ท่อพีวีซีขนาด 0.5 นิ้ว และทำการเจาะรูแถวบนขนาด 1 นิ้ว ด้านละ

3 รู เพื่อใส่ท่อพีวีซีขนาด 1 นิ้ว สำหรับช่วยในการระบายอากาศ บริเวณด้านล่างของถังโฟมเจาะรูขนาด 0.5 นิ้ว จำนวน 4 รู เพื่อระบายน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักปุ๋ย หลังจากติดตั้งท่อทั้งหมดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก่อนนำวัสดุหมักลงหมักจะมีการวางตัวรับน้ำหนักของวัสดุหมัก โดยใช้ท่อพีวีซีวางบริเวณฐาน

ของถังโฟมและวางตะแกรงด้านบนตัวรับน้ำหนัก โดยให้ความสูงของตัวรับน้ำหนักและตะแกรงสูงกว่าท่อระบายอากาศแถวล่าง เพื่อให้อากาศสามารถระบายเข้าสู่วัสดุหมักได้อย่างทั่วถึง รูปแบบของถังโฟมแสดงดังภาพที่ 1



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 1 รูปแบบของถังโฟมที่ใช้สำหรับการหมักปุ๋ย (ก) ภาพด้านข้าง (ข) ระบายน้ำและ (ค) ภาพมุมมองบน

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบในชุดทดลองก่อนหมักและปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์

การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุดิบก่อนหมัก พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์วัตถุดิบดังตารางที่ 1 เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประกอบการเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยหมักและสามารถนำปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์ได้จริง ในระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ยมีการตรวจสอบ

ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมักทุก 7 วัน ได้แก่ สี กลิ่น และลักษณะของปุ๋ยหมัก เมื่อหมักปุ๋ยสมบูรณ์แล้วจะวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมัก โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์เช่นเดียวกันกับวัตถุดิบ (ตารางที่ 1) และมีการวิเคราะห์ดัชนีการงอกของเมล็ดเพิ่มเติม สำหรับปริมาณธาตุอาหารในวัตถุดิบและปุ๋ยหมัก ผู้วิจัยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุดิบก่อนหมักและปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
คุณสมบัติทางกายภาพ	
อุณหภูมิ	Thermometer
คุณสมบัติทางเคมี	
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH Meter
ความชื้น	
ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด	วิเคราะห์ตามเทคนิคและวิธีวิเคราะห์ของ
-ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)	กรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
-ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P ₂ O ₅)	

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
-ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K ₂ O)	วิเคราะห์ตามเทคนิคและวิธีวิเคราะห์ของ กรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	Electrical Conductivity Meter
การย่อยสลายที่สมบูรณ์	
ดัชนีการงอกของเมล็ด (Germination Index)	วิเคราะห์ตามเทคนิคและวิธีวิเคราะห์ของ กรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

3. การออกแบบชุดการทดลองและกระบวนการหมักปุ๋ย

งานวิจัยนี้ออกแบบอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักปุ๋ย จำนวน 7 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 2) ทำการหมักชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ เมื่อนำวัตถุดิบที่ผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ในแต่ละชุดการทดลองใส่ในถังโฟมแล้ว รดด้วยน้ำสารเร่งชุปเปอร์ พด.1 ที่เตรียมไว้ (พด.1 จำนวน 20 กรัม ผสมน้ำเปล่า 400 มิลลิลิตร และกากน้ำตาล 1 ช้อนโต๊ะ คนให้เข้ากัน ประมาณ 10-15 นาที) แล้วปิดฝาถังโฟม ในระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมัก สังเกตและตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น และลักษณะของปุ๋ยหมักทุก 7 วัน ถ้าไม่มีกลิ่นเหม็นน่า

เกิดขึ้นจะทำการหมักต่อไป นอกจากนี้ ทำการตรวจวัดอุณหภูมิทุกวัน และความเป็นกรด-ด่างทุก 3 วัน ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการตัดสินใจถึงระยะเวลาของการหมักที่สมบูรณ์ หลังจากทำการหมักปุ๋ยสมบูรณ์แล้ว จะวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์แล้ว พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 1 โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 (กรมวิชาการเกษตร, 2548) เพื่อพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยหมักในถังโฟมในการนำไปใช้งานจริง

ตารางที่ 2 ชุดการทดลองที่ใช้ในการวิจัย

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนผสม		
	กากกาแฟ	ขี้เถ้า	ขี้ดิน
1	3	0	0
2	0	3	0
3	0	0	3
4	1.5	1.5	0
5	0	1.5	1.5
6	1.5	0	1.5
7	1	1	1

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การผลิตและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากกากกาแฟ ขี้เถ้า และขี้ดินในถังโฟม ผลการวิจัยแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุคืบ

งานวิจัยนี้วิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุคืบพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความเป็น

กรด-ด่าง ความชื้น และค่าการนำไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3 นอกจากนี้ ได้วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชที่หลงเหลืออยู่ในวัสดุคืบ ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P₂O₅) และ โพแทสเซียมทั้งหมด (total K₂O) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ความชื้น และค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุคืบ

วัสดุคืบ	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซิเมนต์ต่อเมตร)
กากกาแฟ	5.36	10.98	0.62
ขี้เถ้า	8.67	45.56	1.81
ขี้ดิน	8.88	41.45	0.47

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของกากกาแฟ ขี้เถ้า และขี้ดิน เท่ากับ 5.36 8.67 และ 8.88 ตามลำดับ โดยกากกาแฟมีความเป็นกรดอ่อน ส่วนขี้เถ้าและขี้ดินมีความเป็นเบสอ่อน สำหรับผลการวิเคราะห์ความชื้นของกากกาแฟ ขี้เถ้า และขี้ดิน เท่ากับ 10.98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 45.56 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 41.45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ขี้เถ้ามีค่าความชื้นสูงสุด เนื่องจากขี้เถ้าเป็นส่วนที่ผ่านการหนีบน้ำมัน ซึ่งยังไม่ได้ผ่านกระบวนการลดความชื้นใดๆ ทำให้ขี้เถ้ายังคงมีความชื้นหลงเหลืออยู่มาก สำหรับวัสดุคืบที่มีความชื้นรองลงมา คือ ขี้ดิน เนื่องจากขี้ดินที่เลือกนำมาใช้เป็นวัสดุคืบ ทางโรงงานแปรรูปไม่ยวบารา

ได้ทำการเทกองไว้ในที่โล่งแจ้ง ไม่มีการปกคลุมกอง ขี้ดินด้วยวัสดุใดๆ ทำให้เมื่อเวลาฝนตกหรือในช่วงเวลากลางคืนกองขี้ดินจะได้รับน้ำฝนและน้ำค้าง ส่งผลให้ขี้ดินมีความชื้น ส่วนกากกาแฟมีความชื้นน้อยที่สุด เนื่องจากเมล็ดกาแฟที่นำมาเป็นวัสดุคืบในการชงกาแฟนั้น ผ่านการคั่วเมล็ดกาแฟมาก่อน ซึ่งเป็นการลดความชื้นมาแล้ว และในขั้นตอนการชงกาแฟจะชงผ่านน้ำร้อนและมีการรีดเอาน้ำของกาแฟออกทำให้ความชื้นของกากกาแฟน้อยลงอีก ขั้นตอนหนึ่ง และผลค่าการนำไฟฟ้าของกากกาแฟ ขี้เถ้า และขี้ดิน เท่ากับ 0.62 เดซิซิเมนต์ต่อเมตร 1.81 เดซิซิเมนต์ต่อเมตร และ 0.47 เดซิซิเมนต์ต่อเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักของวัสดุคืบ

วัสดุคืบ	ไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	โพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
กากกาแฟ	2.53	0.331	0.740
ขี้เถ้า	2.74	2.085	2.037
ขี้ดิน	0.47	0.81	0.04

จากตารางที่ 4 พบว่า กากกาแฟและขี้เถ้าจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าขี้ดิน หากเปรียบเทียบวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด พบว่า ขี้เถ้ามีธาตุอาหารทั้ง 3 ประเภทหลงเหลืออยู่มากที่สุด เพราะขี้เถ้าของปาล์มน้ำมันจัดเป็นวัสดุอินทรีย์ และไม่มีสิ่งปนเปื้อนใดๆ จึงทำให้มีธาตุอาหารหลงเหลืออยู่จะเห็นได้ว่า วัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดยังมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชหลงเหลืออยู่ทั้งในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กัญจักษ์ และ ชนิตา (2556) และ Salange *et al.* (2011) ที่พบว่า กากกาแฟมีธาตุอาหารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของเบญจมาภรณ์ และคณะ (2552) พบว่า ปริมาณธาตุอาหารในกากสลัดจ์ปาล์มน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับอาหารเสริมที่เกษตรกรทั่วไปนิยมใช้สำหรับการเพาะเห็ด นอกจากนี้ ญฐาทัน (2558) พบว่า กากสลัดจ์ปาล์มน้ำมันมีธาตุอาหารหลงเหลืออยู่ ดังนั้น จากผลการวิเคราะห์จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำกากกาแฟ

กากสลัดจ์ปาล์มน้ำมัน และขี้ดินจากโรงงานแปรรูปยางพารา มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยหมัก

2. ผลการวิเคราะห์สถานะของปุ๋ยหมักระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย

ในระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย ผู้วิจัยได้ตรวจวัดและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพและเคมี เพื่อหาสถานะที่เหมาะสม และใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาระยะเวลาในการหมักปุ๋ย มีรายละเอียด ดังนี้

2.1 ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมักระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพระหว่างการผลิตปุ๋ยหมักทุก 7 วัน ได้แก่ สี กลิ่น และลักษณะของปุ๋ยหมัก ทั้ง 7 ชุดการทดลองทำการตรวจสอบตลอดระยะเวลาในการหมักปุ๋ย ซึ่งใช้ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย 30 วัน ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมักระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมักระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย

วันที่หมัก	อัตราส่วนกากกาแฟ:ขี้เถ้า:ขี้ดิน	สี	กลิ่น	ลักษณะของปุ๋ย
7	3:0:0	สีน้ำตาล	เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	0:3:0	สีดำ	เหม็น	แข็งกระด้าง
	0:0:3	สีน้ำตาล	เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	1.5:1.5:0	สีน้ำตาล	เหม็น	แข็งกระด้าง
	0:1.5:1.5	สีน้ำตาล	เหม็น	แข็งกระด้าง
	1.5:0:1.5	สีน้ำตาล	เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	1:1:1	สีน้ำตาล	เหม็น	แข็งกระด้าง
14	3:0:0	สีน้ำตาล	เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	0:3:0	สีดำ	เหม็น	แข็งกระด้าง
	0:0:3	สีน้ำตาล	เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	1.5:1.5:0	สีน้ำตาล	เหม็น	แข็งกระด้าง

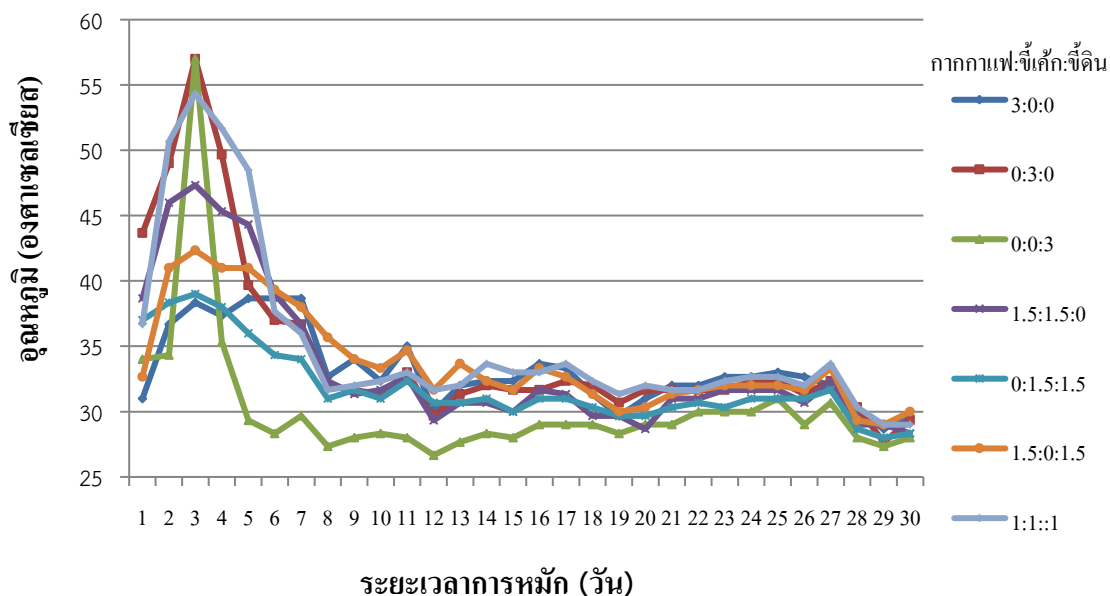
ตารางที่ 5 (ต่อ)

วันที่หมัก	อัตราส่วนกากกาแฟ:ขี้เถ้า:ขี้ดิน	สี	กลิ่น	ลักษณะของปุ๋ย
14	0:1.5:1.5	สีน้ำตาล	เหม็น	แข็งกระด้าง
	1.5:0:1.5	สีน้ำตาล	เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	1:1:1	สีน้ำตาล	เหม็น	แข็งกระด้าง
21	3:0:0	สีน้ำตาลเข้ม	ไม่เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	0:3:0	สีดำ	ไม่เหม็น	แข็งกระด้าง
	0:0:3	สีน้ำตาลเข้ม	ไม่เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	1.5:1.5:0	สีน้ำตาลเข้ม	ไม่เหม็น	แข็งกระด้าง
	0:1.5:1.5	สีดำ	ไม่เหม็น	แข็งกระด้าง
	1.5:0:1.5	สีน้ำตาลเข้ม	ไม่เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	1:1:1	สีดำ	ไม่เหม็น	แข็งกระด้าง
28	3:0:0	สีน้ำตาลเข้ม	ไม่เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	0:3:0	สีดำ	ไม่เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	0:0:3	สีน้ำตาลเข้ม	ไม่เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	1.5:1.5:0	สีน้ำตาลเข้ม	ไม่เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	0:1.5:1.5	สีดำ	ไม่เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	1.5:0:1.5	สีน้ำตาลเข้ม	ไม่เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง
	1:1:1	สีดำ	ไม่เหม็น	ไม่แข็งกระด้าง

จากตารางที่ 5 พบว่า ปุ๋ยหมักมี สี กลิ่น และ ลักษณะที่แตกต่างกัน เมื่อทำการหมักปุ๋ยวันที่ 7-14 ปุ๋ยหมักจะมีสีน้ำตาล กลิ่นเหม็น และยังมีลักษณะ แข็งกระด้างในอัตราส่วน คือ 0:3:0 1.5:1.5:0 0:1.5:1.5 และ 1:1:1 เมื่อผ่านไป 21 วัน พบว่า ปุ๋ยมีสี ที่เข้มขึ้น กลิ่นไม่เหม็น และมีลักษณะแข็งกระด้างใน อัตราส่วน คือ 0:3:0 1.5:1.5:0 0:1.5:1.5 และ 1:1:1 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปุ๋ยหมักมีส่วนผสมของขี้เถ้า ซึ่งมี ลักษณะค่อนข้างแข็ง เมื่อทำการหมักปุ๋ยไป 28 วัน พบว่า ปุ๋ยหมักในทุกชุดการทดลองมีสีเข้มขึ้น กลิ่น ไม่เหม็น และไม่แข็งกระด้าง ดังนั้น จึงสามารถนำ ปุ๋ยหมักไปใช้ประโยชน์ได้

2.2 อุณหภูมิระหว่างระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย

จากการตรวจวัดอุณหภูมิระหว่าง การผลิตปุ๋ยหมักทุกวัน จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่และ ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง พบว่า กระบวนการหมักปุ๋ย จากกากกาแฟ ขี้เถ้า และขี้ดิน จะใช้ระยะเวลาใน การหมักประมาณ 30 วัน ผลของอุณหภูมิในระหว่าง การหมักปุ๋ยในถังโฟม ทั้ง 7 ชุดการทดลอง แสดงดัง ภาพที่ 2



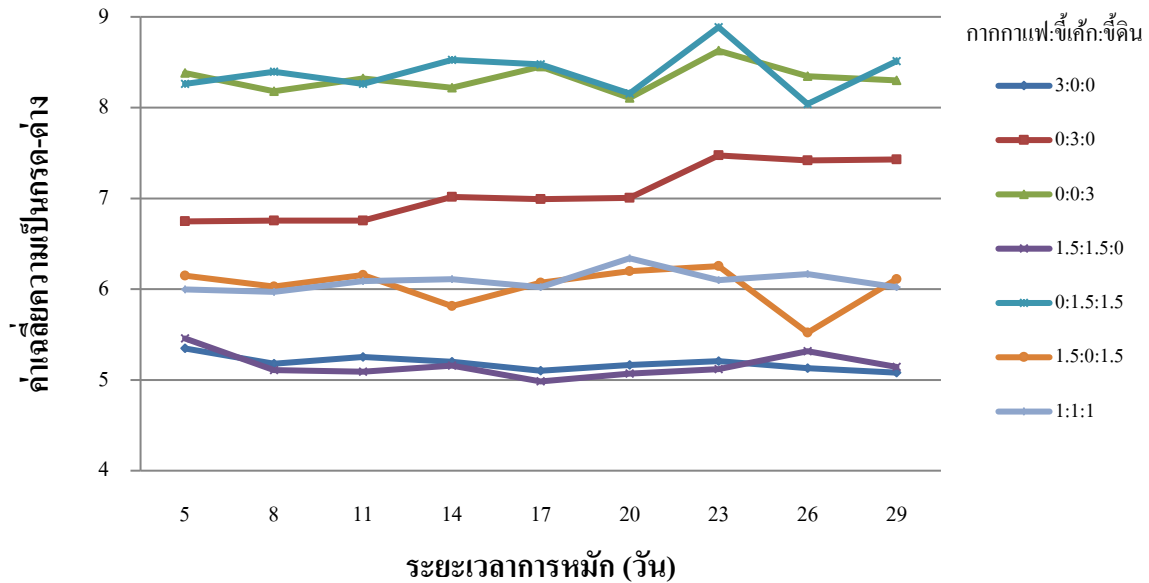
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการหมักปุ๋ยในถังโฟม

จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิในระหว่างการหมักปุ๋ยของทุกๆ ในอัตราส่วนจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงวันที่ 1-3 และมีอุณหภูมิสูงสุดหลังจากหมักปุ๋ยผ่านไปแล้ว 3 วัน และหลังจากนั้นอุณหภูมิของปุ๋ยหมักมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง ซึ่งอุณหภูมิห้องตลอดกระบวนการหมัก อยู่ในช่วง 28-32 องศาเซลเซียส ทั้งนี้สาเหตุที่อุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูงในช่วงแรก อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์มีการเผาผลาญและเจริญเติบโตมากขึ้นในระยะแรกของกระบวนการหมัก จึงทำให้เกิดการย่อยสลายมากที่สุดจนทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในปุ๋ยหมัก และเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิภายในปุ๋ยหมักจะค่อยๆ ลดลง หลังจากการหมักไประยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากจุลินทรีย์บางส่วนเริ่มตายลง ปริมาณสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนหมด ทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงมาจนกระทั่งท้ายสุดอุณหภูมิจะเริ่มคงที่ เมื่อเกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์แล้ว โดยจะเห็นได้ว่า

หลังจากทำการหมักไปเป็นระยะเวลาประมาณ 30 วัน อุณหภูมิภายในปุ๋ยหมักเริ่มคงที่และใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง ดังนั้น การผลิตปุ๋ยหมักจากกากกาแฟขี้เถ้า และขี้ดินจะหมักได้สมบูรณ์จะใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 30 วัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ นิตี และคณะ (2552) ที่ทำการศึกษาการใช้ถังโฟมในการหมักมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือนและใบไม้แห้ง

2.3 ความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ยหมักระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย

การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระหว่างการผลิตปุ๋ยหมัก จะเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักมาวิเคราะห์ pH เมื่อเริ่มหมักปุ๋ยไปแล้ว 5 วัน และทำการวิเคราะห์ pH ทุก 3 วัน ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย ผลของ pH ในระหว่างการหมักปุ๋ยในถังโฟม ทั้ง 7 ชุดการทดลอง แสดงดังภาพที่ 3



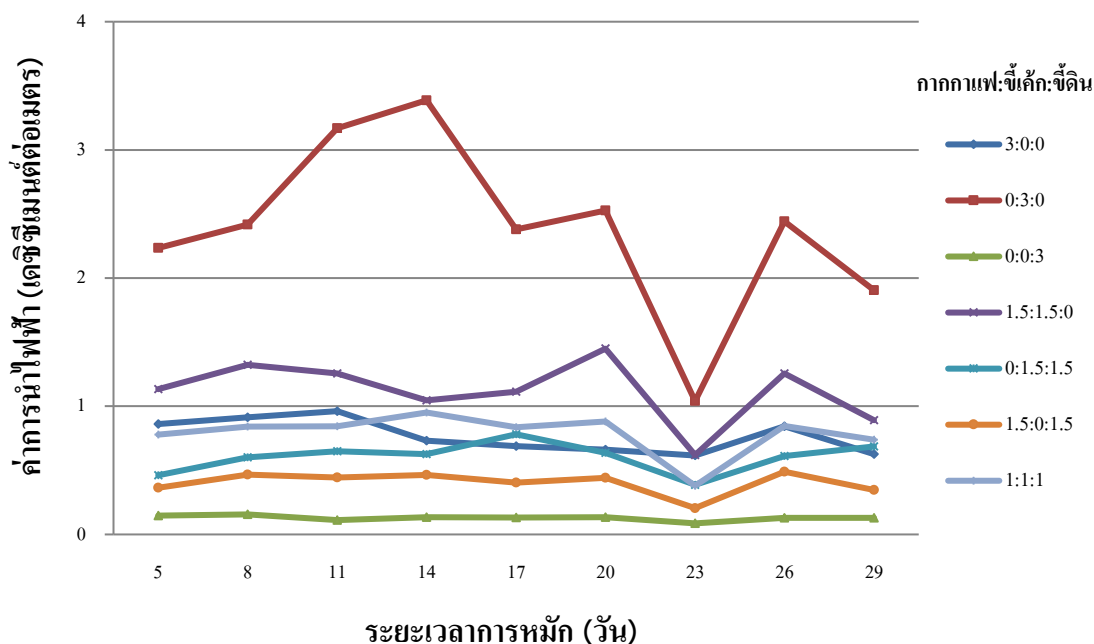
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการหมักปุ๋ยในถังโฟม

จากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ย pH ในการหมักปุ๋ย อยู่ในช่วง 4.98-8.89 หากเลือกใช้วัสดุคอกปุ๋ยเพียงชนิดเดียวทำการหมักในถังโฟม คือ กากกาแฟ (ชุดการทดลองที่ 1) ขี้เถ้า (ชุดการทดลองที่ 2) และขี้ดิน (ชุดการทดลองที่ 3) พบว่า ค่า pH เท่ากับ 5.08 7.43 และ 8.30 ตามลำดับ ซึ่งปุ๋ยหมักที่เกิดจากการหมักจากวัสดุคอกปุ๋ยเพียงชนิดเดียวที่มีค่า pH สูงสุด คือ ปุ๋ยหมักจากขี้ดิน และค่า pH ต่ำสุด คือ ปุ๋ยหมักจากกากกาแฟ ซึ่งผลของค่า pH ของปุ๋ยจะสอดคล้องกับคุณสมบัติของวัสดุคอกปุ๋ยที่นำมาหมัก กล่าวคือ กากกาแฟก่อนหมักจะมีค่า pH ต่ำสุด (เป็นกรดอ่อน) และขี้ดินก่อนหมักมีค่า pH สูงสุด (เป็นเบสอ่อน) ค่า pH ที่อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟ:ขี้เถ้า:ขี้ดิน ในอัตราส่วน เท่ากับ 1.5:1.5:0 0:1.5:1.5 1.5:0:1.5 และ 1:1:1 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.14 8.51 6.11 และ 6.02 ตามลำดับ ดังนั้น pH ของปุ๋ยหมักจึงขึ้นอยู่กับวัสดุคอกปุ๋ยที่ใช้ในการหมัก คือ หากนำกากกาแฟมาเป็นส่วนผสมของปุ๋ยหมักจะทำให้

ความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ยหมักลดลง และหากใช้ขี้ดินหรือขี้เถ้ามาเป็นส่วนผสมของปุ๋ยหมักจะทำให้ pH ของปุ๋ยหมักสูงขึ้น จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น จะเห็นได้ว่า ปุ๋ยหมักทั้ง 7 ชุดการทดลอง มีค่า pH อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ที่กำหนดให้มีความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.5-8.5 ดังนั้นจึงสามารถนำปุ๋ยหมักไปใช้ประโยชน์ได้

2.4 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย

การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในระหว่างการผลิตปุ๋ยหมัก จะดำเนินการเก็บผลวิเคราะห์เมื่อเริ่มหมักปุ๋ยไปแล้ว 5 วัน และทำการวิเคราะห์ทุก 3 วัน ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย ผลของ EC ในระหว่างการหมักปุ๋ยในถังโฟม ทั้ง 7 ชุดการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4

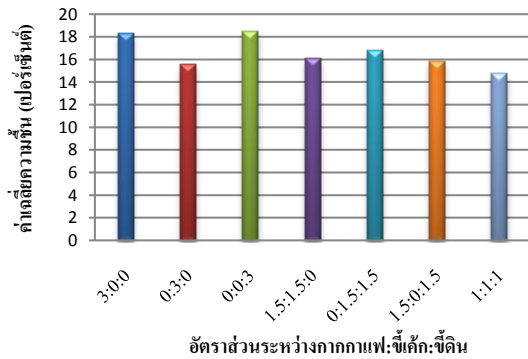


ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยค่าการนำไฟฟ้าในระหว่างการหมักปุ๋ยในถังโม่

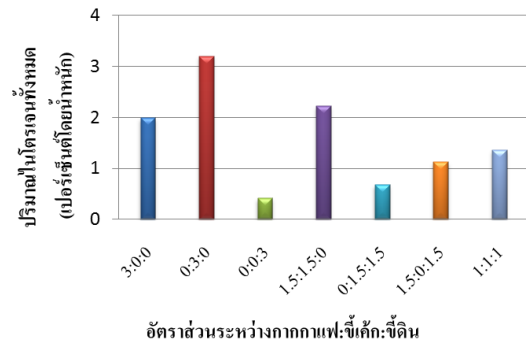
จากภาพที่ 4 พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักทั้ง 7 ชุดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.63 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร 1.91 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร 0.13 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร 0.89 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร 0.69 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร 0.35 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร และ 0.74 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ปุ๋ยหมักที่หมักได้ทุกอัตราส่วนมีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดไว้ คือ ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยอินทรีย์จะต้องไม่เกิน 6 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเกลือบางชนิดในดิน หากมีค่าเกิน 6 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร อาจจะทำให้คุณภาพดินมีความเค็มสูง นอกจากนี้ ความเค็มยังส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารอื่นๆ

3. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์แล้ว

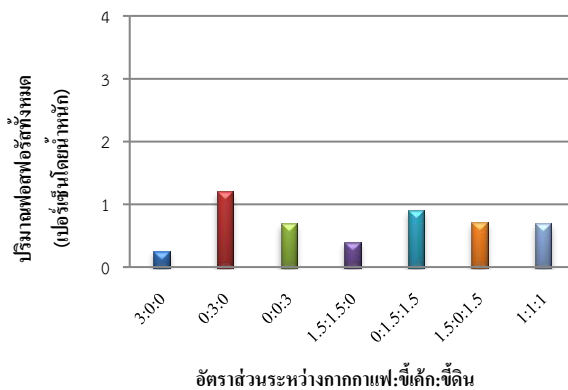
จากผลการวิเคราะห์สภาวะของปุ๋ยหมักทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ในระหว่างกระบวนการหลังจากทำการหมักปุ๋ยเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า ปุ๋ยหมักได้หมักสมบูรณ์แล้ว หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมักที่หมักสมบูรณ์แล้ว พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ความชื้น ปริมาณธาตุอาหาร (ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) ค่าการนำไฟฟ้า และการย่อยสลายที่สมบูรณ์ (โดยทดสอบจากดัชนีการงอกของเมล็ด) ผลการวิเคราะห์ แสดงดังภาพที่ 5



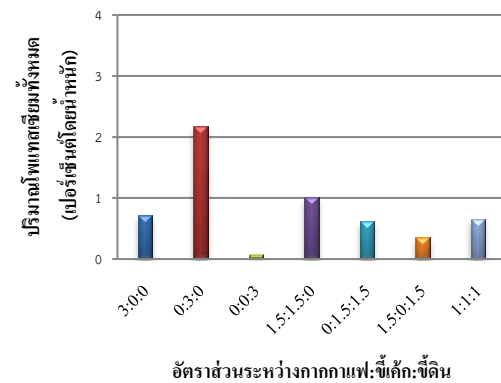
(ก)



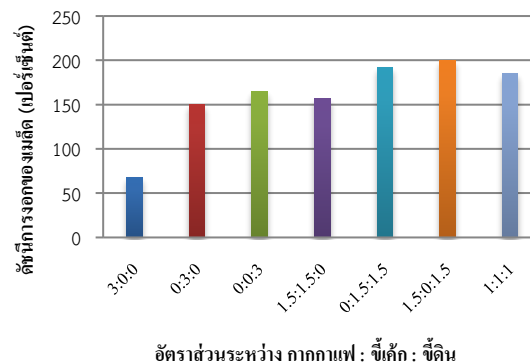
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์แล้ว

(ก) ความชื้น (ข) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ค) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

(ง) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด และ (จ) ดัชนีการงอกของเมล็ด

จากภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่า ความชื้นของปุ๋ยหมักทั้ง 7 ชุดการทดลอง เท่ากับ 18.28 เปอร์เซ็นต์ 15.60 เปอร์เซ็นต์ 18.46 เปอร์เซ็นต์ 16.11 เปอร์เซ็นต์ 16.77 เปอร์เซ็นต์ 15.87 เปอร์เซ็นต์ และ 14.79

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการนำวัตถุดิบมาผสมกันเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมักจะทำให้ความชื้นของปุ๋ยหมักมีแนวโน้มลดลง และเมื่อเปรียบเทียบความชื้นของปุ๋ยหมักที่ได้กับเกณฑ์

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 (กรมวิชาการเกษตร, 2548) พบว่า ปุ๋ยหมักในทุกชุดการทดลองมีความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ คือ มีความชื้นไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมัก อยู่ในช่วง 0.42-3.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หากเลือกใช้วัตถุดิบเพียงชนิดเดียวทำการหมักในถังโฟม คือ กากกาแฟ (ชุดการทดลองที่ 1) ขี้เถ้า (ชุดการทดลองที่ 2) และขี้ดิน (ชุดการทดลองที่ 3) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมัก เท่ากับ 1.99 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 3.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งปุ๋ยหมักที่เกิดจากการหมักจากวัตถุดิบเพียงชนิดเดียวมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่สูงที่สุด คือ ปุ๋ยหมักจากขี้เถ้า และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดน้อยสุด คือ ปุ๋ยหมักจากขี้ดิน ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจะมีความสอดคล้องกับคุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาทำการหมัก กล่าวคือ ขี้เถ้าก่อนหมักจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด รองลงมาคือเป็นกากกาแฟ และขี้ดินมีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดน้อยที่สุด ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักในอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟ: ขี้เถ้า: ขี้ดิน ในอัตราส่วน 1.5:1.5:0 0:1.5:1.5 1.5:0:1.5 และ 1:1:1 จะมีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 2.22 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 1.13 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 1.36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังนั้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ คือ หากนำขี้เถ้ามาเป็นส่วนผสมของปุ๋ยหมักจะทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักสูงขึ้น จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่า ปุ๋ยหมัก 5 ชุดการทดลอง ในอัตราส่วน 3:0:0 0:3:0 1.5:1.5:0 1.5:0:1.5 และ 1:1:1 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ที่กำหนดให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในปุ๋ยหมัก อยู่ในช่วง 0.26-1.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หากเลือกใช้วัตถุดิบเพียงชนิดเดียวทำการหมักในถังโฟม คือ กากกาแฟ (ชุดการทดลองที่ 1) ขี้เถ้า (ชุดการทดลองที่ 2) และขี้ดิน (ชุดการทดลองที่ 3) พบว่า ค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในปุ๋ยหมัก เท่ากับ 0.26 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 1.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 0.70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งปุ๋ยหมักที่เกิดจากการหมักจากวัตถุดิบเพียงชนิดเดียวมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่สูงที่สุด คือ ปุ๋ยหมักจากขี้เถ้า และค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยสุด คือ ปุ๋ยหมักจากกากกาแฟ ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักในอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟ: ขี้เถ้า: ขี้ดิน ในอัตราส่วน 1.5:1.5:0 0:1.5:1.5 1.5:0:1.5 และ 1:1:1 จะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งหมด เท่ากับ 0.40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 0.90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 0.71 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 0.70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังนั้น หากนำขี้เถ้ามาเป็นส่วนผสมของปุ๋ยหมักจะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักสูงขึ้น จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่า ปุ๋ยหมัก 5 ชุดการทดลอง ในอัตราส่วน 0:3:0 0:0:3 0:1.5:1.5 1.5:0:1.5 และ 1:1:1 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ซึ่งกำหนดให้มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ยหมัก อยู่ในช่วง 0.07-2.17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หากพิจารณาปุ๋ยหมักจากวัตถุดิบเพียงชนิดเดียวทำการหมักในถังโฟม คือ กากกาแฟ (ชุดการทดลองที่ 1)

จี้เล็ก (ชุดการทดลองที่ 2) และจี้ดิน (ชุดการทดลองที่ 3) พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ยหมักเท่ากับ 0.71 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 2.17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 0.07 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งปุ๋ยหมักที่เกิดจากการหมักจากวัตถุดิบเพียงชนิดเดียวมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่สูงที่สุดและต่ำที่สุด คือ ปุ๋ยหมักจากจี้เล็ก และปุ๋ยหมักจากจี้ดิน ตามลำดับ ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจะมีความสอดคล้องกับคุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาทำการหมัก กล่าวคือ ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักในอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟ:จี้เล็ก:จี้ดิน ในอัตราส่วน 1.5:1.5:0 0:1.5:1.5 1.5:0:1.5 และ 1:1:1 จะมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเท่ากับ 1.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 0.61 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 0.36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 0.66 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และพบว่าหากนำจี้เล็กมาเป็นส่วนผสมของปุ๋ยหมักจะทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักสูงขึ้น จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าปุ๋ยหมัก 5 ชุดการทดลองในอัตราส่วน 3:0:0 0:3:0 1.5:1.5:0 0:1.5:1.5 และ 1:1:1 มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 (กรมวิชาการเกษตร, 2548) โดยกำหนดให้มีค่าปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ยหมักจากวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ในถังโหมที่หมักเสร็จสมบูรณ์แล้ว ด้วยการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด (*Germination Index*) โดยใช้เมล็ดผักกวางตุ้ง (*Brassica Chinensis* L.) ดัชนีการงอกของเมล็ดผักกวางตุ้งที่ได้ทดสอบเป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยปุ๋ยหมักที่อัตราส่วน กากกาแฟ:จี้เล็ก:จี้ดิน เท่ากับ 0:3:0 0:0:3 1.5:1.5:0 0:1.5:1.5 1.5:0:1.5 และ 1:1:1 มีค่าดัชนีการงอกของเมล็ดเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วน 3:0:0

มีค่าดัชนีการงอกของเมล็ดต่ำกว่าเกณฑ์ ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ได้กำหนดไว้ว่าดัชนีการงอกของเมล็ดต้องมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของภัทรวรรณ และ อรทัย (2555) ที่ทำการศึกษา การใช้ตะกอนชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตโอเลฟินส์เป็นวัสดุผลิตปุ๋ยหมักร่วม ซึ่งการศึกษาการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ยหมักสามารถใช้ตรวจสอบสารพิษต่อพืช (*phytotoxic substance*) ที่เกิดจากการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก หากปุ๋ยหมักมีสารพิษเป็นองค์ประกอบมากจะมีผลต่อการงอกและความยาวของรากพืชที่ใช้ทดสอบ จากผลการวิเคราะห์ จะเห็นได้ว่า ปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากวัสดุเหลือใช้อัตราส่วน 0:3:0 0:0:3 1.5:1.5:0 0:1.5:1.5 1.5:0:1.5 และ 1:1:1 ปราศจากสารพิษและย่อยสลายสมบูรณ์แล้ว

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ในถังโหม โดยใช้ขยะอินทรีย์ในท้องถิ่น ได้แก่ กากกาแฟ จี้เล็กจากโรงงานปาล์มน้ำมัน และจี้ดินจากโรงงานแปรรูปยางพารา ทำการศึกษ้อัตราส่วนกากกาแฟ:จี้เล็ก:จี้ดิน คือ 3:0:0 0:3:0 0:0:3 1.5:1.5:0 0:1.5:1.5 1.5:0:1.5 และ 1:1:1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุดิบ พบว่ากากกาแฟ จี้เล็ก และจี้ดินมีธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักปุ๋ยได้ ในระหว่างการหมักได้ทำการศึกษาสภาวะต่างๆ พบว่ากระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจนจะเสร็จสมบูรณ์ได้ต้องใช้เวลาในการหมักประมาณ 30 วัน โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ สำหรับธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ยหมัก

ทั้ง 7 อัตราส่วน มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.42-3.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 0.26-1.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 0.07-2.17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้าและดัชนีการงอกของเมล็ดของปุ๋ยหมัก พบว่า ปุ๋ยหมักที่หมักได้ทุกอัตราส่วนมีค่าการนำไฟฟ้าและดัชนีการงอกของเมล็ดตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ปุ๋ยหมักที่อัตราส่วนกากกาแฟ:ขี้เถ้า:ขี้ดิน เท่ากับ 0:3:0 เป็นปุ๋ยหมักที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณธาตุอาหารหลักในการเจริญเติบโตของพืชสูงที่สุด และมีคุณสมบัติต่างๆ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ดังนั้น ปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากการหมักกากกาแฟ ขี้เถ้าจากโรงงานปาล์มน้ำมัน และขี้ดินจากโรงงานแปรรูปยางพาราในลังโฟม สามารถผลิตเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินได้ นอกจากนี้ การใช้ลังโฟมเป็นภาชนะในการหมักปุ๋ยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับครัวเรือนหรือระดับชุมชนได้

อย่างไรก็ตาม จากผลการวิจัยข้างต้นยังมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม กล่าวคือ ควรมีการพัฒนาและปรับปรุงในเรื่องการออกแบบรูปแบบของลังโฟม และการนำขยะอินทรีย์ในครัวเรือน ชุมชน และอุตสาหกรรมชนิดอื่นมาหมักเพื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ เพื่อให้สามารถพัฒนาในเชิงพาณิชย์ ควรมีการเพิ่มขนาดของระบบหมักให้สามารถรองรับขยะอินทรีย์ได้ในปริมาณมาก และควรการศึกษาวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สำหรับการสนับสนุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2548. **ปุ๋ยอินทรีย์ การผลิต การใช้มาตรฐานและคุณภาพ**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมวิชาการเกษตร. 2551. **คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ควิกปรินท์ ออฟเซ็ท, กรุงเทพฯ.
- กัญจภัศ สรรชนพพรสิน และ ชนิดา ชัมเจริญ. 2556. ความเป็นไปได้ในการใช้กากกาแฟเป็นสารช่วยในการกระจายตัวของซิลิกาในยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จิรพงษ์ ประสิทธิ์เขตร, นริศกัญจน์ ชูวรเวช, มนต์สรอง เรืองขนาบ, ทิวาพร ผดุง, พีรพงษ์ เชาวณพงษ์ และ ศรีสุดา รื่นเจริญ. 2548. **ปุ๋ยอินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ณัฐฐาทศน์ เข้ายเปี้ยว. 2558. การจัดการของเสียในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน กรณีศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากทะลายปาล์มเปล่า ปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนดีแคเตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิติ เหมพัฒน์, จีรรัตน์ สกฤรัตน์ และ จรงค์พันธ์ มุสิกวงษ์. 2552. การใช้ลังโฟมในการหมักมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือนและใบไม้. **วารสารวิทยาศาสตร์** 52(1): 358-363.
- เบญจมาภรณ์ พิมพ์า, สาโรจน์ เรืองสุวรรณ และ โอภาส พิมพ์า. 2552. ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของผลพลอยได้จากโรงงาน

- อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน, น. 221-223. ใน **สัมมนาวิชาการเกษตร ครั้งที่ 10**. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- พรศิลป์ สีเผือก, ปุณพิชญ์ ผดุงมาศ, พิชยา แก้วมโน และ วุฒิชัย สีเผือก. 2557. การใช้กากสลัดจ์ปาล์มน้ำมันเป็นอาหารเสริมสำหรับเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐาน. **แก่นเกษตร 42**(ฉบับพิเศษ 3): 374-379.
- ภัทรวรรณ อารณ์ และ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์. 2555. การใช้ตะกอนชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตโอเลฟินส์เป็นวัสดุผลิตปุ๋ยหมักร่วม, น. 16-23. ใน **การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- วรรณวิภา ไกรพิทยากร และ อนnek สาวะอินทร์. 2559. ความเป็นไปได้ของการผลิตกระถางย่อยสลายได้จากกากกาแฟผสมปูนขาวจากเปลือกหอย, น. 1-6. ใน **เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 15**. โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์, กรุงเทพฯ.
- Salange, I.M., Livia, M.C., João, P.A. Silva, Inês, C.R. and José, A.T. 2011. A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. **Carbohydrate Polymer** 83(2): 368-374.

คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดบุรีรัมย์

Physical Properties of Landrace Grains in Buriram Province

ครุपर्กรณ์ ละเอียดอ่อน * และ อรุณรศมี แสงศิลา

Karupakorn Laeadon * and Arunrasme Sangsila

Received: 2 October 2018, Revised: 17 May 2019, Accepted: 10 June 2019

บทคัดย่อ

การสำรวจข้าวพื้นเมืองในจังหวัดบุรีรัมย์พบว่ามีหลายสายพันธุ์เมื่อนำเมล็ดพันธุ์ข้าวพื้นเมืองจำนวน 20 พันธุ์ มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ โดยการสุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ข้าวจำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ด ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ผลการวิเคราะห์พบว่า ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ความยาวและความกว้างของข้าวเปลือก อยู่ในช่วง 8.18-10.73 และ 2.53-3.32 มิลลิเมตร น้ำหนักของข้าวเปลือกเฉลี่ย 2.20-3.30 กรัม รูปร่างเมล็ดข้าวเปลือกส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ส่วนข้าวกล้องมีความยาวและความกว้าง อยู่ในช่วง 7.17-7.42 และ 2.23-2.77 มิลลิเมตร น้ำหนักของข้าวกล้องเฉลี่ย 1.98-3.02 กรัม รูปร่างเมล็ดข้าวกล้องส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ค่าความสว่าง (L) ของข้าวเปลือกและข้าวกล้องอยู่ในช่วง 30.06-56.50 และ 17.36-64.41 ค่าสี a* ของข้าวเปลือกและข้าวกล้องอยู่ในช่วง 5.52-10.02 และ 1.97-13.20 และค่าสี b* ของข้าวเปลือกและข้าวกล้องอยู่ในช่วง 17.45-32.35 และ 2.44-21.95 ส่วนปริมาณท้องไขเมล็ดข้าวพื้นเมืองส่วนใหญ่มีท้องไขน้อย ระดับ 1 คือปริมาณบริเวณขาวขุนได้ไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งลักษณะสมบัติทางกายภาพนั้นมีประโยชน์เพื่อการประเมินคุณภาพข้าวและการสร้างมาตรฐานข้าวเพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรได้อนุรักษ์ข้าวพื้นเมืองไม่ให้เกิดการสูญหาย เพื่อความมั่นคงด้านอาหาร

คำสำคัญ: คุณสมบัติทางกายภาพ, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง, เมล็ดข้าว

ABSTRACT

The survey of rice landrace in Buriram province found that there are varieties of rice. The physical properties of 20 landrace grains were analyzed by randomly selecting three replications of 100 grains due to the randomized design (CRD). The results showed a significant difference ($p<0.05$) in the physical properties of the grains. The range of length and width of paddy is 8.18-10.73 and 2.53-3.32 mm. The average weight of the paddy is 2.20-3.30 grams. The grain shape of the paddy is mostly moderate. The range of length and width of brown rice is 7.17-7.42 and 2.23-2.77 mm. The average weight of the brown rice is 1.98-3.02 grams. The grain shape of the brown rice is mostly moderate. The Brightness (L) of the paddy and the brown rice is in the range of 30.06-56.50 and 17.36-64.41. a* color value of the paddy and the brown rice is in the range of 5.52-10.02 and 1.97-13.20, and b* color values of the paddy and the brown rice is in the range of 17.45-32.35 and 2.44-21.95. The percentage of chalky grains is low which is at level 1 (not more than 10% chalkiness). The physical properties analysis is useful for evaluating quality and creating standards of rice. This helps to encourage farmers on landrace conservation and to maintain sustainability of food.

Key words: physical properties, rice landrace, grain

บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เพราะเป็นทั้งอาหารหลักของประชากรทั้งประเทศ และเป็นสินค้าส่งออกสำคัญที่นำเข้าเงินตราต่างประเทศเป็นจำนวนมากดังเช่นปี พ.ศ. 2561 ปริมาณการส่งออก 11,088,741 ล้านตัน มูลค่า 180,270 ล้านบาท (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2562) และจังหวัดบุรีรัมย์เกษตรกรรมจะปลูกข้าวขาวดอกมะลิและพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่หลากหลายสายพันธุ์ที่นับวันแต่จะปลูกลดน้อยลง ข้าวที่เกษตรกรนิยมปลูกเพื่อการค้าส่วนใหญ่จะปลูกมาเป็นเวลานาน เช่น ข้าวปะกาอ์ปิล ข้าวมะลิแดง ข้าวเจาะจ๊าบ ข้าวมะลิดำ ข้าวสดวง ข้าวเหนียวแดง ข้าวเจ้าแตก ข้าวกำตันดำ ข้าวกำตันขาว ข้าวอีด่าง เป็นต้น (กิ่งแก้ว และคณะ, 2558) ซึ่งแต่ละพันธุ์มีสมบัติทางกายภาพและคุณภาพการหุงต้มและมีลักษณะที่ดิบางประการที่แตกต่างกัน เช่น ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม ความต้านทาน

โรคและแมลง (กรมการข้าว, 2551) คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ขนาดรูปร่าง น้ำหนักเมล็ด สีข้าวกล้อง ลักษณะท้องไข ความใส ความนุ่มของข้าวสารและคุณภาพการสีเป็นต้น (อรอนงค์, 2560) ในปัจจุบันกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรเพื่อการส่งออกจะใช้ลักษณะทางกายภาพในการจำแนกเกรดของเมล็ดข้าว เนื่องจากมีความชัดเจนในการตรวจสอบ ส่วนมาตรการในการประเมินราคาเพื่อซื้อขายข้าวเปลือกหรือข้าวสารในประเทศนั้นยังคงใช้คุณสมบัติทางกายภาพทั้งสิ้น และข้าวพื้นเมืองเป็นข้าวที่มีสารอาหารและแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพได้แก่ กรดฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ (Tian *et al.*, 2004) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อีกทั้งการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ในการจำแนกเป็นกลุ่มของข้าวเปลือกข้าวดำนาสวน ส่วนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะใช้

เกณฑ์ของสีของเปลือก รูปร่างข้าวเปลือก รูปร่างข้าวกล้อง การกระจายของสีในข้าวกล้อง ความยาวข้าวกล้อง ลักษณะพื้นผิวและความหนาของเปลือกข้าวกล้อง (ธีระ และคณะ, 2555) และผลการศึกษาผลผลิตและคุณภาพเมล็ดของข้าวพื้นเมือง 20 พันธุ์ในพื้นที่นาทมน้ำท่วมฤดูนาปรัง ใช้เกณฑ์ความยาว ความกว้างของเมล็ด รูปร่างของเมล็ดและน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด (มนัส และคณะ, 2559ก) และผลการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพื้นเมืองบริเวณลุ่มน้ำทะเลน้อยจังหวัดพัทลุงโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ด ได้แก่ ขนาดของเมล็ด รูปร่างของเมล็ด น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด และสีเปลือกหุ้มเมล็ด ข้าวเปลือกและข้าวกล้อง (นันทิยา และ วิจิตรา, 2554) และการศึกษาความแปรปรวนของลักษณะสัณฐานวิทยาในเมล็ดข้าวพันธุ์สังข์หยดจากภาคใต้ของประเทศไทยจะประเมินจากน้ำหนัก 100 เมล็ด ขนาดและรูปร่างความยาว ความใสของเมล็ด (นันทิยา และคณะ, 2559) ส่วนการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวไร่ในอำเภอพบพระ จังหวัดตากใช้เกณฑ์น้ำหนักข้าวเปลือกข้าวกล้อง ความยาวความกว้างข้าวเปลือกข้าวกล้อง รูปร่างเมล็ดข้าวเปลือกข้าวกล้องและวัดค่าความสว่าง (L^*) ค่าสี a^* และ b^* ของเมล็ด (สุภวัฒน์ และคณะ, 2560)

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของข้าวพื้นเมืองในจังหวัดบุรีรัมย์จึงมีความสำคัญในการใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกลักษณะ และการอนุรักษ์เพื่อการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพราะเป็นพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรยังให้ความสนใจ ปลูกไว้เพื่อการบริโภคในครัวเรือน อีกทั้งงานวิจัยด้านนี้ยังมีจำนวนน้อย จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 20 พันธุ์ที่เก็บรวบรวมจากเกษตรกรในจังหวัดบุรีรัมย์ และรวบรวมลักษณะทางกายภาพของเมล็ดเพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้ใช้พันธุ์ข้าวพื้นเมืองบางชนิดที่รวบรวมได้จากเกษตรกรในจังหวัดบุรีรัมย์ จำนวน 20 พันธุ์

2. แผนการทดลองครั้งนี้ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) โดยสุ่มเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวกล้อง จำนวน 300 เมล็ดและชั่งน้ำหนักแบ่งออกเป็น 3 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ด มาเป็นตัวอย่างเพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ

3. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่

3.1 การหาความกว้างความยาวข้าวเปลือกและข้าวกล้อง วัดโดยใช้ดิจิตอลเวอร์เนียร์ คาลิเปอร์ จะวัดจากปลายยอดสุดของเมล็ดถึงโคนเมล็ด

3.2 การวัดสีของข้าวเปลือกและข้าวกล้องโดยใช้เครื่องวัดสี Hunter lab รุ่น Minolta 404 ทำการตรวจวัดค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) จำนวน 3 ซ้ำ ตามระบบของ Commission international de L'Eclairage (CIE)

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณท้องไขข้าวพื้นเมืองโดยการนำเมล็ดข้าวทั้ง 20 พันธุ์มาวางบนช่องที่แสงจากหลอดไฟส่องผ่านเพื่อบอกปริมาณของจุดขาวขุ่น ซึ่งใช้เกณฑ์เป็นระดับคะแนน 0-5 ตามวิธีของเครือวัลย์ (2531) และบุญหงษ์ และคณะ (2559)

0 = ไม่มีจุดขาวขุ่นในเมล็ดข้าวสาร

1 = มีจุดขาวขุ่นเล็กน้อย (<10% ของเนื้อเมล็ดข้าวสาร)

2-3 = มีจุดขาวขุ่นเล็กน้อย (10-20% ของเนื้อเมล็ดข้าวสาร)

4-5 = มีจุดขาวขุ่นเล็กน้อย (>20% ของเนื้อเมล็ดข้าวสาร)

3.4 การประเมินรูปร่างของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้องจะวัดจากอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง โดยใช้เกณฑ์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การประเมินรูปร่างของเมล็ดข้าวเปลือก (หน่วย: มิลลิเมตร)

รูปร่าง	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง
เรียวยาว	3.4 หรือมากกว่า	3.1 หรือมากกว่า
ปานกลาง	2.3-3.3	2.1-3.0
ป้อม	2.2 หรือน้อยกว่า	2.0 หรือน้อยกว่า

ที่มา: อรอนงค์ (2560)

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

เก็บรวบรวมข้อมูลของความกว้าง ความยาวและค่าสีของข้าวเปลือกและข้าวกล้อง หาความแตกต่างกันของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ลักษณะทางกายภาพของข้าวเปลือก พบว่าความยาวของเมล็ดข้าวเปลือกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ข้าวเปลือกที่มีความยาว

มากที่สุด คือ ข้าวเหนียวแดง เท่ากับ 10.73 มิลลิเมตร น้อยที่สุดคือข้าวตายนี้อย่างกับ 8.18 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างของเมล็ดจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ข้าวเปลือกที่มีความกว้างของเมล็ดมากที่สุด คือ ก้านดำ เท่ากับ 3.31 มิลลิเมตร น้อยที่สุดคือข้าวปะกาอ์ลิลเท่ากับ 2.53 มิลลิเมตร และน้ำหนักของข้าวเปลือก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ข้าวที่มีน้ำหนักมากที่สุดคือข้าวเจ้าแดงเท่ากับ 3.30 กรัม น้อยที่สุดคือ ข้าวตายนี้อย่างกับ 2.20 กรัม ส่วนรูปร่างของข้าวเปลือกส่วนใหญ่มีลักษณะปานกลาง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความยาว ความกว้าง รูปร่างและน้ำหนักของข้าวเปลือก

ลำดับ	พันธุ์ข้าว	ลักษณะทางกายภาพ				
		ชนิด	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	รูปร่าง	น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม)
1	เหนียวแดง	ข้าวเหนียว	10.73±0.35 ^a	2.71±0.01 ^c	เรียวยาว	2.76±0.01 ^{dc}
2	เจ้าแดง	ข้าวเหนียว	9.90±0.02 ^f	3.14±0.04 ^b	ปานกลาง	3.30±0.08 ^a
3	ก้านดำ	ข้าวเหนียว	9.34±0.03 ^h	3.31±0.01 ^a	ปานกลาง	2.73±0.03 ^c
4	ก้านขาว	ข้าวเหนียว	9.32±0.06 ^h	3.32±0.01 ^a	ปานกลาง	3.27±0.03 ^a
5	อีดำอีแดง	ข้าวเหนียว	9.24±0.17 ⁱ	2.86±0.01 ^c	ปานกลาง	2.83±0.01 ^d
6	ป้อมแอ้ว	ข้าวเหนียว	9.40±0.04 ^h	2.86±0.01 ^c	ปานกลาง	2.65±0.11 ^f
7	จับต้นขาว	ข้าวเจ้า	8.83±0.15 ^j	2.73±0.03 ^c	ปานกลาง	2.43±0.01 ^g
8	จับต้นแดง	ข้าวเจ้า	8.51±0.05 ^g	2.70±0.05 ^c	ปานกลาง	2.60±0.02 ^f
9	มะลิดำ	ข้าวเจ้า	10.24±0.01 ^c	2.73±0.02 ^c	เรียวยาว	2.47±0.06 ^g

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	พันธุ์ข้าว	ลักษณะทางกายภาพ				
		ชนิด	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	รูปร่าง	น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม)
10	มะลิโกเมน	ข้าวเจ้า	10.33±0.01 ^c	2.81±0.01 ^d	เรียวยาว	2.74±0.03 ^c
11	มะลิแดง	ข้าวเจ้า	10.42±0.01 ^b	2.72±0.01 ^c	เรียวยาว	2.92±0.01 ^c
12	หอมนิล จักรพรรดิ	ข้าวเจ้า	10.69±0.03 ^a	2.72±0.01 ^c	เรียวยาว	3.08±0.06 ^b
13	สดวง	ข้าวเจ้า	8.20±0.02 ^k	2.55±0.01 ^c	ปานกลาง	2.94±0.01 ^c
14	ตายา	ข้าวเจ้า	8.18±0.02 ^k	2.55±0.01 ^c	ปานกลาง	2.20±0.08 ^h
15	ปะกาอ์ลปัด	ข้าวเจ้า	9.21±0.02 ⁱ	2.53±0.02 ^c	เรียวยาว	2.50±0.06 ^g
16	ตะโก	ข้าวเจ้า	8.21±0.02 ^k	2.87±0.01 ^c	ปานกลาง	2.50±0.04 ^g
17	ขาวพระเทพ	ข้าวเจ้า	10.08±0.01 ^c	2.82±0.01 ^d	เรียวยาว	2.92±0.01 ^c
18	ชุกรวง	ข้าวเจ้า	9.86±0.14 ^f	2.72±0.05 ^c	ปานกลาง	2.96±0.03 ^c
19	มะลินิล	ข้าวเจ้า	10.45±0.21 ^a	2.69±0.12 ^a	เรียวยาว	2.90±0.04 ^b
20	เหลืองปลาชีว	ข้าวเจ้า	10.25±0.13 ^c	2.80±0.11 ^d	เรียวยาว	2.72±0.02 ^c
F-test			*	*		*
mean			9.57	2.80		2.77
C.V.(%)			1.32	0.59		1.61

ลักษณะทางกายภาพของข้าวกล้องพบว่า ความยาวของเมล็ดข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ข้าวที่มีความยาวมากที่สุดคือ หอมนิลจักรพรรดิ เท่ากับ 7.42 มิลลิเมตรและน้อยที่สุดคือ ตะโก เท่ากับ 7.17 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ข้าวที่มีความกว้างมากที่สุดคือ กำตันขาว เท่ากับ 2.77

มิลลิเมตร น้อยที่สุดคือ จีบตันขาว เท่ากับ 2.23 มิลลิเมตร น้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าวกล้องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ข้าวที่มีน้ำหนักมากที่สุดคือ ข้าวเจ้าแดง 3.02 กรัม ส่วนข้าวกล้องที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดคือ ข้าวตายาและชุกรวงจะมีน้ำหนักเท่ากัน เท่ากับ 1.98 กรัม ดังตารางที่ 3

ลักษณะเมล็ดข้าวที่ที่พบมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดที่มีสาเหตุมาจากลักษณะทางพันธุกรรมซึ่งที่แสดงออกมาทั้งที่ปรากฏภายนอกทั้งลักษณะทางคุณภาพและทางปริมาณ เป็นข้าวที่สามารถปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน (Oka, 1988) สอดคล้องกับงานวิจัยของพิชัย และอนุพงศ์ (2560) พบว่าการจำแนกกลุ่มข้าวเป็นข้าวนาสวนและข้าวไร่ที่มีนิเวศน์เกษตรแตกต่างกันออกไปนั้นเป็นผลมาจากการปรับตัวและการถูกคัดเลือกในท้องถิ่นที่ต่างกัน ดังนั้นจึงทำให้ลักษณะข้าวแต่ละพันธุ์แสดงออกมาแตกต่างกัน อีกทั้งในปัจจุบันลักษณะของเมล็ดข้าวเป็นสิ่งสำคัญต่อการซื้อขายโดยทั่วไป กล่าวคือพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดีทางกายภาพจะมีราคาของเมล็ดพันธุ์และข้าวสารสูง เนื่องจากว่าคุณภาพ

ดังกล่าวจะส่งผลต่อคุณภาพการสี การหุงต้มและการ
รับประทานดีตามไปด้วย(บุญหงษ์ และคณะ, 2559)
นอกจากนั้นยังช่วยในการจำแนกลักษณะประจำ

พันธุ์ข้าวพื้นเมืองและช่วยในการกำหนดราคาหรือ
การส่งเสริมให้เกษตรกรได้ปลูกข้าวพื้นเมือง
ที่หลากหลายสายพันธุ์

ตารางที่ 3 ความยาว ความกว้าง รูปร่างและน้ำหนักของข้าวกล้อง

ลำดับที่	พันธุ์ข้าว	ลักษณะทางกายภาพ			
		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	รูปร่าง	น้ำหนัก 100 เมล็ด
1	เหนียวแดง	7.27±0.04 ^{de}	2.32±0.01 ^{de}	เรียวยาว	2.60±0.01 ^c
2	เล้าแตก	7.24±0.01 ^e	2.65±0.02 ^b	ปานกลาง	3.02±0.08 ^a
3	กำตันดำ	7.26±0.01 ^e	2.67±0.01 ^b	ปานกลาง	2.31±0.03 ^{ef}
4	กำตันขาว	7.24±0.01 ^e	2.77±0.04 ^a	ปานกลาง	2.97±0.03 ^{ab}
5	อีดำอีแดง	7.23±0.01 ^e	2.73±0.01 ^a	ปานกลาง	2.55±0.01 ^c
6	ป้อมแอ้ว	7.24±0.01 ^e	2.64±0.02 ^b	ปานกลาง	2.39±0.11 ^{de}
7	จีบตันขาว	6.46±0.05 ^g	2.23±0.01 ^f	ปานกลาง	2.22±0.01 ^{fg}
8	จีบตันแดง	7.32±0.01 ^{bcd}	2.34±0.01 ^{de}	เรียวยาว	2.40±0.02 ^{de}
9	มะลิดำ	7.24±0.05 ^e	2.35±0.01 ^d	เรียวยาว	2.16±0.06 ^h
10	มะลิโกเมน	7.37±0.01 ^{ab}	2.40±0.02 ^c	ปานกลาง	2.42±0.03 ^d
11	มะลิแดง	7.33±0.01 ^{bc}	2.34±0.01 ^{de}	เรียวยาว	2.61±0.01 ^c
12	หอมนิลจักรพรรดิ	7.42±0.03 ^a	2.43±0.01 ^c	ปานกลาง	2.94±0.02 ^{ab}
13	สดวง	7.26±0.04 ^e	2.42±0.01 ^{de}	ปานกลาง	2.63±0.02 ^c
14	ดาษา	7.23±0.03 ^c	2.42±0.01 ^c	ปานกลาง	1.98±0.03 ⁱ
15	ปะกาอัลปัด	7.27±0.04 ^{cde}	2.30±0.02 ^e	เรียวยาว	2.22±0.09 ^{fg}
16	ตะโก	7.17±0.01 ^f	2.35±0.03 ^f	ปานกลาง	2.16±0.04 ^{gh}
17	ขาวพระเทพ	7.23±0.01 ^e	2.32±0.02 ^{de}	เรียวยาว	2.59±0.04 ^c
18	ชุกรวง	7.23±0.05 ^a	2.36±0.05 ^d	ปานกลาง	1.98±1.72 ^b
19	มะลินิล	7.34±0.02 ^a	2.42±0.11 ^c	ปานกลาง	2.83±0.21 ^{ab}
20	เหลืองปลาชิว	7.22±0.01 ^{bc}	2.36±0.13 ^{de}	ปานกลาง	2.42±0.01 ^d
F-test		*	*		*
mean		7.24	2.44		2.45
C.V.(%)		0.43	1.29		1.26

ลักษณะของค่าสีข้าวกล้อง พบว่า ค่าความสว่าง
(L*) ของข้าวกล้องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p<0.05$) ข้าวที่มีค่าความสว่างสูงที่สุดคือ
มะลิโกเมน เท่ากับ 64.41 น้อยที่สุดคือ ข้าวมะลิดำ

เท่ากับ 17.36 ค่าสี a* ของข้าวกล้องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนมากอยู่ในเกณฑ์บวกแสดงว่ามีลักษณะสีแดงเจือปนในเมล็ด ค่า a* สูงที่สุดคือ ข้าวเหนียวแดง เท่ากับ 13.20 น้อยที่สุดคือ ข้าวตaya เท่ากับ 1.97 ส่วนค่าสี b* ของข้าวกล้องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ค่าสี b* สูงที่สุดคือ ข้าวเหนียวแดง เท่ากับ 21.95 น้อยที่สุดคือ มะลิดำ เท่ากับ 2.44 โดยค่าสี b* ของเมล็ดข้าวกล้องอยู่ระหว่าง 2.44-13.55 จะมีลักษณะสีน้ำเงินเจือปน และค่าสี b* อยู่ระหว่าง 6.44-21.95 จะมีค่าสีอยู่ในเกณฑ์บวก แสดงว่ามีสีเหลืองปน ดังข้อมูลในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ลักษณะค่าสีของข้าวกล้อง

	ชื่อพันธุ์	สี		
		L*	a*	b*
1	เหนียวแดง	40.25±.06 ^b	13.20±.04 ^a	21.95±.53 ^{ab}
2	เล้าแตก	26.22±.01 ^c	13.17±.64 ^a	12.40±.05 ^c
3	กำตันดำ	29.41±.03 ^c	4.37±.06 ^{bc}	4.86±.13 ^d
4	กำตันขาว	61.06±.03 ^a	2.05±.13 ^d	21.55±.49 ^{ab}
5	อีดำอีแดง	28.07±.07 ^c	4.73±.01 ^b	5.25±.49 ^d
6	ป้อมแอ้ว	60.52±.06 ^a	2.25±.05 ^d	21.16±.47 ^{ab}
7	จีบตันขาว	26.96±.01 ^c	12.99±.01 ^a	12.58±.24 ^c
8	จีบตันแดง	27.54±.01 ^c	13.17±.14 ^a	13.34±.19 ^c
9	มะลิดำ	17.36±.18 ^d	4.63±.01 ^b	2.44±.05 ^c
10	มะลิโกเมน	64.41±.02 ^a	2.52±.01 ^{cd}	19.67±.15 ^b
11	มะลิแดง	40.01±.12 ^b	12.74±.01 ^a	19.95±.23 ^{ab}
12	หอมนิลจักรพรรดิ	29.41±.11 ^c	4.85±.01 ^b	4.93±.07 ^d
13	สดวง	60.53±.55 ^a	2.07±.11 ^d	21.03±.45 ^{ab}
14	ตaya	61.28±.03 ^a	1.97±.02 ^d	21.14±.11 ^{ab}
15	ปะกาอีลปัด	62.98±.21 ^a	2.46±.01 ^d	20.12±.07 ^{ab}
16	ตะโก	61.04±.07 ^a	2.04±.01 ^{cd}	20.79±.26 ^{ab}
17	ขาวพระเทพ	63.47±.06 ^a	2.03±.01 ^d	21.60±.25 ^{ab}
18	ชุกรวง	45.05±.05 ^a	5.74±.01 ^{cd}	15.66±.19 ^{ab}
19	มะลินิล	27.70±.08 ^a	3.90±.03 ^{bcd}	7.00±.36 ^c
20	เหลืองปลาชิว	63.69±4.7 ^{cd}	2.21±0.01 ^d	20.50±0.09 ^a
F-test		*	*	*
mean		44.85	5.67	15.42
C.V.(%)		2.35	2.73	1.78

ลักษณะค่าสีของข้าวเปลือก พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ของข้าวเปลือกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ข้าวที่มีค่าความสว่างสูงที่สุดคือข้าวพระเทพ เท่ากับ 56.50 น้อยที่สุดคือ ข้าวกำตันขาว เท่ากับ 30.06 ค่าสี a^* ของข้าวเปลือกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนมากอยู่ในเกณฑ์บวกแสดงว่ามีลักษณะสีแดงเจือปนในเมล็ด ค่า a^* สูงที่สุดคือ ข้าวปะกาอ์ปัดเท่ากับ 10.02 น้อยที่สุดคือ ข้าวขาวพระเทพ เท่ากับ 5.52 ส่วนค่าสี b^* ของข้าวเปลือกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่าสี b^* สูงที่สุดคือ ข้าวเหลืองปลาชิว เท่ากับ 32.35 น้อยที่สุดคือ ข้าวมะลิคำ เท่ากับ 17.45 ค่าสี b^* ของเมล็ดข้าวเปลือกส่วนใหญ่จะมีค่าสีอยู่ในเกณฑ์บวกแสดงให้เห็นว่ามีสีเหลืองปนในสีผิวเมล็ด ดังข้อมูลในตารางที่ 5

ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะสีของเมล็ดนี้จะเกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านการเก็บเกี่ยว การระบายน้ำออกจากนา การตากแดดให้ความชื้นน้อยลง และการเก็บรักษาข้าวในยุ้งฉาง (Marshall and Wadsworth, 1994) นอกจากนั้นยังขึ้นกับปัจจัยการจัดสภาพแวดล้อมด้านการให้ปุ๋ย อายุของต้นกล้าที่นำมาใช้ปักดำ สภาพภูมิอากาศ เช่นปริมาณน้ำฝน (มนัส และคณะ, 2559) ระยะห่างของการปลูกของเกษตรกรที่จะทำให้นต้นข้าวมีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน คือถ้าหนาแน่นมากต้นข้าวจะแตกกอไม่ดีหรือมีสภาพพื้นที่ปลูกที่ต่างกัน (Somsana *et al.*, 2013) หรืออาจจะมีผลมาจากสภาพพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝนและความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ตารางที่ 5 ลักษณะค่าสีของข้าวเปลือก

	ชื่อพันธุ์	สี		
		L^*	a^*	b^*
1	เหนียวแดง	46.62±0.74 ^f	9.62±0.91 ^a	27.87±1.09 ^{bcde}
2	เล้าแตก	51.16±1.56 ^{bcd}	5.89±0.15 ^{fgh}	28.40±0.54 ^{bcd}
3	กำตันดำ	46.31±7.8 ^{cf}	6.33±0.16 ^{efgh}	22.25±0.33 ^h
4	กำตันขาว	30.06±1.32 ^g	5.81±0.33 ^{fgh}	21.78±0.38 ^j
5	อีคำอีค้าง	50.24±1.10 ^{cde}	8.59±0.77 ^b	24.78±2.55 ^{fg}
6	ป้อมแอ้ว	54.06±2.90 ^{abc}	6.28±0.45 ^{efgh}	29.23±0.47 ^{bcd}
7	จิบตันขาว	52.08±2.70 ^{abc}	7.78±0.10 ^{bcd}	28.30±0.50 ^{bcd}
8	จิบตันแดง	51.33±1.36 ^{bcd}	6.73±0.67 ^{cde}	28.65±0.38 ^{bcd}
9	มะลิคำ	45.08±1.36 ^f	6.77±0.98 ^{defg}	17.45±0.76 ⁱ
10	มะลิโกเมน	45.23±0.01 ^f	7.09±0.01 ^{cde}	25.62±1.99 ^{efg}
11	มะลิแดง	46.25±0.01 ^{ef}	7.27±0.24 ^{cde}	29.87±0.01 ^b
12	หอมนิลจักรพรรดิ	47.37±3.00 ^{def}	6.48±0.65 ^{efgh}	19.06±1.99 ⁱ
13	สดวง	52.98±1.19 ^{abc}	7.27±0.24 ^{cde}	26.87±0.71 ^{cdef}
14	ดาษา	52.50±1.31 ^{abc}	5.56±0.73 ^{gh}	29.47±1.86 ^{bc}
15	ปะกาอ์ปัด	46.37±1.47 ^{ef}	10.02±0.98 ^a	27.78±1.36 ^{bcde}

ตารางที่ 5 (ต่อ)

	ชื่อพันธุ์	สี		
		L*	a*	b*
16	ตะโก	51.08±1.85 ^{bcd}	7.98±0.34 ^{bc}	23.50±0.54 ^{gh}
17	ขาวพระเทพ	56.50±0.30 ^a	5.52±0.35 ^h	26.73±1.02 ^{def}
18	ชุกรวง	54.22±0.57 ^{abc}	7.39±0.15 ^{cde}	21.44±1.38 ^{bc}
19	มะลิณิล	45.36±1.04 ^f	6.60±0.12 ^{efg}	17.94±0.71 ⁱ
20	เหลืองปลาชิว	55.51±3.22 ^{ab}	6.70±1.04 ^{defg}	32.35±1.11 ^a
F-test		*	*	*
mean		45.36	7.09	25.37
C.V.(%)		4.88	8.13	5.53

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพเกี่ยวกับท้องไข่ในเมล็ดข้าวพื้นเมืองทั้ง 20 พันธุ์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีท้องไข่จะอยู่ในระดับ 1 คือบริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10 ประกอบด้วย ข้าวเหนียวแดง เล้าแตก ก่ำตันดำ อีดำ อีดำง ป้องแอ้ว จีบตันขาว จีบตันแดง มะลิดำ มะลิโกเมน มะลิแดง หอมนิลจักรพรรดิ ปะกาอัลปัด และมะลิณิล ส่วนกลุ่มที่สองมีท้องไข่อยู่ในระดับ 2 คือบริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 20 ประกอบด้วย ข้าวสดวง ตายา ตะดก ขาวพระเทพ ชุกรวง และเหลืองปลาชิว ดังตารางที่ 6 ซึ่งข้าวในกลุ่มนี้เกษตรกรจะนิยมปลูกในสภาพพื้นที่ลุ่มมีน้ำท่วมถึง ซึ่งท้องไข่ในเมล็ดข้าวเกิดจากการจับตัวกันอย่างหลวมๆ ของเม็ดแป้ง (starch granule) กับ โปรตีน (protein body) ในส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ดมีลักษณะขาวขุ่น (กัญญา และคณะ, 2555) และส่วนใหญ่จะไม่นิยมในวงการค้าข้าว

เพราะลักษณะเมล็ดไม่สวย คุณภาพการสีไม่ดี ข้าวหักมาก (กรมการข้าว, 2551) ส่วนสาเหตุที่ข้าวเกิดท้องไข่นั้นมีหลายสาเหตุ เช่น ลักษณะทางพันธุกรรม สภาพแวดล้อม ได้แก่ แหล่งปลูก ฤดูกาล การใส่ปุ๋ย โดยเฉพาะอุณหภูมิ หากปลูกข้าวในสภาพอากาศร้อนจะทำให้เป็นท้องไข่ได้มากกว่าปลูกในบริเวณอากาศเย็น (ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น, 2559)

นอกจากนั้นเกษตรกรยังปลูกข้าวสีม่วงและสีแดง เช่น ข้าวกำ ข้าวจีบหรือเจ้าจีบ มะลิแดงและมะลิณิล เป็นต้น แต่ปลูกไม่มากเหมือนข้าวขาวดอกมะลิ 105 ส่วนใหญ่จะปลูกไว้เพื่อบริโภคและการทำขนมหรือทำข้าวหลามขายในชุมชน ส่วนหนึ่งจะปลูกตามกระแสของการรักสุขภาพเนื่องจากเป็นข้าวที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพเพราะเป็นข้าวที่มีปริมาณสารแอนโทไซยานินซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 6 ลักษณะท้องไข่เมล็ดข้าวพื้นเมือง

ลำดับ	ข้าว	ชนิด	ระดับคะแนนท้องไข่ (0-5)	ปริมาณท้องไข่
1	เหนียวแดง	ข้าวเหนียว	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
2	เล้าแตก	ข้าวเหนียว	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
3	ก้านดำ	ข้าวเหนียว	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
4	ก้านขาว	ข้าวเหนียว	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
5	อีดำอีแดง	ข้าวเหนียว	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
6	ป่องแอ้ว	ข้าวเหนียว	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
7	จับต้นขาว	ข้าวเจ้า	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
8	จับต้นแดง	ข้าวเจ้า	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
9	มะลิดำ	ข้าวเจ้า	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
10	มะลิโกเมน	ข้าวเจ้า	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
11	มะลิแดง	ข้าวเจ้า	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
12	หอมนิล	ข้าวเจ้า	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
	จักรพรรดิ			
13	สดวง	ข้าวเจ้า	2	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 20
14	ตายา	ข้าวเจ้า	2	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 20
15	ปะกาอัลปิล	ข้าวเจ้า	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
16	ตะโก	ข้าวเจ้า	2	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 20
17	ขาวพระเทพ	ข้าวเจ้า	2	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 20
18	ชุกรวง	ข้าวเจ้า	2	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 20
19	มะลินิล	ข้าวเจ้า	1	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 10
29	เหลืองปลาชิว	ข้าวเจ้า	2	บริเวณขาวขุ่นได้ไม่เกินร้อยละ 20

สรุป

จากการสำรวจข้าวพื้นเมืองในจังหวัดบุรีรัมย์พบว่ามีความหลากหลายพันธุ์ซึ่งเกษตรกรยังคงปลูกไว้เพื่อการบริโภคและรักษาพันธุ์ไม่ให้เกิดการสูญหาย ตามลักษณะพื้นที่ที่มีทั้งที่ราบและที่ดอน เมื่อนำเมล็ดข้าวพันธุ์พื้นเมืองบางชนิดที่ได้จากการสำรวจมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของข้าวพื้นเมือง 20 พันธุ์ในจังหวัดบุรีรัมย์ที่รวบรวมตัวอย่างจากเกษตรกรในพื้นที่นั้นจะแยกพิจารณา

เป็นข้าวเปลือกและข้าวกล้อง พบว่าความยาวของเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวกล้อง มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 8.18-10.73 และ 7.17-7.42 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนความกว้างของเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวกล้อง มีค่าระหว่าง 2.53-3.32 มิลลิเมตร และ 2.23-2.77 มิลลิเมตร ตามลำดับ และน้ำหนักของข้าวเปลือกและข้าวกล้อง เฉลี่ยอยู่ที่ 2.20-3.30 กรัม และ 1.98-3.02 กรัม ตามลำดับ รูปร่างของเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวกล้องส่วนใหญ่จะอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวกล้องจะมีความแตกต่างกัน มีทั้งรูปร่างเรียวยาวและรูปร่างปานกลางแต่ไม่มีรูปร่างป้อม

จากการตรวจวัดคุณภาพด้านสีพบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของเมล็ดข้าวเปลือกและเมล็ดข้าวกล้องอยู่ระหว่าง 30.06-56.50 และ 17.36-64.41 ตามลำดับ ค่าสี a^* ของข้าวเปลือกและข้าวกล้องมีค่าอยู่ระหว่าง 5.52-10.02 และ 1.97-13.20 ตามลำดับ ส่วนค่าสี b^* ข้าวเปลือกและข้าวกล้องมีค่าอยู่ระหว่าง 17.45-32.35 และ 2.44-21.95 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ข้าวบางชนิดจะมีสีเปลือกจากบางชนิดสีเปลือกจะเข้ม และเมล็ดข้าวกล้องก็เช่นกัน ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพท้องไขในเมล็ดข้าวพื้นเมืองสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มคือกลุ่มที่หนึ่งมีท้องไขระดับ 1 (บริเวณขาวขุนได้ไม่เกินร้อยละ 10) กลุ่มที่สองมีท้องไขระดับ 2 (บริเวณขาวขุนได้ไม่เกินร้อยละ 20)

เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว. 2551. **วิทยาการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวเกี่ยว**. องค์ความรู้เรื่องข้าว. แหล่งที่มา : <http://www.ricethailand.go.th/Rkb/product>, 24 กุมภาพันธ์ 2561.
- กัญญา เชื้อพันธ์, สุนันทา วงศ์ปิยชนวัชร และ สุขวิวัฒน์ ปรานี มณีนิล. 2555. สมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวปทุมธานี 1 และพิษณุโลก 2 ระหว่างการเก็บรักษา, น. 185-197. ใน **เอกสารนำเสนอการประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว**. ศูนย์วิจัยข้าวภาคกลาง ภาคตะวันออก, จังหวัดระยอง.
- กิ่งแก้ว ปะติตังโฮ, สมหมาย ปะติตังโฮ และ คุปกรณณ์ ละเอียดอ่อน. 2558. รายงาน

การวิจัย การสำรวจความหลากหลายทางพันธุกรรมข้าวพื้นเมืองและการใช้ประโยชน์ในจังหวัดบุรีรัมย์. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

เกรียววัลย์ อัดตะวิริยะสุข. 2531. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและมาตรฐานข้าว, น. 60-76. ใน **เอกสารประกอบการบรรยายการปรับปรุงคุณภาพข้าวสำหรับผู้ดำเนินธุรกิจโรงสี**. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ธีระ ธรรมวงศา, จิรวัฒน์ สนิทชน, อมรรัตน์ มีสวัสดิ์ และ ปิยะรัตน์ อิฐรัตน์. 2555. ลักษณะสัณฐานวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ข้าวเปลือกข้าวค่านาสวนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. **วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น** 40(4): 1138-1148.

นันทยา พนมจันทร์ และ วิจิตรา อมรวิริยะชัย. 2554. ความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพื้นเมือง บริเวณลุ่มน้ำทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง โดยใช้ลักษณะสัณฐานวิทยาของเมล็ด. **วารสารหาดใหญ่วิชาการ** 9(1): 25-31.

นันทยา พนมจันทร์, สันสนีย์ จำจด, เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม และ ชนาگانต์ พรหมอุทัย. 2559. ความแปรปรวนของลักษณะสัณฐานวิทยาในเมล็ดข้าวพันธุ์สังข์หยดจากภาคใต้ของประเทศไทย. **แก่นเกษตร** 44(1): 83-94.

บุญหงส์ จงกิด, วุฒิชัย แดงทอง และ เอกชัย ราชแสง. 2559. คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเมล็ดพันธุ์ข้าวหอมมะลิธรรมชาติ. **วารสารวิทยาศาสตร์และ**

เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

5(1): 37-42.

- พิชัย บุตรศรีภูมิ และ อนุพงศ์ วงศ์ดามี. 2560. ความหลากหลายลักษณะทางพันธุกรรมของข้าวพื้นเมืองจากภาคเหนือตอนล่าง, น. 343-348. ใน เอกสารการประชุมวิชาการนเรศวรวิจัยครั้งที่ 13. กองบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวร, จังหวัดพิษณุโลก.
- มนัส ลอศิริกุล, นันทิยา หุตานวัตร, นพมาศ นามแดง และ สุกัญญา คลังสินศิริกุล. 2559. ผลผลิตและคุณภาพเมล็ดของข้าวพื้นเมือง 20 พันธุ์ในพื้นที่นาทาม น้ำท่วมฤดูนาปรัง. *แก่นเกษตร* 44(2): 295-304.
- มนัส ลอศิริกุล, นันทิยา หุตานวัตร, นพมาศ นามแดง และ สุกัญญา คลังสินศิริกุล. 2559. การศึกษาผลผลิตและองค์ประกอบของข้าวเหนียวพื้นเมือง 3 พันธุ์ เปรียบเทียบกับพันธุ์ กข 6 ภายใต้การจัดการแบบนาอินทรีย์ ฤดูนาปี 2554. *แก่นเกษตร* 44(3): 435-442.
- ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น. 2559. ลักษณะกายภาพของเมล็ดข้าว. ข้าวสารเมล็ดพันธุ์ข้าว. แหล่งที่มา: www.kkn-rsc.ricethailand.go.th, 18 พฤษภาคม 2562.
- สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. 2562. มูลค่าและปริมาณการส่งออกข้าวปี 2561. การส่งออกข้าวไทย. แหล่งที่มา: www.Thairiceexports.or.th, 18 พฤษภาคม 2562.

สุภวัฒน์ วิสิฐศิริกุล, ยุภาดี ปะระราช, วชิระ วิหรรณันท์, อุไรวรรณ ปานทโชติ และ ตรรกพร สุขเกษม. 2560. คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวไร้ในอำเภอพบพระ จังหวัดตาก, น. 10-16. ใน รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, พระนครศรีอยุธยา.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2560. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Marshall, W.E. and Wadsworth, J.I. 1994. **Rice Science and Technology**. Mercel. Inc, New York.

Oka, H.I. 1988. **Origin of Cultivated Rice**. Elsevier, Amsterdam.

Somsana, P., Wattana, P., Suriharn, B. and Sanitchon, J. 2013. Stability and genotype by environment interactions for grain anthocyanin content of Thai black glutinous upland rice (*Oryza sativa* L.) SABRAO. **Journal of Breeding and Genetics** 45(3): 523-532.

Tian, S., Nakamura, K. and Kayahara, H. 2004. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice and germinated brown rice. **Journal of Agriculture and Food Chemistry** 52(15): 4808-4813.

วารสารวิจัย มทร.ศรีวิชัย

นโยบายการตีพิมพ์ทั่วไป

วารสารวิจัย มทร. ศรีวิชัย เป็นสื่อกลางการเผยแพร่บทความวิจัย (Research article) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยรับพิจารณาตีพิมพ์ต้นฉบับของบุคคลทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย วารสารมีกำหนดเผยแพร่ออนไลน์ปีละ 3 ฉบับ (ราย 4 เดือน) ผลงานที่ส่งมาจะต้องไม่เคยเสนอ หรือกำลังเสนอตีพิมพ์ในวารสารวิชาการใดมาก่อน

รูปแบบการจัดเตรียมต้นฉบับ

ต้นฉบับต้องจัดหน้ากระดาษให้ได้ในกระดาษ A4 โดยตั้งหน้ากระดาษ ขอบบน 2.5 cm. ขอบล่าง 2.5 cm. ขอบซ้าย 3 cm. ขอบขวา 2 cm. บทความภาษาไทยใช้ตัวอักษร Angsana UPC/New บทความภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษร Time New Roman โดยมีความยาวไม่เกิน 15 หน้า

รายละเอียดการจัดเตรียมต้นฉบับ

ชื่อเรื่อง ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จัดให้อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ ชื่อภาษาอังกฤษขึ้นต้นคำให้พิมพ์ด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ บทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 22 ตัวหนา บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา

ชื่อผู้พิมพ์ ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จัดให้อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ บทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 15 บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 ให้กำกับหมายเลขยกกำลังไว้ต่อท้ายด้วย สำหรับชื่อของหน่วยงานให้พิมพ์ไว้ในส่วนเชิงอรรถ โดยพิมพ์ชื่อหน่วยงานต้นสังกัดให้ตรงกับตัวเลขยกกำลังที่กำกับไว้ในหน้าเดียวกัน พร้อมทั้งระบุผู้พิมพ์ประสานงาน (corresponding author) โดยทำเครื่องหมาย * ไว้หลังตัวเลขระบุ E-mail และเบอร์โทรศัพท์ของผู้พิมพ์ประสานงาน โดยบทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 10

บทคัดย่อและ Abstract เนื้อหาต้องครอบคลุมถึงบทนำ วิธีดำเนินการวิจัย สรุปและวิจารณ์ผลตาม ลำดับความยาวไม่เกิน 300 คำ พิมพ์หัวข้อเป็นตัวหนาขนาด 18 สำหรับบทความภาษาไทย และ 14 สำหรับบทความภาษาอังกฤษ สำหรับเนื้อความใช้ตัวอักษรขนาด ขนาด 15 สำหรับบทความภาษาไทย และ 12 สำหรับบทความภาษาอังกฤษ

คำสำคัญ (Keywords) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ ประมาณ 3-5 คำ โดยพิมพ์ต่อจากส่วนเนื้อหาของบทคัดย่อและ Abstract บทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 15 บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12

เนื้อหา ประกอบด้วย บทนำ วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล สรุป กิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิง บทความภาษาอังกฤษประกอบด้วย เนื้อความบทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 15 บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 การพิมพ์หัวข้อใหญ่ บทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 18 ตัวหนา

บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา ส่วนหัวข้อย่อย บทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 15 บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 ตัวหนา

ภาพและตาราง การนำเสนอรูปภาพและตาราง ให้พิมพ์เป็นตัวหนา เช่น ตารางที่ 1 หรือ Table 1 และ ภาพที่ 1 หรือ Figure 1 โดยมีคำอธิบาย บทความภาษาไทยขนาดตัวอักษร 15 บทความภาษาอังกฤษขนาดตัวอักษร 12 ขนาดของรูปและตารางตามความเหมาะสมของแต่ละบทความ จัดคำอธิบายใต้ภาพให้อยู่กึ่งกลาง โดยให้อยู่ในรูปแบบบทความพร้อมตีพิมพ์ และส่งไฟล์รูปเฉพาะด้วย

การอ้างอิง เอกสารที่นำมาอ้างอิงในเนื้อความจะต้องตรงกับเอกสารที่ปรากฏในส่วนรายการเอกสารและสิ่งอ้างอิง ระบบการอ้างอิงให้ใช้ระบบนาม-ปี การอ้างอิงเอกสารภาษาไทยให้ใช้ชื่อตัวเอกสารภาษาอังกฤษให้ใช้ชื่อสกุล

ตัวอย่างการอ้างอิง

1.1 การอ้างอิงในเนื้อหา

1.1.1 อ้างอิงจากเอกสารภาษาไทย

1.1.1.1 ผู้แต่งหนึ่งราย (สุวจน์, 2543)

1.1.1.2 ผู้แต่ง 2 ราย (ประเสริฐ และ ชาญยุทธ, 2548)

1.1.1.3 ผู้แต่งมากกว่า 2 ราย (อิทธิรักษ์ และคณะ, 2549)

1.1.1.4 เอกสารที่นำมาอ้างอิงมากกว่า 1 รายการ ให้เรียงลำดับปีที่พิมพ์จากน้อยไปหา มากและกันแต่ละชุดด้วยเครื่องหมาย (;) เช่น (สุวจน์, 2543; ประเสริฐ, 2545; ชาญยุทธและคณะ, 2548)

1.1.2 อ้างอิงจากเอกสารภาษาอังกฤษ

1.1.2.1 Single author (Sano, 1987)

1.1.2.2 Two authors (Smith and Hardy, 1953)

1.1.2.3 More than two authors (Ikejima *et al.*, 1959)

1.1.2.4 Multiple references (Sano, 1987; Kon and Kurokura, 1990; Rooster, 2000)

1.2 การอ้างอิงเอกสารท้ายบทความ

วารสาร

ชื่อผู้เขียน (ให้เขียนชื่อเต็ม ตามด้วยชื่อสกุล). ปีที่พิมพ์. ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร (ใช้ชื่อเต็ม) ปีที่ (ฉบับที่): หน้าที่ปรากฏบทความ.

วรรณวิสัย ไชยสาร. 2550. การเผาซินเตอร์แบบสองระยะของเซรามิกแบเรียมไทเทเนต. วารสาร

วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร 3(2): 149–158.

ภาษาอังกฤษใช้เช่นเดียวกับภาษาไทย แต่ชื่อผู้เขียนใช้นามสกุลขึ้นก่อน ตามด้วยอักษรย่อตัวแรกของชื่อตัว ชื่อกลาง ตามลำดับ

- Gensemer, R.W. 1991. The effects of pH and aluminum on the growth of the acidophilic diatom *Asterionella ralfsii* var. *americana*. **Limnology and Oceanography** 36(1): 123–131.
- Prapainop, R. and Maneeratana, K. 2004. Simulation of ice formation by the finite volume method. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 26(1): 55–70.
- Sultana, N., Kasem, M.A., Hossain, M.D. and Alam, M.S. 1998. Biochemical changes of some promising lines of Yard Long Bean due to the infection of Yellow Mosaic virus. **Thai Journal of Agricultural Science** 31(3): 322–327.
- Katayama, S. 2002. Coexistence of resident and anadromous pond smelt, *Hypomesus nipponensis*, in Lake Ogawa. **Fisheries Science** 68(Suppl. D): 33–44.

หนังสือ

ผู้แต่งคนเดียวหรือหลายคน

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์. ผู้จัดพิมพ์, สถานที่พิมพ์.

สุวรรณ ธีรุต. 2550. วิทยาศาสตร์ทางทะเลเบื้องต้น. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

Underwood, A.J. 1997. **Experiments in Ecology: Their Logical Design and Interpretation Using Analysis of Variance**. Cambridge University Press, Cambridge.

Hutcheson, G.D. and Sofroniou, N. 1999. **The Multivariate Social Scientist: Introductory Statistics Using Generalized Linear Models**. SAGE Publications, London.

Brower, J.E., Zar, J.H. and von Ende, C.N. 1990. **Field and Laboratory Methods for General Ecology** (3rd ed). Wm. C. Brown Publishers, Dubuque.

อ้างอิงบทหนึ่งในหนังสือ

ชื่อผู้เขียนบทที่อ้าง. ปีที่พิมพ์. ชื่อบทที่อ้าง, หน้าที่ย่อบนหน้าตีพิมพ์. ใน ชื่อบรรณาธิการ หรือผู้รวบรวม, บรรณาธิการ หรือผู้รวบรวม. ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์, สถานที่พิมพ์.

ไพโรจน์ จัวงพานิช. 2520. โรคอ้อยที่เกิดจากเชื้อรา, น. 141-145. ใน เกษม สุขสถาน และ อุดม พูลเกษ, บรรณาธิการ. **หลักการทำอ้อย**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Jacobeer, L.F. and Rand, A.G. 1982. Biochemical of seafood, pp. 347-365. In Martin, R.E., Flick, G.J., Hebard, C.E. and Ward, D.R., eds. **Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products**. AVI Inc, Westport.

รายงานการประชุม/สัมมนา

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง, หน้าที่ย่อบนหน้าตีพิมพ์. ใน ชื่อบรรณาธิการ, บรรณาธิการ (ถ้ามี). ชื่อการประชุม ครั้งที่. สำนักพิมพ์ (หรือหน่วยงานที่จัดการประชุม), สถานที่พิมพ์.

สุธน ตั้งทวีวัฒน์ และ บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2533. การใช้เมล็ดทานตะวันเป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานในอาหารสัตว์ปีก, น. 47-59. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 28 (สาขาสัตวแพทย์และประมง). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Henderson, S. 1978. An evaluation of the filter feeding fishes, Silver and bighead Carp, for Water quality improvement, pp. 121-136. In R.O. Smitherman, W.L. Shelton and J.H. Grover, eds. **Symposium on The Culture of Exotic Fishes.** American Fisheries Society, Auburn University, Alabama.

วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อวิทยานิพนธ์. ระดับวิทยานิพนธ์, ชื่อสถาบันการศึกษา.
ประเสริฐ ทองหนูน้อย. 2543. การจำแนกชนิดและการกระจายของปลาว่ายอ่อนในป่าชายเลน อำเภอลิเกา จังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

ซีดีรอม (CD-ROM)

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อบทความ (ซีดี-รอม). ชื่อวารสาร ปีที่ (ลำดับที่): เลขหน้าที่ปรากฏบทความในวารสาร, สารสังเขป จาก: ชื่อฐานข้อมูลและหมายเลขเอกสารเพื่อการค้น

Preston, W. 1982. Poetry ideas in teaching literature and writing to foreign student (CD-ROM).

TESOL Quart. 16: 489-502 Abstract from: Dialog File: ERIT Item: EJ274529

ข้อมูลสารสนเทศ (World Wide Web)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ชื่อหัวของเว็บไซต์. แหล่งที่มา: วัน เดือน ปี ที่สืบค้นข้อมูล.

มัทนา มากเยี่ยม, ปทุมพร สุขยิ่ง, นพวรรณ หลากสิน, วิทยา แยม่นุ่น, พรทิพย์ แก่งทุกทาง, พุกามาศ เกศศรี, ภูมิพงษ์ พร้อมพันธ์ และ สาวิตรี เรืองเดช. 2541. ผลลัพธ์จากมันสำปะหลัง. คู่มือส่งเสริมการเกษตรที่ 43. แหล่งที่มา:

[http:// WWW.ku.ac.th/agri/com/com.htm](http://WWW.ku.ac.th/agri/com/com.htm), 27 มีนาคม 2541.

Sillery, B. 1998. **Urban rainforest: An African jungle come to life on New York's west side.**

Popular Science. Available Source:

<http://WWW.epnet.com/hostrial/hostrial/login.htm>, March 27, 1998.

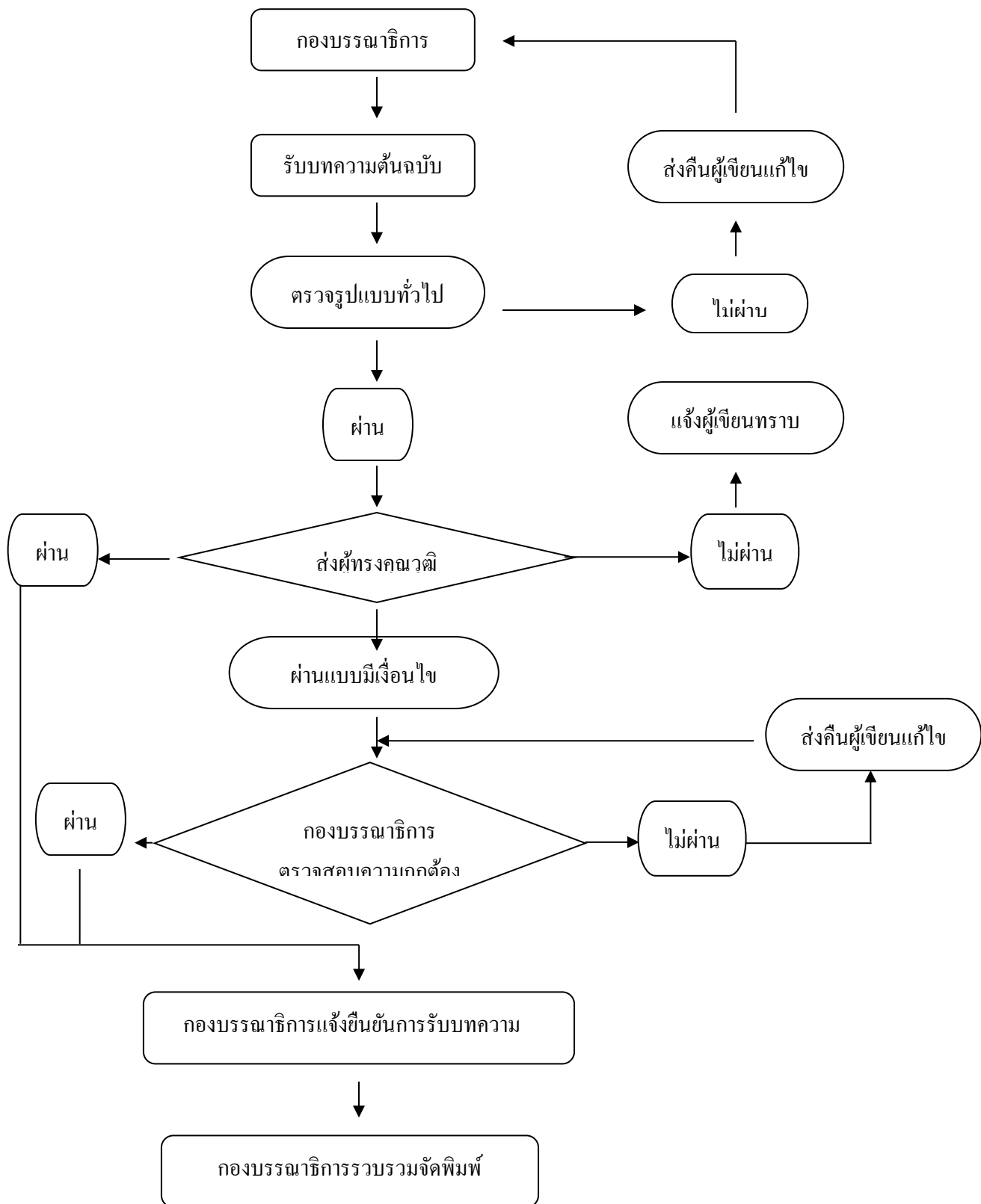
การส่งต้นฉบับ

ผู้สนใจตีพิมพ์จะต้องส่งไฟล์ต้นฉบับในรูปแบบ Microsoft Office Word รูปแบบ PDF และไฟล์รูปภาพจริง พร้อมแบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณาไปยัง กองบรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.ศรีวิชัย ผ่านระบบ Online submission ของวารสาร ทาง <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutsvrj/index>

หลักเกณฑ์การประเมินบทความเพื่อตอบรับการตีพิมพ์

กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้น เกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป ถ้าไม่ผ่านการพิจารณา จะส่งกลับไปแก้ไขหรือปฏิเสธการรับเข้าสู่กระบวนการตีพิมพ์ ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาของผู้ประเมินจากภายนอก เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้สนับสนุนทราบ และเมื่อบทความได้รับการเผยแพร่ ผู้สนับสนุนจะได้รับการแจ้งเดือนจากวารสาร

ขั้นตอนการดำเนินงาน
วารสารวิจัย มทร. ศรีวิชัย
(RMUTSV Research Journal)



แบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....นามสกุล.....

ตำแหน่งทางวิชาการ.....

สังกัด/หน่วยงาน.....

.....

.....

ขอส่งบทความ

เรื่อง (ภาษาไทย).....

.....

เรื่อง (ภาษาอังกฤษ).....

.....

ผู้เขียน (ภาษาไทย) 1.....

2.....

3.....

4.....

ผู้เขียน (อังกฤษ) 1.....

2.....

3.....

4.....

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก.....

.....

.....

.....

โทรศัพท์.....e-mail.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มทร.ศรีวิชัย ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ลงชื่อ.....

(.....)